

**CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIÈRES**

**MARCHE PUBLIC DE FOURNITURES**

**Acquisition d’un diffractomètre de rayons X**

**École Nationale Supérieure d’ingénieurs de Caen**

6 Boulevard Maréchal Juin

CS 45053

14050 CAEN CEDEX 4

Table des matières

[**I. OBJET DE L’ACHAT** 2](#_Toc23950002)

[**II. DESCRIPTION DE L’OFFRE DE BASE et DEFINITION DES BESOINS** 3](#_Toc23950003)

[**III. LOCALISATION DE L’APPAREIL** 4](#_Toc23950004)

[**IV. CRITERES DE CHOIX DE L’EQUIPEMENT** 4](#_Toc23950005)

[**V. DÉLAI D’EXÉCUTION** 5](#_Toc23950006)

[**VI. GARANTIE** 5](#_Toc23950007)

[**VII. FORMATION** 5](#_Toc23950008)

[**VIII. SERVICE APRÈS-VENTE et ASSISTANCE TELEPHONIQUE** 5](#_Toc23950009)

[**IX. CONTACTS** 6](#_Toc23950010)

# **OBJET DE L’ACHAT**

L’ENSICAEN est une école publique d’ingénieurs dont l’une des spécialités porte sur les matériaux, à travers la formation « Matériaux-Chimie », proposée sous statut étudiant et en apprentissage. Dans le cadre de ces formations, nous souhaitons offrir à nos élèves (environ 85 élèves par promotion) un enseignement à la pointe des techniques d’analyse structurale et chimique des matériaux.

La diffraction des rayons X (DRX) figure parmi les outils incontournables de cette discipline. Si les principes de fonctionnement et l’interprétation des résultats sont déjà enseignés dans la spécialité, l’acquisition d’un diffractomètre à rayons-x nous permettrait d’intégrer cette technologie directement dans les travaux pratiques et les projets industriels. Les élèves pourraient ainsi découvrir cette technique de manière concrète en réalisant eux-mêmes des expériences classiques de DRX. Cet équipement renforcerait leurs compétences en caractérisation structurale et chimique des matériaux, un atout précieux pour leur future carrière d’ingénieur.

Nous recherchons un diffractomètre à rayons-x compact, adapté à une installation dans une salle de travaux pratiques (largeur de salle 2,30 m et longueur de la salle 6,00 m). Ce nouvel outil viendrait enrichir la plateforme technologique (FABLAB) de l’école, que nous développons année après année pour en faire une vitrine auprès de nos partenaires industriels (environ 300 entreprises). En plus de son utilisation pédagogique, cet appareil permettra à nos élèves de mener des projets en collaboration avec l’industrie, les préparant ainsi à répondre aux problématiques concrètes liées aux matériaux.

# **DESCRIPTION DE L’OFFRE DE BASE et DEFINITION DES BESOINS**

Dans le cadre de nos activités pédagogiques et industrielles, nous souhaitons acquérir un diffractomètre de rayons X de paillasse dédié à l’enseignement et à la réalisation de projets industriels par nos étudiants. Cet équipement devra leur permettre de :

* Acquérir des diagrammes de rayons X sur poudre en mode Bragg Brentano (/2) en réflexion
* Identifier les structures et les phases cristallines à l’aide de logiciels intégrant des bases de données
* Traiter et exploiter les données grâce à un logiciel dédié

**Caractéristiques techniques requises**

Le diffractomètre devra être équipé des éléments suivants :

* **Générateur :** puissance maximale de 450 W (30 kV – 15 mA), sans nécessité de déclaration préalable auprès de l’ASN
* **Tube à rayons-x :** anode en cuivre (Cu)
* **Porte échantillons :** compatible avec des poudres et des échantillons massifs
* **Filtre KBeta :** pour améliorer la qualité des données
* **Plage angulaire de mesure :** de 3°à 140°
* **Vitesse d’acquisition :** de 0,05°/min à 20°/min
* **Pas de mesure minimal :** 0,01°
* **Détecteur rapide 1D :** pour une acquisition efficace des données
* **Jeux de fentes (Soller et divergentes) :** afin d’illustrer leur impact sur la résolution et l’intensité du signal
* **Refroidissement :** interne ou externe, avec possibilité d’installation dans la même salle
* **Poste informatique :**
  + Équipé de Windows, connecté au réseau et permettant la sauvegarde des données.
  + Écran large pour améliorer le confort visuel et faciliter l’enseignement (entre 24 et 32 pouces)
* **Logiciel de traitement des données :**
  + Analyse qualitative et identification des phases
  + 10 licences fournies
* **Échantillon de calibration :** standard NIST (LaB6, Si) pour étalonnage et la détermination des paramètres instrumentaux (sous forme de poudre ou d’échantillon dense).
* **Reprise de l’ancien appareil** : Rigaku miniflex
* **Support du diffractomètre :** 
  + La table actuelle supporte une charge maximale de 100 kg.
  + Si l’équipement proposé dépasse cette charge, une solution adaptée devra être fournie.

**Options souhaitées (à proposer par les candidats)**

Les candidats peuvent également proposer les options suivantes :

* **Configuration en transmission** (capillaire)
* **Second tube à rayons X** : anode argent ou molybdène (Ag, Mo)
* **Monochromateur** : compatibles Cu, Ag et Mo)
* **Détecteurs 2D** : Optimisation des données pour les matériaux polycristallins et les composés à forte anisotropie structurale.
* **Montage en incidence rasante :** acquisition avec un angle < 3°
* **Base de données pour l’identification des phases**PDF-4, PDF-5
* **Porte échantillon spécialisés :**
  + Pour échantillon sensible à l’air
  + « Zéro background » pour réduire le bruit de fond
  + Dispositif de rotation d’échantillon : rotation continue pour minimiser les effets d’orientation préférentielle et améliorer la statistique de comptage.
* **Dispositif pour cellules rechargeables :**
  + Support permettant l’analyse in *operando* d’une cellule complète et fonctionnelle (anode, cathode, électrolyte liquide, etc.)
* **Formation avancée** à l’utilisation du logiciel de traitement des données.

Les candidats devront fournir des informations détaillées sur leurs politiques environnementales en lien avec les équipements et les services proposés, notamment en ce qui concerne la durabilité, la gestion des déchets, et l'efficacité énergétique des dispositifs.

Ils devront également démontrer que leurs équipements respectent les normes de sécurité en vigueur, notamment celles définies par l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) en matière de radioprotection. Les certifications et preuves de conformité devront être jointes au dossier.

# **LOCALISATION DE L’APPAREIL**

L’installation de l’appareil se fera à l’adresse indiquée en première page de ce document, au sein du bâtiment A (bâtiment principal de l’école). Il sera précisément localisé au deuxième étage, dans une petite salle d’environ 14 m² (largeur : 2,30 m ; longueur : 6,00 m), située entre deux salles de Travaux Pratiques (salles 208 et 209). Cet salle ne dispose ni de fenêtre ni de système de ventilation spécifique (VMC ou climatisation). Un ascenseur est disponible pour faciliter l’acheminement du matériel jusqu’au deuxième étage.

|  |  |
| --- | --- |
| Une image contenant mur, intérieur, tableau blanc, conception  Le contenu généré par l’IA peut être incorrect. | Une image contenant mur, intérieur, tableau blanc, évier  Le contenu généré par l’IA peut être incorrect. |
| Figure 1 : Salle de Travaux Pratique où sera installé le diffractomètre | |

Le diffractomètre sera installé sur une table dont la capacité de charge maximale est de **100 kg.** Si l’équipement proposé dépasse ce poids, le fournisseur devra inclure une solution adaptée garantissant une installation sécurisée.

# **CRITERES DE CHOIX DE L’EQUIPEMENT**

|  |  |
| --- | --- |
| **Critères** | **Pondération (%)** |
| **Valeur technique de l’équipement** | **45** |
| **Prix de l’ensemble des prestations** | **25** |
| **Développement durable** | **10** |
| **Service après-vente** | **10** |
| **Délai de livraison** | **5** |
| **Garantie** | **5** |

**Valeur technique de l’équipement (45%)**

Ce critère sera évalué sur la base des éléments suivants :

* **Caractéristiques techniques** : Conformité aux spécifications minimales requises et performances globales de l’équipement (générateur, détecteur, gamme angulaire, vitesse d’acquisition, etc.).
* **Qualité et précision des analyses** : Capacité du diffractomètre à fournir des résultats fiables et reproductibles, avec une bonne résolution et un faible bruit de fond.
* **Modularité et évolutivité** : Possibilité d’ajouter des options complémentaires (second tube, porte-échantillons spécifiques, détecteurs supplémentaires, etc.).
* **Facilité d’utilisation et ergonomie** : Simplicité d’utilisation pour les étudiants, interface logicielle intuitive, rapidité de mise en œuvre des analyses.
* **Fiabilité et maintenance** : Durabilité des composants, fréquence et simplicité des opérations de maintenance, support technique disponible.

Les candidats devront fournir des **fiches techniques détaillées**, des **données de performance** et tout autre document permettant d’attester de la conformité et des performances de l’équipement proposé.

# **DÉLAI D’EXÉCUTION**

Le délai de livraison est fixé à **un maximum de 3 mois** après la clôture de l’appel d’offres. L’installation devra être réalisée **dans un délai d’une semaine** après la livraison. Tous les frais liés à l’expédition, la douane et le transport seront **à la charge du fournisseur**.

L’installation du nouveau diffractomètre devra être effectuée **simultanément avec la reprise de l’ancien appareil** (Rigaku Miniflex). Le fournisseur sera responsable du **démontage, de l’emballage, et de l’enlèvement** de l’ancien équipement, ainsi que de son acheminement vers le lieu de reprise convenu. L’ensemble de ces opérations devra être réalisé sans perturbation excessive des activités de l’ENSICAEN.

Une fois l’installation du nouvel équipement achevée, le fournisseur procédera aux tests demandés par l’ENSICAEN afin de **valider la conformité du matériel**. Ces tests viseront à vérifier :

* L’adéquation du diffractomètre livré aux **spécifications annoncées** par le fournisseur dans son offre.
* Le respect des exigences définies dans le **présent cahier des charges**.

La réception du diffractomètre ne sera prononcée qu’après **validation de ces tests** et acceptation formelle par l’ENSICAEN.

# **GARANTIE**

Les candidats détailleront dans leur offre les conditions de garantie qu’ils proposent, considérant que les prestations doivent faire l’objet d'une garantie de 24 mois minimum. Le point de départ est la date de notification de réception d’acceptance de l’appareil à la suite des tests. La garantie doit couvrir les pièces, la main d’œuvre et les déplacements.

# **FORMATION**

Une **formation sur site** devra être incluse dans l’offre pour l’utilisation du diffractomètre ainsi que de ses logiciels.

Les candidats préciseront **la durée et le contenu détaillé** de cette formation, qui devra être prévue pour **au moins 6 personnes**. Elle devra garantir une **utilisation autonome et optimale** de l’appareil, de ses accessoires et des logiciels associés.

Afin de permettre une meilleure préparation, **l’ensemble des supports de formation (présentations, manuels, guides d’utilisation, etc.) devra être fourni en amont de la session**.

Une **documentation complète** sur l’ensemble du système devra être fournie, incluant :

* Un **descriptif technique détaillé** (caractéristiques, schémas, fonctionnement, spécificités…).
* Les **manuels d’utilisation** couvrant l’exploitation du diffractomètre, la maintenance, les réglages et les paramètres d’acquisition.

1. **SECURITE**

L’équipement doit répondre à toutes les **normes de sécurité** en vigueur et être conforme aux règles d’hygiène et de sécurité applicables dans le cadre de son utilisation. Lors de son utilisation normale, il ne doit pas compromettre la santé de l’utilisateur, ni porter atteinte à l’intégrité de la salle de Travaux Pratiques, du personnel, des autres équipements, et du bâtiment dans son ensemble.

Le candidat devra préciser, dans sa réponse au marché, les **normes, la réglementation** et l’ensemble des **spécifications de sécurité** auxquelles répond l’appareil. Cela inclut notamment :

* La sécurité liée à l’émission de rayonnements
* Les dispositifs de sécurité concernant les éventuelles expositions aux radiations,
* Les procédures de manipulation sécurisée des échantillons et des matériaux en contact avec le système.

Un **plan de prévention des risques** devra être établi entre le titulaire et l’ENSICAEN avant l’installation de l’équipement, afin de garantir un environnement de travail conforme aux standards de sécurité.

**Environnement de la salle** :

Si des préoccupations de radioprotection sont soulevées par l’installation et l’utilisation du diffractomètre, le candidat devra fournir des informations sur les mesures spécifiques mises en place pour protéger les utilisateurs et l’environnement. Cela inclut des dispositifs de protection et des contrôles visant à limiter l’exposition aux radiations, ainsi que des recommandations pour l’aménagement de la salle dans le respect des normes de radioprotection.

# **SERVICE APRÈS-VENTE et ASSISTANCE TELEPHONIQUE**

Après la période de garantie et même hors contrat de maintenance, les utilisateurs devront bénéficier d’une assistance téléphonique gratuite pour tous les appels techniques durant toute la durée de vie de l’appareil. Les candidats préciseront l’organisation de leur service après-vente et les coûts hors contrat (taux horaire, horaires d’intervention, disponibilité de l’assistance téléphonique, délais d’intervention sur site).