Direction de la Commande Publique
42, rue Paul Duez
59000 LILLE
dcp-recherche@univ-lille.fr

CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIERES
C.C.T.P. n° RITMEA262

Cahier des charges pour la conception, fabrication et livraison d'un chariot cavalier réduit (échelle 1/5ème) robotisé et instrumenté pour le laboratoire CRIStAL dans le cadre du CPER RITMEA

CONTEXTE

Cette sollicitation entre dans le cadre du dépôt de projet CPER 2026 (phase septembre), auprès de la Région des Hauts-de-France et de l'Etat pour une demande de financement.
A compter de cette date, le dossier sera étudié par les différents services de la Région avant validation, qui interviendra au plus tard fin 2026.
Afin de respecter ce calendrier, votre offre doit impérativement être valable jusqu'au 28 février 2027.

Le présent marché s'inscrit dans le cadre du CPER RITMEA (*Contrat de Plan État-Région « Recherche et Innovation en Transports et Mobilité Eco-responsables et Autonomes* »), axe 4 : Gestion opérationnelle, mobilité et logistique Internet des objets, manufacturing et plus particulièrement le projet CASENE (https://www.frttm.fr/ritmea). Il vise à doter le laboratoire CRIStAL (https://www.cristal.univ-lille.fr/) d'un chariot cavalier portuaire réduit à l'échelle 1/5ème, conçu pour des applications de recherche en robotique mobile, logistique portuaire et tests en milieu contrôlé. Typiquement les objets à prendre et à déplacer par le robot en taille réduite sont des containers à échelle réduite 1/5ème *(détails au paragraphe 2.4 du présent document)*.

Direction de la Commande Publique
42, rue Paul Duez
59000 LILLE
dcp-recherche@univ-lille.fr

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

L'ensemble des caractéristiques énoncées ci-dessous fera l'objet d'une analyse selon les critères d'attribution indiqués dans le Règlement de la Consultation.
Les équipements devront répondre à minima aux caractéristiques obligatoires et les précisions demandées devront être indiquées dans le mémoire technique du candidat.
Les matériels doivent répondre aux normes et réglementations en vigueurs au moment de l'achat, avec un marquage CE obligatoire pour toute marchandise provenant de l'extérieur de l'Union Européenne.

L'Université de Lille met en œuvre un grand plan de transition écologie. Par conséquent, les candidats sont invités à présenter des matériels respectueux de l'environnement, avec des consommations les plus faibles possibles.
Chaque candidat est invité à détailler les caractéristiques spécifiques du matériel en faveur de l'environnement (consommation électrique, en eau, réduction des dosages, déchets, durée des cycles…).

1) Objectifs

Les candidats à cet appel d'offres devront satisfaire aux exigences techniques définies ci-après, afin d'atteindre les objectifs poursuivis par le pouvoir adjudicateur :

- **Conception et réalisation d'un chariot cavalier réduit**, reproduisant les fonctionnalités d'un chariot industriel standard, mais adapté à une utilisation en laboratoire (sur piste d'essais du campus de la cité scientifique et en intérieur dans les salles de robotique de la plateforme PRETIL https://www.cristal.univ-lille.fr/pretil/).

- **Instrumentation du chariot** avec des capteurs de perception de l'environnement et de localisation pour des applications de navigation autonome.

- **Intégration d'un système de pilotage** via bus CAN pour une compatibilité avec les infrastructures existantes. Le laboratoire se chargera d'écrire le code PC sous ROS2 qui assurera le contrôle commande et la navigation.

- **Mobilité et compacité** : Le chariot devra pouvoir circuler de manière holonome dans toutes les directions en extérieur et en intérieur et notamment franchir des portes standard (hauteur ≤ 2,00 m) et saisir des containers à échelle réduite et les empiler *(détails au paragraphe 2.4 du présent document).*

L'image suivante extraite de Wikipedia (https://fr.wikipedia.org/wiki/Chariot_cavalier) donne un exemple réel de chariot cavalier sur un port de commerce :



source : Par AlfvanBeem - Travail personnel, CC0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=21424585

2) Spécifications techniques

2.1 Dimensions et Échelle

Les dimensions décrites ci-dessous sont celles de la solution de base.

- **Échelle :** Environ l'équivalent de 1/5ème par rapport à un chariot cavalier standard mais en prenant en compte les contraintes de dimension ci-dessous. Sauf indication contraire, l'indice de protection minimum du chariot cavalier sera IP55.

- **Encombrement :** Le système complet devra être capable de circuler dans les couloirs d'un bâtiment et de passer des portes de 2,03 mètres de hauteur et de 1,30 mètre de largeur. Il devra également être capable de se positionner au-dessus d'un autre robot disponible au laboratoire (RobucarNG) qui fait 122 cm de large et 200 cm de long sur 78 cm de haut. Il est prévu de réaliser des expérimentations où l'objet attrapé par le chariot cavalier vient être déposé sur le dos du RobucarNG. Si d'un point de vue stabilité, ces dimensions étaient impossibles à respecter, le fournisseur le précisera dans son offre.

  Les deux schémas de gauche de la figure 1 de l'annexe du présent document illustrent ces contraintes.

- Le candidat proposera également des cales de sécurité sur les côtés pour éviter le basculement. Ces cales seront amovibles ou escamotables pour conserver l'encombrement décrit précédemment.

2.2 Système de Propulsion et Direction

- **Système de propulsion :** 4 roues motrices et directrices.

  Chaque roue disposera d'un moteur électrique de propulsion et sera orientable à +/- 90° (dans les deux sens) pour une maniabilité optimale en espace restreint et permettre des modes de translation de type « crabe »

  (Voir figure 2 de l'annexe du présent document).

- **Motorisation :** Moteurs électriques (type, puissance et couple à préciser par le fournisseur). Les porte roues seront équipés de suspension assurant un débattement de quelques centimètres afin de garantir une bonne tenue et un bon contact au sol, typiquement pour des défauts de sol de 5cm. Le chariot sera aussi capable de franchir des obstacles de 10 cm (par exemple un trottoir ou un rail de chemin de fer sur un port) et circuler dans des lieux avec une pente de 10 %.

- **Normes de vitesse et d'accélération à respecter :** ce type d'engin évolue dans des scénarios très basse vitesse, ainsi, le système devra être commandable précisément sur de petites vitesses pouvant descendre jusqu'à 5cm/s. La vitesse maximale sera de 10 km/h (plage de fonctionnement de 5 cm/s à 277cm/s). La vitesse nominale est de 5 km/h. L'accélération et la décélération maximale doivent être réglables comme des paramètres dans le calculateur afin de garantir la stabilité de l'engin en mouvement. Typiquement les valeurs par défaut à la livraison seront de 1m/s^2 pour éviter un basculement du robot avec charge. Le calculateur embarqué assurant le contrôle commande fera en sorte de brider la dynamique de l'engin à ces niveaux maximaux d'accélération et de freinage. Également, en fonction de la dynamique de mouvement, il pourra limiter les accélérations à des niveaux plus faibles (par exemple dans des situations d'accélération avec mise en rotation des directions).

2.3 Système de Freinage

- **Double système de freinage :**
  - Freinage par récupération d'énergie électrique (régénératif) pour une efficacité énergétique.
  - Freinage hydraulique comme système redondant pour la sécurité.
- **Contrôle intégré :** Les deux systèmes doivent être pilotables via le bus CAN.

2.4 Système d'Accroche et de préhension des objets

- **Mécanisme :** Actionnable via un moteur électrique ou un vérin hydraulique ou autre solution (le choix final sera précisé par le fournisseur dans son offre).
- **Compatibilité :** Doit permettre la prise et le transport d'objets représentatifs des charges manipulées en contexte réel. Les objets visés actuellement sont des maquettes de containers maritimes 20 pieds à l'échelle 1/5ème
  - Hauteur de 52 cm, largeur de 49 cm et longueur 120 cm.
  - La charge utile maximale admissible est de 200 kg.
- Un système permettant de monter et descendre le système de préhension doit être intégré au robot pour aller chercher les objets jusqu'au sol et assurer le transfert sur le RobucarNG. Ce système de préhension devra bien entendu être capable de saisir les containers de taille réduite, donc à une hauteur de 52 cm mais il pourra aussi descendre plus bas, idéalement jusqu'au sol mais au minimum jusque 30 cm au-dessus sol.

  Le troisième schéma de la figure 1 de l'annexe du présent document illustre ce besoin.
- Au niveau de la hauteur de dépose le système de préhension devra être capable de superposer 3 containers à échelle réduite, donc au minimum 156cm comme illustré dans **le schéma de droite de la figure 1 de l'annexe du présent document** et idéalement monter jusque 180cm.
- Le **système de préhension doit être démontable** pour être remplacé par un autre préhenseur développé par le laboratoire. Une platine d'accroche percée en trous M10 avec des plots de centrage sera installée en bout du système.

  La figure 3 de l'annexe du présent document fournit les cotes à respecter (400x300cm sur une épaisseur de 20mm).
- Le fournisseur livrera également **une caisse** (équivalent container 20 pieds de taille réduite) avec les systèmes d'accroches représentatifs à l'échelle 1/5 de dimension : longueur 120cm, largeur 49cm et hauteur 52cm.

2.5 Instrumentation

L'ensemble de l'instrumentation sera fourni avec un indice de protection IP65 (complètement protégé contre la poussière et protégé contre les jets d'eau puissants de toutes les directions).

Capteurs de perception de l'environnement :

- Intégration mécanique et câblage de **deux LIDAR 32** nappes à l'avant et à l'arrière de marque OUSTER et fournis par le laboratoire, le fournisseur précisera dans son offre l'emplacement idéal sur la structure pour la détection des obstacles autour du robot prenant en compte l'encombrement du système mécatronique.
- Fourniture d'un **système de perception caméra 360°** de type StereoLabs de préférence avec ressources de calculs GPU et intégration sur le robot.

Capteurs de localisation :

- Le chariot cavalier disposera également d'un **système de localisation GNSS/inertiel** qui sera fourni par le prestataire et permettant d'obtenir la pose 3D du véhicule et son orientation 3D. La précision du GPS doit être de l'ordre du centimètre donc un récepteur compatible avec la technologie RTK devra être utilisé. Le fournisseur détaillera les éléments du système de localisation dans son offre.
- Le robot aura également sur chaque roue un odomètre précis (encodeurs) idéalement avec une résolution du centimètre. Le fournisseur précisera dans son offre la résolution réelle de sa solution.

Puissance de calculs embarqué et réseaux :

- **Interface de données :** Transmission des données via le bus CAN ou un protocole complémentaire (ex : Ethernet, Wi-Fi) si cela semblait nécessaire.
- **Un PC embarqué** sera fourni par le prestataire et répondra aux critères suivants :
  - Processeur Intel Core i7 ou i9 ;
  - 64 Go RAM ;
  - 2 disques durs SSD NVME de 1 To chacun minimum ;
  - Processeur GPU NVIDIA avec 24 Go de mémoire vidéo ;
  - Interfaces réseaux RJ45 (nombre à préciser), ports série, wifi et carte CAN idéalement de la marque KVASER ;
  - Alimentation continue entre 12V et 48V

2.6 Pilotage, Contrôle et sécurité

- **Bus CAN :** Le chariot doit être pilotable via bus CAN pour l'envoi de commandes et la réception de données.
- **Interface utilisateur :** Un boîtier de contrôle de type télécommande et une interface logicielle doivent être fournis pour le pilotage manuel et la configuration des paramètres.
- **Autonomie :** Batteries rechargeables (technologie et capacité à préciser par le fournisseur). Durée minimale d'autonomie : 6 heures en utilisation continue.
- **Normes applicables :** Le chariot doit respecter l'état de l'art du domaine en matière de sécurité en vigueur pour les équipements mobiles autonomes et pour dans les directives machines.
- **Arrêt d'urgence :** Bouton physique déporté accessible pour un arrêt immédiat par exemple sur la base d'une solution Jay Electronique idéalement.
- **Signalisation :** Avertisseurs sonores et lumineux pour les phases de mouvement. Ces avertisseurs seront pilotables via la communication CAN et le laboratoire pourra les désactiver.
- **Armoire** avec coupe courant cadenassable, 2 boutons d'arrêt d'urgence sur le chariot de part et d'autre.
- **Compartiment système embarqué** : sortie Ethernet, HDMI, USB accessible par l'extérieur
- **Commande déportée sans fils** permettant de déplacer le robot avec mouvement avant arrière, latéral, rotation, crabe et équipée d'un arrêt d'urgence.

  Par exemple, idéalement un contrôleur Jay Electronique avec Joystick de type MOKA2 (https://jay-electronique.com/software/26) qui est compatible avec la directive machine 2006/42/CE – Arrêt d'urgence, SIL3 selon EN 61508 serait parfaitement adapté à cette spécification.

2.7 Livrables attendus

- **LIVRABLE 1 :**

  Le dossier de conception préliminaire doit comprendre :

  - Dossier d'étude et notes de calculs ;
  - CAO (format STEP au minimum), plans d'ensembles, plans d'usinage, nomenclature ;
  - Plans ;
  - Modélisation 3D ;
  - Fiches techniques des composants du robot ;
  - Manuel d'utilisation et de maintenance ;
  - Schémas électriques et électroniques ;
  - Protocoles de communication (bus CAN, autres interfaces) au format DBC ;
  - Annexe avec les documents techniques des équipements, capteurs, … ;
  - Manuel utilisateur.

- **LIVRABLE 2 :**

  Livraison finale, comprenant :

  - Le dossier de conception dans sa version finalisée ;
  - 1 chariot cavalier réduit conforme aux spécifications techniques ;
  - 1 télécommande de tests ;
  - 1 boîtier d'arrêt d'urgence déporté ;
  - 1 caisse avec système d'accroches ;
  - Logiciels :
    - Firmware embarqué pour le contrôle du chariot avec ses codes sources complets pour être modifié par la suite par le laboratoire ;
    - Interface de pilotage et de monitoring.

Direction de la Commande Publique
42, rue Paul Duez
59000 LILLE
dcp-recherche@univ-lille.fr

PRESTATIONS DU MARCHE

•GARANTIE

La garantie de l'équipement sera d'une durée de **2 ans minimum** à partir de la date d'admission du matériel. Elle sera incluse dans l'offre.

Elle portera sur les pièces détachées, la main-d'œuvre et les déplacements pour l'ensemble du matériel couvert par le marché ainsi que pour la partie informatique (matériel et logicielle).

Une assistance matérielle couvrant la période de garantie est exigée.

Cette assistance, sous forme de support téléphonique, devra pouvoir répondre à toute question relative au fonctionnement du système acquis. Le délai de prise en charge sera précisé dans l'offre du candidat ainsi que dans l'annexe à l'ATTRI1.

Elle inclura également à minima, sans supplément, une visite préventive et une ou des visite(s) curative(s). Une intervention corrective sur site sera effectuée par le titulaire selon le délai indiqué dans l'annexe à l'ATTRI1 en cas d'échec de la résolution de l'incident par le support technique téléphonique.

Le candidat présentera dans son offre une liste exhaustive des pièces détachées ainsi que leur coût. Il précisera la fréquence de remplacement (durée moyenne d'utilisation).

Il indiquera également si des pièces détachées de seconde main, à un coût réduit, sont disponibles.

Une extension de garantie incluse dans l'offre du candidat sans surcoût supplémentaire sera fortement appréciée.

•LIVRAISON, MISE EN ORDRE DE MARCHE ET VERIFICATIONS

Pour rappel, les livrables attendus sont précisés dans le paragraphe 2.7 ci-dessus.

Le présent cahier des charges comprend 2 livrables distincts, dont l'exécution est la suivante :

Notification + 4 mois (soit 80 jours ouvrés) :

Correspond au livrable 1. L'admission partielle, si elle est prononcée, permettra le paiement de 65% des sommes dues.

Dans un délai de quatre (4) mois, soit 80 jours ouvrés à compter de la notification du marché, le titulaire transmet au responsable du laboratoire le dossier de conception comprenant l'ensemble des éléments décrits au paragraphe 2.7 du présent cahier des charges.

Ce dernier procède, sur cette base, à une vérification de la conception.

Cette étape permet au laboratoire de contrôler la conformité de la conception aux exigences du présent cahier des charges, notamment au regard des contraintes du site (dimensions des portes et accès au bâtiment), et de demander, le cas échéant, les modifications nécessaires avant le lancement de la fabrication.

Une feuille de recette sera formalisée par le laboratoire, transmise au prestataire et validée par les deux parties. Des échanges pourront avoir lieu pendant 15 jours ouvrés à réception du livrable 1. La validation de cette feuille de recette permettra l'admission partielle du premier livrable et permettra le démarrage du délai de livraison du livrable 2, conformément à celui indiqué par le candidat dans l'annexe à l'ATTRI1.

Notification + délai précisé dans l'annexe à l'ATTRI1 par le candidat, correspondant à la livraison finale du marché (idéalement de 9 mois, soit 180 jours ouvrés) :

Correspond au livrable 2. L'admission finale, si elle est prononcée, permettra le paiement des 35% des sommes restantes dues.

Lors de la livraison finale de l'équipement, il est procédé, en présence du titulaire, aux vérifications fonctionnelles suivantes :

- la présentation de la prise en main de l'équipement, sur la base du manuel utilisateur remis par le titulaire ;
- des essais de pilotage réalisés par les membres de la plateforme PRETIL ;
- des tests fonctionnels destinés à vérifier la conformité du système aux spécifications techniques du présent cahier des charges, notamment les dimensions, la vitesse, la charge utile et le comportement mécanique lors de la saisie et du gerbage des containers.

Si l'ensemble des étapes de vérifications sont concluantes, le responsable du laboratoire prononcera l'admission du matériel.

Dans le cas contraire, le candidat est invité à indiquer dans l'annexe à l'ATTRI1 les différents délais sur lesquels il s'engage pour intervenir dans le cadre de corrections mineures et/ou majeures détectées lors des étapes de vérification.

•DOCUMENTATION

Le titulaire du marché fournira à la livraison sans supplément de prix un dossier technique complet en français et/ou en anglais (version électronique UNIQUEMENT), nécessaire à une utilisation et un fonctionnement correct du matériel livré ainsi qu'à son entretien courant (maintenance de 1er niveau).
Ce dossier inclura un mode opératoire, manuel pédagogique, schémas de principe et électriques, nomenclature des pièces détachées, ainsi que le visuel du pilotage de l'installation.
Le titulaire devra fournir les rectificatifs et mises à jour éventuelles du dossier technique aux mêmes conditions pendant toute la durée de la garantie contractuelle.

•PRESTATION DE SAV

Une assistance couvrant une période de 24 mois après l'admission du matériel est exigée, incluant obligatoirement la résolution des problèmes et les mises à jour logicielles.

Dans l'annexe à l'ATTRI1 pendant la durée de garantie du matériel, l'entreprise s'engagera et indiquera ses délais d'intervention suite à un appel pendant la garantie légale et hors garantie.

Le candidat détaillera dans son offre ainsi que dans l'annexe à l'ATTRI1 les informations suivantes :

- Interlocuteurs francophones et/ou anglophones ;
- Coût et disponibilité des pièces détachées ;
- Interlocuteurs attitrés (pas de hotline) capable d'intervenir rapidement sur site en cas de panne (coordonnées) ;
- Nombre d'interlocuteurs compétents en Europe ;
- Pour les petites pannes = appels téléphoniques gratuits.

●UN GESTE POUR LA PLANETE

Le candidat détaillera dans son offre (ainsi que dans l'annexe à l'ATTRI1) les éléments sur lesquels il s'engage pendant la durée du marché, à savoir :

- durée certifiée de fabrication et de distribution du matériel présenté dans son offre ;
- durée certifiée de fabrication et de distribution des pièces détachées du matériel présenté dans son offre (équivalent à l'IR : indice de réparabilité si disponible, sera fortement apprécié) ;
- durée/fréquence de remplacement des pièces d'usures classiques associés ;
- protocole de préservation des pièces détachées pour prolongation de leur durée de vie (si possible) ;
- pourcentage de matière recyclée et/ou reconditionnée présente sur l'équipement détaillé dans l'offre (si concerné) ;
- processus d'élimination des pièces détachées ;
- reprise des matériels usagés pour recyclage, avec remise et/ou avoir pour l'acquisition d'autres équipements ou pièces détachées.
- impact carbone de la fabrication du matériel objet du marché.

Le candidat précisera les mesures et/ou dispositif mis en place pour réduire l'empreinte carbone de la construction de l'équipement jusqu'à son acheminement sur le lieu final de livraison chez le client. Il n'est pas demandé ici de fournir des données à l'échelle de la société, mais bien uniquement sur le type d'équipement objet du marché.

Direction de la Commande Publique
42, rue Paul Duez
59000 LILLE
dcp-recherche@univ-lille.fr

ANNEXE

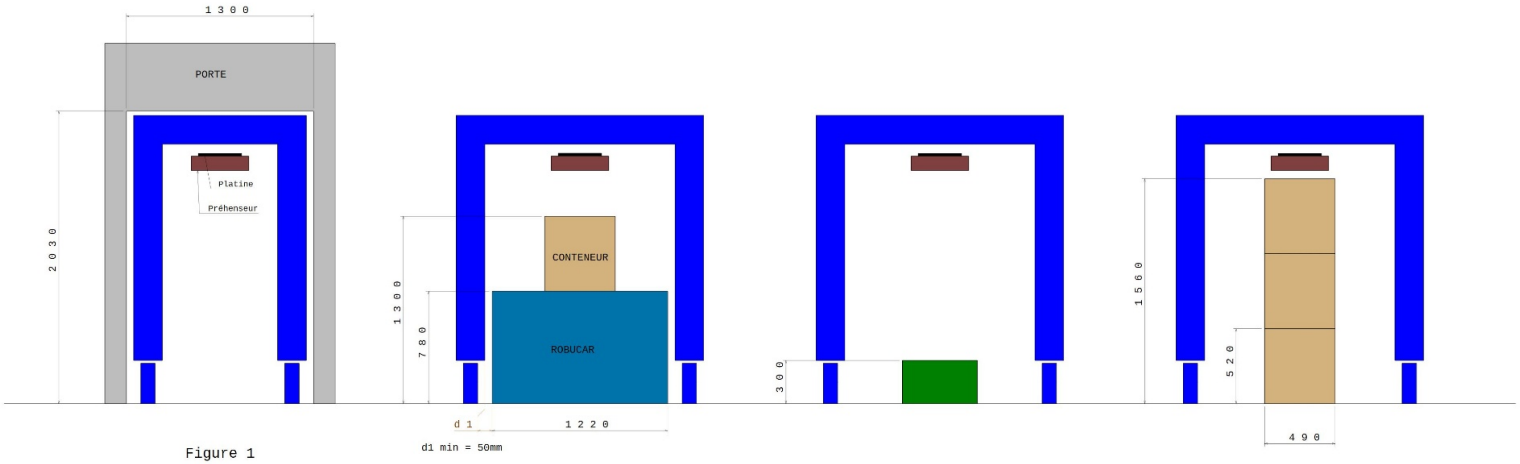


Figure 1

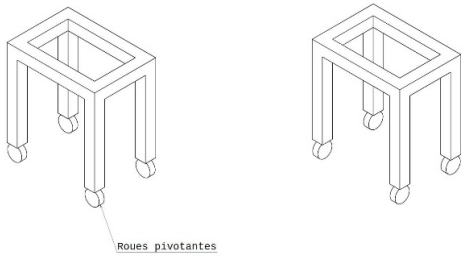


Figure 2

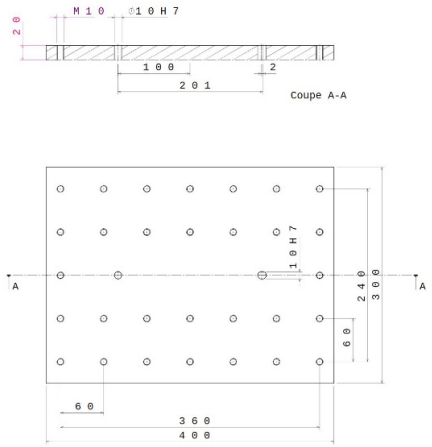


Figure 3

Direction de la Commande Publique
42, rue Paul Duez
59000 LILLE
dcp-recherche@univ-lille.fr

CRITERES D'ATTRIBUTION ENONCES DANS LE REGLEMENT DE CONSULTATION

Offre économiquement la plus avantageuse appréciée en fonction des critères énoncés ci-dessous (par ordre de priorité décroissante) :

CRITERES DE NOTATION		PONDERATION (en points)
CRITERE 1	**TECHNIQUE**	**55**
Sous-critère 1.1	Dimension et Échelle	10
Sous-critère 1.2	Système de Propulsion et Direction	10
Sous-critère 1.3	Système de freinage	10
Sous-critère 1.4	Système d'Accroche et de préhension des objets	10
Sous-critère 1.5	Instrumentation	10
Sous-critère 1.6	Pilotage, Contrôle et sécurité	5
CRITERE 2	**PRIX**	**30**
CRITERE 3	**Garantie légale et qualité du SAV**	**5**
Sous-critère 2.1	Garantie légale : périmètre et ~~conditions~~ durée	3
Sous-critère 2.2	SAV	2
CRITERE 4	**Délais de livraison des livrables 1 et 2 et mise en ordre de marche**	**5**
CRITERE 5	**ENVIRONNEMENT : Mesures et/ou dispositif mis en place par la société pour réduire l'impact carbone du matériel, objet du marché**	**5**

A ..... le .....
Le représentant désigné de la société
(prénom, nom + signature + cachet commercial)

A Lille, le .....
Le pouvoir adjudicateur,