



Direction des énergies (DES)  
Institut des sciences et technologies pour une économie circulaire des énergies bas carbone (ISEC)  
Institut de Chimie Séparative de Marcoule (ICSM)

# CAHIER DES CHARGES

Titre : Achat d'un diffractomètre à rayons X

Auteurs : Guilhem QUINTARD

Réf. : DES/ISEC/ICSM/L2ME--2025-0017

4 avril 2025

## LISTE DE DIFFUSION

<i>Rédacteurs</i>	<i>Vérificateurs</i>	<i>Correspondant Qualité</i>	<i>Emetteur</i>

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives  
Centre de Marcoule - ICSM - BP 17171 - 30207 Bagnols sur Cèze Cedex Tél. : 33 - 4 66 39 79 35 -  
[icsm@cea.fr](mailto:icsm@cea.fr) Etablissement public à caractère industriel et commercial  
R.C.S. PARIS B 775 685 019

## TABLE DES MATIERES

### Table des matières

TABLE DES MATIERES .....	2
1. PREAMBULE .....	3
2. OBJET.....	3
3. DEFINITION DES PRESTATIONS .....	4
3.1. Fournitures de l'ensemble de la diffraction X et du système de traitement des données.	4
3.2. Fourniture des options .....	6
4. INSTALLATION ET VISITE .....	7
4.1. Installation du nouvel équipement.....	7
4.2. Tests de qualification .....	7
4.3. Visite et réunions de suivi .....	7
4.4. Documentation .....	7
5. DELAIS ET LIVRAISON .....	8
6. MAINTENANCE (OPTION N°4).....	8
7. FORMATION DU PERSONNEL .....	8
8. DOCUMENTS DE REFERENCE .....	8
8.1. Règlementation .....	8
8.2. Documents applicables.....	9
9. CONDITIONS D'EXECUTION .....	9
9.1. Qualité.....	9
9.2. Sécurité .....	9
9.3. Conditions d'intervention et de travail .....	9

## 1. PREAMBULE

L'ICSM possède deux appareils de diffraction des rayons X (DRX), en état de marche, datant du début des années 2000. Les pièces de cet appareil n'étant plus produites, les futures maintenances seront de plus en plus longues et complexes, voire impossibles. Or la DRX est une technique d'analyse très communément utilisée pour la caractérisation des matériaux. Pour pallier les indisponibilités de la DRX, le service a fait le choix d'acquérir un nouvel appareil. Le diffractomètre de rayons X viendra en remplacement de celui actuellement présent au L2ME de l'ICSM (installé en 2009). Cet appareil devra répondre aux besoins analytiques du service, retranscrits en termes techniques dans ce cahier des charges.

## 2. OBJET

Ce document concerne la fourniture et l'installation d'un appareil de diffraction des rayons X. L'équipement sera installé dans le local L1.28 au rez de chaussée du bâtiment 426 du CEA de Marcoule.

### L'équipement comprend :

- Un générateur haute puissance à rayons X
- Un tube à rayons X de cuivre
- Un goniomètre
- Un système de filtres et de fentes anti-diffusion et de divergence (fixes et motorisées)
- Des platines porte-échantillons
- Des supports d'échantillons
- Un détecteur
- Les systèmes informatiques et les logiciels associés pour le pilotage du système et l'acquisition de données et les analyses qualitative et quantitative, ainsi que les bases de données
- Une platine pour des mesures en incidence rasante
- Les optiques nécessaires pour des analyses en géométrie parallèle
- Une cellule HTK1200N déjà présente sur l'ancien équipement
- Un circuit de refroidissement externe eau/air
- Un système de sécurité

**En option :**

- Option n°1 : Source Rayons X Ag avec miroir focalisant
- Option n°2 : Cellule humidité contrôlée
- Option n°3 : Montage pour capillaires
- Option n°4 : Un contrat de maintenance tri annuel (voir § 6)

### **3. DEFINITION DES PRESTATIONS**

Le diffractomètre de rayons X devra permettre :

- L'acquisition de diagrammes de rayons X sur poudre dans la gamme  $2\theta = 2$  à  $150^\circ$ .
- L'analyse d'échantillons solides de différents types et de cristallinité variable et contenant pour certains des éléments qui fluorescent (fer...).
- L'analyse qualitative et quantitative de mélanges de composés. La résolution angulaire du détecteur est donc un paramètre important, résolution angulaire  $0.021^\circ$  (FWHM du 1er pic de  $\text{LaB}_6$ ) et linéarité  $2\theta \leq 0.01^\circ$ .
- L'acquisition de diffractogrammes de très bonne qualité (rapport signal sur bruit élevé) sur des durées courtes (Bruit de fond  $< 0.4$  cps).
- L'acquisition de diffractogrammes en incidence rasante (faisceau parallèle) afin de mettre en évidence des couches d'interactions surfaciques.

#### ***3.1. Fournitures de l'ensemble de la diffraction X et du système de traitement des données***

##### **Un générateur haute puissance à rayons X**

Puissance minimale de sortie de 3 kW. Haute tension minimale entre 20 et 50 kV et un courant entre 5 et 60 mA avec une stabilité minimale de  $\pm 0.01\%$  à 10% de variation de la tension secteur pour tension et courant. La tension et le courant doivent être réglables par pas de 1mA et 1kV.

Un circuit de refroidissement à l'eau devra être intégré. Les éléments de contrôle du générateur doivent être accessibles via le logiciel de commande de l'appareil.

### **Un tube céramique à rayons X au cuivre**

Anode en cuivre, 2,2kW, foyer long et fin.

### **Un goniomètre**

Vertical, en mode Thêta-Thêta et/ou mode Thêta-2Thêta. Les mouvements doivent être mécaniquement indépendants avec un moteur pas à pas (pas minimal de 0,0001°) avec codeurs optiques. Une gamme de vitesse de déplacement angulaire maximale de minimum 15°/s.

### **Un système de filtre et de fentes de divergence**

Système de filtre de la raie  $K_{\beta}$  du cuivre. Système primaire de fentes programmables motorisées. Bloc de fentes de Soller.

### **Des platines porte-échantillon**

Une platine porte-échantillon en Z pour la réflectivité et incidence rasante. Un passeur d'échantillons, 9 échantillons minimum avec possibilité de passer des échantillons radioactifs (dômes).

### **Des supports d'échantillons**

Possibilité d'utiliser des porte-échantillons fermés de manière étanche (de type dômes), permettant d'analyser des échantillons toxiques, radiotoxiques, ou pouvant s'altérer sous air ambiant

Porte-échantillons adaptés pour travailler en réflexion et en transmission (capillaires et/ou supports pour échantillon entre 2 films Kapton, Mylar...) ainsi que des supports « bas bruit de fond ».

### **Un détecteur de rayons X**

A une dimension (1D) au minimum, à haut taux de comptage (30 000 000 de coups minimum) et faible bruit de fond. La meilleure résolution en énergie devra être inférieure à 400 eV. Le détecteur devra être rapide pour réduire sensiblement le temps d'acquisition.

### **Système informatique et logiciels de contrôle, de mesure et de retraitement**

- PC de contrôle de l'instrument sous Windows 10 (ou supérieur) contenant le logiciel de contrôle de l'appareil de DRX, permettant la configuration, la préparation et la mesure en temps réel de diffractogrammes avec stockage des données.
- Logiciel de traitement des données pour l'identification des phases cristallines à partir des bases de données ICDD, avec traitement du bruit de fond et programme d'affinement des profils. Fourniture d'au moins 2 licences pour le laboratoire (fixe et mobile).

### **Travail en incidence rasante**

Possibilité d'analyse aux faibles angles incidents (thêta inférieur à 2°) pour l'analyse de couches minces en surface.

### **Adaptation Cellule HTK 1200N**

Fourniture d'une bride pour la fixation de la cellule.

Intégration du contrôleur dans le nouvel appareil.

### **Travail en géométrie parallèle**

Collimateur à plaques parallèles ou de Soller permettant de passer de la géométrie Bragg-Brentano à la géométrie parallèle, notamment pour l'analyse de films minces en surface.

### **Facilité d'alignement**

L'équipement doit permettre **d'interchanger facilement les optiques tout en conservant un alignement parfait**. Le temps de changement des différentes configurations sera précisé (platines, optiques, tubes).

### **Un système de sécurité**

Enceinte blindée conforme aux directives européennes, avec système de coupure automatique des rayons X en cas d'ouverture et verrouillage des portes pendant l'analyse, assurant une exposition inférieure à 1µSv/h pendant l'acquisition d'une mesure.

## ***3.2. Fourniture des options***

En complément de l'appareil de diffraction des rayons X décrit ci-dessus, le fournisseur aura la possibilité de proposer les options suivantes :

### **Option n°1 : Source Rayons X Ag avec miroir focalisant**

### **Option n°2 : Cellule d'humidité contrôlée**

### **Option n°3 : Montage pour capillaires**

Platine spinner capillaire avec tête goniométrique et microscope d'alignement.

### **Option n°4 : Maintenance**

Voir §6. MAINTENANCE.

## **4. INSTALLATION ET VISITE**

La DRX sera installée dans le local L1.28 au rez-de chaussée du bâtiment 426.

### **4.1. Installation du nouvel équipement**

Les utilités (autres qu'électriques) seront mises à disposition par l'installation dans le laboratoire à un point validé par le titulaire lors la visite préalable. Pour cela, il communiquera dans son offre les utilités nécessaires (eau, air comprimé...), leurs caractéristiques et les contraintes d'implantation. Le raccordement électrique de la nouvelle machine se fera par l'installation. La mise en service se fera par le titulaire après contrôle d'un organisme agréé et mise sous tension à la charge du CEA. L'accès au laboratoire 426 (rez-de-chaussée) se fait par une porte à deux battants d'une largeur maximale de 1100 mm.

Le titulaire du contrat devra préciser si l'installation de l'équipement nécessite des équipements de transport (ex : transpalette) appartenant au CEA.

### **4.2. Tests de qualification**

Des tests de qualification devront être réalisés afin de vérifier les performances de l'appareil sur son lieu de fabrication, dans les locaux du titulaire, puis après réception, installation et mise en service de l'appareil dans les locaux du CEA de Marcoule. Ces tests de qualification consisteront à minima en la vérification de :

- La position angulaire absolue de plusieurs pics successifs de plusieurs phases cristallines par rapport à leurs valeurs théoriques.
- La parfaite symétrie des pics et de la valeur du bruit de fond.
- La résolution instrumentale à l'aide d'un standard du fournisseur (à préciser) sur une gamme 15°-130°, test réalisé au préalable par le fournisseur et servant de référence avant d'être réalisé après la mise en place du goniomètre dans notre laboratoire.

### **4.3. Visite et réunions de suivi**

Dès la validation de l'offre par le CEA, une réunion d'enclenchement pour la fourniture de l'appareil devra être organisée entre le chargé d'affaire CEA et le chef de projet représentant le titulaire du contrat. A cette occasion, une visite des locaux du CEA sera organisée afin que le titulaire valide l'implantation de l'équipement. Une réunion intermédiaire entre la livraison et l'installation pour rendre compte de l'avancée de la commande (réception des pièces en usine, montage...) sera organisée à la moitié du délai de livraison estimé.

Le fournisseur précisera les contraintes d'installation dans son offre puis un document de préconisation d'implantation devra être remis au CEA au préalable de la visite (voir 4.4).

Pour les prestations sur le site de Marcoule, le fournisseur s'engage à effectuer les démarches administratives d'autorisations d'accès et d'autorisation de travail nécessaires à la bonne installation du matériel. Un plan de prévention sera établi pour définir les mesures à mettre en place lors des travaux. Une description détaillée des essais qu'il souhaite réaliser devra être fournie.

### **4.4. Documentation**

Différents documents seront à fournir à l'exploitant (en français) :

Au plus tard à la réunion d'enclenchement :

- Un guide de préconisation d'implantation

Au plus tard à la réception finale :

- Une attestation du fabricant relative aux caractéristiques de l'appareil (marque, type, numéro

de série, année de construction...)

- Le certificat de conformité aux normes (nationales ou internationales) de conception et de fabrication
- La description de l'appareil (utilisation à poste fixe ou mobile, accessibilité du faisceau, direction du faisceau, schéma avec emplacement du tube et orientation des faisceaux)
- La description des conditions de déclenchement de l'émission des rayons X et de la mise en œuvre des appareils
- La description du système de verrouillage des appareils
- Le manuel d'utilisation de l'ensemble du système,
- Un guide de maintenance : les recommandations de maintenance et d'entretien du fournisseur de l'appareil ou à défaut le descriptif de l'utilisation et des opérations de maintenance
- Les schémas électriques
- Tout autre document utile au bon fonctionnement de l'appareil.

## **5. DELAIS ET LIVRAISON**

Le titulaire du marché est responsable du matériel jusqu'à sa mise en service, il doit donc prendre en compte la livraison, le déchargement et la mise en place de l'appareil et de ses utilités.

Le fournisseur remettra un planning de fabrication et d'installation.

## **6. MAINTENANCE (OPTION N°4)**

Une proposition de contrat triannuel de maintenance matériel et logicielle, de type préventif et curatif illimité, pour mise en place à l'issue de la période de garantie sera jointe et définira les limites de la prise en charge par le fournisseur. Le prix triannuel et annuel de cette maintenance préventive et corrective devra être mentionné.

## **7. FORMATION DU PERSONNEL**

Le fournisseur assurera une formation de base à l'utilisation de l'équipement ainsi qu'à son entretien courant. Cette formation sera adaptée aux besoins et réalisée pour des utilisateurs débutants comme expérimentés. Elle sera dispensée sur site pour au moins 3 personnes et jusqu'à 5 personnes. Son contenu sera détaillé dans l'offre de prix.

## **8. DOCUMENTS DE REFERENCE**

### **8.1. Règlementation**

- Décret 92-158 du 20 février 1992 : prescriptions particulières d'hygiène et de sécurité applicables aux travaux effectués dans un établissement par une entreprise extérieure.
- Gestion des Générateurs Electriques de Rayonnements Ionisants au CEA Marcoule (MAR/PR/SOU/003)



## **8.2. Documents applicables**

- Procédure relative aux Fiches d'Intervention Entreprises Extérieures – FI2E
- Règlement applicable aux Entreprises Extérieures intervenant sur le Centre de Marcoule MAR/PR/SEC/105. Ce document porte à la connaissance des entreprises extérieures les principales règles de fonctionnement du site de Marcoule et les formalités essentielles à accomplir pour y accéder et y travailler.
- Code de sécurité de Marcoule : Code de Sécurité - Accueil (cea.fr) ou Centre CEA Marcoule - Entreprises Extérieures

## **9. CONDITIONS D'EXECUTION**

L'installation de l'équipement sera réalisée dans le bâtiment 426 qui est un bâtiment conventionnel (pas de risque radiologique). Les prestations seront réalisées hors tension. Il n'existe pas de risque particulier induit par l'installation dans l'environnement du chantier.

Le fournisseur devra donc se conformer aux règles, procédures et consignes qualité et environnement en vigueur sur l'installation.

### **9.1. Qualité**

Pour les prestations réalisées sur l'installation, le CEA n'impose pas au fournisseur de disposer d'un système de management de la qualité normalisé. Toutefois, le fournisseur est tenu de mettre en place l'organisation nécessaire au respect des exigences exprimées dans le cahier des charges lié à la prestation. Le CEA se réserve par ailleurs le droit d'auditer le fournisseur afin de vérifier la pertinence de l'organisation mise en place pour répondre à ces exigences.

### **9.2. Sécurité**

Les interventions seront réalisées sur l'installation ICSM du site de Marcoule dans ou aux abords de bâtiments conventionnels (pas de zones surveillées ou contrôlées).

Il n'y a pas de risques spécifiques amenés par l'installation pour les différentes interventions qui peuvent être réalisées dans le cadre de cette opération.

Les documents applicables concernant ce domaine sont :

- Consignes de sécurité de l'installation : Bât 426ICSM/CS/SEC/023
- Procédure Déchets et effluents dans le bâtiment ICSM – réf. ICSM/DC/EXP

Les interventions ne pourront être réalisées que sous AI (Autorisation d'Intervention), dans le respect du PdP (Plan de Prévention) établi préalablement lors d'une réunion entre l'entreprise et la sécurité de l'installation afin de définir les mesures à mettre en place lors des travaux.

### **9.3. Conditions d'intervention et de travail**

#### **Accès au Site**

Le Titulaire doit appliquer le décret n° 92-158 du 20/02/1992 fixant les prescriptions particulières d'hygiène et de sécurité applicables aux travaux effectués dans un établissement par une entreprise extérieure

## **Les horaires**

Les horaires de travail sont régis par les mêmes horaires appliqués sur le centre de Marcoule (8h-16h30). Des horaires aménagés peuvent toutefois être acceptés et seront validés lors de la réunion d'enclenchement.

## **Conditions de sécurité**

Le démarrage des prestations doit faire l'objet :

- d'une AI (Autorisation d'Intervention).
- d'un PdP (Plan de Prévention).
- des consignations électriques, mécaniques et fluides si nécessaires.
- de modes opératoires si nécessaire (manutention)
- du protocole de chargement - déchargement.

Le PDP et l'AI sont réalisés avant le démarrage des prestations relatif au marché et permettent alors la réalisation de ceux-ci dans les conditions particulières qui y sont stipulées.

Le document est initié par un représentant du CEA, complété par le Titulaire et validé par le CEA avant toute intervention.

Les AI devront être déposées au moins 48h avant le retrait de l'AI. Avant intervention, elles devront être signées. Le retrait et la dépose de l'AI se fait à l'accueil de l'ICSM.

Les consignations et permis de feu sont établis au fur et à mesure du besoin en s'adressant au chargé d'opérations.

## **Travail en zone règlementée**

Les travaux ne se situent pas en zone règlementée.

## **Habilitations**

Les intervenants devront posséder les titres d'habilitations requis (laser – électrique...) pour effectuer la prestation.

Ces habilitations doivent être validées par l'employeur et être complétées par une autorisation nominative du Chef d'Installation.

## **Obligation des intervenants**

Sont compris dans les intervenants, le Titulaire et la sous-traitance éventuelle.

- Quelle que soit la prestation, les intervenants doivent au travers du Titulaire :
- Informer immédiatement le CEA de tout écart concernant la Qualité, Santé, Sûreté, Sécurité,
- Informer et justifier au jour le jour les aléas techniques et de plannings éventuels, pour analyse et traitement,
- Assurer la sécurité de la zone d'intervention,
- Respecter le planning d'intervention,
- Respecter les règles de sécurité, de radioprotection et de protection de l'environnement,
- Maîtriser la production de déchets,
- Assurer un état constant de propreté et de rangement de la zone d'intervention, et faire en sorte qu'il n'y ait pas d'écart non traité.