UNION EUROPEENNE
Fonds Européen de développement Régional

CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIERES

Lot n°3 : Fourniture d'un Dispositif de TP « Machines Thermiques » basé sur l'effet thermoélectrique

Procédure formalisée
*N° de marché : **2026-1533***

ACHETEUR :
UNIVERSITE DE PAU ET DES PAYS DE L'ADOUR

UNION EUROPEENNE
Fonds Européen de développement Régional

SOMMAIRE

Article 1 – OBJET DE LA CONSULTATION 3
Article 2 – CONTEXTE DU MARCHE 3
2.1 Présentation générale de l'université 3
2.2 Responsabilité Sociétale et plan de sobriété 3
2.3 Présentation du service émetteur du besoin et contexte de l'achat 4
Article 3 – OBJECTIFS 4
Article 4 – CONFORMITE 5
Article 5 – DESCRIPTION TECHNIQUE 5
5.1 – Architecture générale du système 5
5.2 – Exigences techniques par sous-système 5
5.2.1 – Le boîtier thermoélectrique instrumenté 5
Le boîtier doit intégrer les éléments suivants : 5
5.2.2 – Système d'acquisition et logiciel 5
Le système doit comprendre : 5
5.2.3 – Alimentations et charges électriques 5
5.3 – Performances attendues 6
Article 6 – CONDITIONS D'EXECUTION 6
6.1 Exécution 6
6.2 Livraison et installation 6
6.3 Mise en service avec formation 7
6.4 Opérations de vérification 7
6.5 Admission du matériel / de la prestation 7
6.6 Garantie 7
6.7 Service après-vente 8

UNION EUROPEENNE
Fonds Européen de développement Régional

Article 1 – OBJET DE LA CONSULTATION

La présente consultation a pour objet la fourniture, la livraison, l'installation, la mise en service et la formation associée d'un dispositif expérimental dédié à l'étude des machines thermiques basées sur l'effet thermoélectrique, destiné à un usage pédagogique au sein de l'École Nationale Supérieure en Génie des Technologies Industrielles (ENSGTI) à l'université de Pau et des pays de l'Adour (UPPA).

Le présent marché est financé par le programme européen Fonds européen de développement régional (FEDER).

Le numéro de référence attribué à ce marché est le 2026-1533.

Le montant estimatif du lot est de 11580 € HT.

Article 2 – CONTEXTE DU MARCHE

2.1 Présentation générale de l'université

L'université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA) se distingue par son caractère pluridisciplinaire et sa configuration multi sites sur 5 campus :
- 4 campus en région Nouvelle Aquitaine : dans les Pyrénées-Atlantiques (64) à Pau, Bayonne et Anglet, dans les Landes (40) à Mont-de-Marsan.
- 1 campus en région Occitanie : dans les Hautes-Pyrénées (65) à Tarbes.

L'UPPA est organisée en 3 collèges universitaires. Chaque collège regroupe des composantes internes de formation et de recherche, des écoles d'ingénieurs et instituts (IUT, IAE), des écoles doctorales et des services administratifs.

Université renommée, à taille humaine, elle prépare avec ses 1 659 personnels, 12 908 étudiants à l'obtention de plus de 100 diplômes, aussi bien en formation initiale, professionnelle que continue. Elle compte 969 enseignants et son activité de recherche est importante.

Pour plus d'informations, le site de l'université est accessible à l'adresse suivante : http://www.univ-pau.fr/live/.

2.2 Responsabilité Sociétale et plan de sobriété

Depuis la définition de sa politique RSU (Responsabilité sociétale de l'université) en 2022, l'UPPA s'est fortement engagée dans la structuration de sa stratégie environnementale et sociétale par :

- La spécialisation de sa recherche au travers de cinq missions interdisciplinaires[1], en lien avec les objectifs de développement durable (ODD) de l'ONU.
- L'intégration de la Transition écologique pour un développement soutenable (TEDS) dans la formation initiale des étudiants.
- La formation tout au long de la vie de l'ensemble des personnels de l'Etablissement supérieur et de la recherche (ESR).

L'élaboration d'un plan de sobriété en 2022 a concrétisé cet engagement et démontre la volonté d'atteindre, à court et moyen termes, des objectifs chiffrés de réduction de consommation énergétique. Ainsi, en réponse au Plan Climat du Ministère de l'ESR, l'UPPA a élaboré son premier bilan des émissions de gaz à effet de serre (BEGES). Ce document est disponible sur le site de l'ADEME. Réalisé en interne en 2024, ce bilan a permis de mesurer l'empreinte carbone de l'université et identifier des pistes d'amélioration pour réduire son impact environnemental.

[1] Lien UPPA vers page web des 5 missions : https://recherche.univ-pau.fr/fr/accueil.html

UNION EUROPEENNE
Fonds Européen de développement Régional

Dans cette dynamique, l'ambition de l'université s'est tournée vers la candidature au label Développement durable & responsabilité sociétale - **DD&RS**. Celui-ci repose sur un référentiel national exigeant décliné en cinq axe (Stratégie et gouvernance, Enseignement et formation, Recherche et innovation, Environnement, Politique sociale). En décembre 2024, l'UPPA a obtenu ce label pour la durée maximale de 4 ans. Cette réussite affirme le potentiel et la volonté de l'université de s'engager dans une démarche qualité et d'amélioration continue. Enfin, l'UPPA élabore un schéma directeur Développement durable & responsabilité sociétale et environnementale (SD DD&RSE) . Il répondra aux attendus stratégiques et opérationnels du Ministère (Plan climat-biodiversité, circulaire Services publics écoresponsable - SPE[2]).

A cette fin, dans son offre, le prestataire tient compte des éventuelles conditions d'exécution et critère(s) en prenant en compte les considérations relatives à l'environnement, au domaine social, à l'emploi ou à la lutte contre les discriminations.

2.3 Présentation du service émetteur du besoin et contexte de l'achat

L'École Nationale Supérieure en Génie des Technologies Industrielles (ENSGTI) est une école d'ingénieurs publique de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA), spécialisée dans les domaines de l'énergétique, du génie des procédés et du Génie Électrique et Informatique Industrielle. Elle forme des ingénieurs capables de concevoir, modéliser et optimiser des systèmes énergétiques et industriels.

L'ENSGTI souhaite s'équiper d'un banc d'essai permettant d'illustrer les concepts de thermodynamique et de conversion d'énergie. L'objectif est de permettre aux étudiants de calculer les rendements d'une machine thermique, d'étudier le coefficient de performance (COP) d'une pompe à chaleur thermoélectrique et de caractériser les propriétés des matériaux thermoélectriques.

L'équipement sera utilisé lors de travaux pratiques, de projets encadrés et, le cas échéant, dans le cadre d'activités de recherche, avec un objectif de mise en situation réelle et d'analyse expérimentale des systèmes énergétiques.

Article 3 – OBJECTIFS

L'équipement doit répondre aux objectifs pédagogiques suivants :

- **Étude du régime passif** : Analyse de la résistance thermique et de la conductivité des matériaux ;
- **Étude du mode Pompe à Chaleur (Effet Peltier)** : Analyse du pompage thermique, détermination du ΔT maximal et calcul du COP ;
- **Étude du mode Générateur (Effet Seebeck)** : Conversion d'un gradient thermique en énergie électrique, détermination du point de puissance maximale et du coefficient Seebeck ;
- **Analyse énergétique** : Réalisation de bilans thermiques complets en prenant en compte les fuites thermiques.

L'équipement doit permettre l'étude expérimentale du couplage entre flux thermiques et courants électriques, notamment à travers les effets Seebeck et Peltier, et permettre l'établissement de bilans énergétiques rigoureux.

Le titulaire devra fournir une installation :

- **Complète et fonctionnelle**, incluant le module thermoélectrique, les sources de chaleur/froid et le système d'acquisition ;
- **Hautement instrumentée**, permettant l'acquisition simultanée des potentiels (températures, tensions) et des flux (flux thermiques, courants) ;
- **Modulaire**, permettant le remplacement des modules pour l'étude comparative de différents matériaux ;
- **Sécurisée**, avec des protections thermiques et électriques adaptées à un usage étudiant.

[2] https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/fr/plan-climat-biodiversite-et-transition-ecologique-de-l-enseignement-superieur-et-de-la-recherche-91292

UNION EUROPEENNE
Fonds Européen de développement Régional

Article 4 – CONFORMITE

L'ensemble du dispositif doit être conforme aux normes européennes en vigueur au moment de la livraison.

Les parties manipulées par les utilisateurs doivent être alimentées en très basse tension. Le système doit intégrer des sécurités thermiques coupant l'alimentation en cas de dépassement d'un seuil critique (ex : 90°C).

Article 5 – DESCRIPTION TECHNIQUE

La présente section définit les caractéristiques techniques attendues du dispositif d'étude de l'effet thermoélectrique ainsi que les exigences associées à sa conception, sa réalisation et son fonctionnement.

L'ensemble des équipements proposés devra permettre d'atteindre les objectifs définis à l'article 3, en particulier en termes de fonctionnement, d'instrumentation et d'exploitation pédagogique.

5.1 – Architecture générale du système

L'installation doit être composée de trois blocs fonctionnels :

1. Un bloc thermoélectrique instrumenté (cœur du système) ;
2. Un bloc d'acquisition et de traitement des données ;
3. Un bloc d'alimentation et de charge électrique.

5.2 – Exigences techniques par sous-système

5.2.1 – Le boîtier thermoélectrique instrumenté

Le boîtier doit intégrer les éléments suivants :

- Module thermoélectrique : Un module peltier/seebeck principal, remplaçable ;
- Source chaude : Une résistance chauffante équipée d'une sonde de température ;
- Mesure de flux : Un dispositif de mesure fluxmétrique (fluxmètre thermique) permettant l'acquisition simultanée de la température et du flux thermique sous le module ;
- Source froide : Une plaque thermostatée (boîte à eau) pour l'évacuation de la chaleur, équipée de tubes de circulation permettant son raccordement à un circuit de thermalisation externe (bain thermostaté, cryostat, etc.), dont les caractéristiques seront adaptées à la source chaude et au dispositif expérimental dans son ensemble.
- Isolation : Un ensemble de matériaux isolants pour limiter les pertes thermiques parasites et diriger le flux à travers le module ;
- Maintenance : Un système permettant l'ouverture et le remplacement rapide des modules thermoélectriques pour effectuer des comparaisons de performances.

5.2.2 – Système d'acquisition et logiciel

Le système doit comprendre :

- Un boîtier de conversion analogique/digital pour la mesure simultanée des flux thermiques, des températures, des courants et des tensions.
- Une liaison USB vers un ordinateur.
- Un logiciel de lecture et d'enregistrement des données compatible avec Windows (a minima csv), permettant l'analyse temporelle des mesures.

5.2.3 – Alimentations et charges électriques

Le dispositif doit être livré avec :

- Source 1 : Alimentation de laboratoire dédiée à la résistance chauffante.
- Source 2 : Alimentation de laboratoire dédiée au module (mode pompe à chaleur).
- Boîte de charges : Un ensemble de résistances électriques interchangeables (type fiches banane) pour la caractérisation du module en mode générateur.

UNION EUROPEENNE
Fonds Européen de développement Régional

5.3 – Performances attendues

L'équipement doit permettre l'acquisition de données à un rythme d'au moins une mesure par seconde pour :

- Tracer les caractéristiques $V = f(I)$ du module en mode générateur.
- Calculer la résistance interne du module par extrapolation.
- Déterminer le coefficient Seebeck des matériaux.
- Établir le bilan énergétique et calculer le rendement de conversion η en fonction du rendement de Carnot et du ZT des matériaux.

Article 5.4 – Documentation et Supports

Le candidat devra fournir lors de la remise des offres :

- Une notice complète de montage et de mise en route.
- Une documentation technique détaillant les caractéristiques dimensionnelles du module et des plots.
- Des exemples d'expériences applicatives (régime passif, mode Peltier, mode Seebeck) avec les méthodes de calcul associées.

Ces documents devront être disponibles en français et/ou anglais.

L'équipement devra être conçu de manière à ne nécessiter **aucuns travaux d'infrastructure spécifiques** pour son installation.

L'attention des candidats est attirée sur le fait que l'offre doit répondre à toutes les exigences définies dans les documents de la consultation.

Toute spécification technique figurant dans les documents doit être entendue avec la mention ou équivalent sauf mention contraire.

Article 6 – CONDITIONS D'EXECUTION

6.1 Exécution

Le titulaire s'engage à respecter les mesures sanitaires en vigueur dans le cadre des prestations de livraison, installation, mise en service, vérifications, formation, garantie et service après-vente.

Le prestataire doit être capable d'exécuter la prestation dans un délai de **18 semaines maximum** à compter de la date de notification du marché.

6.2 Livraison et installation

Le prestataire doit être capable de livrer et installer le matériel dans un délai de **14 semaines maximum** à compter de la date de notification du marché. En cas de possible livraison dans un délai inférieur de 4 semaines à compter de la notification du marché, la livraison et l'installation seront conditionnées à un accord de l'acheteur.

Le matériel sera livré et installé par le titulaire après prise de rendez-vous avec le coordonnateur, selon un planning établi en commun, ceci afin d'éviter les interruptions de service ou les perturbations dans le fonctionnement des composantes et services. L'accès aux locaux techniques en rapport avec l'exécution des prestations est soumis à l'accord préalable du responsable du site ou de toute personne désignée par lui.

L'adresse de livraison est la suivante :
Université de Pau et des Pays de l'Adour
École Nationale Supérieure en Génie des Technologies Industrielles (ENSGTI)
Bâtiment Lavoisier - Halle technologique
Rue Jules Ferry
64000 Pau

UNION EUROPEENNE
Fonds Européen de développement Régional

6.3 Mise en service avec formation

Pour chacun des lots, le titulaire devra fournir, lors de la mise en service, une documentation complète, en français ou en anglais, comprenant notamment :

- Les **schémas détaillés** de l'installation (aéraulique, hydraulique, électrique et régulation) ;
- Une **notice pédagogique**, permettant la compréhension du fonctionnement du système et de ses sous-ensembles ;
- Des **exemples de manipulations ou de travaux pratiques**, exploitables dans un cadre d'enseignement.

Cette documentation devra être fournie sous format numérique et, le cas échéant, sous format papier.

La date de mise en service effective du matériel doit avoir lieu sous **2 semaines** maximum après sa livraison.
Une formation indispensable à la mise en service ou mise en ordre de marche du matériel sera délivrée par le prestataire pour l'utilisation de l'instrument.
Celle-ci sera réalisée dans un délai de **4 semaines** maximum à compter de la date de livraison et dispensée à 2 personnes minimum membres du personnel UPPA.

6.4 Opérations de vérification

Les opérations de vérification seront réalisées sur site et porteront sur l'ensemble des spécifications demandées, selon les modalités prévues aux articles 27 à 29 du CCAG-FCS publié au journal officiel du 1er avril 2021.

Par dérogation à l'article 28 du CCAG-FCS, les deux types de vérifications suivantes sont effectuées en vue de l'admission de la prestation :

- Vérification d'aptitude (VA) :

Une réception technique provisoire du matériel devra être constatée par procès-verbal dans un délai de **2 semaines** à l'issue de la mise en service.
Cette vérification d'aptitude doit permettre de constater l'efficience technique du matériel.

- Vérification de service régulier (VSR) :

En plus de la vérification d'aptitude, la vérification de service régulier aura pour but de constater que les équipements fournis sont capables d'assurer un service régulier dans les conditions normales d'exploitation pour remplir les fonctions visées dans le présent document.
La régularité du service s'observe dans un délai de **4 semaines** à partir du jour de la décision positive de vérification d'aptitude prise par l'acheteur. Le service est réputé régulier si la durée cumulée, sur un mois, des indisponibilités imputables à chaque élément de matériel ne dépasse pas 10 % de la durée d'utilisation effective qui s'étend de 8 heures à 18 heures, du lundi au vendredi, jours fériés exclus.

6.5 Admission du matériel / de la prestation

L'acheteur prononce l'admission des prestations, sous réserve des vices cachés, si elles répondent aux stipulations du marché.

L'admission prend effet à la date de notification au titulaire de la décision d'admission ou en l'absence de décision, dans un délai de six semaines à dater de la livraison ou de l'achèvement de l'exécution du service.

6.6 Garantie

6.6.1 Garantie légale

Il est rappelé au candidat que le matériel acquis au titre du présent marché bénéficie de la garantie légale prévue par les lois en vigueur.

6.6.2 Garantie contractuelle

UNION EUROPEENNE
Fonds Européen de développement Régional

Conformément à l'article 33 du CCAG-FCS la prestation proposée est assortie d'une garantie de 1 an (pièces, main d'œuvre et autres frais définis à l'article du CCAG-FCS précité) à compter de la date de notification de la décision d'admission.

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 à l'acheteur.

Cette garantie couvre également les frais de déplacement de personnel, 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 d'utilisation de la prestation ou que le titulaire ait obtenu que la fourniture soit renvoyée à cette fin dans ses locaux.

Lorsque, pendant la remise en état, la privation de jouissance entraîne pour l'acheteur un préjudice, celui-ci peut exiger un matériel de remplacement équivalent.

Délai dont dispose le titulaire pour effectuer une mise au point ou une réparation :

- Ce délai sera communiqué par décision de l'acheteur après consultation du titulaire.

Pendant le délai de garantie, le titulaire doit exécuter les réparations qui lui sont prescrites par l'acheteur. Il peut en demander le règlement s'il justifie que la mise en jeu de la garantie n'est pas fondée.
Si, à l'expiration du délai de garantie, le titulaire n'a pas procédé aux remises en état prescrites, ce délai est prolongé jusqu'à l'exécution complète des remises en état.

Le candidat indique dans son offre son organisation et ses modalités d'intervention pour répondre à la mise en œuvre de la garantie selon les conditions prévues au CCAG-FCS.

Selon les usages de la profession, le candidat peut proposer une garantie contractuelle sans contrepartie financière. Tout chiffrage par le candidat sera réputé non écrit.

6.7 Service après-vente

Selon les usages de la profession, le candidat peut proposer un service après-vente sans contrepartie financière. Tout chiffrage par le candidat sera réputé non écrit.

UNION EUROPEENNE
Fonds Européen de développement Régional