UNIVERSITÉ DE PAU ET DES PAYS DE L'ADOUR

UNION EUROPEENNE
Fonds Européen de développement Régional

CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIERES

Lot n° 2 : Fourniture d'un Banc Didactique de Système Hybride Pile à Combustible

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 – Sous-système Pile à Combustible (Objectif PaCo) 5
5.2.2 – Sous-système Hybridation et Solaire (Objectif Smart-Grid) 5
5.2.3 – Intelligence et Pilotage (Objectif Smart-Grid) 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 banc didactique de Système Hybride Pile à Combustible, 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 61400€ HT.

Article 2 – CONTEXTE DU MARCHE

2.1 Présentation générale de l'université

L'université de Pau et des Pays de l'Adour (l'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, 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'acquisition de ce banc s'inscrit dans une volonté de coupler la compréhension physique des nouvelles sources d'énergie (hydrogène) avec la maîtrise des systèmes de commande modernes (Smart-Grids). L'équipement doit permettre de passer de l'analyse d'un composant (la pile) à l'analyse d'un système complexe (le micro-réseau).

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

Le marché répond à deux axes pédagogiques majeurs :

Axe 1 : Maîtrise de la Technologie PaCo

- Analyser le fonctionnement d'une pile à membrane échangeuse de protons (PEMFC).
- Étudier la chaîne de distribution d'hydrogène (stockage par hydrures).
- Réaliser des courbes de polarisation et évaluer le rendement énergétique.

Axe 2 : Pilotage et Smart-Grid

- Implémenter des stratégies d'arbitrage énergétique entre sources intermittentes (PV), stockage (Batterie) et source stable (Pile).
- Étudier le lissage de charge et la gestion du SOC (State of Charge) de la batterie.
- Maîtriser le pilotage en temps réel via un bus de communication industriel (CAN).
- Simuler des scénarios de réseaux intelligents (gestion de la demande, optimisation des flux).

L'équipement est conçu pour répondre à un **double objectif d'enseignement** :

- **Le volet « Technologie Pile à Combustible » (PaCo)** : étude du fonctionnement d'une pile, de la gestion de l'hydrogène et de la caractérisation électrochimique ;
- **Le volet « Smart-Grid et Pilotage »** : étude de la gestion intelligente de l'énergie (EMS), de l'hybridation avec le solaire et le stockage, et du pilotage numérique via bus de communication.

[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

Le titulaire devra fournir une installation complète incluant : un système de conversion, une pile à combustible, un stockage d'hydrogène, un générateur photovoltaïque, une charge électronique programmable et une interface de pilotage ouverte.

Article 4 – CONFORMITE

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

Article 5 – DESCRIPTION TECHNIQUE

La présente section définit les caractéristiques techniques attendues du banc didactique de système hybride pile à combustible 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'équipement doit être modulaire et comprendre :

- **Le bloc « PaCo »** : Pile PEMFC avec refroidissement forcé et stockage H_2 par hydrures métalliques.
- **Le bloc « Énergie et Smart-Grid »** : Unité de conversion de puissance, batterie Lithium-ion (NMC), régulateur MPPT et panneau solaire.
- **Le bloc « Charge et Analyse »** : Charge électronique DC programmable haute précision.
- **Le bloc « Pilotage et IHM »** : Interface tactile et passerelle de communication CAN.
- Un **système de production d'eau glacée** adapté, comprenant un groupe de production et les équipements nécessaires à son fonctionnement (stockage, régulation, instrumentation).

L'ensemble devra être conçu de manière modulaire et accessible, afin de permettre l'observation, l'analyse et l'étude indépendante de chacun des sous-systèmes.

5.2 – Exigences techniques par sous-système

5.2.1 – Sous-système Pile à Combustible (Objectif PaCo)

- Technologie PEM à cathode ouverte ;
- Puissance nominale de l'ordre de 500 W, en cohérence avec les autres dispositifs constituant le banc ;
- Refroidissement à air forcé ;
- Stockage H_2 : Kit hydrures métalliques incluant bouteille, support et détendeur sécurisé ;
- Communication : protocole standard, par exemple CANbus, pour l'acquisition des données internes (T° stack, Pression H_2).

5.2.2 – Sous-système Hybridation et Solaire (Objectif Smart-Grid)

- Stockage électrique incluant a minima une batterie électrochimique de capacité cohérente avec les autres dispositifs constituant le banc ;
- Refroidissement à air forcé ;
- Production renouvelable : Panneau solaire avec régulateur MPPT compatible avec le reste du système ;
- Charge Électronique de puissance adaptée, instrumentée et pilotable selon protocole standard.

5.2.3 – Intelligence et Pilotage (Objectif Smart-Grid)

Le système doit permettre une gestion flexible des flux :

- Une interface autonome de supervision (IHM) ;
- Stratégies pilotables : Capacité à prioriser le solaire, à utiliser la batterie comme tampon de puissance et à réguler la pile pour le maintien du SOC, etc ;
- Ouverture numérique : utilisation d'un protocole standard et **documenté** permettant l'injection de consignes externes et l'acquisition de données.

UNION EUROPEENNE
Fonds Européen de développement Régional

5.3 – Performances attendues

L'équipement doit permettre la réalisation des TP suivants :

- **TP PaCo :** Relevé de la tension en fonction du courant (courbe de polarisation), calcul du rendement électrique et analyse de la consommation d'hydrogène.
- **TP Smart-Grid :**
  - Mise en œuvre d'un scénario de Peak Shaving (la batterie absorbe les pointes de charge pour stabiliser la pile).
  - Optimisation du mix énergétique (Solaire → Batterie → Pile).
  - Développement d'un script (Python) de pilotage externe via le bus CAN pour automatiser un cycle de charge/décharge.

Article 5.4 – Documentation et Supports

Le candidat fournira lors de la remise des offres :

- Une notice technique complète et un manuel d'utilisation.
- **Un guide pédagogique structuré selon le double objectif** :
  i. Guide de TP sur la technologie PaCo.
  ii. Guide de TP sur le pilotage Smart-Grid et la gestion d'énergie.
- La base de données des trames CAN (dictionnaire d'ID) pour l'exploitation informatique.

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 :

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

UNION EUROPEENNE
Fonds Européen de développement Régional

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

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