

OBJET DU MARCHE

Fourniture de moyens d'essais de refroidissement de Data Centers

CAHIER DES CLAUSES PARTICULIERES

Contexte :

L'Université Polytechnique Hauts-de-France (UPHF) a décidé d'acquérir des moyens d'essais de refroidissement de Data Centers afin de mener des actions de recherche et de formation.

En s'associant avec les entreprises OVHcloud et MOTUL, l'UPHF a candidaté et a été lauréate de l'appel à projet de l'ADEME : ECONUM, ceci dans le cadre de France 2023 et portant sur la Stratégie du Numérique Responsable.

Ce projet intitulé « Optimisation des performances de refroidissement et réduction de l'empreinte environnementale dans un data centre » OPRREE, a pour ambition de développer des data centers écoresponsables, en proposant une technologie de refroidissement des serveurs par immersion dans des fluides diélectriques biosourcés. Cette approche permet une dissipation thermique optimale, une réduction significative de la consommation énergétique et une meilleure durabilité des équipements.

Le projet vise à :

- Réduire l'empreinte carbone des infrastructures numériques,
- Intégrer des solutions durables dans l'écosystème industriel,
- Déployer un modèle répliquable à l'échelle nationale et internationale.

Le projet OPRREE vise à optimiser les performances de refroidissement des data centers tout en minimisant l'empreinte carbone grâce à l'utilisation de fluides diélectriques biosourcés et à une meilleure efficacité énergétique.

Le laboratoire LAMIH UMR CNRS 8201 de l'UPHF est chargé, dans le cadre de ce projet de

- Développer et optimiser les technologies de refroidissement par immersion passive et/ou active, combinée à d'autres technologies de refroidissement passives, avec ou sans changement de phase
- Mettre en place des bancs de tests multi échelles et des indicateurs de performance.

ARTICLE 1. DISPOSITIONS GENERALES

1.1 : Objet

La présente consultation a pour objet la fourniture, la mise en place et la formation de moyens d'essais de refroidissement de Data Centers pour l'Université Polytechnique Hauts-de-France (UPHF).

1.2. Forme du marché

Le présent marché est un contrat de fourniture passé sous la forme de la procédure de l'appel d'offres ouvert en application du Code de la Commande Publique.

La présente consultation n'est pas allotie au sens de l'article L.2113-10 du Code de la Commande Publique. La dévolution en lots séparés risque de rendre techniquement difficile ou financièrement plus coûteuse l'exécution des prestations.

1.3. Délai d'exécution

Le marché court à compter de la notification à l'expiration du délai de garantie et/ou maintenance. La durée de la garantie court à compter de l'admission du matériel.

Une prolongation du délai d'exécution peut être accordée par le pouvoir adjudicateur dans les conditions de l'article 13.3 du CCAG-FCS.

1.4. Délai et modalités de livraison

Le délai de livraison court à compter de la réception du bon de commande. Il ne peut être supérieur à trois (3) mois.

Le candidat peut proposer un délai moindre lors du dépôt de son offre. Ce délai sera contractuel.

Le matériel doit être livré selon les informations précisées sur le bon de commande.

La livraison est accompagnée d'un bon de livraison indiquant notamment :

- la date d'expédition ;
- le lieu de livraison ;
- le nom du titulaire du marché ;
- la référence du marché ;
- le numéro du bon de commande

1.5. Langue des correspondances

Tous les documents, inscriptions sur le matériel, les correspondances, les demandes de paiement ou les modes d'emploi doivent être entièrement rédigés en langue française ou accompagnés d'une traduction en français, certifiée conforme à l'original par un traducteur assermenté.

1.6. Sous-traitance

Le titulaire peut sous-traiter l'exécution de certaines parties de son marché, sous réserve de l'acceptation du ou des sous-traitants par le maître de l'ouvrage et de l'agrément par lui des conditions de paiement de chaque sous-traitant. Les conditions de l'exercice de cette sous-traitance sont définies aux articles R2193-1 à R2193-9 du Code de la Commande Publique.

ARTICLE 2. PIECES CONSTITUTIVES DU MARCHÉ

Le contrat est constitué des documents énumérés ci-dessous par ordre de priorité décroissante :

- l'Acte d'Engagement (AE) et son annexe financière établie par le candidat ;
- le présent Cahier des Clauses Particulières (CCP) ;
- le Cahier des Clauses Administratives Générales applicables aux Fournitures Courantes et Services (CCAG FCS) ;
- l'offre technique du titulaire ;
- les actes d'exécution et modificatifs contractualisés en phase d'exécution.

En cas de contradiction ou de différence entre les pièces constitutives du marché, l'ordre dans lequel elles sont énumérées prévaut dans leur application.

ARTICLE 3 : CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

Le projet OPRREE vise à optimiser les performances de refroidissement des data centers tout en minimisant l'empreinte carbone grâce à l'utilisation de fluides diélectriques biosourcés et à une meilleure efficacité énergétique.

Le laboratoire LAMIH UMR CNRS 8201 de l'UPHF est chargé, dans le cadre de ce projet de

- Développer et optimiser les technologies de refroidissement par immersion passive et/ou active, combinée à d'autres technologies de refroidissement passives, avec ou sans changement de phase
- Mettre en place des bancs de tests multi échelles et des indicateurs de performance.

Le présent Cahier des charges concerne l'accompagnement de l'UPHF dans la mise en place de l'ensemble des bancs d'essais du projet. Ces bancs d'essais A-B-C, de différents niveaux d'échelles et de complexités, ont pour objectif de permettre l'analyse, l'optimisation et la validation des solutions de refroidissement développées dans le cadre du projet OPRREE.

BANC D'ESSAIS A

1. Fonction et objectifs

Le banc d'essais A constitue une première plateforme instrumentée dédiée à l'analyse comparative des performances thermiques de différentes huiles biosourcées destinées au refroidissement par immersion. Il permet également d'étudier la convection naturelle et forcée, la réponse thermique à une source chaude localisée et l'effet des propriétés du fluide diélectrique. L'objectif est de fournir un banc d'essais transparent, permettant de caractériser finement les transferts thermiques et les écoulements internes.

2. Unité d'essai : enceinte transparente instrumentée

L'unité expérimentale est une enceinte transparente, étanche, d'environ 500 mm × 600 mm × 200 mm, placée sur un châssis mobile et équipé :

- d'entrées et sorties pour la circulation des huiles,
- d'un contrôle en pression,
- d'un système de filtration,
- d'une plaque chauffante mono-source de 50 mm × 50 mm, dissipant 300 à 800 W,
- d'une pompe et d'un débitmètre permettant de tester des débits d'huile de 0 à 5 l/min,
- d'un échangeur de chaleur (eau-huile) permettant de contrôler la température d'entrée de fluide
- de hublots transparents aux infrarouges (fluorine ou saphir synthétique),
- d'un système d'éclairage compatible PIV / tomographie,

La position de la source chaude doit être modulable (centre, proche parois ...) afin d'étudier son impact sur l'efficacité du refroidissement.

3. Instrumentation et chaîne de mesure

Le banc comporte :

- des thermocouples pour la mesure des températures du fluide et de la plaque,
- une centrale d'acquisition pilotée par ordinateur,
- un ensemble d'éclairages adapté pour la visualisation des écoulements
- une ou des fenêtres transparentes aux infrarouges.

L'ensemble de l'instrumentation sera livré avec des certificats d'étalonnages.

4. Conditions expérimentales types

Le banc permet :

- la comparaison d'huiles biosourcées en terme de températures maximales et coefficient thermique d'échange.
- l'étude de la convection naturelle et forcée,
- l'imagerie thermique (IR),
- la visualisation des écoulements (PIV, tomographie).
- L'intégration d'autres systèmes de refroidissement, notamment de type diphasique passifs.

BANC D'ESSAIS B

1. Fonction et objectifs

Le banc d'essais B est destiné à l'étude approfondie de la convection naturelle et forcée dans une configuration à sources de chaleur multiples, représentative de groupes de composants électroniques dissipatifs. Il permet d'examiner l'interaction thermique entre plusieurs zones chaudes, l'influence des puissances relatives et l'impact d'une géométrie mince sur les régimes convectifs. Il permet également d'évaluer l'effet des matériaux de la cuve sur la dynamique thermique.

2. Unité d'essai : enceinte plate multi-sources

L'enceinte expérimentale a des dimensions 500 mm × 600 mm × 50 mm. Deux versions seront réalisées, une métallique et une en matériau transparent. L'enceinte intègre une plaque chauffante comprenant trois sources :

- 50 mm × 25 mm,
- 75 mm × 25 mm (×2).

Chaque source a une puissance réglable entre 100 et 500 W, pour une puissance totale comprise entre 100 W et 1500 W.

Le banc inclut un système de vidange robuste, permettant le renouvellement rapide et propre du fluide, essentiel pour des essais successifs avec différents fluides ou configurations en convection naturelle. Pour la convection forcée avec le fluide diélectrique, il comprend un système de pompe et un échangeur de chaleur huile-eau permettant d'assurer une température d'entrée entre 20 et 80°C et un débit allant jusqu'à 5l/min.

3. Instrumentation et chaîne de mesure

Le banc est équipé de l'instrumentation ci-dessous :

- thermocouples multiples à proximité de chaque source et dans différentes zones du fluide,
- acquisition centralisée des températures et des puissances,
- mesure électrique individualisée pour chaque source,
- possibilité d'ajouter des capteurs complémentaires (pression locale, température de paroi).
- Mesure du débit de l'huile

L'ensemble de l'instrumentation sera livré avec des certificats d'étalonnages.

4. Conditions expérimentales types

Le banc permet :

- l'étude de la convection naturelle et/ou forcée locale,
- l'analyse de la stabilité thermique,
- l'exploration de l'influence relative de la position de chaque source,
- l'évaluation de l'impact du matériau et de la géométrie sur les régimes d'écoulement.

BANC D'ESSAIS C

1. Fonction et objectifs

Le banc d'essais C constitue une plateforme semi-industrielle conçue pour valider de manière expérimentale les technologies de refroidissement étudiées dans le cadre du projet. Il permet de recréer des conditions réalistes propres aux centres de données : immersion monophasée, immersion hybride (direct-to-chip + convection naturelle et ou/forcée), variation des profils thermiques, comparaison de fluides diélectriques et étude de la stabilité thermique des serveurs. L'objectif principal consiste à fournir un environnement reproductible, instrumenté et représentatif des contraintes thermiques d'un data center.

Le banc, dont les parois sont transparentes, pourra également intégrer une adaptation aux mesures infrarouges et vélocimétriques (PIV) via :

- une fenêtre transparente aux IR,
- un système d'éclairage,

2. Unité d'immersion : cuve 1U (≈ 25 L/serveur)

Chaque serveur est entièrement immergé dans 25 L de fluide diélectrique. Ce volume garantit des gradients thermiques suffisants pour analyser la convection et comparer différents fluides. La cuve pourra intégrer un hublot IR/PIV pour les analyses optiques en fonctionnement. Chaque serveur doit contenir deux unités de calculs de type CPU ou GPU.

3. Serveur instrumenté comme source de charge thermique

Le serveur présente un profil énergétique dissipant des quantités de chaleur dans la gamme 500–700 W. Deux modes de fonctionnement sont possibles :

• Immersion monophasée

Refroidissement de tous les composants (CPU, RAM, VRM, NVMe) par convection naturelle et/ou forcée.

• Architecture hybride immersion + watercooling

- Cold plates sur CPU/GPU,
- Serpentin cuivre intégré au châssis,
- Débit d'eau contrôlé (co-courant ou contre-courant).
- Pour le cas de la convection forcée avec l'huile, un système de pompe, de préchauffage de l'huile, de filtration, de débit mètre et un échangeur externe eau-huile doit permettre de garantir une plage de température de l'huile 20-80°C.

Le datacenter est piloté par un protocole de stress code, livré avec l'équipement et permettant de générer un échauffement maîtrisé de ses différents composants. Chaque essai doit être accompagné d'une cartographie de la puissance, fournie par le fabricant.

Un exemple de tableau de référence de distribution de puissance peut être consulté ci-dessous :

Groupe d'éléments	Puissance unitaire (W)	Nombre	Puissance totale (W)
CPU	150-300	2	300-600
NVMe	3,6	6	21,6
RAM (puces RAM)	4-6	32	150-200
VRM	2,5	1	2,5
PCH	15	1	15
Carte réseau (NIC)	11	1	11
Puce réseau	3	1	3
Condensateurs	1,5	24	36
Petites puce	2	5	10
Bloc auxiliaire	12	1	12

4. Instrumentation et chaîne de mesure

Instrumentation conforme aux pratiques OVHcloud :

- thermocouples K dans le fluide,
- mesures entrée/sortie du circuit eau,
- capteurs pression et débit,
- acquisition NI cDAQ (1 Hz),
- monitoring IPMI,
- mesure de puissance via PDU.
- Système de pompe-échangeur pour l'huile
- Système de serpentin-pompe-échangeur pour l'eau

Ajouts spécifiques au projet :

- fenêtre IR,
- éclairage et caméra pour analyse PIV.

5. Conditions expérimentales types

Le banc permet :

- des essais avec eau entre **30 et 45 °C** et des débits jusqu'à **5 l/min**,
- des essais avec fluides diélectriques entre 20 et 80°C et des débits jusqu'à 5 l/min,
- la comparaison de plusieurs fluides diélectriques,
- des stress-tests CPU/RAM/NVMe,
- l'évaluation énergétique via pPUE.

Les résultats permettront de valider la faisabilité opérationnelle des architectures immersion/hybrides, la robustesse thermique des serveurs et l'impact du fluide sur la convection naturelle et/ou forcée, complétés par des analyses optiques IR et PIV.

Le lauréat de cet appel d'offre aura la charge d'assurer l'intégralité du développement des bancs d'essais jusqu'à leur mise en exploitation. Le candidat retenu devra à minima assurer les fonctions suivantes :

- Définir les cahiers des charges précis des bancs d'essais,
- Concevoir les bancs d'essais
- Spécifier les caractéristiques des capteurs de mesure et assurer leur étalonnage.
- Réaliser et livrer les bancs d'essais
- Vérifier la conformité métrologique des moyens de mesure des moyens d'essais en définissant des EMT (Erreurs Maximales Tolérées) admissibles pour les activités de Recherche,
- Rédiger les procédures d'essais, les modes opératoires et les instructions de sécurité pour mener les campagnes d'essais,
- Rédiger les fiches de vie des moyens d'essais en intégrant des alertes sur la programmation des actions de maintenance et de métrologie.

ARTICLE 4. CONDUITE DES PRESTATIONS

Les parties s'engagent à collaborer au mieux de leurs possibilités afin de permettre la bonne exécution de leurs obligations.

4.1. OBLIGATIONS DU TITULAIRE

Le titulaire s'engage à respecter les dispositions législatives et réglementaires applicables au marché mêmes si elles sont modifiées pendant l'exécution du marché.

Le titulaire doit répondre à l'obligation de conseil et de mise en garde. A ce titre, il s'engage notamment à :

- répondre à toute demande de renseignements émanant de l'établissement et leur communiquer tout conseil et toute information qu'il estime nécessaire concernant les prestations commandées ;
- demander à l'établissement toute information ou tout renseignement qu'il juge nécessaire à la bonne exécution des prestations ;
- apporter tout le soin et toute la diligence nécessaire à l'exécution des prestations faisant l'objet du présent marché ;
- délivrer les prestations et respecter les délais ;
- avertir le pouvoir adjudicateur en cas de changements auprès du titulaire (SIRET, fusion, etc.).

En application de l'article 3.4.2 du CCAG FCS, le titulaire est tenu de communiquer sans délai au pouvoir adjudicateur toute modification survenant au cours de l'exécution du marché pouvant influencer son déroulement.

Le titulaire s'engage à faire respecter par son personnel tous les engagements souscrits au titre du présent marché.

Pour l'ensemble de ses obligations, le titulaire ne pourra nullement mettre en avant une quelconque défaillance de ses sous-traitants. Le titulaire est pleinement et personnellement responsable de la bonne exécution du présent marché. Le personnel affecté par le titulaire à l'exécution des prestations objet du présent marché demeure en toutes circonstances placées sous l'autorité, la direction et la surveillance du titulaire.

4.2. OBLIGATIONS DE L'ADMINISTRATION

Le pouvoir adjudicateur s'engage à mettre à la disposition du titulaire les informations en sa possession, nécessaires pour mener à bien les prestations décrites. Le titulaire aura notamment accès à l'ensemble des éléments d'analyse nécessaires à sa mission.

Le pouvoir adjudicateur désigne deux référents en charge du suivi de l'exécution du marché :

- un référent juridique ;
- un référent opérationnel.

Il transmet leurs coordonnées au titulaire. En cas de modification, le pouvoir adjudicateur doit en informer le prestataire.

ARTICLE 5 – PENALITES

5.1. PENALITES POUR RETARD

Par dérogation à l'article 14 du CCAG/FCS, lorsque le délai contractuel de livraison est dépassé par le fait du titulaire, celui-ci encourt une pénalité fixée à 50 €(cinquante euros) par jour retard.

Il n'est prévu aucune exonération à l'application des pénalités de retard.

5.2. AUTRES PENALITES

Il est fait application du CCAG FCS.

ARTICLE 6 – PRIX ET REVISION

6.1. GENERALITES

Les prix sont réputés comprendre toutes charges fiscales, parafiscales ou autres frappant obligatoirement la prestation, tous les frais afférents au conditionnement, à l'emballage, à la manutention, à l'assurance, au stockage, au transport jusqu'au lieu de livraison ainsi que les frais de douane éventuels.

Les prestations sont réglées par un prix ferme selon les stipulations de l'acte d'engagement.

Le prix doit être précisé dans l'acte d'engagement en chiffres et en lettres, en HT et TTC. Le candidat doit également fournir une annexe financière.

En cas d'ajout de prestations engendrant une modification du prix, à la baisse ou à la hausse, les parties actent le/les ajout(s) par avenant. L'acte doit obligatoirement être signé des deux parties.

6.2. MODALITES DE REVISION

Les prix sont fermes pour toute la durée du contrat.

6.3. GARANTIES FINANCIERES

Aucune clause de garantie financière ne sera appliquée.

6.4. AVANCE

Sauf renoncement, une avance est prévue si le montant du contrat est supérieur à 50 000 €HT et le délai d'exécution supérieur à 2 mois. Le taux de l'avance est de 30% (option A du CCAG) si le titulaire ou le sous-traitant est une PME, dans les conditions prévues à l'article R. 2191-7 du Code de la commande publique.

Le versement de l'avance n'est pas conditionné à la constitution d'une garantie à première demande par le titulaire. Cette avance sera payée sur présentation d'une facture correspondant à son montant.

6.5. MODALITES DE REGLEMENT

Le règlement correspond à la réalisation des prestations.

Les paiements sont effectués selon les règles de la comptabilité publique, après vérification du service fait, sur présentation de factures.

Conformément aux articles L2192-1 et suivants du Code de la Commande Publique, la transmission des factures des titulaires de marché doit s'effectuer sous forme électronique.

L'utilisation du portail de facturation Chorus Pro est exclusive de tout autre mode de transmission.

L'accès au portail chorus Pro se fait par l'adresse suivante : <https://chorus-pro.gouv.fr>.

Lorsqu'une facture est transmise en dehors de ce portail, le pouvoir adjudicateur peut la rejeter après avoir rappelé cette obligation à l'émetteur et l'avoir invité à s'y conformer.

Information à utiliser pour la facturation électronique : SIRET UPHF : 130 025 745 00014

La date de réception d'une demande de paiement transmise par voie électronique correspond à la date de notification du message électronique informant le pouvoir adjudicateur de la mise à disposition de la facture sur le portail de facturation (ou le cas échéant, à la date d'horodatage de la facture par le système d'informatisation budgétaire et comptable de l'Etat pour une facture transmise par échange de données informatisées).

Sans préjudice des mentions obligatoires fixées par les dispositions législatives ou réglementaires, les factures électroniques transmises par les titulaires comportent les mentions suivantes :

- le nom du service émetteur du bon de commande ;
- le nom et l'adresse du créancier ;
- son numéro d'identification SIREN ou SIRET ;
- le détail des prestations et quantités ;
- la date et le lieu d'exécution ;
- le montant des prestations exécutées en HT et TTC ;
- le(s) taux et le(s) montant(s) de TVA ;
- la référence du marché ;
- les références et la date du bon de commande ;
- la date de délivrance et le numéro de la facture.

En cas de changement de raison sociale ou de RIB, le titulaire est tenu d'en informer expressément le pouvoir adjudicateur par courrier postal ou électronique.

6.6. REGIME DES PAIEMENTS

Conformément à l'article R. 2192-10 du code de la commande publique, le règlement des prestations intervient par virement administratif dans un délai de trente (30) jours à compter de la réception de la facture.

Le défaut de paiement dans ce délai fait courir de plein droit et sans formalité :

- des intérêts moratoires, dont le taux est égal au taux d'intérêt appliqué par la Banque centrale européenne à ses opérations principales de refinancement les plus récentes, en vigueur au premier jour du semestre de l'année civile au cours duquel les intérêts moratoires ont commencé à courir, majoré de huit (8) points ;
- une indemnité forfaitaire pour frais de recouvrement d'un montant de quarante (40) euros.

Ce délai peut être suspendu si le pouvoir adjudicateur constate que la demande de paiement ne comporte pas l'ensemble des pièces et des mentions prévues par la loi ou par l'accord-cadre ou que celles-ci sont erronées ou incohérentes.

ARTICLE 7– VERIFICATIONS ET ADMISSIONS

Le titulaire est soumis à une obligation générale de résultat. Celle-ci s'impose au titulaire dans l'exécution de ses engagements contractuels et pour l'intégralité des prestations décrites.

Le titulaire s'engage à exécuter les prestations et à remettre les livrables associés avec le niveau de compétence professionnelle requis pour ce type de prestations, à consacrer tous les moyens humains et matériels nécessaires à sa bonne exécution, ainsi qu'à coopérer de bonne foi avec l'ensemble des intervenants du marché.

Les prestations sont soumises à des vérifications quantitatives et qualitatives simples, destinées à constater qu'elles répondent aux stipulations du marché dans les conditions prévues aux articles 27 et 28 du CCAG Fournitures courantes et services.

ARTICLE 8– CONFIDENTIALITE ET PROTECTION DES DONNEES A CARACTERE PERSONNEL

En matière de confidentialité et de protection des données personnelles, les dispositions de l'article 5 du CCAG-FCS s'appliquent.

Il convient au titulaire de fournir toutes les garanties sur ce point.

Le non-respect de cette clause est sanctionné par les pénalités prévues à l'article 5.

ARTICLE 9 - SERVICE MINIMAL

En cas de grève et d'arrêt de travail de son personnel, le titulaire est tenu d'assurer la continuité des prestations exigées dans le cadre du marché considérée comme indispensables au bon fonctionnement de l'UPHF.

ARTICLE 10 - ASSURANCES

Dans un délai de quinze (15) jours à compter de la notification du présent marché, avant toute remise en concurrence et tous les six (6) mois après le début d'exécution du marché, le titulaire devra justifier qu'il est couvert par un contrat d'assurance au titre de la responsabilité civile découlant des articles 1240 et suivants du Code civil ainsi qu'au titre de sa responsabilité professionnelle, en cas de dommage occasionné par l'exécution du marché.

Dans le cadre de la mission générale, le titulaire est civilement et pécuniairement responsable des dommages qui surviendraient par le fait ou la faute de son personnel. Il doit justifier d'une police d'assurance couvrant ces risques.

ARTICLE 11 - DEVELOPPEMENT DURABLE

Le titulaire prend en compte dans l'exécution de sa prestation des objectifs de développement durable. Le candidat doit, lors du dépôt de son offre, apporter toute preuve du respect du développement durable. Il est conseillé d'inventorier les moyens mis en place.

ARTICLE 12– RESILIATION ET EXECUTION AUX FRAIS ET RISQUES DU TITULAIRE

Le marché peut être résilié dans les conditions prévues aux articles 38 à 45 du CCAG-FCS. L'exécution aux frais et risques du titulaire s'effectue dans les conditions prévues à l'article 45 du CCAG-FCS.

ARTICLE 13 - DIFFERENDS OU LITIGES

Il est fait application de l'article 46 du CCAG-FCS. En cas de différends ou de litiges et à défaut de règlement amiable, le tribunal compétent est le Tribunal Administratif de Lille.

ARTICLE 14 - DEROGATION AUX DOCUMENTS GENERAUX CCAG-FCS

L'article 5.1 du CCP déroge à l'article 14 du CCAG-FCS.