



**MARCHÉ PUBLIC DE FOURNITURES COURANTES ET DE SERVICES**

**CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIÈRES**

---

**Lot 2 : Acquisition d'un demi-électro aimant sur  
mesure, d'une paire de bobines de Helmholtz et leur  
environnement pour le laboratoire ICUBE**

---

**Université de Strasbourg  
Direction des Finances - Département Achat Marchés  
4 rue Blaise Pascal  
CS 90032  
67081 STRASBOURG Cedex**

## **SOMMAIRE**

<b>A / Objet du contrat</b> .....	3
<b>B / Caractéristiques techniques</b> .....	4
<b>C / Livraison</b> .....	14
<b>D / Garantie</b> .....	15

## **A / Objet du contrat**

Il s'agit du lot 2 « Acquisition d'un demi électro-aimant sur mesure, d'une paire de bobines de Helmholtz et leur environnement pour le laboratoire ICUBE ».

Le laboratoire ICube, né en 2013, résulte de la fusion de toutes les compétences strasbourgeoises en Sciences de l'Ingénieur, en Informatique et en Imagerie. Avec plus de 700 membres, il est une force de recherche majeure du site de Strasbourg et de l'Institut de Sciences de l'Ingénieur et des Systèmes (INSIS) du CNRS.

La Plate-forme C3-Fab est l'une des 6 plateformes de ICube, elle offre des moyens l'élaboration et de développement de procédés innovants pour la réalisation de composants élémentaires ainsi que leur caractérisation. Ces développements reposent sur des moyens lourds :

- des moyens pour la mise en œuvre de faisceaux d'ions de quelques keV à quelques MeV (accélérateur et implanteur)
- plateforme ACACIA
- un ensemble d'équipements pour l'élaboration de couches minces
- une salle blanche pour l'élaboration de petits dispositifs ou composants inorganiques
- des boîtes à gants dédiées à l'électronique organique
- des moyens de caractérisation morphologique, structurale, optique des matériaux et des moyens plus spécifiques pour tester et caractériser des composants élémentaires et des systèmes intégrés.

Gérés par une équipe de 12 ingénieurs/techniciens, ces équipements permettent de mener à bien de nombreux projets dans le domaine des micro et nanotechnologies, du photovoltaïque et des capteurs ; ils couvrent un large spectre d'études allant de la physique des matériaux jusqu'à l'élaboration de dispositifs démonstrateurs et/ou de capteurs.

Avec le recrutement d'un enseignant-chercheur spécialisé dans les techniques de détections de spins par des techniques optiques et micro-onde, le laboratoire ICube se positionne dans les thématiques autour des technologies quantiques et, en collaboration avec un autre laboratoire sur le campus, dans le domaine de la radiobiologie. L'association d'un accélérateur et d'un dispositif englobant toute l'instrumentation que nous souhaitons acquérir, qui sera placé en ligne sur les faisceaux d'ions, constituera une infrastructure de pointe unique en Europe. Le savoir-faire de la plateforme C3-Fab et des équipes de recherche du DESSP du laboratoire ICube permettront de mener à bien ces développements.

Le présent contrat a pour objet l'acquisition de différents équipements :

- Un demi électro-aimant sur mesure et son environnement ;
- Une paire de bobines de Helmholtz et son environnement ;
- Une alimentation 150 A / 10 V avec une résolution de 18 bits adaptée aux deux éléments précités ;
- D'un Gaussmètre Hall et d'une sonde de Hall associée pour la calibration du champ magnétique créé ;

Les équipements cités aux articles B.1 et B.2 devront être accompagnés chacun d'un refroidisseur ou de tout équivalent et d'éléments accessoires tels que décrits ci-dessous.

**Tous les éléments techniques cités ci-après devront OBLIGATOIREMENT être accompagnés des manuels et notices d'utilisation complètes :**

- Le demi électro-aimant sur mesure ;
- La paire de bobines de Helmholtz ;
- Les cartes d'acquisition pour piloter l'alimentation et pour rapatrier les mesures de la sonde de Hall ;
- Le système de mesure Hall ;

- Le cas échéant, les éléments de translations mécaniques précis au micromètre si le dispositif proposé nécessite une utilisation spécifique du fait de son caractère particulier.

Les manuels et notices peuvent être regroupées au sein d'un seul et même document numérique. Ces notices devront être transmises par voie dématérialisée **sur demande du pouvoir adjudicateur à compter de la notification du marché, dans un délai d'un mois**. La communication anticipée des manuels et notices d'utilisation permettra au pouvoir adjudicateur de préparer dans les meilleures conditions la livraison et l'installation de l'équipement.

Si la communication des documents est impossible dans le délai d'un mois, le titulaire est tenu, dans les **quinze jours à compter de la notification du marché**, d'en informer le pouvoir adjudicateur par voie dématérialisée. Il sera alors convenu d'une date de remise des documents entre les parties.

## **B / Caractéristiques techniques**

### **B.1 – Demi-électro aimant**

#### **B.1.1 : Présentation du besoin**

Il est visé l'acquisition d'un demi électro-aimant sur mesure avec un diamètre de bout de pôle de 30 mm, d'un système de refroidissement pour son fonctionnement, de son système de positionnement micrométrique, de l'environnement de contrôle du champ magnétique créé (pour le pilotage de son alimentation, voir plus loin), ainsi que des mesures de calibration du champ  $B_0(x,y,z,l)$  produit dans le demi-espace situé devant le pôle du demi électro-aimant, en fonction du courant appliqué  $I$  et de la position spatiale. L'intérêt de ce système est de produire un champ magnétique assez élevé, au prix d'une homogénéité spatiale du champ magnétique limitée à une zone relativement restreinte de l'espace, mais toutefois suffisante pour réaliser des mesures de résonance magnétique sur des systèmes de taille sub-millimétrique.

Z est définie comme la direction de l'axe du demi électro aimant, (voir schéma figure 1 ) X et Y étant les deux directions perpendiculaires à Z. Le champ magnétique  $B_0$  produit par l'électro-aimant sera appliqué à un échantillon d'intérêt situé dans un de nos deux cryostats optiques. Les distances cibles de travail, selon Z, entre le bout du pôle du demi électro-aimant et l'échantillon dans le cryostat dépendent donc du choix du cryostat, ainsi que l'encombrement stérique pour l'approche (voir schéma figure 1 ).

L'ensemble des contraintes est décrit ci-après. Ces contraintes concernent, selon le type de cryostat utilisé :

- l'encombrement stérique pour l'approche micrométrique du cryostat par le demi électro-aimant mobile (c'est bien l'électro aimant qui sera mobile et le cryostat optique qui sera fixe),
- la précision des déplacements micrométriques souhaités pour atteindre la position spatiale ayant le champ magnétique cible souhaité et l'homogénéité spatiale voulue, pour une valeur du courant de l'alimentation donnée,
- les valeurs cibles des champs magnétiques souhaités aux distances cibles de travail, leur homogénéité spatiale dans un volume cible, et leur homogénéité temporelle.

Une homogénéité spatiale et temporelle suffisante sont nécessaires aux mesures de résonance magnétique envisagées sur des volumes cibles d'échantillon, connus à l'avance. Le demi électro aimant et le cryostat optique seront placés sur une ou des tables optiques anti-vibrations (niveau de vibrations suffisamment faible pour permettre la microscopie optique confocale au sein du cryostat).

*Les caractéristiques techniques obligatoires détaillées du demi électro-aimant sont décrites ci-après.*

Le candidat s'engage à proposer une offre technique qui satisfait **à l'ensemble des caractéristiques techniques obligatoires citées ci-après :**

**Le candidat devra fournir une documentation traitant de la compatibilité de l'équipement proposé avec le cryostat ANDOR et le cryostat ARS au regard des aspects techniques développés dans les paragraphes dédiés ci-dessous.**

- Un dispositif global de positionnement précis du (demi) électro-aimant, **vis-à-vis de l'échantillon placé sur le doigt froid du cryostat optique devra être fourni**. Ce dispositif contiendra, un système de positionnement micrométrique, type translations XYZ et Rotation autour de l'axe X, ad hoc, avec des déplacements possibles sur les axes Y et Z de +/- 12 mm, et de +/-10 mm sur l'axe X, avec une résolution micrométrique lisible tous les 1 microns, et donc une précision de déplacement de 1 micron. Des systèmes plus grossier de déplacement, comme des plaques intermédiaires avec des trous oblongs (rails de guidage), compléteront les déplacements

micrométriques pour simplifier la mise en place correcte du demi-électro-aimant par rapport au cryostat, ceci avant l'ajustement fin avec les déplacements micrométriques. La rotation autour de X possèdera elle un mode grossier où l'on peut faire une rotation de  $360^\circ$  et aussi un mode précis où l'on peut se déplacer sur une plage de  $\pm 3^\circ$ , mais avec une précision comprise entre 40 et 20 secondes d'arc;

- Ce dispositif global de positionnement précis du (demi) électro-aimant devra, combiné avec l'alimentation décrite à l'article B.3, **permettre d'obtenir un champ magnétique statique  $B_0z$  de 1600 Gauss au niveau du doigt froid du cryostat placé à  $d_1 = 14$  mm par rapport à la tête du pole, sans toucher les fenêtres optiques ou autres parois du cryostat ANDOR, quelle que soit la tête utilisée, rectangulaire ou circulaire ;**
- Un pole conique de diamètre de bout de pole de l'ordre de  **$d = 3$  cm est obligatoire ;**
- L'équipement doit fournir **un champ magnétique cible  $B_0z = 1600$  G à  $d_1 = 14$  mm**, lequel doit obligatoirement avoir une homogénéité spatiale égale à  **$\Delta B_0z / B_0z = 0.06\%$  dans un volume de  $V_1 = dx dy dz$  avec  $dx = 0.1$  mm  $dy = 0.1$  mm et  $dz = 0.01$  mm selon la direction de  $B_0z$  .**
- L'équipement doit fournir **un champ magnétique cible  $B_0z = 1600$  G à  $d_1 = 14$  mm**, lequel doit obligatoirement avoir une homogénéité spatiale égale à  **$\Delta B_0z / B_0z = 0.6\%$  dans un volume de  $V_{1bis} = dx dy dz$  avec ici  $dx = 2$  mm  $dy = 2$  mm et  $dz = 0.1$  mm selon la direction de  $B_0z$  ;**
- L'équipement fourni, et notamment l'alimentation, **devra permettre d'obtenir une stabilité temporelle égale à  $\Delta B_0 / B_0 = 0.005\%$  sur 8 heures, pour  $B_0z = 1600$  G à  $d_1 = 14$  mm.**

**- Pour garantir la compatibilité de l'équipement proposé avec notre cryostat ARS et avec nos objectifs expérimentaux :**

- Un dispositif global de positionnement précis du (demi) électro-aimant, **vis-à-vis de l'échantillon placé sur le doigt froid du cryostat optique devra être fourni.** Ce dispositif contiendra, un système de positionnement micrométrique, type translations XYZ et Rotation autour de l'axe X, ad hoc, avec des déplacements possibles sur les axes Y et Z de  $\pm 12$  mm, et de  $\pm 10$  mm sur l'axe X, avec **une résolution micrométrique lisible tous les 1 microns**, et donc une **précision de déplacement de 1 micron** ; Des systèmes plus grossier de déplacement, comme des plaques intermédiaires avec des trous oblongs (rails de guidage), compléteront les déplacements micrométriques pour simplifier la mise en place correcte du demi-électro-aimant par rapport au cryostat, ceci avant l'ajustement fin avec les déplacements micrométriques. La rotation autour de X possèdera elle un mode grossier où l'on peut faire une rotation de  $360^\circ$  et aussi un mode précis où l'on peut se déplacer sur une plage de  $\pm 3^\circ$ , mais avec une précision comprise entre 40 et 20 secondes d'arc;
- Ce dispositif global de positionnement précis du (demi) électro-aimant **devra, combiné avec l'alimentation déjà décrite plus haut, permettre d'obtenir un champ magnétique statique  $B_0z$  de 650 Gauss au niveau du doigt froid du cryostat placé à  $d_2 = 34$  mm par rapport à la tête du pole, sans toucher les fenêtres optiques ou autres parois du cryostat ARS;**
- Un pole conique de diamètre de bout de pole de l'ordre de  **$d = 3$  cm est obligatoire ;**
- L'équipement doit fournir **un champ magnétique cible de  $B_0z = 650$  G à  $d_2 = 34$  mm**, lequel doit obligatoirement avoir une **homogénéité spatiale égale à  $\Delta B_0z / B_0z = 0.5\%$  dans un volume de  $V_2 = dx dy dz$  avec  $dx = 2$  mm  $dy = 2$  mm et  $dz = 0.1$  mm selon la direction de  $B_0z$  ;**
- L'équipement fourni, et notamment l'alimentation, **devra permettre d'obtenir une stabilité temporelle égale à  $\Delta B_0 / B_0 = 0.005\%$  sur 8 heures, pour  $B_0z = 650$  G à  $d_2 = 34$  mm**

- L'ensemble du système de positionnement du demi-électro-aimant, devra tenir compte, en plus de l'encombrement périphérique (voir schéma *figure 1*), aussi de l'éventuel présence de tuyaux de refroidissement du demi électro-aimant, ainsi bien sûr que des câbles d'alimentation électrique du demi-électro-aimant, pour ne pas impacter les caractéristiques annoncées du déplacement souhaité. Le candidat devra indiquer comment cette prise en compte est réalisée pour éviter une **dégradation des caractéristiques annoncées du déplacement souhaité** ;
- Le candidat indiquera les **caractéristiques et cotes clés du système, de l'équipement et de son environnement**. Les caractéristiques clés doivent permettre la simulation numérique du champ magnétique créé en tout point du demi espace situé devant le bout du pole ;
- La carte d'acquisition et les câbles de communication permettant le pilotage par ordinateur de l'alimentation de l'électro-aimant **devront être fournis** ;
- La carte d'acquisition et les câbles de communication permettant de transférer la mesure de la sonde de champ magnétique à un ordinateur devront **être fournis**;
- Un système de refroidissement du demi-électro-aimant permettant de l'utiliser jusqu'à la valeur maximale du courant de l'alimentation **doit être fourni. Typiquement cela pourra être un refroidisseur (échangeurs) ou tout équivalent d'une capacité de refroidissement suffisante pour son fonctionnement jusqu'au courant maximum de l'alimentation. Le refroidisseur ou tout équivalent sera sur roulettes**. En outre, **il doit respecter la contrainte suivante** : les vibrations éventuelles de l'électro-aimant, dues à son système de refroidissement, **ne doivent pas dégrader la valeur cible du champ magnétique voulu à d cible** ( $B_{0z} = 650 \text{ G}$  ou  $1600 \text{ G}$  selon le cryostat en place) au-delà de la valeur marge  $dB_{0z}$ , associée à l'homogénéité spatiale demandée ( $dB_{0z}/B_{0z}$ ) dans un volume  $V$  situé à une position fixe de l'espace ( $V = V1$  ou  $V1bis$  ou  $V2$  selon le cryostat en place) ;
- **Une cartographie spatiale de mesures de la composante** selon  $Z$  du champ magnétique ie  $B_{0z}$ , autour de sa valeur cible à  $d_{cible}$ , autrement dit autour de  $1600 \text{ G}$  à  $d1 = 14\text{mm}$  et autour de  $650 \text{ G}$  à  $d2 = 34\text{mm}$ , = **doit être fournie afin de caractériser l'électro-aimant proposé par des mesures en situation de fonctionnement**. Ces mesures d'homogénéité spatiale sont à faire dans un volume sonde de  $3\text{mm} \times 3\text{mm} \times 3\text{mm}$  centré à  $d1$  et à  $d2$  respectivement, avec une résolution spatiale (incrément spatial) de  $250 \text{ um}$  sur les 2 axes  $X$  et  $Y$  et de  $100 \text{ um}$  sur l'axe  $Z$  (faire une série de points de mesures dans les deux cas) et avec une précision de  $0.1 \text{ Gauss}$ . On demande également de fournir une courbe  $B_{0z}(Z, I, x=0, y=0)$ , tous les incréments  $dz = 1\text{mm}$ , de  $0 \text{ mm}$  à  $80\text{mm}$  (soit 81 points de mesures), à différentes valeurs du courant  $I$ , typiquement à  $I_{max}/5$ ,  $I_{max}/2.5$ ,  $I_{max}/1.7$ ,  $I_{max}/1.25$  (courants compatibles avec l'alimentation demandée de courant maximum  $I_{max}$ , typiquement de l'ordre de  $I_{max} = 150 \text{ A}$ ), avec une précision de  $0.1 \text{ Gauss}$  ;
- Une courbe de mesures temporelles, enregistrées sur 8 heures consécutives et toutes les minutes, du champ magnétique cible  $B_{0z}$  à  $d_{cible}$ , avec une précision de  $0,01 \text{ Gauss}$  dans un volume de sonde de  $1\text{mm} \times 1\text{mm} \times 1\text{mm}$  doit être fournie dans chacun des deux cas d'intérêt, à savoir à  $B_{0z} = 1600\text{Gauss}$  à  $d1 = 14\text{mm}$  et à  $B_{0z} = 650\text{Gauss}$  à  $d2 = 34\text{mm}$  devant le bout du pole.
- **Une simulation numérique** du champ magnétique  $B_{0z}(X,Y,Z)$  créé par ce demi électro-aimant dans le demi espace situé devant le bout du pole, avec un maillage des calculs tous les millimètres et dans un volume de  $dx = 30\text{mm} \times dy = 30\text{mm} \times dz = 80\text{mm}$  depuis le bout du pole, **doit être fournie pour le courant I**

**permettant d'atteindre le champ magnétique  $B_0z(x=0, y=0, z=d_1=14\text{mm}, I)=1600\text{ Gauss}$  à  $z=d_1=14\text{mm}$ .**

Une deuxième simulation numérique du champ magnétique créé dans le petit volume cible  $V_1=dx dy dz$  avec  $dx=0.1\text{mm}$   $dy=0.1\text{mm}$  et  $dz=0.01\text{mm}$  selon la direction de  $B_0z$ , avec un maillage des calculs tous les micromètres et pour  $B_0z = 1600\text{ G}$  à  $d_1 = 14\text{mm}$ , devra démontrer une homogénéité spatiale meilleure (donc inférieure) que  $dB_0z/B_0z = 0,06\%$  dans ce volume  $V_1$  ; Les données des simulations numériques seront fournies sous forme de plusieurs fichiers en format ouvert, non spécifique à un logiciel donné, permettant de les ouvrir et de les explorer typiquement sous Python.

### B.1.3 : Caractéristiques techniques facultatives

Le candidat **peut** proposer une offre technique qui satisfait **à une ou plusieurs des caractéristiques techniques facultatives citées ci-après** :

- L'équipement fournit un champ magnétique cible  $B_0z = 1600\text{ G}$  à  $d_1=14\text{mm}$ , lequel peut avoir une homogénéité spatiale **meilleure que  $dB_0z/B_0z = 0.06\%$  dans un volume de  $V_1=dx dy dz$  avec  $dx=0.1\text{mm}$   $dy=0.1\text{mm}$  et  $dz=0.01\text{mm}$  selon la direction de  $B_0z$ .**
  - L'équipement fournit un champ magnétique cible  $B_0z = 1600\text{ G}$  à  $d_1=14\text{mm}$ , lequel peut avoir une homogénéité spatiale **meilleure que  $dB_0z/B_0z = 0.6\%$  dans un volume de  $V_{1bis}=dx dy dz$  avec ici  $dx=2\text{mm}$   $dy=2\text{mm}$  et  $dz=0.1\text{mm}$  selon la direction de  $B_0z$  ;**
  - L'équipement fournit **un champ magnétique cible de  $B_0z = 650\text{ G}$  à  $d_2=34\text{mm}$** , lequel peut avoir une **homogénéité spatiale meilleure que  $dB_0z/B_0z = 0.5\%$  dans un volume de  $V_2=dx dy dz$  avec  $dx=2\text{mm}$   $dy=2\text{mm}$  et  $dz=0.1\text{mm}$  selon la direction de  $B_0z$  ;**
  - L'équipement fourni, et notamment l'alimentation, pourra permettre d'obtenir une stabilité temporelle **meilleure que  $dB_0/B_0 = 0.005\%$  sur 8 heures.**
- **Les courbes de mesures temporelles**, enregistrées sur 8 heures consécutives depuis le démarrage de l'instrument (à partir de l'instant de l'allumage du système de refroidissement et de passage du courant I choisi) et toutes les minutes, du champ magnétique cible  $B_0z$  à  $d_{\text{cible}}$ , sont fournies, soit avec une précision meilleure que  $0,01\text{ Gauss}$ , soit dans un volume de sonde inférieur à  $0.2\text{mm} \times 0.2\text{mm} \times 0.2\text{mm}$ , soit les deux, dans chacun des deux cas d'intérêt, à savoir à  $B_0z=1600\text{Gauss}$  à  $d_1=14\text{mm}$  et à  $B_0z=650\text{Gauss}$  à  $d_2=34\text{mm}$  devant le bout du pôle ;
- **La cartographie spatiale des mesures de la composante** selon  $Z$  du champ magnétique ie  $B_0z$ , autour de sa valeur cible à  $d_{\text{cible}}$ , autrement dit autour de  $1600\text{ G}$  à  $d_1=14\text{mm}$  et autour de  $650\text{ G}$  à  $d_2=34\text{mm}$ , est faite dans un volume sonde de  $3\text{mm} \times 3\text{mm} \times 3\text{mm}$  centré à  $d_1$  et à  $d_2$  respectivement, avec une résolution spatiale meilleure que  $100\text{ um}$  sur les 3 axes (faire une série de points de mesures dans les deux cas) avec une précision meilleure que  $0.1\text{ Gauss}$  ;
- **Le refroidisseur ou tout équivalent peut être interrompu pendant une mesure sous champ magnétique cible (soit à  $650\text{ G}$ , soit à  $1600\text{G}$ ) sur au moins une minute sans risque d'endommager le demi électro-aimant, notamment si ce type de mesure est effectué une dizaine de fois dans la journée** (avec retour du demi-électro-aimant à la température imposée par le refroidissement du refroidisseur (échangeur) ou tout équivalent après chacune de ces mesures sans vibration d'une minute. **A ce titre, le candidat indiquera le nombre maximum de cycles** (arrêt du refroidissement sur la durée proposée par le candidat –au moins une minute–, reprise du refroidissement jusqu'à retour de la température de consigne) **et la durée maximale des arrêts à ne pas dépasser pour une campagne d'expériences sur plusieurs jours sans risque de détérioration de l'équipement.** L'objectif est d'assurer la possibilité de mesure sous champ



magnétique cible sans aucune vibration induite par la production du champ magnétique par le demi électro-aimant.

Dans le cadre de son offre, le candidat est invité à indiquer la consommation électrique du demi électro-aimant lors d'une utilisation continue sur huit (8) heures en kWh.

**Il est porté à la connaissance des candidats que les offres qui répondront à une ou plusieurs caractéristiques techniques facultative feront l'objet d'une valorisation dans le cadre de l'analyse des offres. De même, une offre proposant un équipement performant énergétiquement fera l'objet d'une valorisation.**

## B.2 – Paire de bobines de Helmholtz

### B.2.1 : Présentation du besoin

Il est visé l'acquisition d'une paire de bobines de Helmholtz sur mesure, d'un système de refroidissement pour son fonctionnement, de son système de positionnement grossier, de l'environnement de contrôle du champ magnétique créé (pour le pilotage de l'alimentation, voir plus loin), ainsi que des mesures de calibration du champ  $B_0(x,y,z,I)$  produit dans tout l'espace situé entre les deux bords extérieurs des deux bobines, en fonction du courant appliqué  $I$  et de la position spatiale. L'intérêt de ce système est de produire un champ magnétique d'intensité modeste mais très homogène dans une zone relativement large de l'espace appropriée pour des mesures de résonance magnétique à bas champ sur des systèmes d'étude de taille millimétrique ou plus.

Z est définie comme la direction de l'axe de symétrie de révolution des deux bobines, X et Y étant les deux directions perpendiculaires à Z. Le champ magnétique  $B_0$  produit par la paire de bobines sera appliqué à un échantillon d'intérêt situé dans notre cryostat optique ARS, modèle CS202\*I-DMX-1SS (voir schéma figure 2 ci-dessous).

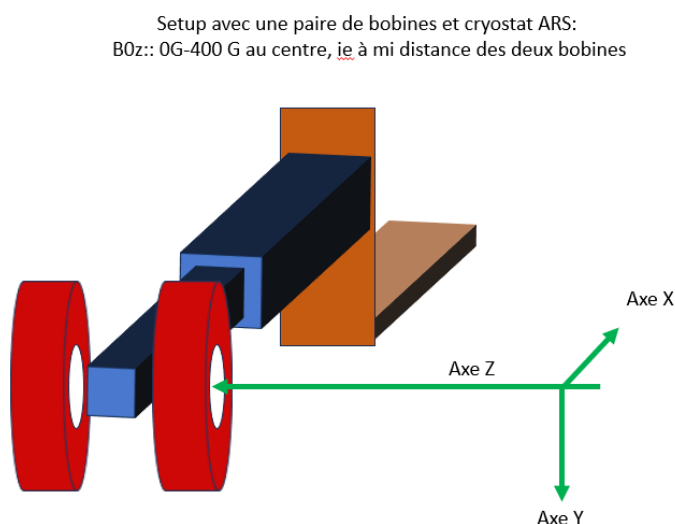


FIGURE 2

L'ensemble des contraintes est décrit ci-après, incluant, le cryostat ARS utilisé, déterminant l'encombrement stérique pour l'approche et le centrage du cryostat entre les deux bobines (le cryostat optique sera mobile ici, mais aussi les deux bobines munies de déplacements grossiers), la précision des déplacements souhaités pour atteindre l'homogénéité spatiale voulue, les valeurs cibles des champs magnétiques souhaités à mi-distance entre les deux bobines (au centre du système), leur homogénéité spatiale dans un volume cible, et leur homogénéité temporelle.

Une homogénéité spatiale et temporelle suffisante sont nécessaires aux mesures de résonance magnétique envisagées sur des volumes cibles d'échantillon, connus à l'avance. Le système des deux bobines et le cryostat optique ARS seront placés sur une table pouvant supporter ce poids total.

Les caractéristiques techniques obligatoires détaillées des bobines sont décrites ci-après.

### B.2.2 : Caractéristiques techniques obligatoires

Le candidat s'engage à proposer une offre technique qui satisfait **à l'ensemble des caractéristiques techniques obligatoires citées ci-après** :

- le système des deux bobines de Helmholtz sur mesure fourni **doit être utilisable, avec notre CRYOSTAT ARS, modèle CS202<sup>II</sup>-DMX-1SS**. Un schéma du dispositif envisagé avec le cryostat est fourni en figure 2 et comporte des éléments d'explication afin de pouvoir prendre en compte les contraintes d'encombrements et les distances de travail nécessaires. Le système des deux bobines aura un **GAP de 9 cm** (distance entre les bords intérieurs des deux bobines), et un diamètre extérieur d'encombrement des bobines et de sa structure, de moins de 28 cm selon l'axe X et de moins de 30 cm selon l'axe Y, ceci compte tenu des contraintes du cryostat ARS qui doit pouvoir être placé avec son doigt froid au centre des bobines, approche latérale prévue, dans le plan de la table support (voir schéma *figure 2*). Il est prévu également de passer des instruments le long de l'axe Z des deux bobines, à travers une des deux bobines au moins. **Le diamètre intérieur des bobines devra être compris entre 10 et 17 cm.**

**Le candidat devra fournir une documentation traitant de la compatibilité de l'équipement proposé avec le cryostat ARS au regard des aspects techniques développés dans le paragraphe dédié ci-dessous.**

➤ **Pour garantir la compatibilité de l'équipement proposé avec notre cryostat ARS et avec nos objectifs expérimentaux :**

- Un dispositif de positionnement grossier du système des deux bobines, **vis-à-vis de l'échantillon placé sur le doigt froid du cryostat optique ARS devra être fourni**. Ce dispositif contiendra **des systèmes grossiers de déplacement** en X et Z, comme des plaques intermédiaires avec des trous oblongs (rails de guidage) permettant la mise en place correcte du système des deux bobines par rapport au cryostat ARS **avec une plage de déplacement de +/- 5 cm**. Un système permettant **d'ajuster grossièrement** l'altitude Y du système des deux bobines par rapport au cryostat ARS en

configuration horizontale (voir schéma *figure 2*) devra être fourni ; cela pourrait être un jeu de plaques de rehaussement, ou un système plus avancé comme des plaques avec des trous oblongs étirés selon Y (rails de guidage en Y). La **plage de déplacement** en Y sera également de **+/-5 cm**.

- Ce dispositif global de positionnement des deux bobines devra, combiné avec l'alimentation déjà décrite dans l'article B.3, permettre d'obtenir un champ magnétique statique  $B_0z$  dont la valeur devra pouvoir **être comprise entre 0 Gauss et 400 Gauss au niveau du doigt froid du cryostat ARS placé au centre du système des deux bobines (voir schéma figure 2), sans toucher les fenêtres optiques ou autres parois du cryostat ARS**;
  - L'équipement doit fournir **un champ magnétique cible de  $B_0z = 350\text{ G}$  à mi-distance entre les deux bobines ie au centre du système**, lequel doit obligatoirement avoir une **homogénéité spatiale** égale à  $\frac{dB_0z}{B_0z} = 2 \cdot 10^{-4}$  dans  $V = 3\text{mm} \times 3\text{mm} \times 3\text{mm}$  au centre du système, pour  $B_0z = 350\text{ Gauss}$  ;
  - L'équipement fourni, et notamment l'alimentation, **devra permettre d'obtenir une stabilité temporelle** égale à  $\frac{dB_0}{B_0} = 0.005\%$  sur 8 heures, pour  $B_0z = 350\text{ Gauss}$  au centre du système.
- L'ensemble du système de positionnement des deux bobines de Helmholtz, **devra tenir compte**, en plus de l'encombrement périphérique (voir schéma *figure 2*), aussi de l'éventuel présence de tuyaux de refroidissement du système des deux bobines, ainsi bien sûr que des câbles d'alimentation électrique du système des deux bobines, pour ne pas impacter les caractéristiques annoncées du déplacement souhaité. Le candidat devra indiquer comment cette prise en compte est réalisée pour éviter une **dégradation des caractéristiques annoncées du déplacement souhaité** ;
- Le candidat indiquera les **caractéristiques et cotes clés du système, de l'équipement et de son environnement**. Les caractéristiques clés doivent permettre la simulation numérique du champ magnétique créé en tout point entre les deux bobines ;
- La carte d'acquisition et les câbles de communication permettant le pilotage par ordinateur de l'alimentation du système des deux bobines **devront être fournis** ;
- Un système de refroidissement du système des deux bobines de Helmholtz permettant de les utiliser jusqu'à la valeur maximale du courant de l'alimentation ( $I_{\max}$ ) **doit être fourni. Typiquement cela pourra être un refroidisseur (échangeur) ou tout équivalent d'une capacité de refroidissement suffisante pour son fonctionnement. Le refroidisseur ou tout équivalent sera sur roulettes** ;
- **Une cartographie spatiale de mesures de la composante** selon Z du champ magnétique ie  $B_0z$ , dans  $V = 10\text{mm} \times 10\text{mm} \times 10\text{mm}$ , à mi-distance entre les deux bobines, ie au centre du système, avec une résolution spatiale (incrément spatial) de 500 microns sur les 3 axes et une précision de 0,05 Gauss, et aussi une courbe  $B_0z$  (Z, I, x=0, y=0), tous les incréments  $dz = 1\text{mm}$ , d'une bobine à l'autre (bords extérieurs inclus), à différentes valeurs du courant I, typiquement à  $I_{\max}/5$ ,  $I_{\max}/2.5$ ,  $I_{\max}/1.7$ ,  $I_{\max}/1.25$  (courants compatibles avec l'alimentation demandée de courant maximum  $I_{\max}$ , typiquement de l'ordre de  $I_{\max} = 150\text{ A}$ ) et avec une précision de 0.1 Gauss, **doivent être fournies afin de caractériser la paire de bobines proposée et le champ magnétique qu'elle produit par des mesures en situation de fonctionnement** ;
- **La courbe des mesures temporelles**, enregistrées sur 8 heures consécutives depuis le démarrage de l'instrument (à partir de l'instant de l'allumage du système de refroidissement et de passage du courant I

choisi) et toutes les minutes, du champ magnétique cible **B<sub>0z</sub> = 350 G à mi-distance entre les deux bobines ie au centre du système**, avec une résolution de **0.01 Gauss** dans un volume de **1mm\*1mm\*1mm**, doit être fournie.

- **Une simulation numérique** du champ magnétique B<sub>0z</sub> (X,Y,Z) créé par cette paire de bobines de Helmholtz dans l'espace situé entre les bords extérieurs des deux bobines de Helmholtz en Z et défini transversalement par le diamètre du trou des bobines de Helmholtz, compris entre 10 et 17 cm, avec un maillage des calculs tous les centimètres, **doit être fournie pour le courant I permettant d'atteindre le champ magnétique cible B<sub>0z</sub> (au centre des deux bobines, I)=350 Gauss**. Une deuxième simulation numérique du champ magnétique créé dans le petit volume cible prévu pour les expériences, ie de V=3mm\*3mm\*3mm, situé au centre du système, devra démontrer une **homogénéité** spatiale égale à **dB<sub>0z</sub>/B<sub>0z</sub> = 2 10<sup>-4</sup> dans V=3mm\*3mm\*3mm, pour B<sub>0z</sub>= 350 Gauss ;**

Les données de la simulation numérique seront fournies sous forme d'un fichier en format ouvert, non spécifique à un logiciel donné, permettant de l'ouvrir et de l'explorer typiquement sous Python.

### B.2.3 : Caractéristiques techniques facultatives

Le candidat **peut** proposer une offre technique qui satisfait **à une ou plusieurs des caractéristiques techniques facultatives citées ci-après** :

- L'équipement fournit un champ magnétique cible de B<sub>0z</sub> = 350 G à mi-distance entre les deux bobines ie au centre du système, lequel peut avoir une homogénéité spatiale **meilleure que dB<sub>0z</sub>/B<sub>0z</sub> < 2 10<sup>-4</sup> dans V= 3mm\*3mm\*3mm au centre du système, pour B<sub>0z</sub>= 350 Gauss ;**
- L'équipement fourni, et notamment l'alimentation, permettra d'obtenir une stabilité temporelle **meilleure que dB<sub>0</sub>/B<sub>0</sub> = 0.005 % sur 8 heures.**
- **Une cartographie spatiale de mesures de la composante** selon Z du champ magnétique ie B<sub>0z</sub>, dans V=**10mm\*10mm\*10mm**, à mi-distance entre les deux bobines, ie au centre du système, avec une résolution spatiale (incrément spatial des mesures) **meilleure que 250 microns** sur les 3 axes et une précision meilleure que **0,02 Gauss**, est fournie.
- **La courbe des mesures temporelles**, enregistrées sur 8 heures consécutives depuis le démarrage de l'instrument (à partir de l'instant de l'allumage du système de refroidissement et de passage du courant I choisi) et toutes les minutes, du champ magnétique cible **B<sub>0z</sub> = 350 G à mi-distance entre les deux bobines ie au centre du système**, sera obtenue avec une résolution **meilleure que 0.01 Gauss** dans un volume de **1mm\*1mm\*1mm**.

Dans le cadre de son offre, le candidat est invité à indiquer la consommation électrique de la paire de bobines de Helmholtz lors d'une utilisation continue sur huit (8) heures en kWh.

**Il est porté à la connaissance des candidats que les offres qui répondront à une ou plusieurs caractéristiques techniques facultatives feront l'objet d'une valorisation dans le cadre de l'analyse des offres. De même, une offre proposant un équipement performant énergétiquement fera l'objet d'une valorisation.**

## B.3 – Alimentation unique compatible avec les deux systèmes décrits dans les articles B.1 et B.2

### B.3.1 : Présentation du besoin

Il est visé l'acquisition d'une alimentation unique compatible avec les deux systèmes décrits aux articles B.1 et B.2 produisant chacun un champ magnétique  $B_0z$  donné avec une homogénéité spatiale et temporelle donnée.

### B.3.2 : Caractéristiques techniques obligatoires

Le candidat s'engage à proposer une alimentation qui satisfait à **l'ensemble des caractéristiques techniques obligatoires citées ci-après** :

- Elle doit fournir une **alimentation de 150A/10V** ;
- Elle doit avoir une stabilité à long terme  **$di/I < 0.005\%$  en mode CC** ;
- Elle doit avoir un **codage sur 18 bits** du courant  $I$  délivré permettant d'ajuster précisément sa valeur (la valeur sera ajustée par pilotage de l'alimentation depuis un PC fourni par le laboratoire ICUBE) ;
- Elle doit pouvoir se brancher sur une **prise standard 220V/16A**.

### B.3.3 : Caractéristiques techniques facultatives

Le candidat **peut** proposer une alimentation qui satisfait aux **caractéristiques techniques facultatives citées ci-après** :

- Elle dispose d'un codage **supérieur à 18 bits** ;
- Elle permet d'obtenir une stabilité temporelle **meilleure que  $dB_0/B_0 = 0.005\%$  sur huit (8) heures, pour  $B_0 = 1600$  Gauss à  $d_1 = 14$  mm avec le demi électro-aimant et pour  $B_0z = 350$  Gauss au centre de la paire de bobines de Helmholtz.**

**Il est porté à la connaissance des candidats que les offres qui répondront à une ou plusieurs caractéristiques techniques facultatives feront l'objet d'une valorisation dans le cadre de l'analyse des offres.**

## B.4 – Gaussmètre Hall et sa sonde de Hall associée pour la calibration du champ magnétique créé

### B.4.1 : Présentation du besoin

Il est visé l'acquisition d'un appareil de mesure du champ magnétique produit par le système décrit à l'article B.1 ou celui décrit à l'article B.2 Il sera constitué d'un Gaussmètre Hall et d'une sonde de Hall associée.

La mesure du champ magnétique produit sera réalisée à une distance du pôle de  $2^*14$  mm pour le cryostat ANDOR et à une distance de  $2^*34$  mm pour le cryostat ARS, autrement dit sur la face opposée du cryostat à celle dont est proche le pôle du demi électro-aimant.

#### B.4.2 : Caractéristiques techniques obligatoires

Le candidat s'engage à proposer des équipements qui satisfont à **l'ensemble des caractéristiques techniques obligatoires citées ci-après** :

- Ils devront permettre la mesure du champ magnétique produit par le demi électro-aimant **dans la gamme allant de 0 Gauss jusque 3000 Gauss** ;
- La précision de la mesure du champ magnétique, telle que lue sur un afficheur digital, devra être égale à **dBoz=0.5 Gauss**, mesuré dans le volume de la sonde qui devra être inférieur à  $V_{sonde} = dx dy dz = 1mm * 1mm * 1mm$  (ie 1mm maximum selon z) et pour une mesure dans la gamme allant de 0 Gauss jusque 3000 Gauss ;
- **La précision de la mesure du champ magnétique**, telle que **lue numériquement via un port serie sur un PC** devra être égale à **dBoz=0.01 Gauss**, toujours mesuré dans le volume de la sonde qui devra être inférieur à  $V_{sonde} = dx dy dz = 1mm * 1mm * 1mm$  (ie 1mm maximum selon z) et dans la gamme allant de 0 Gauss jusque 3000 Gauss.

### C / Livraison

Le candidat s'engage à livrer l'ensemble des équipements du présent lot **dans un délai maximum de 17 semaines de à compter de la notification de l'offre**.

Une prise de contact du fournisseur par téléphone ou par mail avec le laboratoire ICUBE sera requise **au moins sept jours calendaires avant la livraison contractuellement prévue**, afin de préparer celle-ci. Suite à la prise de contact, un mail récapitulatif sera rédigé par l'une des parties et envoyé à l'autre en comportant notamment les informations suivantes :

- Le jour estimé de livraison
- Les dispositions nécessaires à prendre pour garantir la bonne réception
- Le poids et le dimensionnement des colis
- Le cas échéant, les raisons conduisant à ce que la livraison accuse un retard

L'adresse de livraison des équipements est la suivante :

**Laboratoire ICube – UMR 7357 (Université de Strasbourg/CNRS)**  
**Campus de Cronenbourg - Bâtiment 28**  
**23 Rue du Loess**  
**67037 STRASBOURG**

Sauf ordre de service ou avenant, les livraisons sont effectuées **de 8h30 à 12h30 et de 14h00 à 17h00 du lundi au vendredi, sauf jours fériés**.

Le lieu de livraison mentionné sur le bon de commande ainsi que les horaires et les modalités de livraison prescrits par l'émetteur du bon doivent être impérativement respectés par le titulaire.

Les produits livrés par le titulaire ou son représentant devront être accompagnés d'un bordereau de livraison précisant :

- Le nom du titulaire et son adresse,
- La référence du bon de commande,

- L'identification des prestations livrées (désignation, quantité, le lot) et s'il y a lieu, leur répartition par colis ;
- Le nombre de colis ;
- La date de la livraison.

A l'issue de l'opération de livraison, un bordereau de livraison est présenté au représentant du service destinataire qui le date et le signe, attestant ainsi la livraison conformément à l'article X du CCAP. **La signature du bordereau de livraison ne vaut pas admission et ne saurait remplacer la procédure prévue à l'article 11 du CCAP.**

**Le candidat indiquera dans le « cadre de réponse technique » le délai de livraison sur lequel il s'engage.**

**Il est porté à la connaissance des candidats qu'une offre proposant un délai de livraison inférieur aux délais maximaux exprimés feront l'objet d'une valorisation dans le cadre de l'analyse des offres. De plus, une offre favorisant l'utilisation des transports doux fera l'objet d'une valorisation.**

## **D / Garantie**

Le tableau suivant récapitule les durées minimales de garantie exigées pour chacun des éléments recensés dans l'article B du présent Cahier des charges :

<b><u>Équipement</u></b>	<b><u>Garantie</u></b>
Demi-électro aimant sur mesure	3 ans
Paire de bobines de Helmholtz	3 ans
Alimentation sur mesure	3 ans
Gaussmètre Hall	1 an
Sonde de Hall associée	1 an

Le délai de garantie court à compter de l'admission de l'équipement par le pouvoir adjudicateur.

Au titre de cette garantie, le titulaire s'oblige à remettre en état ou à remplacer à ses frais tout ou partie du matériel qui serait reconnu défectueux et à mettre à disposition du laboratoire ICube un support technique, permettant une assistance par téléphone et par mail.

La garantie inclut les matériels. Elle couvre l'ensemble des frais : pièces détachées, main d'œuvre, déplacement, hébergement sur site du réparateur, conditionnement, emballage et transport, assistance téléphonique.

En cas de panne ou de dysfonctionnement du matériel ne nécessitant pas d'intervention sur site, le titulaire dispose d'un délai maximum de **3 jours ouvrés** à compter du signalement du laboratoire ICube pour remettre l'appareil en état de fonctionnement. Le signalement du laboratoire ICube peut être effectué par téléphone mais doit obligatoirement être confirmé par courrier électronique.

Si la panne ou le dysfonctionnement du matériel nécessite une intervention sur site, celle-ci doit être effectuée dans un délai maximum de **5 jours ouvrés** à compter de la demande d'intervention, laquelle peut être effectuée par téléphone mais doit obligatoirement être confirmée par courrier électronique. A minima, un diagnostic devra être établi dans ce délai.

Si le problème n'est pas résolu lors de la première intervention, le titulaire dispose d'un délai maximum de **15 jours ouvrés** suivant l'intervention sur site pour remettre le matériel en bon état de fonctionnement.

Dans le cadre de la garantie, la période d'intervention est la suivante :

**Du lundi au vendredi, de 8h00 à 17h00 (hors jours fériés).**

**Le candidat indiquera dans le « cadre de réponse technique » les durées et les prestations couvertes par les garanties sur lesquels il s'engage.**

**Il est porté à l'attention du candidat que tout élément de nature à améliorer la qualité de la garantie, notamment en terme de délais, fera l'objet d'une valorisation dans le cadre de l'analyse de l'offre.**