|  |
| --- |
| **Objet :**  **ACQUISITION** **D’INSTRUMENTS DE METROLOGIE MECANIQUE DU SOLIDE ET ACCESSOIRES POUR LE LABORATOIRE DE BIOMECANIQUE APPLIQUEE**  **Lot 1 : Fourniture d’un outil de caractérisation mécanique de tissus mous**  **Lot 2 : Impacteur linéaire** |

**CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIERES (CCTP)**

***Document commun aux 2 lots***

# Objectifs et contexte

Le Laboratoire de Biomécanique Appliquée articule son activité de recherche autour de l’Homme Virtuel, à la fois pour comprendre les traumatismes, les prévenir et les réparer pour mieux soigner le corps humain. Elle mobilise des approches pluridisciplinaires entre sciences de la vie et sciences pour l’ingénieur avec des expertises fortes en biomécanique, physiologie, anatomie, imagerie, mécanique, informatique.

La présente consultation a pour objet l’acquisition d’**Instruments de métrologie mécanique.**

# Spécifications de besoin

## LOT 1 : FOURNITURE D’UN OUTIL DE CARACTERISATION MECANIQUE DE TISSUS MOUS

Le marché comprend les prestations suivantes :

* Fourniture des équipements et de leur mode d’emploi
* Livraison des équipements
* Tests, vérification
* Formation
* Garantie

Le titulaire doit :

* Fournir au laboratoire un équipement (machine de test mécanique) capable de tester des matériaux biologiques dits « mous » (tissus cérébraux, tissus pulmonaires, tissus hépatiques, etc.) dans les conditions de chargement suivantes : tension, indentation, compression (confinée ou non), cisaillement, et chargement combiné en compression et cisaillement.
* Fournir des cellules de charges adaptées à la mesure d’échantillon de tissus de différentes tailles et rigidité : depuis l’indentation (diamètre 0.5 mm) de tissus cérébraux, à la compression confinée de tissus pulmonaires (diamètre de 25mm ).
* Fournir des cellules de charges adaptées à une mesure multidirectionnelle (compression et cisaillement) de ces échantillons.

La Vérification d’Aptitude (VA) et de Vérification de Service Régulier (VSR) (Article 8) sont effectuées après livraison.

### Spécifications techniques du matériel

#### Description des tests mécaniques réalisés

Les tests mécaniques que l’on souhaite réaliser sont des tests d’indentation, de compression, de cisaillement, de compression et cisaillement combinés et potentiellement de traction sur des échantillons de tissus mous de géométrie et de matériaux biologiques variables.

#### Caractéristiques techniques de l’appareil

L’appareil devra être transportable entre les différents lieux de test (laboratoires et hôpitaux). La procédure de calibration après déplacement doit être décrite et documenté. Tous risques associés à ces déplacements doivent être mentionnés.

Il sera installé sur une paillasse dont les dimensions sont : 387 x 86 cm.

#### Précision/Résolution des cellules de charge

Plusieurs échelles nécessaires en fonction du test réalisé (plusieurs cellules de charges nécessaires):

* Indentation / compression (confinée ou non), à minima :

Résolution 5 µN, range 0.1 N

Résolution 15 µN, range +/-1 N

Résolution 5 mN, range +/-100 N

* Cisaillement et compression et cisaillement :

Résolution X,Y,Z: 0.9 mN , range mini X,Y,Z : +/-12 N

Résolution X,Y,Z: 3.5 mN , range mini X,Y,Z : +/-50 N

#### Précision/Résolution du déplacement principal et secondaire

En termes de déplacement, les caractéristiques suivantes doivent être assurées sur l’axe principale (Z, traction, compression):

* Résolution de déplacement nécessaire (0.1 μm)
* Vitesse de déplacement (quasi-statique et dynamique : minimum 75 mm/s)

En termes de déplacement, les caractéristiques suivantes doivent être assurées sur l’axe secondaires (X, pour le chargement combiné compression/cisaillement):

* Résolution de déplacement nécessaire (0.5 μm)
* Vitesse de déplacement (quasi-statique et dynamique : minimum 50 mm/s)

#### Fonctionnement

Le système doit avoir les caractéristiques de fonctionnement suivant :

* Fréquence d’acquisition: 2500 Hz

Une description du fonctionnement des point suivants est nécessaire :

* Méthode de calibration et de vérification de l’appareil et des cellules de charges – fréquence de calibration pour contrôle qualité à préciser – possibilité calibration interne et prix de la calibration externe.
* Algorithme de détection des transitions pour indentation

#### Électronique de pilotage

* Mode de pilotage : en force et en déplacement.
* L’électronique de pilotage intègre toutes les sécurités de fonctionnement,
* Le titulaire assure la formation nécessaire à l’utilisation du système de pilotage, d’acquisition et d’exploitation des données pour 3 utilisateurs,
* Les logiciels nécessaires au pilotage devront, dans la mesure du possible, avoir un fonctionnement simple et documenté. Le renseignement du type d’erreur doit être fait.

#### Logiciel :

Le logiciel doit permettre l’analyse des résultats des tests dans les modes de chargement suivants : indentation, tension, indentation, compression (confiné ou non), cisaillement.

* Les types d’analyse possible et algorithmes implémentés doivent être décrits de façon précise sur une documentation fournie.
* La politique de mise à jour logiciel est à décrire (prix, fréquence).

La fonction de cartographie des propriétés mécaniques de l’échantillon est un avantage, sa description doit être réalisée.

#### Outils associés :

Les outils associés sont l’ensemble des équipement nécessaires à la réalisation des tests mécaniques.

* Indenteurs de différentes tailles (sphérique, flat punch et Berkovitch), fournir les géométries disponibles (notamment les tailles minimales des inventeurs).
* Mors de traction, plateau pour compression, fournir la description.
* Outils de maintien d’échantillon / chambre pour tissus mous testés immergés, fournir la description.
* Outil de visualisation pendant le test : Facultatif. Spécifier la caméra, sa fréquence d’acquisition et sa résolution.
* Processus de localisation de et sur l’échantillon.

#### Sécurité :

Le titulaire propose les solutions conformes à la règlementation pour la sécurité des utilisateurs. Avec la fourniture de l’électronique de pilotage, le titulaire doit également indiquer les éléments de sécurité de l’électronique de pilotage afin de garantir la sécurité des personnes et du matériel lors de défaut d’asservissement ou autre mise en sécurité (arrêt brutal du dispositif, etc.).

#### Entretien :

Le titulaire précise le mode et la fréquence d’entretien de l’appareil (les parties de l’appareil à nettoyer, démontage des éléments à entretenir, etc.), ainsi que la fréquence de révision et de réétalonnage de l’appareil, ainsi que les coûts associés.

#### Vérification :

Le titulaire précise la fréquence des vérifications nécessaire au fonctionnement du système.

**2.1.2 Modalités d’exécution des prestations :**

Les prestations sont exécutées comme suit :

* **Environnement d’installation**

Les prestations s’exécutent sur le site du Laboratoire de Biomécanique Appliquée, à l’adresse et aux horaires indiqués à l’article 5 du CCAP.

* **Formation**

L’offre doit inclure une formation au système et à l’acquisition de mesure sur le système. Le compte tenu de la formation, sa durée, les qualités du formateur ainsi que le nombre de personne pouvant y assister doit être décrit.

* **Garantie et maintenance**

La durée de garantie pour les fournitures objet du présent marché est d’un an.

Les prestations font l’objet d’une garantie pièces, main d’œuvre et déplacements contre tout vice de construction, fabrication, fonctionnement ou défaut de matières premières. Le point de départ du délai de garantie est la date de notification de la décision d’admission.

**Tranche optionnelle 1 (TO1)**: Au-delà de la première année, l’offre doit proposer un contrat de maintenance préventive des équipements désignés dans l'offre incluant un service de maintenance planifiée, un service de réparation avec prise en charge de toutes les pièces, de la main-d’œuvre et des frais de déplacement nécessaires aux réparations, un service d'assistance technique avec un délai de réponse de 48h qui inclut une assistance interactive par téléphone et courrier électronique pour la résolution des incidents de support technique

Le cas échéant, la mise à jour des logiciels est gratuite pendant toute la durée de la garantie et de son extension.

**Prestation supplémentaire éventuelle FACULTATIVE 1 (PSEF1)** : Maintenance / Extension de garantie de 2 ans pièces et main d’œuvre à l’issue de la fin de la garantie initiale

## LOT 2 : IMPACTEUR LINEAIRE

Le marché comprend les prestations suivantes :

* Fourniture des équipements et de leur mode d’emploi
* Livraison des équipements
* Tests, vérification
* Formation
* Garantie

Le titulaire doit fournir au laboratoire un équipement (**impacteur linéaire**) permettant de réaliser les tests des casques de football américain selon les protocoles établis par la **NFL** et **NOCSAE** (Ref 1 : [NFL Helmet Test Protocol](https://www.nfl.com/playerhealthandsafety/equipment-and-innovation/equipment-testing/helmet-test-protocol) ; Ref 2 : [NOCSAE Test Method](https://nocsae.org/standard-pneumatic-ram-test-method-and-equipment-used-in-evaluating-the-performance-characteristic-of-protective-headgear-and-faceguards/)).

Cet équipement doit également être adaptable à la réalisation d’impacts destinés à l’évaluation d’autres dispositifs de protection (protection dorsale, protection airbag), à la caractérisation de matériaux d’absorption, ainsi qu’à d’autres tests visant à étudier le corps humain en situation de choc.

### Spécifications techniques du matériel

#### Description du dispositif

Le dispositif doit être constitué de deux parties distinctes : un système propulsant un impacteur et une table coulissante sur laquelle est monté l’élément impacté (exemple : dispositif tête-cou pour les essais de casque, thorax pour les essais d’airbags), permettant un mouvement de translation post-impact de l’élément impacté.

1. **Le système de propulsion de l’impacteur**

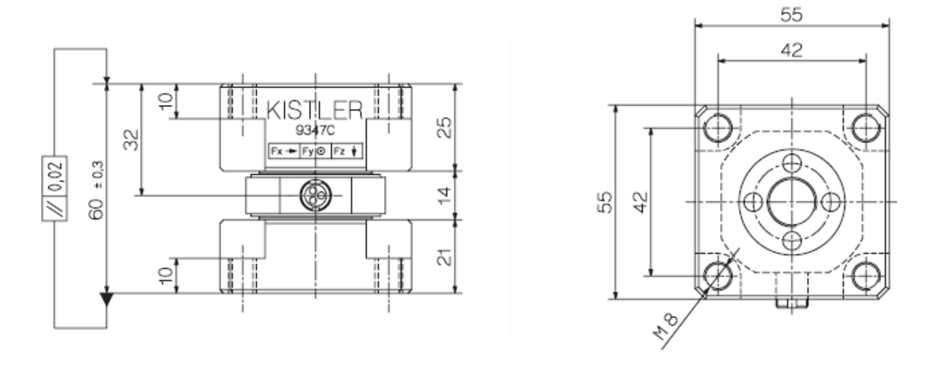
Un dispositif capable de délivrer un impact à la cible en se déplaçant en ligne droite vers celle-ci. Ce dispositif doit être conforme à la norme NOCSAE DOC (ND) 081-18am21, "STANDARD PNEUMATIC RAM TEST METHOD AND EQUIPMENT USED IN EVALUATING THE PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF PROTECTIVE HEADGEAR AND FACE GUARDS".

* Le dispositif doit être capable de propulser l'impacteur à la vitesse spécifiée — dans une plage de 1,5 à 12 m/s — avec une tolérance de ±2 %.
* L’impacteur doit être en déplacement libre guidé au moment de l'impact (c'est-à-dire ni activement propulsé ni freiné, tout en étant guidé vers la cible).
* Après l’impact, un dispositif doit freiner puis arrêter l’impacteur.
* La vitesse de l’impacteur doit être mesurée juste avant l’impact. L’offre devra indiquer la précision de la mesure.

En détail, l’impacteur doit être composé d’une tige et d’une tête d’impacteur. La tige est la partie du système qui supporte la tête d’impacteur et qui est propulsée. La tête d’impacteur, fixée à l'extrémité de la tige, est celle qui entre en contact avec l’élément étudié (le casque, dans le cadre des essais NOCSAE).

* La tige doit être conforme à la norme NOCSAE pour les impacts sur casque adulte (poids, taille, système de freinage).
* Plusieurs types de têtes d’impacteur doivent pouvoir être montés sur la tige : impacteur NOCSAE, impacteur NFL, impacteur rigide, ainsi que des têtes d’impacteur de différentes formes et de différents poids. L’offre devra préciser les plages de taille et de poids d’impacteur à respecter pour le bon fonctionnement de l’appareil.
* Des appareils de mesure de l’impact (cellules de charge, accéléromètres, etc.) doivent pouvoir être installés entre la tige et l’impacteur à l’aide d’une interface de fixation appropriée.
* Afin de pouvoir réaliser des essais d’impact autres que l’évaluation de casque (notamment sur d’autres cibles), la hauteur entre le sol et le centre de la tête d’impacteur doit être d’au moins **150 cm**.
* L’offre devra préciser le cahier des charges de la structure du sol sur lequel le dispositif sera installé : poids, vibration, nécessité d’ancrage…

**Tranche optionnelle 1 (TO1) :** Fournir les interfaces de fixation pour installer une cellule de charge Kistler type 9347C entre la tige et la tête d’impacteur. Les dimensions de la cellule de charge sont indiquées sur la Figure 1.



*Figure 1 : Dimensions de la cellule de charge Kistler type 9347C pour la définition des interfaces de fixation entre la tige et la tête de l’impacteur.*

**Prestation supplémentaire éventuelle Facultative 1 (PSEF1) :** fournir la tête d’impacteur pour le protocole de test de casque NFL (ref : [NFL Helmet Test Protocol](https://www.nfl.com/playerhealthandsafety/equipment-and-innovation/equipment-testing/helmet-test-protocol)).

**Prestation supplémentaire éventuelle facultative 2 (PSEF2) :** fournir une tige conforme à la norme NOCSAE DOC (ND) 081-18am21 pour les impacts sur casques enfants «youth helmet testing» (poids réduit).

1. **Une table coulissante**

Une table coulissante conforme à la norme NOCSAE DOC (ND) 081-18am21. Cette table permet un mouvement de translation post-impact de l’élément impacté.

* La table est équipée des supports nécessaires pour positionner une tête instrumentée sous différents angles et rotations, afin de faciliter les impacts aux emplacements désignés.
* La table doit être montée sur un dispositif distinct permettant des ajustements rapides en hauteur, entre **50 cm et 130 cm** depuis le sol.
* La table doit pouvoir être mobile de manière à pouvoir être déplacée afin d’être remplacée par un autre dispositif. L’offre devra préciser les modalités de déplacement de la table.
* L’ensemble du système (système de propulsion + table coulissante) doit avoir un encombrement maximum de L 6 m x W 1,5 m x H 2 m.

**Tranche optionnelle 2 (TO2) :** fournir une tête de mannequin Hybrid III et un cou Hybrid III pour réaliser le protocole de test de casque NFL.

**Tranche optionnelle 4 (TO4) :** fournir la carte d’acquisition ainsi que le logiciel permettant l’acquisition des données d’essai.

**Prestation supplémentaire éventuelle (PSEF3) :** fournir une cellule de force uni-axiale à positionner entre la tige et la tête d’impacteur, alignée avec l’axe de l’impacteur (plage estimée à titre indicatif : 30 kN). Le titulaire précise la méthode de calibration et de vérification de l’instrumentation, fréquence de calibration nécessaire, possibilité calibration interne et prix de la calibration externe.

La Vérification d’Aptitude (VA) et de Vérification de Service Régulier (VSR) (Article 8) sont effectuées après livraison.

#### Sécurité

Le titulaire propose les solutions conformes à la règlementation pour la sécurité des utilisateurs. Avec la fourniture de l’électronique de pilotage, le titulaire doit également indiquer les éléments de sécurité de l’électronique de pilotage afin de garantir la sécurité des personnes et du matériel lors de défaut d’asservissement ou autre mise en sécurité (arrêt brutal du dispositif, etc.).

#### Entretien

Le titulaire précise le mode et la fréquence d’entretien de l’appareil (les parties de l’appareil à nettoyer, démontage des éléments à entretenir, etc.) ainsi que le budget nécessaire à cet entretien.

#### Vérification

Le titulaire précise la fréquence des vérifications nécessaire au fonctionnement du système.

### Modalités d’exécution des prestations :

Les prestations sont exécutées comme suit :

* **Environnement d’installation**

Les prestations s’exécutent sur le site du Laboratoire de Biomécanique Appliquée, à l’adresse et aux horaires indiqués à l’article 5 du CCAP.

* **Formation**

L’offre doit inclure une formation au système et à l’acquisition de mesure sur le système. Le compte tenu de la formation, sa durée, les qualités du formateur ainsi que le nombre de personne pouvant y assister doit être décrit.

* **Garantie et maintenance**

Les prestations font l’objet d’une garantie pièces, main d’œuvre et déplacements contre tout vice de construction, fabrication, fonctionnement ou défaut de matières premières. Le point de départ du délai de garantie est la date de notification de la décision d’admission.

Au-delà de la première année, l’offre doit proposer un contrat de maintenance préventive des équipements désignés dans l'offre incluant un service de maintenance planifiée, un service de réparation avec prise en charge de toutes les pièces, de la main-d’œuvre et des frais de déplacement nécessaires aux réparations, un service d'assistance technique avec un délai de réponse de 48h qui inclut une assistance interactive par téléphone et courrier électronique pour la résolution des incidents de support technique

Le cas échéant, la mise à jour des logiciels est gratuite pendant toute la durée de la garantie et de son extension.

**Tranche optionnelle 4 (TO4)**: Au-delà de la première année, l’offre doit proposer un contrat de maintenance préventive des équipements désignés dans l'offre incluant un service de maintenance planifiée, un service de réparation avec prise en charge de toutes les pièces, de la main-d’œuvre et des frais de déplacement nécessaires aux réparations, un service d'assistance technique avec un délai de réponse de 48h qui inclut une assistance interactive par téléphone et courrier électronique pour la résolution des incidents de support technique

Le cas échéant, la mise à jour des logiciels est gratuite pendant toute la durée de la garantie et de son extension.

**Prestation supplémentaire éventuelle FACULTATIVE 4 (PSEF4) :** maintenance / Extension de garantie de 2 ans pièces et main d’œuvre à l’issue de la fin de la garantie initiale