

CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIERES (CCTP)

Réf. : ASNR/DES/SES/2025-00178

**Accord-cadre portant sur la fourniture de quatre (4) moteurs à balourds
avec solution de pilotage et prestations de service**

NOM ET VISA DU REDACTEUR :

JULIEN CLEMENT

DATE : 05/12/2025

NOM ET VISA DU VERIFICATEUR :

DAVID BOUHJITI

DATE : 08/12/2025

NOM ET VISA DE L'APPROBATEUR :

MARC PETIT

DATE : 09/12/2025

Table des matières

ARTICLE 1 - CADRE GENERAL.....	3
ARTICLE 2 - OBJET ET PERIMETRE DU MARCHE	3
1. Offre de base obligatoire	3
2. Prestation complémentaire : Assistance technique in situ	4
ARTICLE 3 - DESCRIPTION DU BESOIN TECHNIQUE	4
1. Description du dispositif expérimental.....	4
2. Capacité de pilotage attendue des moteurs à balourds.....	5
a. <i>Emplacement des moteurs sur la maquette et orientation des axes de rotation</i>	5
b. <i>Sens de rotation des moteurs</i>	6
c. <i>Vitesse de rotation des moteurs</i>	7
d. <i>Position des balourds pour le contrôle de la direction de la force centrifuge de chaque moteur</i>	7
e. <i>Réglage des balourds en vue de modifier le moment d'inertie</i>	9
3. Caractéristiques complémentaires du système et des équipements.....	10
ARTICLE 4 - CONTRAINTES D'INSTALLATION ET ENVIRONNEMENT DE FONCTIONNEMENT	10
ARTICLE 5 - LIVRAISON, CONTRÔLE TECHNIQUE, FORMATION ET DOCUMENTATION	10
1. Lieu de livraison	10
2. Formation des utilisateurs	10
3. Planning prévisionnel	10
4. Procédure de vérification et de réception	10
5. Documentation	11
ARTICLE 6 - GARANTIE	11
1. Durée et périmètre de la garantie	11
2. Délais d'intervention	11
ARTICLE 7 - EFFICACITE ENERGETIQUE ET DURABILITE	12
ARTICLE 8 - ACTEURS DE L'ASNR	12

ARTICLE 1 - CADRE GENERAL

L'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection est une autorité administrative indépendante créée par la loi du 21 mai 2024 relative à l'organisation de la gouvernance de la sûreté nucléaire et de la radioprotection pour répondre au défi de la relance de la filière nucléaire. Elle assure, au nom de l'État, le contrôle des activités nucléaires civiles en France et remplit des missions d'expertise, de recherche, de formation et d'information des publics. L'ASNR est composée de fonctionnaires, d'agents de droit public et de salariés de droit privé.

Au sein de la Direction de l'Expertise en Sûreté (DES), le Service d'expertise des Equipements et des Structures (SES) a pour mission de réaliser des expertises de sûreté relatives à la conception, à la réalisation, à la qualification aux conditions accidentelles, au comportement et au contrôle en service, au vieillissement, à la mise à l'arrêt définitif et au démantèlement des équipements mécaniques, des équipements, des ouvrages et des structures de génie civil des installations nucléaires de base (INB) et des installations nucléaires intéressant la défense nationale (INBS), à l'exception des matériaux nucléaires. Le SES prépare ou contribue à des avis et à des rapports d'expertise et présente ses travaux devant les Groupes permanents d'experts ou les Commissions de sûreté compétentes. Il initie et réalise ou suit des études et des recherches propres à répondre aux besoins de l'expertise dans son domaine de compétences.

Au sein du SES, le Laboratoire de Modélisation et d'Analyse de la Performance des Structures (LMAPS) est en charge des missions d'études et de recherches relatives aux bâtiments et ouvrages de génie civil et équipements importants pour la sûreté. A cette fin, le LMAPS définit, pilote et, le cas échéant, réalise des études et des actions de recherche pour maintenir au meilleur niveau les connaissances et les capacités d'expertise de l'institut dans les domaines : (i) du comportement des ouvrages et des structures en béton armé et précontraint, des charpentes métalliques et des équipements indissociables de ceux-ci ainsi que des matériaux de revêtement et de renforcement, en situations normales, accidentelles ou ultimes ; (ii) des effets des dégradations et du vieillissement sur les bâtiments, les ouvrages de génie civil, les équipements intimement associés à ceux-ci et les matériaux mis en œuvre (bétons armés et précontraints, matériaux de renforcement et de revêtement) à l'égard du maintien des fonctions de sûreté ; (iii) des techniques d'analyse du comportement des bâtiments, des ouvrages et des structures associées sous l'effet des agressions telles que les séismes, les explosions, les chutes d'avion et de charges et les incendies.

ARTICLE 2 - OBJET ET PERIMETRE DU MARCHE

Les spécifications du présent Cahier des Clauses Techniques Particulières (CCTP) concernent :

- l'acquisition de quatre (4) moteurs à balourds excentrés ;
- l'acquisition de leur système de pilotage et d'alimentation ;
- l'assistance technique à distance ;
- l'assistance technique in situ (prestation complémentaire) ;
- la formation pour accompagner l'ASNR dans l'appropriation du dispositif expérimental (moteurs à balourds et système de pilotage).
- la livraison des équipements sur le site de Thessalonique.

Ces équipements seront exploités pour la réalisation d'une campagne de recherche et développement expérimentale dédiée à la caractérisation de l'interaction sol-structure sur une maquette de fondation rigide et superficielle. Les moteurs à balourds ont pour vocation d'être installés sur cette maquette afin de générer des vibrations à différentes fréquences et amplitudes.

1. Offre de base obligatoire

L'offre de base devra comprendre les éléments suivants :

- (a) quatre (4) moteurs à balourds du même modèle (masses des balourds ajustables) ;
- (b) un dispositif de pilotage des moteurs permettant le contrôle de la rotation (en fréquence) conformément aux modalités définies dans l'Article 4. Ce dispositif de pilotage peut vérifier l'une des deux configurations suivantes :

- i. soit il est autoportant en intégrant une interface homme-machine permettant le pilotage. Si le logiciel embarqué dans l'armoire de pilotage nécessite une maintenance ; cela devra être explicitement précisé avec les modalités associées. L'offre doit intégrer cette maintenance ;
 - ii. soit il doit être relié à un ordinateur pour une utilisation via une interface homme-machine après installation d'un logiciel spécifique. Dans ce cas, l'offre doit préciser et intégrer des précisions sur l'environnement d'installation associé, les modalités de mises à jour et de maintenance ;
- (c) si nécessaire, le ou les armoires électriques avec les équipements de branchement nécessaires à l'alimentation des moteurs et de l'armoire de pilotage ;
 - (d) la documentation détaillant l'installation, le branchement et la mise en service de l'ensemble des équipements ci-avant, ainsi que les précautions d'utilisation et conseils de sécurité ;
 - (e) une formation visant à accompagner l'équipe projet ASNR dans l'utilisation de l'ensemble des équipements ci-avant. Cette formation peut être dispensée dans les locaux du fournisseur avant l'étape de livraison ;
 - (f) une assistance technique à distance (téléphonique ou par visio-conférence) pour répondre à des questions techniques liées au fonctionnement du dispositif ou analytiques liées à l'analyse des mesures réalisées par le logiciel (embarqué dans l'armoire de pilotage ou sur ordinateur). Cette prestation d'assistance forfaitaire annuelle s'exécute pendant la période d'exécution du contrat, soit pendant une période de douze (12) mois.

Remarque : l'offre doit détailler les éléments couverts par la garantie fournisseur, les précautions d'utilisation vis-à-vis du risque de surchauffage. En l'occurrence, l'offre doit préciser la solution de refroidissement déployée qu'elle soit naturelle par entraînement d'air ou forcée (cas échéant) dans la plage d'utilisation visée (Article 4).

Enfin l'offre devra intégrer la livraison de l'ensemble des équipements sur le site de réalisation des essais expérimentaux à Thessalonique en Grèce.

2. Prestation complémentaire : Assistance technique in situ

En cours d'exécution du marché, l'ASNR se réserve la possibilité de demander au titulaire une prestation d'assistance technique in-situ (sur la plateforme d'essai à Thessalonique). Pour commander cette prestation, l'ASNR adressera une demande de devis au titulaire. Le titulaire disposera d'un délai de cinq (5) jours pour lui transmettre. Après validation du devis, l'ASNR émettra un bon de commande. Cette prestation ponctuelle est exécutée par le titulaire après validation d'un devis et émission d'un bon de commande.

ARTICLE 3 - DESCRIPTION DU BESOIN TECHNIQUE

1. Description du dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est composé d'une maquette de fondation superficielle en béton armé et de moteurs à balourds ancrés pour induire des mouvements dynamiques. La maquette est constituée d'une dalle de 3,00 m x 3,00 m et de 0,40 m d'épaisseur. Elle est contreventée par un voile de 0,40 m d'épaisseur de 0,60 m de haut. Il est prévu d'installer les moteurs au-dessus des voiles. La Figure 1 montre une illustration de la maquette avec les dimensions ; en particulier sont indiqués les emplacements prévisionnels d'installation des moteurs à balourds.

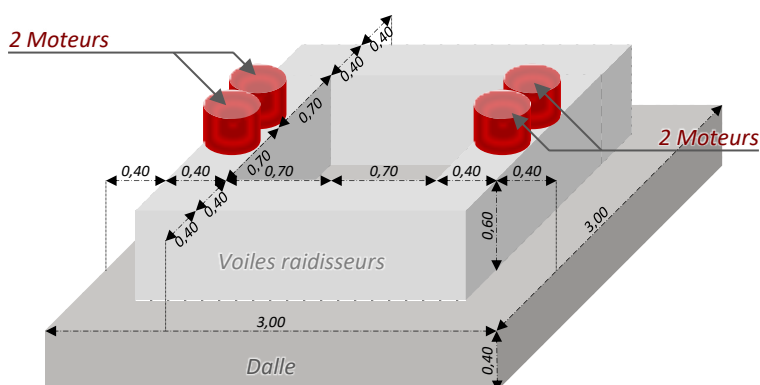


Figure 1. Schéma de la maquette de dalle contreventée, dédiée aux essais in situ. Les moteurs à balourds sont ancrés au faîte des voiles raidisseurs.

2. Capacité de pilotage attendue des moteurs à balourds

La campagne expérimentale se compose de plusieurs essais. Pendant chaque essai, le pilotage consistera à :

- Etape 1 : renseignement des caractéristiques de l'essai par l'opérateur ;
- Etape 2 : réglage des balourds en vue d'adapter le moment d'inertie en $cm.kg$;
- Etape 3 : mise en route des moteurs ;
- Etape 4 : transitoire visant à régler la vitesse de rotation et le positionnement des balourds traduisant la consigne de l'essai ;
- Etape 5 : réalisation de la mesure (acquisition de données expérimentale) lorsque l'Etape 4 est réalisée ;
- Etape 6 : mise à l'arrêt des moteurs.

En particulier, l'offre doit tenir compte des considérations suivantes :

a. Emplacement des moteurs sur la maquette et orientation des axes de rotation

La Figure 2 montre le positionnement et l'orientation envisagées des moteurs. Il est à noter que les voiles ont été dimensionnés pour accueillir le système d'ancrage des moteurs et résister aux efforts de vibration induits par le système pendant l'essai.

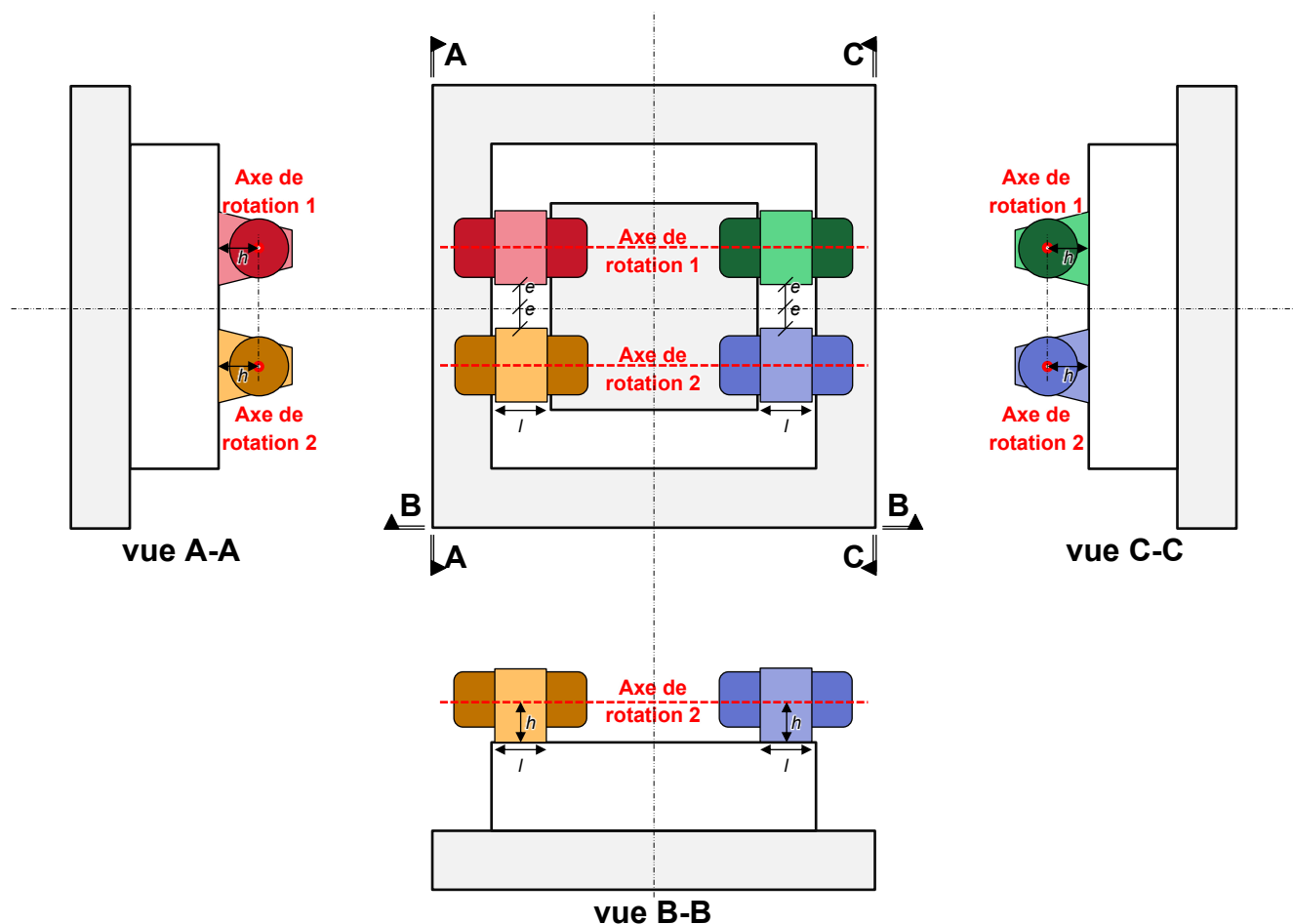


Figure 2. Positionnement et orientation des moteurs.

Le moteur rouge (MR) et le moteur vert (MV) d'une part, et, le moteur bleu (MB) et le moteur orange (MO) d'autre part, sont disposés de sorte que leurs axes de rotation soient deux à deux confondus et parallèles à l'axe de symétrie de la maquette.

MR et MO d'une part, et, MV et MB d'autre part, sont disposés deux à deux sur un voile de la maquette de sorte que l'espacement à l'axe de symétrie de la maquette, noté e , soit identique.

Les quatre moteurs sont installés de sorte que la hauteur de leur axe de rotation par rapport aux voiles, notée h , soit la même.

Les quatre moteurs, étant disposés sur les voiles, doivent avoir une largeur de socle, notée l , n'excédant pas l'épaisseur des voiles qui est de 0,40 m.

b. Sens de rotation des moteurs

Les moteurs dont l'axe de rotation est confondu, soit, MR et MV d'une part, et, MO et MB d'autre part, ont le même sens de rotation. Les moteurs installés sur le même un voile, soit MR et MO d'une part, et, MV et MB d'autre part, tournent dans le sens opposé (cf. Figure 3).

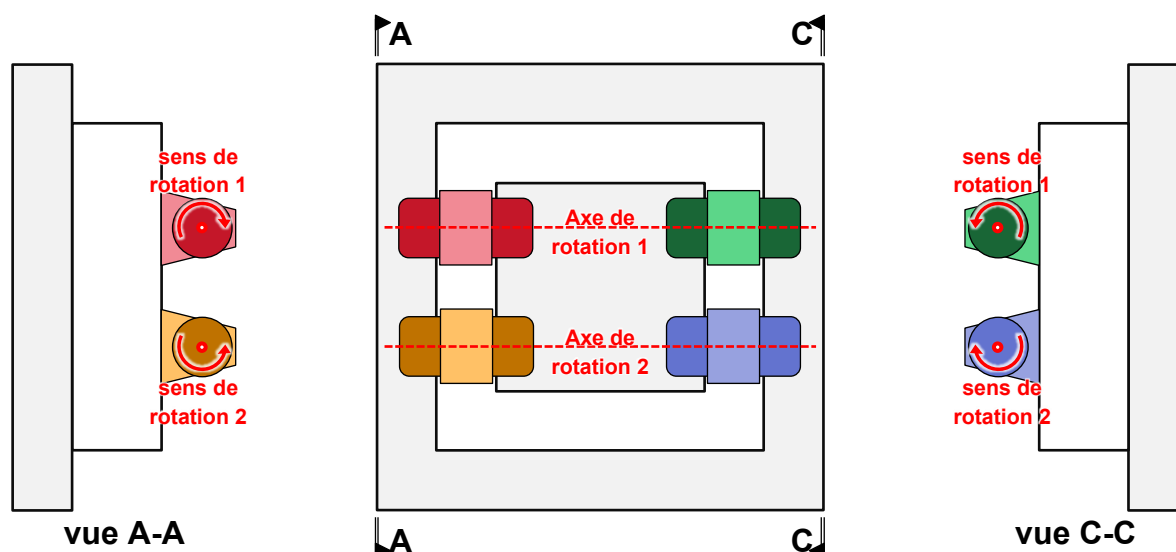


Figure 3. Sens de rotation des moteurs.

c. Vitesse de rotation des moteurs

La vitesse angulaire ou fréquence de rotation est une caractéristique ou option de pilotage de l'essai. Elle est définie par l'opérateur via l'interface homme-machine au début de chaque essai.

Le système de pilotage doit, automatiquement et par asservissement, régler la vitesse de rotation angulaire des quatre moteurs jusqu'à la consigne souhaitée puis la maintenir constante tout au long de l'essai.

Les vitesses de rotation visées lors des essais sont renseignées dans le Tableau 1 ci-après :

Tableau 1. Vitesses de rotation angulaire des moteurs visées pour les essais

Tour par minute	300	360	420	480	540	600	660	720	780	840	900
Fréquence en Hz	5 Hz	6 Hz	7 Hz	8 Hz	9 Hz	10 Hz	11 Hz	12 Hz	13 Hz	14 Hz	15 Hz

d. Position des balourds pour le contrôle de la direction de la force centrifuge de chaque moteur

La définition de la position des balourds permettra le contrôle de la force centrifuge en coordonnant leur direction selon trois configurations : vibrations verticales (Figure 4), vibrations horizontales (Figure 5), vibrations en basculement (Figure 6). Ces configurations sont illustrées ci-dessous dans les Figure 4 à Figure 6 avec la convention d'orientation suivante :

- (a) la direction x est colinéaire aux axes de rotation des moteurs ;
- (b) la direction z est la direction verticale orientée vers le haut ;
- (c) la direction y est obtenue de tel sorte que xyz soit un repère direct.

Les angles entre la direction de la force centrifuge et l'axe de rotation du moteur qui le génère sont définis selon la convention trigonométrique (repère direct) et sont notés θ_R , θ_O , θ_B et θ_V respectivement pour les moteurs, rouge, orange, bleu et vert.

Configuration verticale

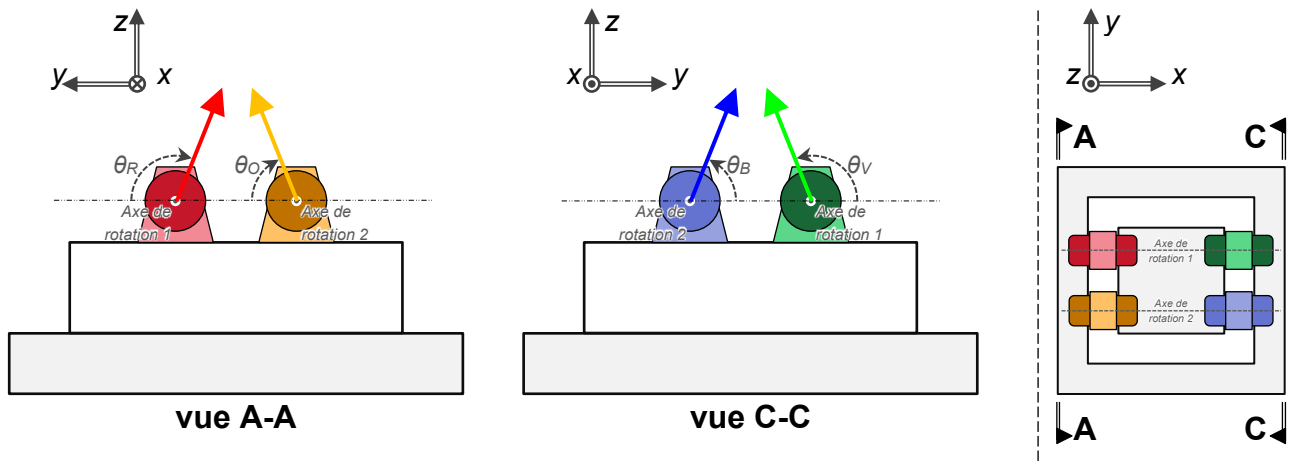


Figure 4. Orientation des forces centrifuges générées par les moteurs en configuration d'essai vertical.

Dans cette configuration, conformément à l'illustration en Figure 4, les angles doivent vérifier :

$$180^\circ - \theta_R = \theta_O = \theta_B = 180^\circ - \theta_V$$

Dans cette configuration l'effort global est un effort vertical sinusoïdal.

Configuration horizontale

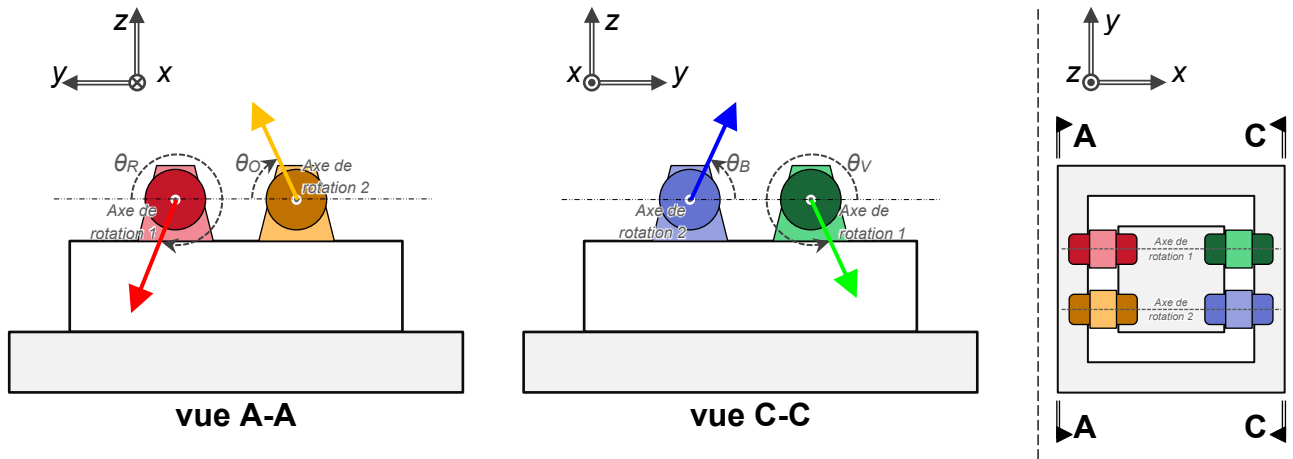


Figure 5. Orientation des forces centrifuges générées par les moteurs en configuration d'essai horizontal.

Dans cette configuration, conformément à l'illustration en Figure 5, les angles doivent vérifier :

$$-\theta_R = \theta_O = \theta_B = -\theta_V$$

Dans cette configuration l'effort global est un effort horizontal sinusoïdal couplé à un effort de basculement autour de l'axe x.

Configuration en basculement

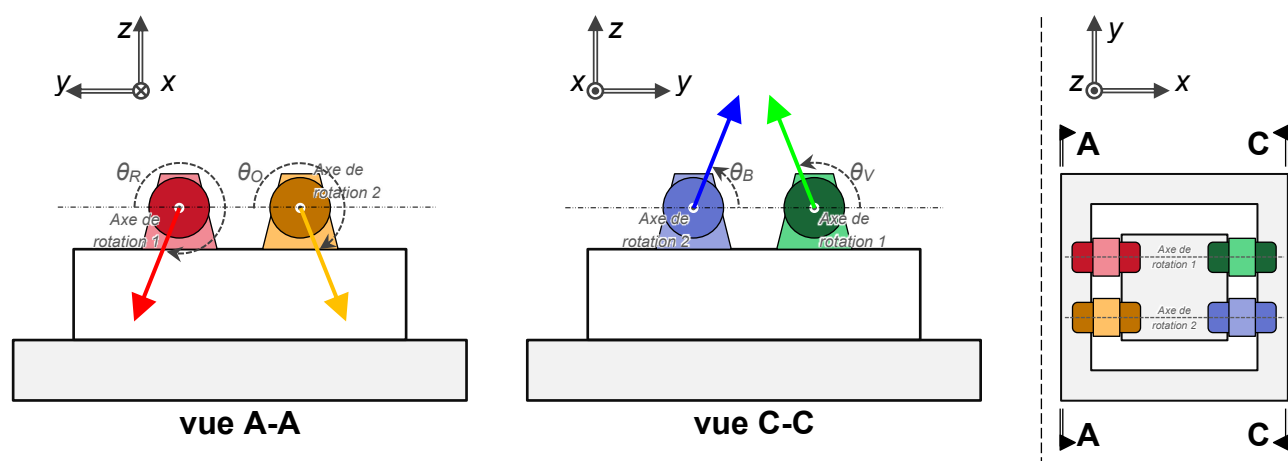


Figure 6. Orientation des forces centrifuges générées par les moteurs en configuration d'essai en basculement.

Dans cette configuration, conformément à l'illustration en Figure 6, les angles doivent vérifier :

$$180^\circ + \theta_R = -\theta_O = \theta_B = 180^\circ - \theta_V$$

Dans cette configuration l'effort global est un effort de basculement autour de l'axe x.

Concernant l'asservissement en position des balourds, l'offre doit intégrer, pour chacune des trois configurations de déphasage, un schéma technique détaillant les forces centrifuges générées par les balourds ainsi que les dispositions/solutions techniques de réglage de ces derniers (cf. partie a).

e. Réglage des balourds en vue de modifier le moment d'inertie

Tout en respectant les configurations de déphasage entre les balourds (cf. d), la solution technique proposée doit permettre une modification facile de l'amplitude de la force centrifuge générée par chaque moteur selon les conditions suivantes :

- la valeur (norme) force centrifuge d'un moteur est maintenue constante pendant la réalisation de l'essai ;
- la valeur (norme) de la force centrifuge est identique pour les quatre moteurs pendant l'essai ;
- pour toutes les fréquences supérieures à 7 Hz (420 tr.min⁻¹) lors des essais visés (cf. Tableau 1), la valeur (norme) de la force centrifuge doit être réglable, a minima, aux valeurs suivantes :
 - 10 KN pour les essais en configuration verticale ou en basculement ;
 - 5 KN pour les essais en configuration horizontale.

Remarques :

- si le réglage des balourds ne permet pas de respecter scrupuleusement les deux valeurs de la force centrifuge ci-dessus, le titulaire devra préciser les efforts possibles s'en rapprochant le plus. **A cet égard, l'offre devra contenir un tableau qui liste les valeurs de la force centrifuge pouvant être générée effectivement pour les moteurs, et ce, pour chaque vitesse de rotation angulaire du Tableau 1.**
- la force centrifuge est égale au produit du moment d'inertie (ou « unbalanced » en anglais) et de la vitesse de rotation angulaire ; à cet égard, **la solution technique proposée doit permettre le réglage du moment d'inertie des balourds des moteurs pour garantir le contrôle de la force centrifuge pendant chaque essai.**

3. Caractéristiques complémentaires du système et des équipements

Le titulaire s'engage à inclure dans l'offre des précisions sur le logiciel embarqué dans l'armoire de commande ou à installer sur un ordinateur pour la réalisation du pilotage des moteurs (cf. article 2). Les caractéristiques de ce logiciel doivent être identiques à celles qu'il aura présentées dans son offre technique

Le titulaire est d'ores et déjà informé que, si i le logiciel doit être installé sur un ordinateur, une licence d'utilisation illimitée dans le temps doit être fournie.

ARTICLE 4 - CONTRAINTES D'INSTALLATION ET ENVIRONNEMENT DE FONCTIONNEMENT

Les dimensions des moteurs, en particulier le dispositif d'ancrage et son socle, doivent être compatibles avec les dimensions des voiles de la maquette (cf. Article 3).

Le titulaire doit préciser l'espace requis ainsi que les dimensions des équipements annexes (armoire électrique et système de refroidissement éventuel, dispositions de câblage).

ARTICLE 5 - LIVRAISON, CONTRÔLE TECHNIQUE, FORMATION ET DOCUMENTATION

1. Lieu de livraison

L'équipement sera livré à l'adresse suivante : Aristotle University of Thessaloniki University Campus 54124 Thessaloniki Greece

2. Formation des utilisateurs

La formation à l'utilisation et à la maintenance de 1^{er} niveau des équipements ainsi qu'à l'utilisation du logiciel de pilotage doit être prévue pour un groupe de 6 personnes identifiées par l'ASNR dans les locaux du titulaire.

Cette formation doit inclure les tests de vérification du dispositif dans les locaux du fournisseur.

La formation doit se tenir en amont de la livraison des équipements en Grèce.

Les supports de formation doivent également être fournis en amont de la livraison des équipements.

3. Planning prévisionnel

Le planning d'exécution prévisionnel de l'ASNR se présente ainsi :

- J0 : notification
- J0 + 11 semaines : fin de la fabrication + fourniture documentation
- J0+12 semaines : formation des utilisateurs
- J0+14 semaines : livraison à Thessalonique

Le titulaire s'engage à respecter le planning définitif à préciser pendant la réunion d'enclenchement en accord avec l'ASNR.

4. Procédure de vérification et de réception

Réception provisoire en usine

Préalablement à l'expédition, l'ASNR procèdera à des essais de bon fonctionnement dans les locaux du fournisseur. Cela peut se faire à la suite ou pendant la formation évoquée dans la partie 5.2 du présent contrat. Ces essais ont pour objectif de vérifier la conformité des performances réelles de l'équipement aux spécifications techniques annoncées dans l'offre du fournisseur.

Les critères d'évaluation et les seuils d'acceptation sont détaillés à l'article 3 du présent contrat.

Réception définitive sur site

La réception définitive du marché n'est prononcée qu'après réalisation des tests de conformité sur le site d'exploitation final à Thessalonique, Grèce.

La réception définitive sera prononcée après tests de conformité sur site final à Thessalonique.

5. Documentation

Les documents suivants devront être transmis à la livraison des équipements ; de préférence en langue anglaise (EN) :

- (a) une notice d'utilisation précisant entre autres les prescriptions et les consignes d'installation, de mise en service et d'utilisation ;
- (b) une notice d'utilisation du logiciel (armoire de commande);
- (c) les plans de câblage électriques ;
- (d) les spécifications d'entretien avec la nomenclature des pièces et des conditions de stockage ;
- (e) les informations relatives à la disponibilité des pièces de rechange (SAV) ;
- (f) les procédures de réglage et d'entretien courants ;
- (g) les précautions d'utilisation sécuritaire de l'équipement ;
- (h) les certificats de conformité d'épreuves et toutes attestations spécifiques ou réglementaires relatifs à l'équipement ou éléments associés à l'équipement.

Le titulaire pourra compléter cette liste par tout élément qu'il juge pertinent et nécessaire pour une bonne utilisation du dispositif expérimental.

ARTICLE 6 - GARANTIE

1. Durée et périmètre de la garantie

La garantie sera d'une durée minimale de douze (12) mois à compter de la réception de l'équipement. Le titulaire garantit le bon fonctionnement de l'ensemble du matériel et logiciels conformément aux spécifications techniques à compter de la date de réception finale de la prestation et pour la période précisée dans son offre.

Le titulaire sera le seul interlocuteur du laboratoire. Dans le cas où l'équipement serait constitué de matériel d'origines diverses (détecteur, pompe, passeur, ensemble de refroidissement, chambre de nébulisation, injecteur, ...), le titulaire s'engage sur une garantie totale des matériels nécessaires au fonctionnement optimal de l'équipement et la fourniture des pièces détachées de tous les matériels vendus.

Tout délai de réparation ou de dysfonctionnement bloquant, le cas échéant prolonge d'autant la période de garantie.

Le titulaire doit garantir la disponibilité des matériels nécessaires au fonctionnement optimal de l'équipement et la fourniture des pièces détachées de tous les matériels vendus pour une durée de 5 ans.

2. Délais d'intervention

Le délai d'intervention téléphonique (assistance technique à distance) sera de 24 h maximum pendant la durée du contrat (12 mois).

Le délai d'intervention in situ (assistance in situ) sera de 30 jours maximum pendant la durée du contrat (à compter de la réception du bon de commande par le titulaire).

ARTICLE 7 - EFFICACITE ENERGETIQUE ET DURABILITE

Les moteurs à balourds doivent être de classe de rendement IE3 minimum, conformément au règlement (UE) 2019/1781. Le Titulaire joint à son offre la fiche de rendement de chaque moteur selon la norme IEC 60034-30-1.

ARTICLE 8 - ACTEURS DE L'ASNR

Fonction	Nom	Fonction / Service	Téléphone	E-mail	Adresse
Technique	Julien CLEMENT	ASNR / DES/SES/LMAPS	01 58 35 80 66	julien.clement@asnr.fr	31, avenue de la Division Leclerc 92262 FONTENAY- AUX-ROSES Cedex
	David BOUHJITI	ASNR / DES/SES/LMAPS	01 58 35 74 28	david.bouhjiti@asnr.fr	
Achats	Fabrice MARTIAL	ASNR / DAF / SAC / CCA	01 58 35 91 53	fabrice.martial@asnr.fr	