



DELEGATION BRETAGNE ET PAYS DE LA LOIRE

CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIERES CCTP 2025-10-1

Dimensionnement, conception et livraison de huit ensembles motoré-ducteurs et de leurs contrôleurs pour le projet ANR-TITANBOT

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

Cadre du projet

Dans le cadre du projet TITANBOT (ANR Défi Transfert Robotique), le Laboratoire des Sciences du Numérique de Nantes (LS2N, UMR 6004) prend en charge l'acquisition de moteurs pour la conception d'un démonstrateur de robot parallèle à câbles. A terme, ce robot doit permettre de faciliter des opérations de déplacement de matériel et outils (sacs de ciment, outils..) entre différents étages d'un bâtiment en construction, limitant ainsi les opérations qui exposent les salariés à la fatigue, aux troubles musculo-squelettiques, aux risques d'accidents et qui représentent une partie importante du temps de production du chantier.

L'objectif du projet est de concevoir et développer un démonstrateur de robot parallèle à câbles comportant 8 câbles et entraînant une nacelle de 250 kilogrammes charge comprise qui évolue sur la façade d'un bâtiment en construction. Ce cahier des clauses techniques particulières porte uniquement sur la partie motorisation de ce futur démonstrateur. Cette motorisation est composée de 8 blocs moteur-réducteur regroupés en 2 groupes de 4.

Sommaire

I Caractéristiques des équipements de base demandés	4
I.1 Ensemble de 8 blocs moteur-réducteur.....	4
I.1.1 Motoréducteurs	5
I.1.2 Codeurs.....	5
I.1.3 Contrôleur et variateurs	5
I.1.4 Chaîne de sécurité	6
I.1.5 Architecture globale, communication et interfaces	6
I.1.6 Garantie et SAV	7
II Livraison, installation et admission de la prestation.....	7
II.1 Livraison et installation.....	7
II.2 Admission de la prestation	7

I Caractéristiques des équipements de base demandés

Descriptif général

Le présent appel d'offre a pour objectif l'acquisition et la maintenance d'ensembles moteurs-réducteurs pour la conception d'un Robot Parallèle à Câbles (RPC) répondant au cas d'usage décrit en introduction.

I.1 Ensemble de 8 blocs moteur-réducteur

Le bloc moteur-réducteur (motoréducteur) est placé en amont de l'enrouleur de câble dans la chaîne d'actionnement d'un RPC. Il permet de contrôler la longueur des câbles. On recherche ici une solution pouvant s'intégrer dans un bloc prismatique le plus compact possible comprenant le motoréducteur, le tambour et les capteurs. Une vue des éléments de motorisation requis est visible Figure 1.

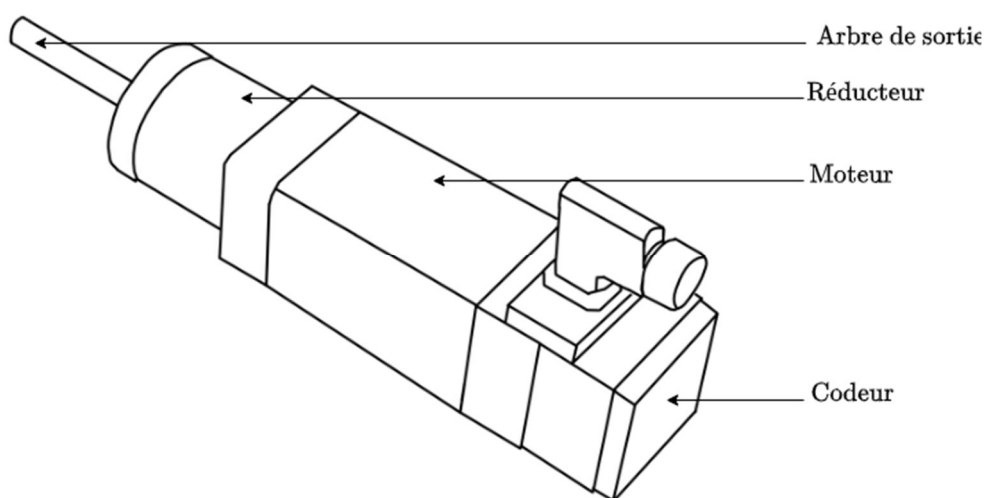


Figure 1 : Vue du bloc motoréducteur demandé. La figure ne montre pas de frein même si celui-ci fait partie du bloc motoréducteur.

- Énergie disponible

Les moteurs doivent pouvoir être alimentés soit :

- 1- En 230V 50Hz monophasé - 32A – Protection 30mA
- 2- En 400V 50Hz triphasé - 32A – régime de neutre TT – Protection 30mA

- Travail en extérieur

Les blocs de motorisation doivent pouvoir fonctionner en extérieur, sur un site de construction potentiellement exposé à des poussières ainsi qu'à des intempéries : pluie, brouillard... Une protection IP65 est donc requise. Le travail en extérieur peut également impliquer des écarts de température importants ; l'ensemble motoréducteur requis doit donc pouvoir fonctionner par des températures hivernales comme estivales (plage indicative de -10°C à 40°C).

- Montage et démontage

La maintenabilité de l'ensemble devra être prise en compte, en permettant le montage et démontage simple des différents éléments.

- Dimensions

Les blocs de motorisation (moto-réducteur hors axe) doivent avoir des dimensions comprises dans une enveloppe prismatique de 700 mm de longueur, 250 mm de largeur et 280 mm de hauteur maximum. L'arbre de sortie doit avoir un diamètre de 55k6 mm pour une longueur indicative de 82 mm.

I.1.1 Motoréducteurs

- Puissance et capacité de charge

Les éléments de motorisation doivent pouvoir fournir un couple nominal en sortie du bloc motoréducteur d'au moins 700 Nm en continu (« rated torque »).

Vitesses nominales de rotation de l'arbre de sortie du bloc motoréducteur : au moins 45 tours par minute (« rated speed »).

Puissance du moteur : plage indicative de 3,5 kW à 4 kW.

- Système de freinage

Les motoréducteurs doivent être dotés d'un système de freinage courant coupé garantissant un maintien face à un couple exercé sur l'arbre de sortie de 800 Nm minimum.

- Câbles puissance/codeur

Les câbles moteur doivent être d'au moins 10 mètres de long.

Un câble unique puissance+codeur serait un plus.

I.1.2 Codeurs

Mesure de la position angulaire : les motoréducteurs doivent être dotés d'un système de mesure de l'angle. Il est indispensable de pouvoir disposer de la position courante des axes même après une coupure de courant, seuls des codeurs absolus sont adaptés. On souhaite ici utiliser des codeurs multi-tours, dimensionnés pour une résolution angulaire inférieure à 6 milliradians pour 40 tours.

I.1.3 Contrôleur et variateurs

Un contrôleur embarquant un noyau temps réel est requis, de type PC industriel, fonctionnant sous Windows ou Linux. Celui-ci doit prévoir suffisamment de ports Ethernet pour assurer la communication avec un PC externe pour la programmation, la communication avec les variateurs et avec les cartes d'entrées/sorties.

Deux modes de fonctionnement sont prévus pour la commande du robot, la solution retenue pour le contrôleur des moteurs doit permettre d'implémenter dans un environnement logiciel dédiée :

- Une commande en boucle temps réel, interne au noyau, permettant de contrôler le RPC en position à partir de données sur la position et l'orientation de sa plateforme mobile. Le noyau doit permettre d'exécuter un code C++ déjà développé pour le pilotage des positions angulaires des moteurs.
- Une commande externe, basée sur la communication avec un ordinateur externe centralisant les mesures de capteurs et fournissant directement les positions axiales des moteurs au noyau. On souhaite ici garantir un temps de cycle de l'ordre de 1 ms via une communication Ethernet (protocole au choix).

L'environnement logiciel doit ainsi permettre l'ajout de code et de fonctions particulières au fonctionnement d'une commande de RPC. Un environnement de développement logiciel permettant l'ajout de de bibliothèques de fonctions externes (par exemple, bibliothèque C++ Eigen) serait souhaitable.

Les variateurs proposés doivent permettre d'optimiser les performances des moteurs.

I.1.4 Chaîne de sécurité

Un contrôleur de sécurité est souhaitable, pour l'implémentation des fonctions de « safe motion » (type SS1, SS2).

Pour cela, il est souhaitable également que soient proposés :

- Des variateurs compatibles avec l'implémentation de fonctions de « motion safety » (type SS1, SS2).
- Des E/S de sécurité (leur nombre est détaillé ci-dessous).
- Des codeurs intégrés aux moteurs compatibles avec l'implémentation de fonctions SAFE (type Safe Position) et SAFE motion / SAFE drive (type SS1 ou SS2).

Dans l'ensemble, cette chaîne de sécurité doit être certifiée PLd / SIL 2 ou plus.

Une architecture -classique- en deux réseaux séparés dont un pour la sécurité, est illustrée ci-dessous. Si possible, nous privilégierons cependant une architecture qui minimise le nombre de câbles, en utilisant pour la sécurité les mêmes câbles Ethernet que pour la commande.

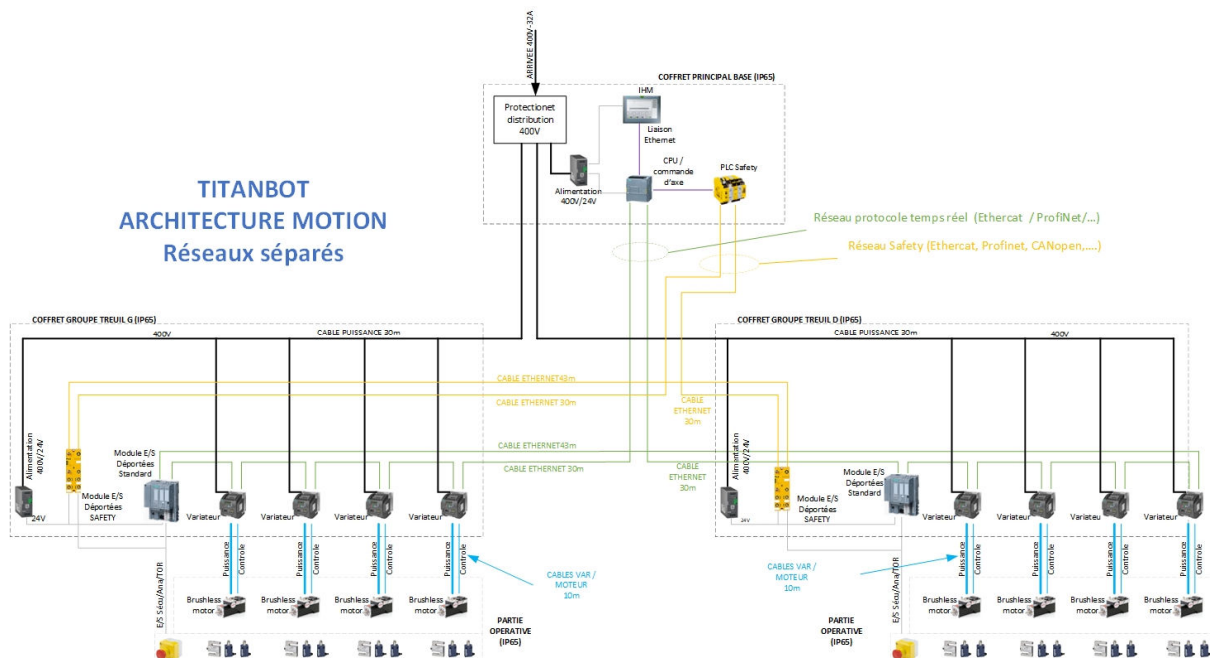


Figure 2 : architecture globale en deux réseaux séparés

I.1.5 Architecture globale, communication et interfaces

La commande des motoréducteurs doit pouvoir se faire via un bus EtherCAT ou équivalent, reliant les variateurs à un noyau temps réel central (PC industriel) et opérant à une fréquence permettant un contrôle en temps réel du robot.

En conclusion, nous souhaitons disposer de l'ensemble des éléments listés ci-dessous ou le cas échéant, d'éléments réalisant les mêmes fonctions en cas de proposition d'une architecture alternative :

- 1 automate/PC industriel pour héberger le noyau temps réel.
- 1 contrôleur de sécurité (safety CPU).
- Un ensemble de variateurs pour le contrôle des 8 moteurs avec un minimum de 2 variateurs, compatibles avec des fonctions de type safe motion / safe drive (SS1, SS2) et 8 câbles variateur/moteur.

- Des modules d'entrées/sorties avec au total 16 entrées analogiques, 16 entrées numériques, 8 sorties analogiques, 12 sorties numériques.
- Des modules d'E/S SAFE avec au total 32 entrées et 16 sorties.
- Le nombre d'alimentations 400V / 24 V / autres voltages nécessaires au fonctionnement de l'ensemble des composants, en constituant 3 ensembles : un par bloc de quatre moteurs et un pour les contrôleurs centraux et l'interface utilisateur.

I.1.6 Garantie et SAV

La période de garantie est au moins égale à 2 ans à compter de la réception définitive de l'équipement. Elle doit couvrir l'ensemble des pièces fournies par le Titulaire. Elle subviendra à toute panne qui n'est pas liée à une erreur de manipulation.

La garantie doit assurer 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 de 72h est souhaité.

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

I.2 Formation à l'utilisation de l'environnement

Formation d'une partie de l'équipe projet (5 personnes) à l'installation et l'utilisation de l'environnement logiciel, la programmation des contrôleurs pour la commande des moteurs (formation motion), l'implémentation de fonctions de sécurité de base (formation SAFE) et l'implémentation de fonctions de sécurité plus avancées (SAFE motion). La formation peut être effectuée sur le site de livraison sur une durée de 3 à 5 jours après la réception du matériel

II Livraison, installation et admission de la prestation

II.1 Livraison et installation

Le fournisseur assure sous son entière responsabilité le transport 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 fournisseur.

Le délai de livraison idéal est de 2 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 l'adresse suivante entre 9h et 12h ou entre 14h et 16h :

IRT Jules Verne - Projet TITANBOT
1 mail des 20000 lieues
44300
Bouguenais

II.2 Admission de la prestation

Livraison conforme de tous les équipements et documentations techniques.