



Ministère de la Culture et de la Communication
Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France

**MARCHE D'ACQUISITION
D'UN SYSTEME DE COMBUSTION ET DE GRAPHITISATION
D'ECHANTILLONS POUR LA DATATION PAR LE
RADIOCARBONE**

CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIÈRES

Numéro de consultation : 2026 C2RMF RECH EA GRAPH

Procédure de passation : appel d'offres ouvert

Table des matières

Article 1 : PRESENTATION DU SERVICE ET DU SITE DU LABORATOIRE	3
Article 2 : NATURE DES PRESTATIONS A EFFECTUER	3
2.1 – Description du matériel, objet du marché	3
2.2 – Matériaux du patrimoine susceptibles d'être analysés	4
2.3 – Description des caractéristiques techniques de l'équipement	4
2.4 – Adaptation de l'équipement à l'environnement	7
2.5 – Mentions complémentaires	7
Article 3 : CONDITIONS D'EXECUTION DU MARCHE	8
3.1 – Modalités générales d'exécution des prestations	8
3.2 – Conditions d'accès au site Carrousel	8
3.3 – Modalités de livraison des nouveaux matériels	8
3.4 – Formation	9
3.5 – Garantie et maintenance	9
Article 4 : OBLIGATIONS ET RESPONSABILITÉS DU TITULAIRE	10
4.1 - Obligations du titulaire	10
4.2 - Responsabilités du titulaire	11

Article 1 : PRESENTATION DU SERVICE ET DU SITE DU LABORATOIRE

Le Centre de recherche et de restauration des Musées de France (C2RMF) est un service à compétence nationale du ministère de la Culture. Il joue un rôle central dans la mise en œuvre de la politique nationale en matière de recherche, de conservation préventive et de restauration des collections. Le C2RMF allie une activité de service auprès des Musées de France et une activité de recherche en sciences du patrimoine. En maintenant un lien entre musées et laboratoires scientifiques, il est un acteur clé de l'analyse scientifique des objets patrimoniaux en Île-de-France et sur le territoire national.

La datation par le radiocarbone est une compétence structurante du C2RMF, qui a réalisé plus de 2500 datations depuis 2002 au service de nombreuses institutions du patrimoine. Pour cela, il collabore avec l'accélérateur de particules ARTEMIS, instrument national, installé sur le Plateau de Saclay et dont l'utilisation est coordonnée par une Unité Mixte de Recherche. Le ministère de la Culture est associé par convention à cet instrument avec le CNRS, le CEA, l'IRD et l'ASNR.

La préparation des échantillons préalablement à leur datation est réalisée au sein du site Carrousel du C2RMF sur un banc manuel, conçu en interne, permettant de traiter quatre échantillons par jour, sur trois à quatre jours par semaine, soit un maximum de seize échantillons hebdomadaires. Cette capacité de traitement constitue aujourd'hui un facteur limitant de l'activité.

Afin de lever ce verrou opérationnel et de développer ses compétences analytiques, le C2RMF souhaite acquérir un dispositif automatique permettant de réaliser la combustion et la graphitisation des échantillons organiques en vue de leur datation par le radiocarbone. Ce dispositif devra être compatible avec un spectromètre de masse IRMS ultérieurement couplé, permettant ainsi de mesurer les compositions isotopiques des échantillons traités. L'appareil sera utilisé pour des activités de recherche ou de service, par des personnels permanents, par des doctorants ou par des stagiaires.

Article 2 : NATURE DES PRESTATIONS A EFFECTUER

2.1 – Description du matériel, objet du marché

Il s'agit d'acquérir un système de combustion et de graphitisation d'échantillons pour la datation par le radiocarbone. Ce dispositif doit permettre pour chaque échantillon, la combustion complète, la purification et la séparation des gaz, puis la graphitisation du dioxyde de carbone (CO₂) produit en carbone graphite afin de permettre sa datation par le carbone 14.

Le dispositif devra être équipé d'un passeur automatique adapté au traitement d'échantillons solides (conditionnés dans des capsules). Les instruments devront être interopérables, via un ou plusieurs logiciels de pilotages adaptés, permettant la transmission des gaz issus des échantillons.

Le matériel proposé devra être neuf, conforme aux normes de qualité en vigueur et couvert par des garanties constructeur. Le marché doit proposer la fourniture, la livraison, l'installation, la mise en service, et la formation de trois personnels utilisateurs du C2RMF ainsi qu'en option, une proposition de maintenance de l'équipement.

2.2 – Matériaux du patrimoine susceptibles d’être analysés

Les matériaux organiques étudiés couvrent une large gamme de composés naturels sous forme solide (charbons, bois, résines, textiles, tissus biologiques, plantes). Ils présentent des concentrations en carbone variable entre 0,1% et 90%, et des masses de l’ordre du milligramme.

L’équipement devra ainsi présenter une adaptabilité technique suffisante pour se conformer aux différents types d’échantillons et garantir la production d’une quantité de carbone graphite suffisante pour réaliser une datation par le radiocarbone.

Le fournisseur prend en charge la livraison et la mise en place de l’équipement fourni et de ses accessoires ainsi que la mise en service de l’instrumentation, la vérification des performances et la bonne marche des outils (voir CCAP section 8.2).

2.3 - Description des caractéristiques techniques de l’équipement

L’offre devra proposer l’équipement suivant :

- Un analyseur élémentaire avec passeur automatique
- Un système de graphitisation
- Un logiciel de pilotage unique ou interfacé, en français ou en anglais, dont les spécificités d’exploitation seront précisées afin de s’assurer de la compatibilité avec le matériel informatique et le système d’exploitation Windows existants.
- Dans le cas d’une incompatibilité avec le matériel informatique existant, une proposition conforme aux exigences d’installation du C2RMF devra être fournie (version du système d’exploitation, mises à jour de l’OS et des logiciels, création d’un compte administrateur pour l’installation et d’un compte utilisateur pour l’exploitation).

Les supports d’installation ainsi que la licence d’utilisation devront être fournis. L’installation du logiciel sera réalisée en présence d’un technicien du service informatique du C2RMF.

Devront également être remis à la réception de cet équipement :

- Le bulletin d’identification comportant le descriptif et les caractéristiques des appareils.
- Les manuels d’utilisation obligatoirement en français ou en anglais (exemplaire papier ou sur clef USB).
- Les notices et documentations techniques complètes comprenant les schémas électroniques détaillés, les plans d’implantation et de câblage des différents éléments, la description des réglages et des principales pannes, et une nomenclature des pièces détachées.
- Les documents détaillant les procédures de contrôle qualité à réaliser périodiquement, le cas échéant,
- Les procès-verbaux de mise en service et d’essais.

2.3.1 - Analyseur élémentaire avec passeur automatique

- Cet équipement assurera la combustion totale des échantillons organiques solides (température > 1000°C), la purification et la séparation des gaz produits.

- Il doit être équipé d'un passeur automatique avec une centaine de positions permettant la pesée en amont des échantillons.
- L'analyseur élémentaire doit permettre d'obtenir des gaz assez purs pour réaliser leur datation par le radiocarbone. Cela implique la purge préalable de l'air ambiant avant combustion et la purification des gaz produits (réduction des oxydes, piégeage des halogènes).
- L'analyseur élémentaire doit séparer les gaz de combustion en évitant tout effet mémoire.
- L'analyseur élémentaire doit proposer la mesure des compositions élémentaire en carbone et azote des gaz purifiés de manière précise ($< 0,1$ % d'erreur).
- L'équipement doit transmettre les gaz de manière contrôlée au graphitiseur.
- Dans une démarche d'évolutivité du dispositif, l'analyseur élémentaire devra obligatoirement pouvoir être couplé ultérieurement avec un spectromètre de masse IRMS et ainsi permettre l'analyse isotopique des échantillons traités.

2.3.2 - Système de graphitisation

- Cet équipement assurera la transformation du gaz CO_2 transmis par l'analyseur élémentaire en carbone graphite afin de permettre sa datation par le radiocarbone.
- L'équipement devra proposer des systèmes automatisés de piégeage du CO_2 et de graphitisation.
- Le système de graphitisation devra permettre d'obtenir du carbone graphite propre et pur en vue de sa datation par le radiocarbone. Cela implique une graphitisation complète avec un rendement supérieur à 95% ainsi qu'une forte limitation des contaminations croisées entre échantillons.
- Afin d'augmenter le rendement analytique, l'équipement devra permettre le traitement de plusieurs échantillons simultanément, de manière indépendante mais coordonnée avec l'analyseur élémentaire.
- Le système de graphitisation devra être adaptable face aux variations de nature et de concentration en carbone des échantillons et permettre la graphitisation d'une large gamme de quantité de carbone, entre 0,2 mg et 2 mg par échantillon environ.
- Dans une démarche d'évolutivité du dispositif, le système de graphitisation devra pouvoir obligatoirement être couplé, de même que l'analyseur élémentaire, ultérieurement avec un spectromètre de masse IRMS et ainsi permettre l'analyse isotopique des échantillons traités.

2.3.3 - Autres conditions communes

- Le caractère évolutif de l'équipement (mises à jour, remplacement de l'informatique, ...) dans un futur proche ou lointain sera précisé et détaillé.
- L'appareil doit fonctionner de préférence sous une alimentation électrique de 220-230 Volts.
- Les dimensions de l'appareil ainsi que les mesures à prendre (aménagement de la salle, matériel supplémentaire, etc.) pour permettre sa réception et son installation seront précisées.
- La proposition commerciale doit indiquer quelles sont les contraintes de fonctionnements liées à l'utilisation et à la maintenance de l'appareil.
- Les délais de livraison et d'installation de l'appareil à réception de la commande devront être précisés.

2.4 - Adaptation de l'équipement à l'environnement existant

Le dispositif sera installé dans une salle en sous-sol, sans ouverture sur l'extérieur, en remplacement d'un banc de combustion manuel.

Le fournisseur prendra en charge :

- La livraison et la mise en place de l'équipement fourni et de ses accessoires.
- La mise en service de l'instrumentation, la vérification des performances et la bonne marche des outils.

2.5 - Mentions complémentaires

L'appareil proposé peut éventuellement présenter certaines caractéristiques techniques différentes, qui devront alors être décrites de façon précise et compatibles avec la demande énoncée dans le présent CCTP. Il sera alors pertinent de mettre en avant l'apport positif de ces caractéristiques et de justifier leur intérêt pour les applications du C2RMF.

Article 3 : CONDITIONS D'EXECUTION DU MARCHÉ

3.1 - Modalités d'exécution des prestations

Les prestations comprennent la livraison du nouveau matériel ainsi que les prestations de configuration, de formation et de maintenance utilisateur. En concertation avec les équipes techniques du C2RMF, le fournisseur assure l'installation et la mise en service complète de l'équipement. Une offre de maintenance devra être présentée en option.

3.2 - Conditions d'accès au site Carrousel

Les équipements seront livrés dans l'aire de livraison du Centre de Recherche et de Restauration des musées de France :

Palais du Louvre - Porte des Lions
14 quai François Mitterrand
75001 Paris

Accès par la VDI (Voie de Desserte intérieure) au site du Carrousel - Palais du Louvre
C2RMF – Aire de livraison du musée du Louvre
Voie de Desserte Intérieure
1 Avenue du Général Lemonnier
75001 Paris

Interventions ponctuelles :

- Le titulaire sollicite les autorisations d'accès individuelles au plus tard 48h auparavant, aux personnes référentes indiquées au paragraphe **3.3**.
- L'ensemble des procédures d'accès au site est remis au titulaire dès la notification du marché,

- L'accès peut être refusé aux personnels qui n'ont pas été annoncés et qui ne sont pas munis de badge d'identification ou d'une pièce d'identité,

Livraison de matériels :

- Le titulaire communique 48 heures à l'avance le nom du chauffeur, des manutentionnaires et le n° d'immatriculation du véhicule, aux personnes référentes indiquées au paragraphe 3.3 ci-dessous.
- Il se conforme aux prescriptions contraignantes qui lui sont remises par le C2RMF.

3.3 - Modalités de livraison des nouveaux matériels

Délai de prévenance

Le titulaire devra, dans un délai maximal de 10 jours ouvrés, prévenir la personne référente, de la livraison de la totalité du matériel et des accessoires nécessaires au montage :

- Thibault Clauzel : thibault.clauzel@culture.gouv.fr

- Agnès Lattuati-Derieux : agnes.lattuati-derieux@culture.gouv.fr

Délai de montage et mise en route

Le montage et la mise en service opérationnelle devront être prévus dans un délai de 10 jours ouvrés à compter de la date de livraison.

3.4 – Formation

L'offre doit inclure lors de l'installation, une formation initiale pour trois personnes, prise en charge par le prestataire et assurée dans les locaux du C2RMF (site Carrousel, Palais du Louvre, Paris).

Le titulaire s'engage à fournir à la livraison toute documentation technique en français (ou en anglais, le cas échéant) permettant d'assurer la maintenance et le fonctionnement correct du matériel.

3.5 – Garantie et maintenance

L'équipement proposé fait l'objet d'une garantie constructeur pièces, main d'œuvre et déplacement, d'un an minimum.

La réception définitive suivie de la mise en ordre de marche marque le début de la période de garantie.

Lors de la période de garantie, le prestataire prévoit des visites de maintenance préventive annuelles. A l'issue de chaque visite, un rapport sera envoyé à l'utilisateur.

En cas d'interruption du fonctionnement de l'équipement, une intervention curative sera assurée dans un délai de 5 jours ouvrés (lundi au vendredi de huit heures trente à dix-huit heures trente, jours fériés exclus), à partir du jour de la sollicitation de l'utilisateur.

Au titre de cette garantie, le titulaire s'oblige à remettre en état ou à remplacer à ses frais la partie de la prestation qui serait reconnue défectueuse, exception faite du cas où la défectuosité serait imputable au pouvoir adjudicateur.

Cette garantie couvre également les frais de livraison, de conditionnement, d'emballage et de transport de matériel nécessités par la remise en état ou le remplacement, qu'il soit procédé à ces opérations au lieu de l'utilisation de l'équipement ou que le titulaire ait obtenu que la fourniture soit renvoyée à cette fin dans ses locaux.

Le fournisseur indiquera les règles d'entretien et de maintenance de l'équipement.

Lorsqu'une version nouvelle de l'application logicielle de pilotage des équipements est publiée, le titulaire du marché s'engage à en informer les équipes du C2RMF dans les meilleurs délais.

Si la nouvelle version constitue une mise à jour mineure, sans impact sur la licence acquise par le C2RMF, le titulaire s'engage à proposer et à réaliser l'opération de mise à jour correspondante.

Si la nouvelle version constitue une évolution majeure non compatible avec la licence acquise par le C2RMF, le titulaire devra proposer une offre commerciale pour la montée de version de cette application.

Option :

Une proposition de contrat de maintenance à l'issue de la garantie avec description des prestations offertes et indication de la somme forfaitaire annuelle sera formulée.

Article 4 : OBLIGATIONS ET RESPONSABILITÉS DU TITULAIRE

4.1 - Obligations du titulaire

4.1.1 - Dans les circonstances d'urgence, le titulaire est autorisé à prendre les mesures nécessaires pour remédier à tout incident. Il doit en aviser le C2RMF dans les plus courts délais.

4.1.2 - Les techniciens du titulaire affectés au C2RMF doivent respecter le règlement intérieur de l'établissement.

4.1.3 - Le titulaire doit assurer la formation de son personnel et veiller au respect de la réglementation en vigueur.

4.1.4 - Les techniciens du titulaire sont tenus de porter systématiquement les équipements de protection individuelle (EPI) à usage professionnel fournis par le titulaire lorsqu'ils interviennent sur les installations du C2RMF susceptibles de menacer leur sécurité et leur santé.

4.1.5 - Le titulaire est tenu de prendre toutes les mesures en faveur du développement durable :

- La collecte et le traitement des déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) concernant notamment les lampes et les équipements électriques usagés de tout type, les déchets issus de l'utilisation de consommables, les cartes électroniques, etc., sont à la charge du titulaire,

- La procédure utilisée par le titulaire doit être en tout état de cause conforme à la circulaire du Premier Ministre du 3 décembre 2009 relative à l'exemplarité de l'État au regard du développement durable dans le fonctionnement de ses services.

4.1.6 - Le titulaire assure une mission de conseil continu auprès du C2RMF en émettant des propositions signalant toute optimisation et économie potentielles.

4.1.7 - Les personnels du titulaire sont tenus de respecter les règles suivantes :

- Se conformer en permanence aux consignes et procédures de sécurité spécifiques à l'établissement,
- Demander selon le cas un permis de feu ou de poussière auprès du responsable de la sécurité pour tous les travaux susceptibles de générer des flammes, de la fumée, des étincelles ou des poussières. Ces permis sont établis uniquement pour la journée en cours. Ils sont renouvelés autant que de besoin,
- Il est formellement interdit de :
 - fumer ou de vapoter à l'intérieur de l'établissement (art. 28 de la [loi n° 2016-41 du 26 janvier 2016](#)),
 - travailler à proximité des œuvres sans autorisation et tout particulièrement si ces celles-ci ne sont pas adéquatement protégées contre les risques résultant de son activité,
 - travailler à proximité des personnels du C2RMF en utilisant des machines pouvant être dangereuses pour ceux-ci.

4.2 - Responsabilités du titulaire

4.2.1 - Pendant toute la durée d'exécution du marché, le titulaire est responsable des dommages qui pourraient être causés de son fait aux personnes, aux biens ou aux installations dont il assure la maintenance.

4.2.2 - Le titulaire prend à sa charge tous les risques de responsabilité civile (accident, incendie, explosion, dégât des eaux, pollution, etc.). À cet effet, il doit contracter une assurance prenant effet à la date du début d'exécution du marché.

4.2.3 - Si les installations électriques et les locaux cessent d'être conformes à la législation ou à la réglementation en vigueur, le titulaire est tenu de le signaler dans les plus brefs délais au C2RMF.