



DELEGATION BRETAGNE ET PAYS DE LA LOIRE

**CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUE PARTICULIERES
CCTP 2025-04-1**

**Conception et Fabrication d'un Robot Parallèle à Câbles de grande dimension
TIRREX-XXL**

*CNRS UMR 6004 – Laboratoire des Sciences du Numérique de Nantes
École Centrale de Nantes
1 rue de la Noë
44300 Nantes
FRANCE*

Cadre du projet

Dans le cadre du projet TIRREX, le Laboratoire des Sciences du Numérique de Nantes (LS2N, UMR 6004) prend en charge la plateforme Robotique XXL. Cette plateforme couvre les problématiques de la robotique des grands espaces de travail. Le développement d'une plateforme de robotique XXL répond à un certain nombre de contraintes et de besoins de l'usine du futur et du secteur de la construction, où les industriels sont demandeurs.

Dans ce contexte, une nouvelle plateforme robotique, ouverte à des collaborations académiques et industrielles, sera réalisée pour mettre en œuvre des applications pour lesquelles les espaces de travail ne peuvent être couverts par des robots industriels conventionnels (par exemple, l'impression 3D de bâtiments, le ponçage robotisé de très grandes surfaces, les opérations d'assemblage de charges lourdes dans de grands volumes, la manipulation flexible dans de grands espaces, etc.).

La plateforme robotique XXL sera composée

- d'un bras manipulateur de longue portée (10 mètres de portée) et reconfigurable permettant de couvrir de grandes surfaces horizontales et verticales ;
- d'un robot parallèle à câbles reconfigurable équipé d'un préhenseur XXL dédié. Le préhenseur XXL constitué d'un ou plusieurs bras manipulateurs est embarqué sur la plateforme mobile. Il sera développé à l'Institut Pprime à Poitiers.

Ainsi, l'ensemble du système permettra de réaliser des opérations industrielles agiles de manipulation dans de très grands espaces.

La plateforme « Robotique XXL » offrira à la communauté robotique nationale un moyen accessible d'évaluer des démonstrateurs dédiés et des méthodologies de commande spécifiques dans un contexte à grande échelle.

Sommaire

I Caractéristiques des équipements de base demandés	4
I.1 Ensemble blocs enrouleurs motorisés	7
I.1.1 Enrouleurs	8
I.1.2 Motorisation	10
I.1.3 Capteurs	10
I.2 Plateforme mobile et bati support	11
I.3 Éléments de structure constituant le bâti	12
I.4 Garantie	14
II Livraison, installation et admission de la prestation.....	15
II.1 Livraison et installation	15
II.2 Admission de la prestation.....	15

I Caractéristiques des équipements de base demandés

Descriptif général

Le présent appel d'offre a pour objet la conception, la fabrication et la fourniture d'un Robot Parallèle à Câbles (RPC) de grandes dimensions.

Un RPC est une forme particulière de robot parallèle qui utilise des enrouleurs motorisés et des câbles pour déplacer une plateforme mobile dans l'espace de travail du robot suivant plusieurs degrés de liberté.

Les RPC sont généralement composés d'une structure (bâti) supportant des poulies par lesquelles les câbles sont guidés depuis les enrouleurs vers la plateforme mobile comme montré sur la Figure 1.

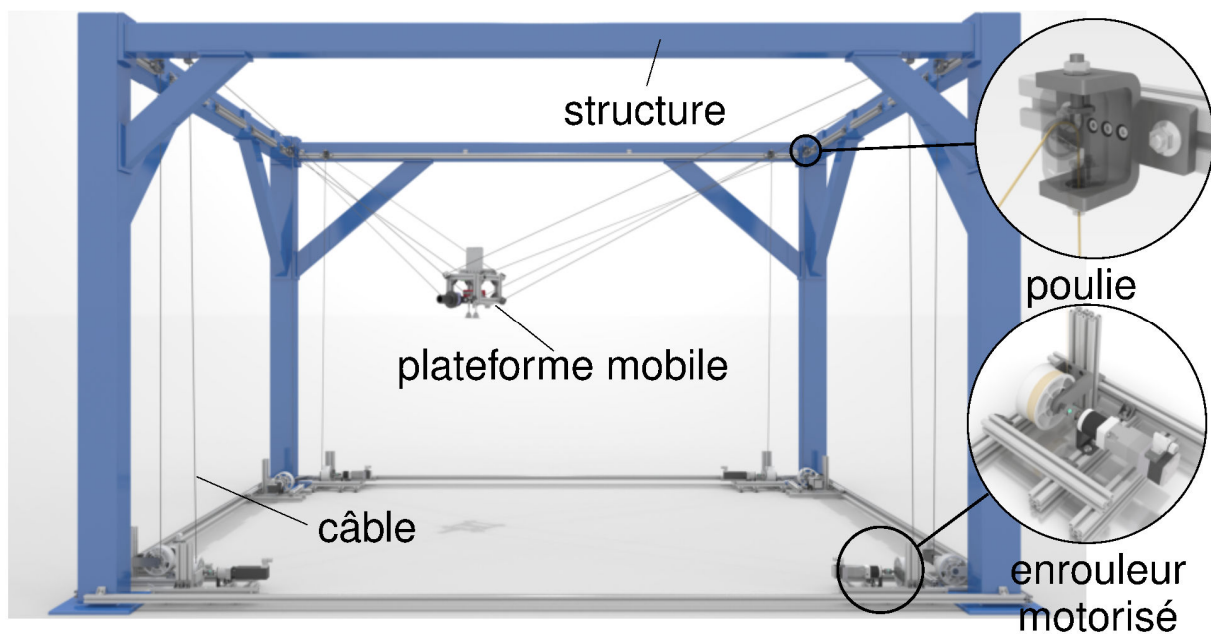


Figure 1 - Éléments constitutifs d'un Robot Parallèles à Câbles

Le système complet demandé consiste en un Robot Parallèle à Câbles (RPC) permettant de couvrir de grands espaces, avec une capacité de charge importante, transportable et reconfigurable.

Le système est constitué de 3 ensembles mécaniques principaux :

1. un ensemble de 8 blocs enrouleurs motorisés constituant l'actionnement du système
2. un ensemble de 4 éléments de structures de type poteaux transportables constituant le bâti du système.
3. une plateforme mobile

Chacun des 4 poteaux est doté de poulies permettant d'acheminer le câble depuis les enrouleurs motorisés vers la plateforme. La base des poteaux doit permettre

d'accueillir 1 ou 2 blocs enrouleur motorisés. Les câbles actionnés par les enrouleurs se connectent à la plateforme mobile comme vu dans la Figure 2.

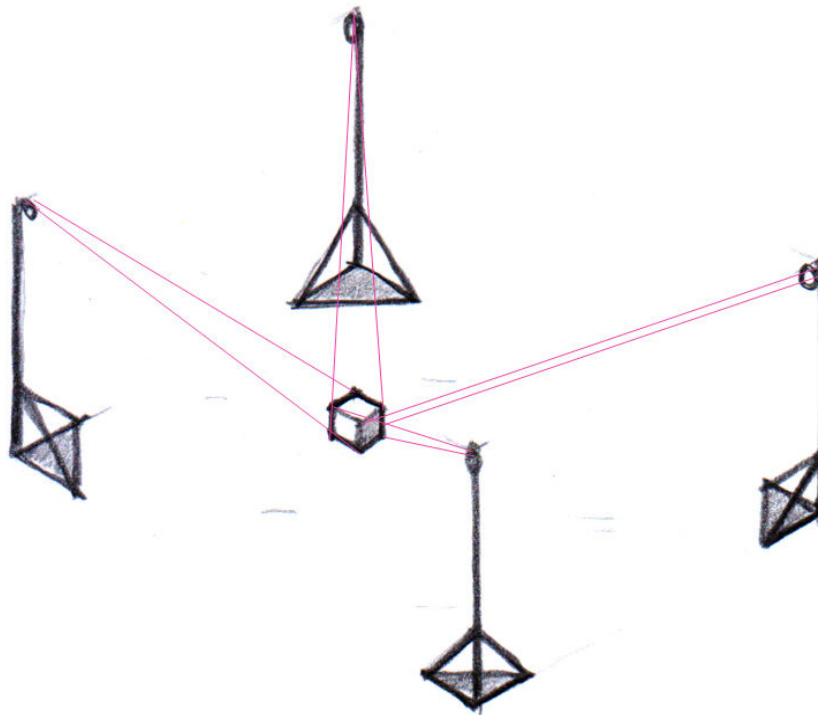


Figure 2 - Concept visé

Le prototype doit permettre un fonctionnement selon différentes configurations. Une configuration correspond à un agencement des poteaux et à un arrangement particulier des câbles. La configuration du RPC doit pouvoir être modifiée pour répondre au besoin de différentes applications. Les trois configurations visées sont décrites dans la Figure 3.



Figure 3 - Configurations visées

En termes de configurations envisagées, on distingue 3 configurations principales :

- UC1 : Handling

La configuration *UC1 – Handling* est une configuration dite « suspendue » où tous les câbles du robot ont des points de sortie au-dessus de l'espace de travail visé.

Cette configuration est considérée pour des tâches de prise et dépose d'objets de grande masse et/ou dimension dans des grands volumes.

- UC2 – Additive Manufacturing

La configuration *UC2 – Additive Manufacturing* est une configuration dite « pleinement contrainte », où quatre câbles ont des points de sortie au-dessus de l'espace de travail et quatre câbles ont des points de sortie en dessous de l'espace de travail. Cette configuration permet de générer des efforts dans toutes les directions au niveau de la plateforme mobile.

Cette configuration est envisagée pour des opérations manufacturières comme de la soudure, de l'usinage ou de la fabrication additive.

- UC3 – Façade

La configuration *UC3 - Façade* est une configuration qui peut être utilisée soit en suspendue, soit en pleinement contraint en fonction des besoins. La particularité de cette configuration est que les poteaux sont rapprochés pour couvrir un espace dont la profondeur est moins importante. Cette configuration a pour objet le transport de matériel ou l'utilisation d'outils le long de grandes surfaces planes du type façades de bâtiments.

Le prototype doit comporter sa propre structure constituée de poteaux démontables et transportables.

En plus des différentes configurations, il est envisagé que le prototype puisse s'utiliser en s'appuyant sur différents types de structure comme présenté à la Figure 4.

Le prototype doit aussi permettre de monter les enrouleurs et poulies sur des structures existantes tel qu'un bâti, fixé sur la structure d'un bâtiment, ou bien fixé sur des moyens de levage adaptés pour tenir en hauteur les poulies permettant le guidage des câbles.

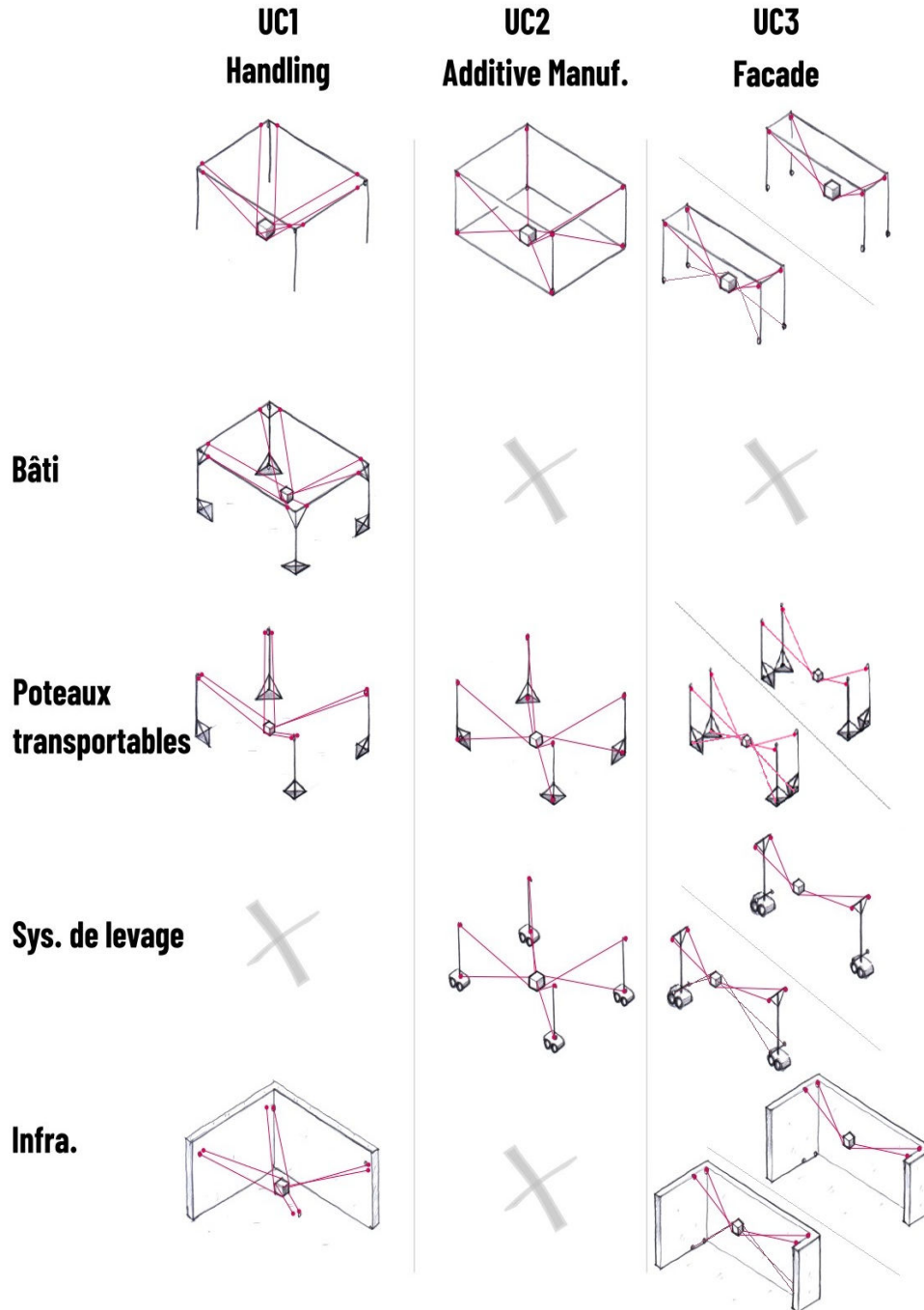


Figure 4 - Structures support

I.1 Ensemble de 8 blocs enrouleurs motorisés

Le principal élément de l'actionnement du prototype est le bloc enrouleur motorisé. Ici, on recherche une solution intégrée où la motorisation, la réduction et transmission de mouvement et le tambour de l'enrouleur avec ses sous-systèmes mécaniques sont tous contenus dans une enveloppe prismatique comme présenté sur la Figure 5.

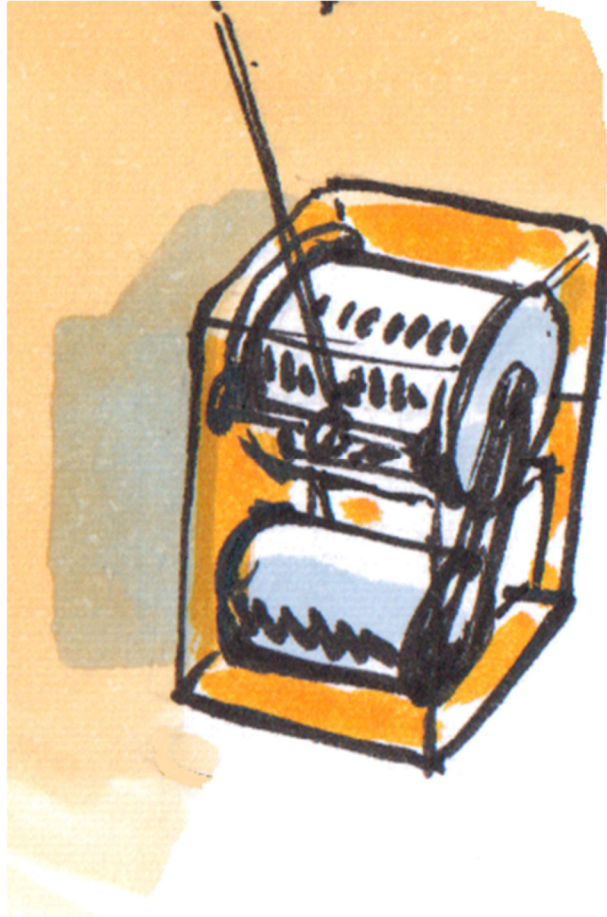


Figure 5 - Concept du bloc enrouleur

De cette manière, le bloc enrouleur, peut-être installé ou démonté à différentes positions pour satisfaire les différentes configurations et s'adapter à différents types de supports.

- Dimensions

L'empreinte au sol du bloc « enrouleur motorisé » ne doit pas dépasser 800 mm x 1200 mm (palette europe) et ne doit pas avoir une masse supérieure à 300 kg.

- Bus de communication

Le système de communication principal assurant la communication entre le maître Temps Réel et différents éléments du système (variateurs, actionneurs, capteurs ...) doit reposer sur le bus de terrain EtherCAT pour permettre l'interconnexion et le pilotage de systèmes supplémentaires.

Le système doit en outre permettre le codage de fonctions de sécurité via EtherCAT (comme TwinSafe par exemple).

I.1.1 Enrouleurs

- Enroulement et trancanage

L'enrouleur doit permettre un enroulement régulier sur un tambour de la totalité de la longueur de câble à stocker, soit 40 m, à un rayon d'enroulement constant et connu. En outre un système de trancanage doit permettre l'enroulement/déroulement régulier du câble sur une seule couche.

- Rainures

Le rainurage du tambour doit permettre l'enroulement de câble d'un diamètre compris entre 10 et 30 mm.

- Puissance et capacités

Les enrouleurs doivent avoir une puissance mécanique nominale disponible de 15 kW minimum.

Idéalement, deux points de fonctionnement au niveau des enrouleurs sont attendus (par exemple grâce à un réducteur ou un tambour différent) :

Fonctionnement A : 1000 daN de tension dans le câble avec une vitesse de 1.5 m/s.

Fonctionnement B : 500 daN de tension dans le câble avec une vitesse de 3 m/s.

A défaut, le système doit proposer au moins le fonctionnement A.

Le changement d'un point de fonctionnement doit pouvoir se réaliser en 2 journées de 8h avec des outils mécaniques standards et des outils légers de manutention pour l'ensemble des moteurs.

- Point de sortie du câble

L'enrouleur doit proposer une poulie de sortie orientable avec deux modes de fonctionnement :

- 1 - Vers une autre poulie située en hauteur, à l'aplomb de l'enrouleur.
- 2 - Directement vers la plateforme mobile

- Fonction transfert de signal et d'énergie

L'enrouleur doit intégrer un système permettant de faire transiter des signaux et de l'énergie jusqu'à la plateforme mobile par les câbles enroulés et déroulés.

Les câbles de traction utilisés doivent être en outre dotés d'une âme constituée de, soit :

- Un conducteur avec isolant
- Un tuyau pour le passage d'air sous pression (flexible pneumatique 6-4)
- Un câble RJ45 (CAT6 ou SFTP) ou d'une paire de fibre optique (type OM3)

En outre :

- 5 des enrouleurs doivent permettre le transport d'énergie via un unique conducteur métallique isolé tressé dans le câble de traction enroulé. On

souhaite véhiculer du triphasé (Phase 1, Phase 2, Phase 3, Neutre, Terre) via des conducteurs de section 10 mm² (diamètre 5.6mm).

- 1 enrouleur doit permettre le transport d'énergie pneumatique via un flexible de 6-4 mm.
- 2 enrouleurs doivent permettre le transport de signal au travers de câbles RJ45 SFTP ou de fibre optique (type OM3 minimum).

I.1.2 Motorisation

- Système de freinage

Les motoréducteurs doivent être dotés d'un système de freinage garantissant un couple de freinage de 1.5 fois le couple de maintien en pointe.

I.1.3 Capteurs

- Mesure de la position angulaire

Les motoréducteurs doivent être dotés d'un système de mesure de l'angle de l'arbre du tambour avec une précision minimum de 0.01 rad.

- Mesure de la tension dans le câble

Le système mécanique de l'enrouleur doit être doté d'un système de mesure de la tension mécanique dans le câble déroulé (à la sortie du tambour).

- Mesure de la longueur de câble déroulé

Le système mécanique de l'enrouleur doit être doté d'un système de mesure de la longueur de câble déroulé, précis au millimètre près (par exemple en instrumentant le tambour d'un codeur supplémentaire).

I.2 Plateforme mobile et bâti support

Le second élément constitutif du prototype est la Plateforme Mobile (PM) du robot. Le concept de cette PM est présenté à la Figure 6 - Concept de la Plateforme Mobile Figure 6.

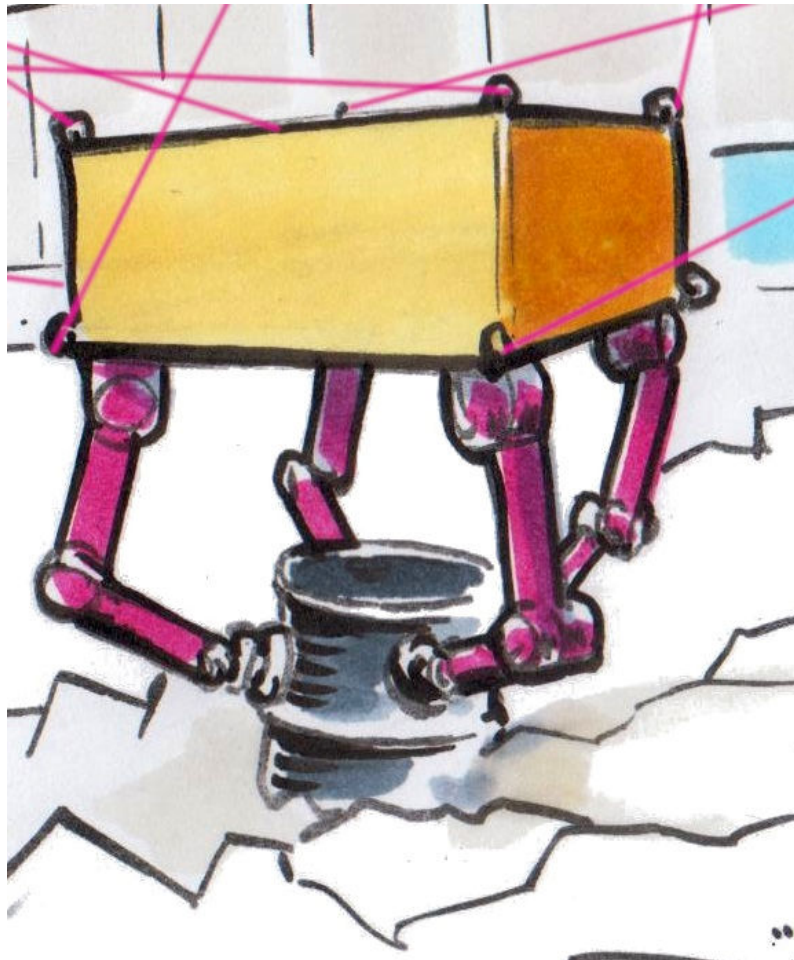


Figure 6 - Concept de la Plateforme Mobile

La PM du prototype est constituée d'un cadre en acier de forme parallélépipédique de dimensions 1,5 m par 1,5 m de côté et 1 m de hauteur.

Les câbles de traction actionnés par les enrouleurs doivent pouvoir s'attacher à la PM de manière démontable mécaniquement en 1h pour l'ensemble des 8 câbles. Les points d'ancrages des câbles sur la PM doivent pouvoir être modifiés.

La PM accueillera des capteurs et des systèmes mécaniques tels que des outils. Les systèmes embarqués doivent pouvoir se connecter au reste du prototype. Il doit en outre y avoir une connexion électrique de puissance, pneumatique et de signal (type RJ45) entre le bâti et la PM. Ces connexions transiteront via les câbles de traction (voir section [I.1 Ensemble blocs enrouleurs motorisés](#)). A défaut, un système d'ombilical doit permettre l'acheminement de ces connexions sur la PM.

La PM doit recevoir un système de préhension XXL constitué de bras manipulateurs industriels montés sur une plaque tel qu'illustré à la Figure 7. Le système *Big Hand* est développé par le laboratoire Institut Pprime qui fait l'objet d'un autre Appel d'Offre.

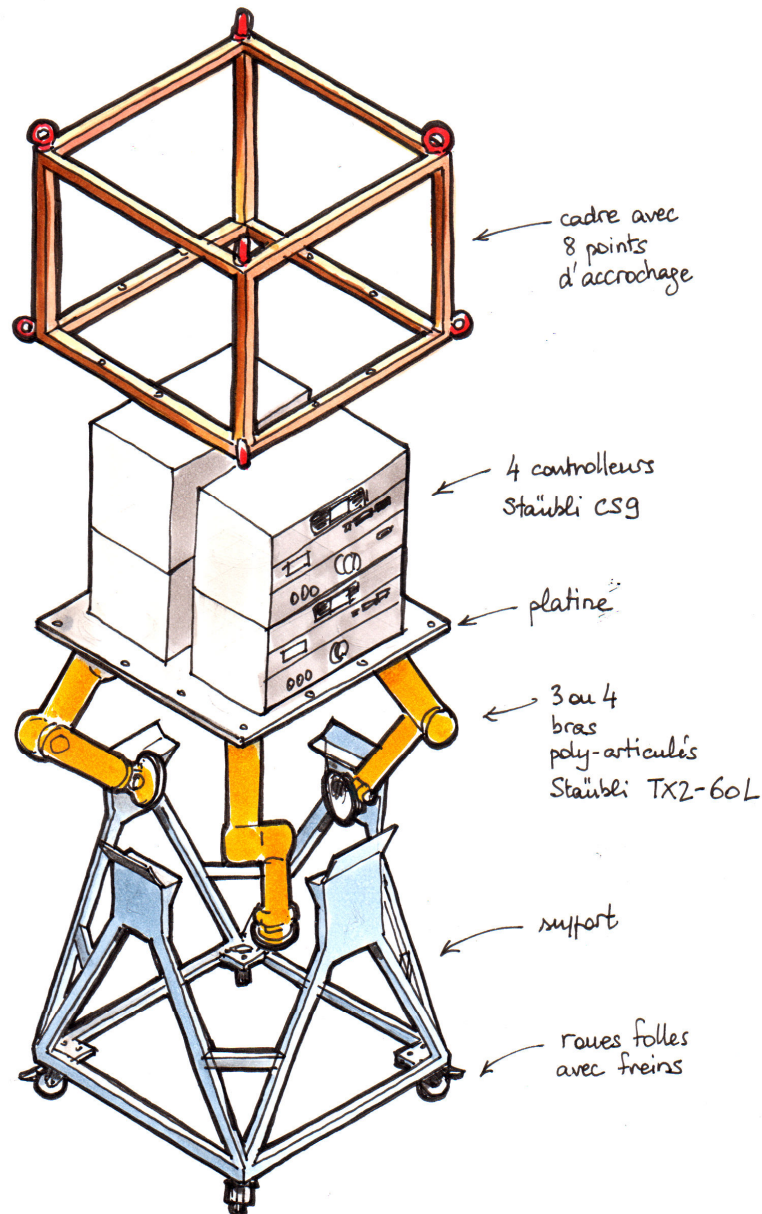


Figure 7 - Éléments composants la plateforme mobile

1.3 Éléments de structure constituant le bâti

Le troisième élément est une structure visant à englober l'espace de travail du robot et faire évoluer sa plateforme mobile dans cet espace.

Cette structure comprend à la fois les différentes poulies guidant les câbles du robot, et l'armature supportant lesdites poulies, ainsi que les actionneurs et enrouleurs des câbles.

La structure doit être déplaçable, les éléments de structure doivent pouvoir se démonter et être transportés vers un autre site expérimental.

- Configurations et dimensions

La structure doit pouvoir être utilisée dans trois configurations différentes avec des dimensions d'espace de travail et des configurations de câbles différentes :

- une pour un espace de travail de 30 m x 20 m x 10 m en configuration suspendue (UC1),
- une pour un espace de travail de 30 m x 20 m x 10 mètres en configuration pleinement contrainte (UC2).
- une pour un espace de travail de 30 m x 2 m x 10 m en configuration pleinement contrainte ou suspendue (UC3)

- Fonctionnement à mi-hauteur

Les structures doivent également permettre de couvrir un espace de travail d'une hauteur de 5m sans éléments structurels plus haut que 5m50.

- Modularité et types d'installation

La structure doit être modulaire afin de pouvoir, selon les besoins, être déployée en tant que poteaux supportant les actionneurs et le guidage des câbles, ou en tant que modules à fixer par exemple sur la structure d'un bâtiment déjà existant.

- Tension et vitesse de câble

La structure doit être capable de résister à une tension minimum de 15 000 N dans chaque câble, ces derniers pouvant être orientés dans n'importe quelle direction au sein de l'espace de travail et donc appliquer des efforts dans différentes directions sur la structure. Elle doit également être capable de supporter une vitesse de déroulement/enroulement des câbles de 1 à 3 mètres par seconde en sortie.

- Montage et démontage

La structure doit pouvoir être montée ou démontée en un jour de travail.

- Manutention

Les éléments de structure doivent pouvoir être manipulés par un gerbeur.

- Poids et dimensions maximaux

Les éléments, une fois démontés, doivent mesurer, séparément au maximum 5 m x 2 m x 2 m et peser 500 kg.

- Travail en extérieur

La structure doit pouvoir être utilisée en extérieur dans le cas de la configuration en poteaux. Elle doit être capable de résister à la pluie et à des vents de 30 km/h maximum.

I.4 Garantie

La période de garantie est au moins égale à 3 ans pièces, main d'œuvre et déplacements compris à compter de la réception définitive de l'équipement. Elle doit couvrir l'ensemble des équipements installés par le Titulaire. Elle subviendra à toute panne qui n'est pas liée à une erreur de manipulation.

La garantie doit assurer, le cas échéant, la mise à jour des logiciels, la mise à jour des systèmes informatiques et interfaçages en cas de panne et d'impossibilité de trouver sur le marché du matériel compatible. Le délai d'intervention en cas de panne ne doit pas dépasser 72h.

Une assistance téléphonique doit aussi être fournie pendant la période de garantie.

II Livraison, installation et admission de la prestation

II.1 Livraison et installation

Le titulaire assure sous son entière responsabilité, le transport, l'installation et la mise en service de l'ensemble du matériel sur le site.

Les coûts de douane, d'expédition, de transport, d'assurance de transport et les taxes sont à la charge du titulaire.

Le délai de livraison maximal est de 6 mois à compter de la date de notification du marché.

Le matériel est livré, à une date qui aura été convenue entre les parties, à une adresse sur l'agglomération nantaise qui sera communiqué ultérieurement au titulaire.

Le délai d'installation et de mise en service maximal est de 1 mois à compter de la date de livraison.

II.2 Admission de la prestation

Les opérations de vérifications nécessaires à l'admission des prestations se font selon les modalités suivantes :

- Vérification du bon fonctionnement des enrouleurs
- Essai de capacités de traction en force et en vitesse pour vérifier les critères techniques du CCTP.

Après la déclaration de fin d'installation du matériel par le fournisseur, celui-ci procède, dans les 15 jours calendaires suivants, aux tests pour prononcer la réception du prototype, objet du marché d'acquisition.

Ces tests, d'une durée maximale de 30 jours calendaires, ont pour but de vérifier la bonne adéquation du matériel livré avec d'une part les spécifications annoncées par le fournisseur lors de sa réponse au présent cahier des charges, et d'autre part, les exigences de l'unité CNRS.

A l'issue de cette vérification d'aptitude, suivie de la vérification de service régulier, la réception de la prestation, objet du présent marché, pourra être prononcée.