MARCHES PUBLICS DE FOURNITURES COURANTES ET SERVICES

CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIÈRES (CCTP)

Fourniture, livraison, installation et mise en service bancs de travaux pratiques d'électrotechnique, électronique de puissance et automatique pour l'étude des motorisations électriques et de leur contrôle et la formation et l'étude d'un microréseau électrique

AI26.61

LOT 1 - FOURNITURE DE BANCS DE TRAVAUX PRATIQUES D'ELECTROTECHNIQUE, ELECTRONIQUE DE PUISSANCE ET AUTOMATIQUE

ARTICLE 1 : OBJET DE LA CONSULTATION

Le présent cahier des charges a pour objet un ensemble de bancs de travaux pratiques d'Electrotechnique, Electronique de puissance et Automatique pour l'étude des motorisations électriques et de leur contrôle et la formation et l'étude d'un microréseau électrique. Cet équipement sera installé dans le bâtiment des énergies décarbonées du campus de l'École Nationale Supérieure des Arts et Métiers d'Aix-en-Provence, 2 Cours des Arts-et-Métiers –13100 Aix-en-Provence.

ARTICLE 2 : DESCRIPTION DE LA SOLUTION SOUHAITEE

2.1 Généralités

Cette commande, inscrite dans le projet « SPHERE » (Plateforme de Systèmes Pilotables Hybrides pour l'Enseignement et la Recherche en Énergie) cofinancé par la Région Sud et l'Ecole Nationale Supérieur d'Arts-et-Métiers, a pour objectif de développer une plateforme physique de systèmes énergétiques qui permette d'appuyer et de renforcer les activités d'enseignement et de recherche sur les systèmes énergétiques bas-carbone et le développement de micro-réseaux associant des producteurs / stockeurs d'énergies bas-carbones, faiblement consommateurs d'énergie et minimisant les impacts environnementaux clés pour la transition énergétique. L'objectif général est d'œuvrer, à la fois à une échelle locale pour un système énergétique, et à l'échelle globale pour un réseau, pour l'exploration des architectures énergétiques de demain, qui permettent de subvenir aux besoins clés de notre société tout en minimisant nos impacts sur l'environnement. En cela, le développement de cette plateforme permet la poursuite de nos activités sur ces sujets et entre parfaitement dans le cadre à la fois du développement des « Evolutive Learning Factories » (ELF) aux Arts-et-Métiers, et de la filière stratégique « *Energies de demain et écotechnologies* » de la Région SUD.

2.2 Prestations

Est à la charge du titulaire :

Le titulaire assure la fourniture, l'installation de la solution retenue, et la formation du personnel.

2.3 Les contraintes

2.3.1 Contraintes spécifiques d'installation et environnement machine : dimensions, poids, caractéristiques générales

Rien à signaler.

ARTICLE 3 : DESCRIPTION DE L'EQUIPEMENT

3.1 Généralités et spécifications techniques

Les matériels et outils retenus devront permettre les fonctions principales suivantes :

- Une utilisation ergonomique pour l'enseignement sur les technologies de motorisation / génération électriques et leurs contrôles, en régimes permanent et dynamique, par une didactisation « au juste besoin »,
- Une confrontation des apprenants avec des matériels représentatifs d'un contexte industriel, notamment en ce qui concerne les convertisseurs électromécaniques mis en œuvre,
- Le changement rapide, ergonomique, de la configuration de chaque banc pour une utilisation en tant que système de motorisation piloté en vitesse variable / en position, pouvant constituer une charge pour le réseau, et une utilisation en tant que système de production d'énergie électrique pour le réseau, avec ou sans convertisseur d'électronique de puissance au stator et/ou au rotor (en fonction des technologies),
- La simulation de systèmes de charge et d'entrainement préprogrammés (profils paramétrables pour solliciter ou entrainer le convertisseur sous test en régimes permanent et dynamique, y compris incluant des phénomènes cycliques) tout en étant ouvert pour une programmation ergonomique, par l'utilisateur, de modèles dynamiques de charge et d'entrainement,
- Les évolutions futures des bancs (ex : changement de moteurs...) par la mise en œuvre de matériels et d'interfaces les plus standards possibles, notamment au niveau des tensions nominales, des systèmes d'accouplement mécanique des convertisseurs électromécaniques et des connectiques électriques et de signaux,
- L'étude des principales techniques de contrôle (scalaires et vectorielles) préprogrammées et la programmation ergonomique, par l'utilisateur, d'algorithmes / de schémas de contrôle,
- Le pilotage en temps réel et la remontée de données en temps réel depuis et vers tous les bancs et leur système de supervision local (au niveau des bancs) et global (au niveau du microréseau) devra inclure les API de programmation adéquates (ex : interface control Desk pour les matériel D-Space).

A - Spécifications générales

La structure générale complète de l'installation, décrite par la Figure 1, est décomposée en deux lots comme suit :

- Lot 1 : Ensemble de 4 à 6 bancs moteurs/générateurs (4 technologies différentes plus 2 redondantes – cf. Figure 1), chacun composé d'un dispositif motorisé et contrôlé de charge active, d'un moteur/générateur sous test, des convertisseurs d'électronique de puissance réversibles requis et de leurs capteurs et systèmes de contrôle local compatibles avec un système de supervision (lot 2) permettant de former un micro-réseau électrique.*
- Lot 2 (ce lot sera potentiellement lancé suite au résultat du Lot 1) : Système de contrôle / supervision globale (à l'échelle de la plateforme) temps réel permettant le pilotage d'au moins 6 bancs simulant des centrales de production électrique (lot 1) et permettant l'intégration d'autres matériels de production réels tels qu'une installation photovoltaïque, une éolienne ou encore d'autres bancs simulateurs qui pourraient être

développés ultérieurement (« Autres générateurs » sur la Figure 1). Ce cahier des charges n'inclut pas les éléments du Lot 2 à ce stade.

Les solutions proposées pour le lot 1 devront reposer sur des technologies éprouvées et standardisées, favorisant la modularité, la maintenabilité et le remplacement aisé des composants. Elles devront être conçues pour offrir une évolutivité maximale tout en garantissant une robustesse adaptée à un usage pédagogique. À ce titre, elles intégreront les protections nécessaires contre les courts-circuits, les surintensités et tout autre défaut électrique susceptible de compromettre la sécurité des utilisateurs ou l'intégrité des équipements.

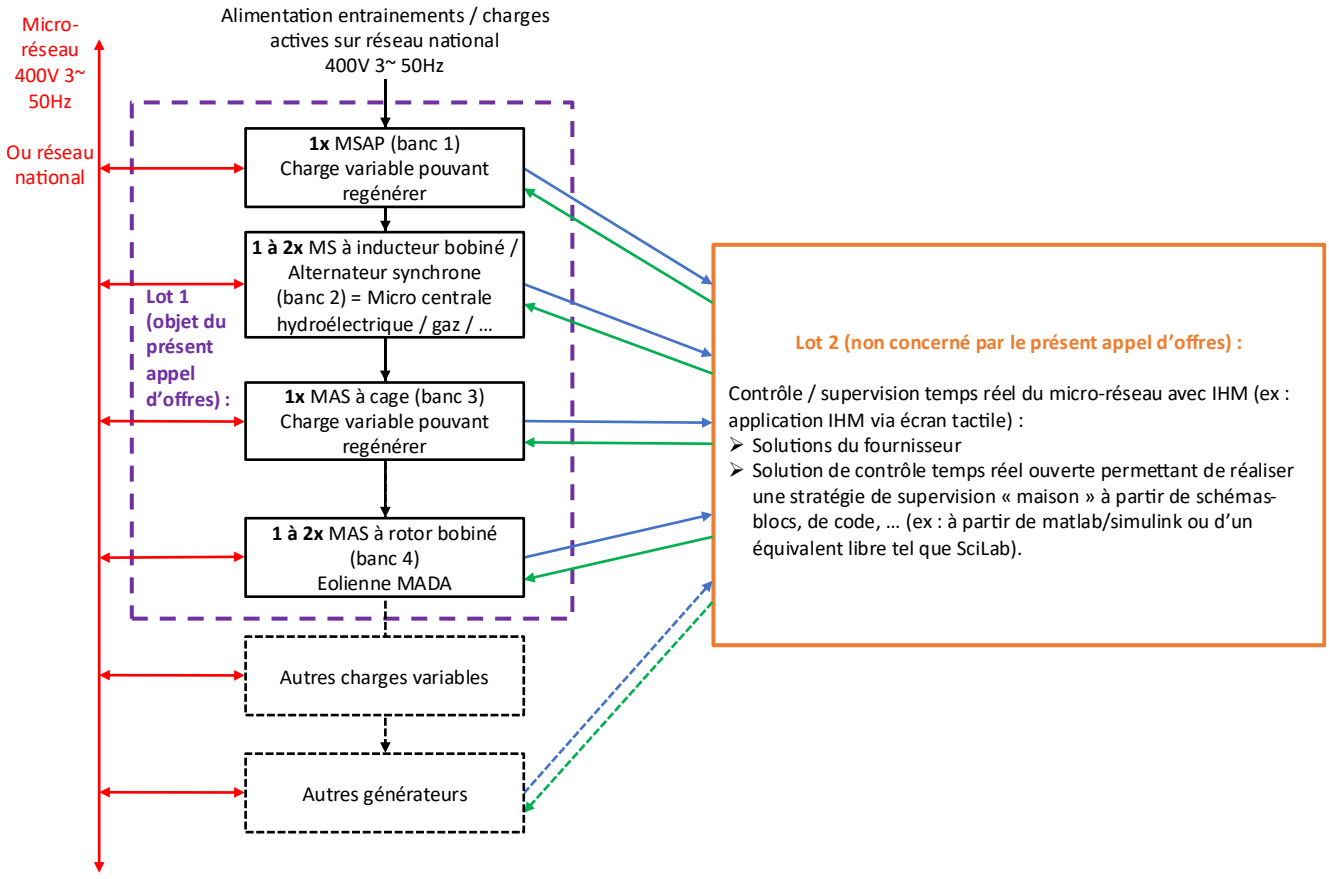


Figure 1 - Architecture générale de l'installation et allotissement

La partie B suivante détaille l'architecture souhaitée des bancs du Lot 1.

B – Architecture détaillée des bancs du lot 1

B0 – Schéma de principe et précisions valables pour toutes les technologies de bancs

La Figure 2 regroupe l'ensemble des sous-systèmes nécessaires à la réalisation des bancs pour les 4 technologies de machines dont l'étude est prévue dans ce projet. Les 4 types de bancs et leurs éventuelles différentes configurations sont exposées dans les parties suivantes, numérotées B1 à B4.

Les éléments dont le cadre est en traits discontinus correspondent à des convertisseurs, filtres et capteurs nécessaires au contrôle de l'alimentation du rotor de la machine asynchrone dans une configuration de machine asynchrone à double alimentation (MADA, voir partie B4b) et peuvent correspondre à un réemploi de ces mêmes éléments dimensionnés nominalement pour le contrôle de l'alimentation par le stator de cette même machine.

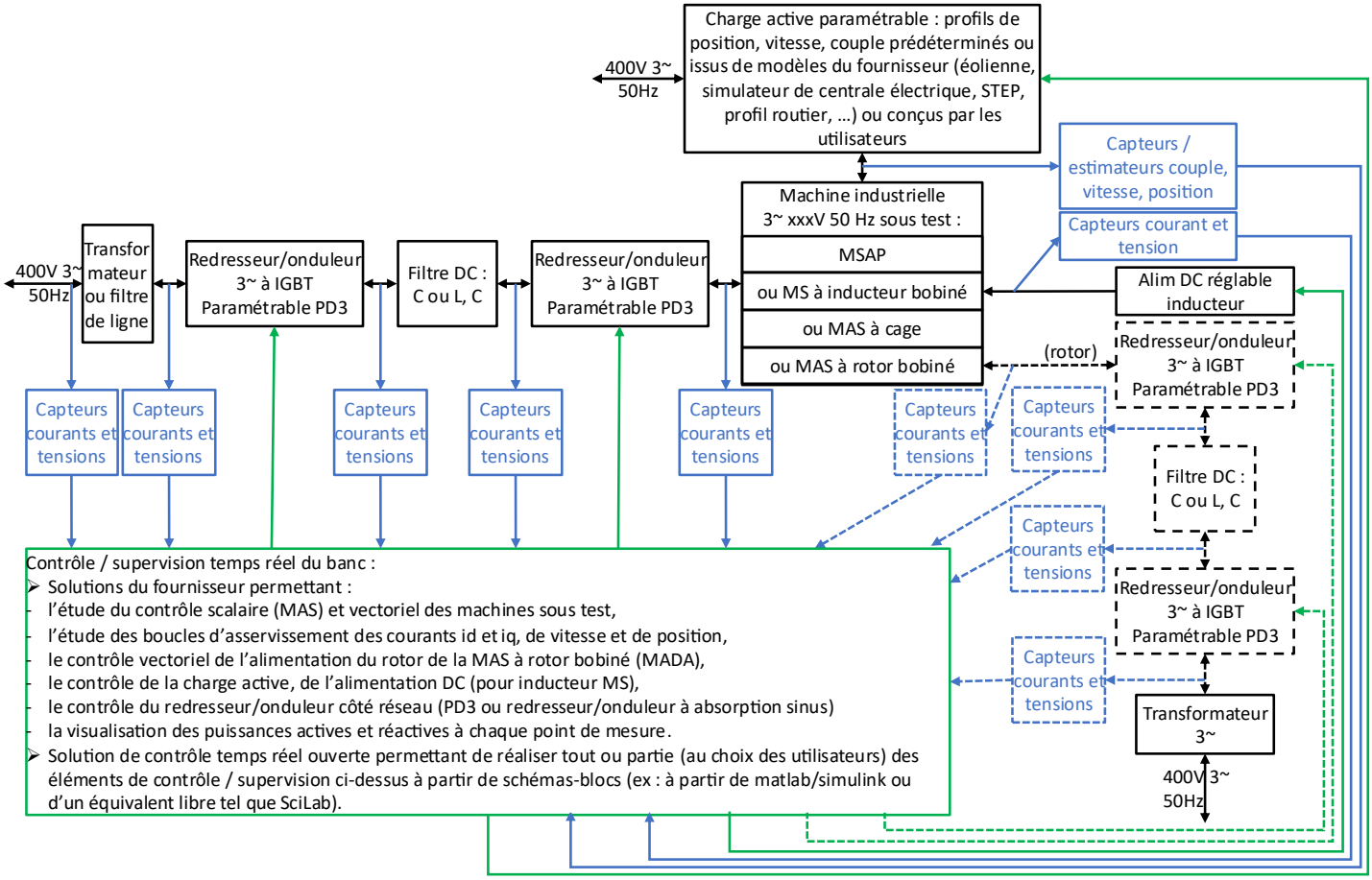


Figure 2 - Schéma d'architecture générique des bancs toutes technologies

Afin que l'association des différents bancs pour former un microréseau électrique soit plus représentative d'un réseau réel, nous préférons que l'interface avec le réseau 400V triphasé côté alimentation du stator des machines se fasse via un transformateur. Une proposition de matériels directement alimentés sur le réseau 400V triphasé, sans transformateur mais avec un filtre de ligne, est cependant possible.

Dans le cas d'une proposition de solution incluant un transformateur entre le réseau 400V triphasé et les convertisseurs d'électronique de puissance, nous favoriserons la proposition avec la plus grande homogénéité entre les tensions nominales des convertisseurs électromécaniques mis en œuvre dans les différents bancs. L'objectif est ici que les convertisseurs d'électronique de puissance soient interchangeables entre les bancs, par exemple pour permettre une utilisation des bancs en mode dégradé en cas de panne de l'un des convertisseurs.

Les moteurs/générateurs sous test seront préférentiellement des machines issues de catalogues industriels avec des tensions nominales et un accouplement mécanique standards, ainsi qu'une puissance nominale avoisinant le kilowatt. Nous souhaitons nous assurer de la possibilité de faire évoluer nos matériels, par exemple en remplaçant aisément une technologie / une référence de machine par une autre compatible. Nous souhaitons éviter l'emploi de moteurs/générateurs spécifiquement conçus pour l'enseignement s'ils présentent des caractéristiques trop éloignées de matériels industriels. Nous souhaitons par exemple éviter l'emploi d'une motorisation asynchrone présentant un glissement nominal trop conséquent.

Les vitesse nominales et puissances des convertisseurs électromécaniques seront préférentiellement similaires d'une technologie à l'autre et les accouplements mécaniques seront identiques de manière à rendre les charges actives paramétrables aisément interchangeables, par exemple pour permettre une reconfiguration rapide en cas de panne de l'une des charges actives.

Les charges actives doivent être paramétrables avec des profils prédéfinis de position, de vitesse, de couple et idéalement inclure des modèles du fournisseur tels que des simulateurs d'éolienne, de centrale électrique, de STEP, de profils routiers, … Ces éléments doivent également Fpermettre à l'utilisateur de bâtir aisément des modèles de comportement de charges actives (ex : à partir de matlab/simulink ou préférentiellement d'un équivalent libre tel que SciLab).

La réversibilité énergétique des convertisseurs d'électronique de puissance est un impératif dans la mesure où l'objectif est de permettre l'étude des différentes technologies de machines en fonctionnement moteur mais aussi en fonctionnement générateur, notamment en couplant électriquement les différents bancs pour former un microréseau électrique tel que décrit en Figure 1.

Les connectiques de puissance des différents éléments seront préférentiellement des bornes de sécurité didactisées à relier par des cordons électriques de Travaux Pratiques standards pour permettre la mise en œuvre de matériels de mesure et d'observation (multimètres, sonde de courant à effet hall, sonde différentielle de tension). Si cela est indispensable, notamment pour des problèmes de compatibilité électromagnétique, certaines connectiques peuvent être réalisées avec des câbles et connecteurs industriels. Cela peut par exemple être le cas entre l'onduleur et le moteur/générateur. Dans ce cas, des bornes de sécurité didactisées seront tout de même mises en place pour permettre l'utilisation de matériels de mesure (multimètres, sonde différentielle de tension).

Les convertisseurs d'électronique de puissance incluront une protection contre les surintensités ainsi que contre les courts-circuits. Les convertisseurs électromécaniques seront

dotés d'une protection thermique ou leur contrôle/supervision temps réel inclura une surveillance de l'état thermique du moteur/générateur sous test.

Les capteurs de courant, de tension, de position/vitesse, de couple seront au choix :

- Des éléments indépendants à assembler par câblage standards (pince à effet hall, sondes différentielles avec bornes de sécurité, …) et/ou accouplement mécanique entre moteurs/générateurs et charges actives, le tout à connecter aux dispositifs de contrôle/supervision local des bancs par exemple via des connecteurs BNC.
- Des éléments intégrés aux éléments de puissance tels que les redresseurs/onduleurs ou les charges actives et connectés aux dispositifs de contrôle/supervision des bancs via la connectique de contrôle du fournisseur.

L'idéal est que le nombre de capteurs de courant et de tension permette l'analyse temporelle et la comparaison des signaux et de la puissance en amont et en aval de chaque élément (filtre de ligne et/ou transformateur, convertisseurs d'électroniques de puissance, filtre DC).

Le minimum requis est un ensemble de capteurs pour systèmes triphasés (2 mesures de tensions entre phases et de 2 courants) côté réseau triphasé et un autre côté alimentation des moteurs/générateurs ainsi qu'une mesure de tension et de courant sur le bus continu.

Comme précisé plus haut, les matériels représentés avec des traits pointillés peuvent correspondre à un réemploi côté rotor de matériels usuellement utilisés côté stator.

L'ensemble de ces précisions est résumé en rouge sur la Figure 3.

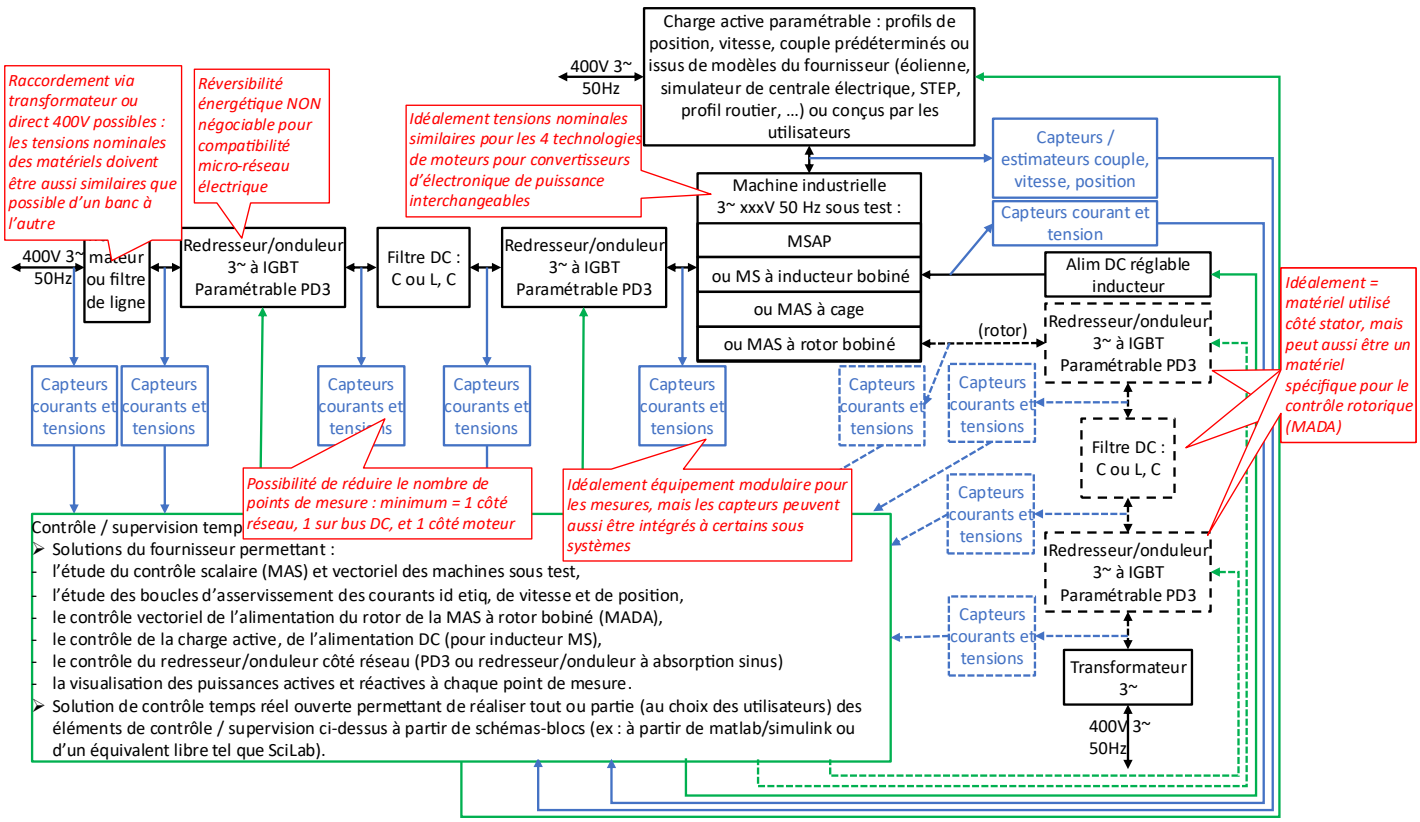


Figure 3 - Schéma d'architecture générique des bancs toutes technologies – Précisions

Le dispositif de contrôle/supervision temps réel local des bancs permettra le pilotage des convertisseurs d'électronique de puissance, de l'alimentation DC (cas des bancs avec machine à inducteur bobiné) et de la charge active à partir de schémas de contrôle paramétrables (solutions du fournisseur) et modifiables (solution ouverte) ainsi que la visualisation temps réel (affichages numériques et de courbes) et l'enregistrement des données issues des capteurs comme des données de contrôle (références de position, vitesse, courant, …) nécessaires aux différents modes de fonctionnement des bancs.

Les solutions de contrôle proposées permettront notamment le développement des modes de fonctionnement suivants :

- Asservissement des courants dans les phases du moteur à des consignes/références de courant quelconques ou à des références de courants calculées en fonction de la position mesurée de l'arbre moteur pour réaliser l'autopilotage de l'alimentation ;
- Pilotage des tensions et observation des courants dans le repère de Park ;
- Asservissement des courants dans le repère de Park à des consignes/références de courant (id, iq) quelconques ;
- Asservissement de vitesse à une consigne/référence de vitesse quelconque, utilisable sur la base de l'autopilotage et des asservissements des courants des phases comme sur la base des asservissements des courants dans le repère de Park ;
- Asservissement de position avec ou sans asservissement interne de vitesse ;
- Pilotage en absorption/injection sinusoïdale du redresseur commandable/onduleur côté réseau l'alimentation ;
- Asservissement de puissance active et de puissance réactive injectées sur le réseau.

Ces dispositifs de contrôle/supervision temps réel local des bancs devront également permettre la remontée de données mesurées et/ou calculées localement en temps réel telles que les valeurs efficaces des courants et des tensions ainsi que les puissances active et réactives vers le dispositif de contrôle/supervision temps réel global de microréseau correspondant au Lot 2 et devra être pilotable depuis ce même dispositif de supervision de microréseau. Les formats et l'architecture d'échange de données mesurées et de supervision de microréseau devront permettre une hétérogénéité des matériels des lots 1 et 2 qui pourront provenir de fournisseurs différents. Les dispositifs de communication entre le contrôle/supervision local des bancs et celui global du microréseau inclura sans s'y limiter une communication réseau Ethernet câblée et une communication réseau wifi. La fréquence de rafraîchissement des données mesurées/calculée et de contrôle/supervision global devra être réglable entre 0,1 Hz et 100 Hz et présenter un temps de réponse inférieur à une milliseconde. Par exemple, si la solution proposée consiste à ce que chaque banc mette à disposition ses données dans une base de données locale rafraîchie à 100Hz, les données rafraîchies doivent être disponibles à la lecture moins d'une milliseconde après l'instant d'échantillonnage.

B1 – Schéma de principe du banc type 1 avec moteur synchrone à aimants permanents (MSAP)

Ce banc est souhaité en **un exemplaire** et est décrit par la Figure 4.

Il permet l'étude du contrôle vectoriel d'une motorisation synchrone en fonctionnement moteur comme générateur et peut être piloté en fréquence afin de permettre le tracé de caractéristiques mécaniques (couple en fonction de la vitesse) du moteur non autopiloté.

L'accès à l'architecture de contrôle en couple, vitesse et/ou position permet des activités d'automatique, notamment en matière de réglage de correcteurs (P, PI, PID, …) et d'analyse de performances.

Les points de mesures de tensions et d'intensité des courants en amont et en aval de chaque convertisseur de puissance permet l'analyse et la compréhension du fonctionnement de ces éléments, notamment de la modulation de largeur d'impulsions (MLI), l'observation du transfert d'énergie active et d'énergie réactive en fonction du contrôle et des interactions entre le convertisseur électromécanique et sa charge active pilotable.

Des calculs de taux de distorsion harmoniques et la possibilité d'un pilotage en absorption sinusoïdale du redresseur/onduleur côté réseau sont des plus. Si le contrôle du fournisseur ne le permet pas, le matériel ouvert de contrôle doit permettre sa mise en place par l'utilisateur.

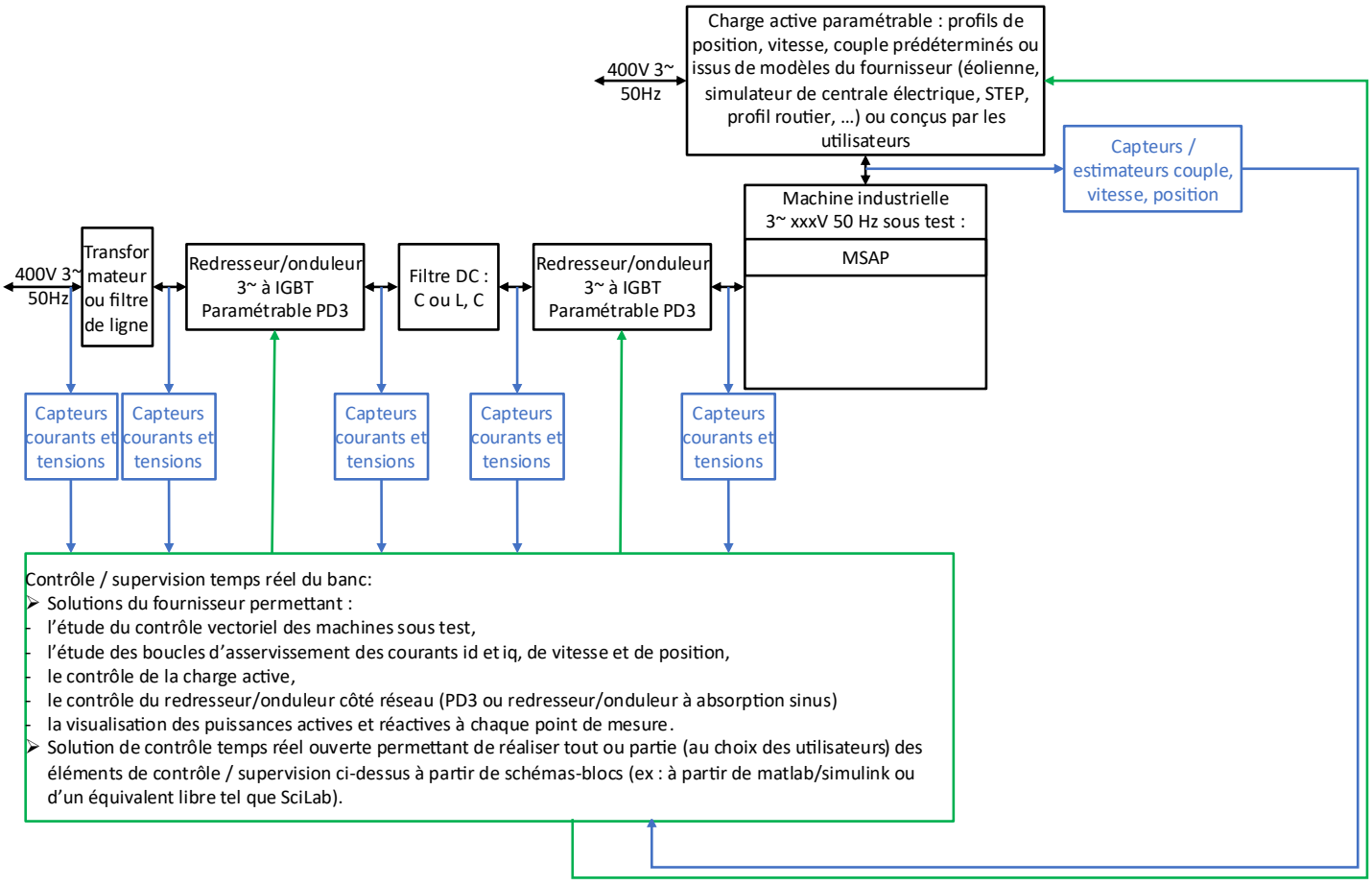


Figure 4 – Schéma du banc de type 1 – Machine synchrone à aimants permanents (MSAP)

B2 – Schéma de principe des bancs type 2 avec moteur synchrone à inducteur/rotor bobiné (MSRB)

Ce banc est souhaité en **un ou deux exemplaires.** Chacun des exemplaires doit pouvoir être utilisé en configuration B2a et B2b.

La configuration B2a est décrite par la Figure 5 avec un contrôle d'alimentation du stator permettant l'utilisation en moteur/générateur avec une alimentation d'inducteur réglée à sa valeur nominale.

Dans cette configuration, ce banc de type 2 permet d'atteindre les mêmes objectifs d'études décrits pour le banc B1.

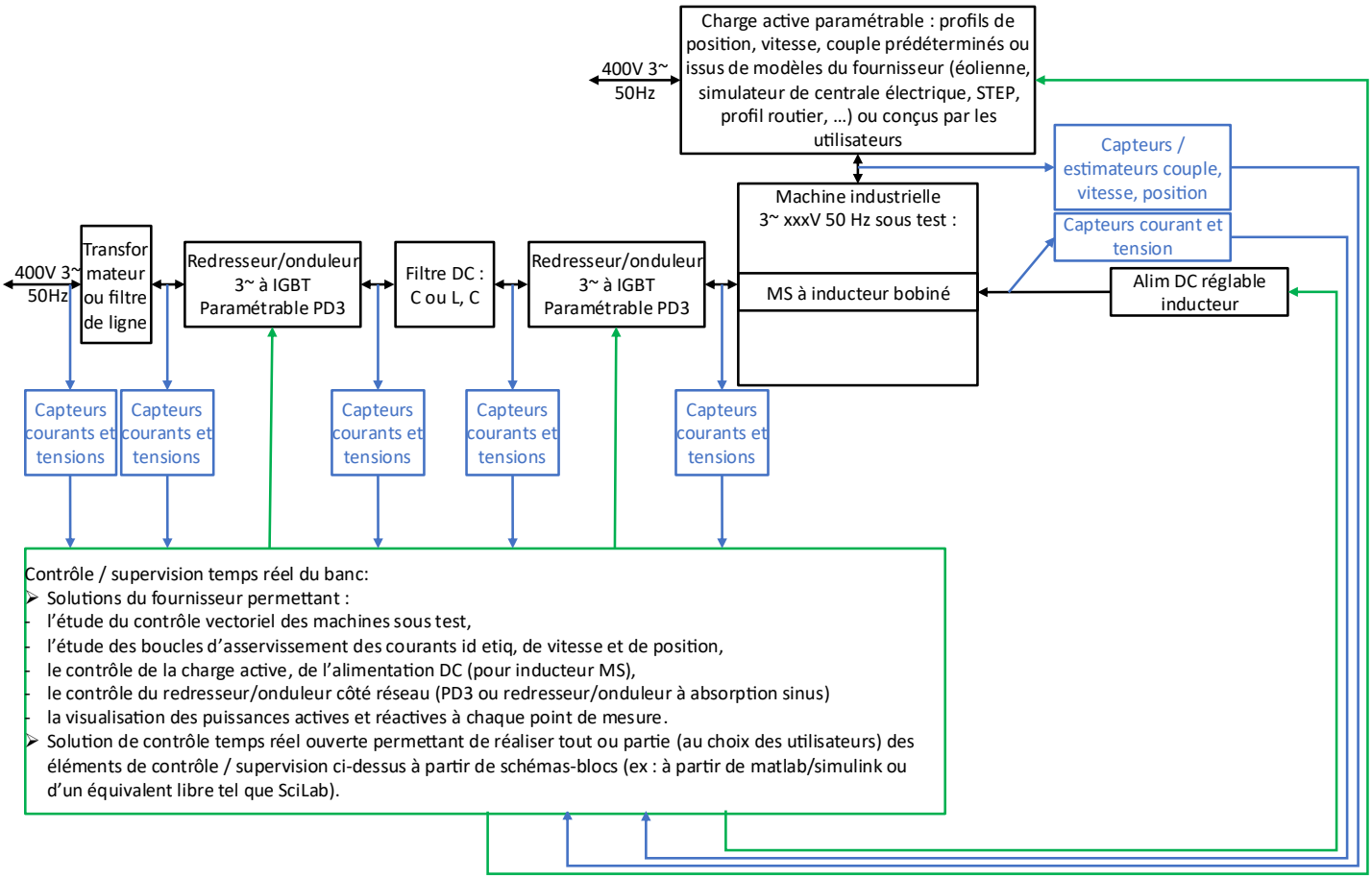


Figure 5 – Schéma des bancs de type 2 – Machine synchrone à rotor bobiné (MSRB) en configuration B2a : moteur/générateur synchrone

Ce banc permet une utilisation du MSRB en configuration B2b, sans électronique de puissance, en alternateur synchrone, telle que décrite en Figure 6. La fourniture d'un synchrocoupleur par banc de type 2 est optionnelle.

Prestation supplémentaire obligatoire :

Le titulaire proposera en prestations supplémentaires éventuelles obligatoires un banc MSRB supplémentaire.

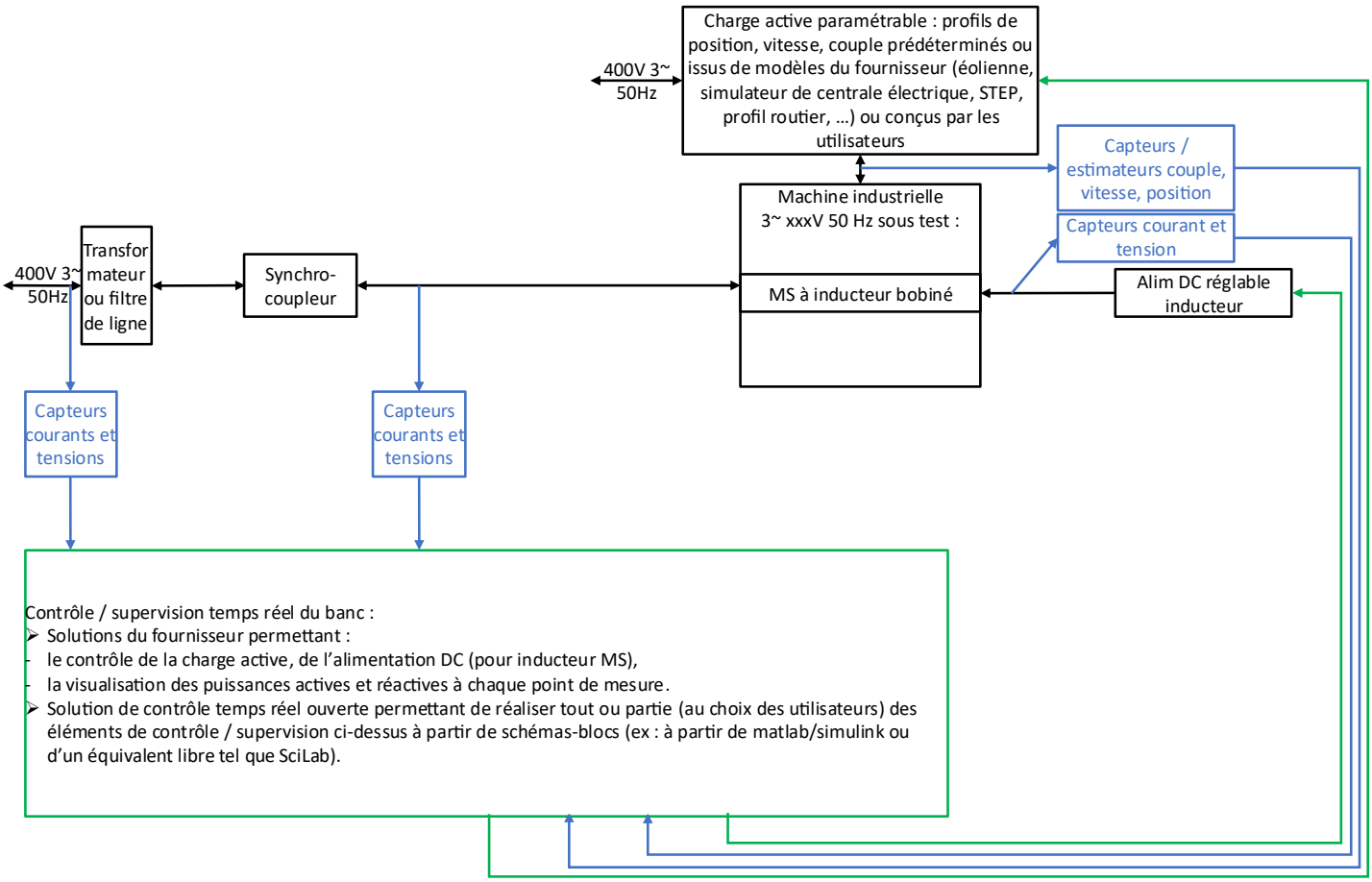


Figure 6 – Schéma des bancs de type 2 – Machine synchrone à rotor bobiné (MSRB) en configuration B2b : alternateur synchrone

B3 – Schéma de principe du banc type 3 avec moteur asynchrone à cage (MAS)

Ce banc est souhaité en **un exemplaire.** Cet exemplaire doit pouvoir être utilisé en configuration B3a et B3b.

La configuration B3a est décrite par la Figure 7. Elle permet l'étude des contrôles scalaire (U/f constant et éventuellement lois à plusieurs points et compensation de chute de tension statorique) et vectoriel d'une motorisation asynchrone en fonctionnement moteur comme générateur.

L'accès à l'architecture de contrôle en couple, vitesse et/ou position permet des activités d'automatique, notamment en matière de réglage de correcteurs (P, PI, PID, …) et d'analyse de performances.

Les points de mesures de tensions et d'intensité des courants en amont et en aval de chaque convertisseur de puissance permet l'analyse et la compréhension du fonctionnement de ces éléments, notamment de la modulation de largeur d'impulsions (MLI), l'observation du transfert d'énergie active et d'énergie réactive en fonction du contrôle et des interactions entre le convertisseur électromécanique et sa charge active pilotable.

Des calculs de taux de distorsion harmoniques et la possibilité d'un pilotage en absorption sinusoïdale du redresseur/onduleur côté réseau sont des plus. Si le contrôle du fournisseur ne le permet pas, le matériel ouvert de contrôle doit permettre sa mise en place par l'utilisateur.

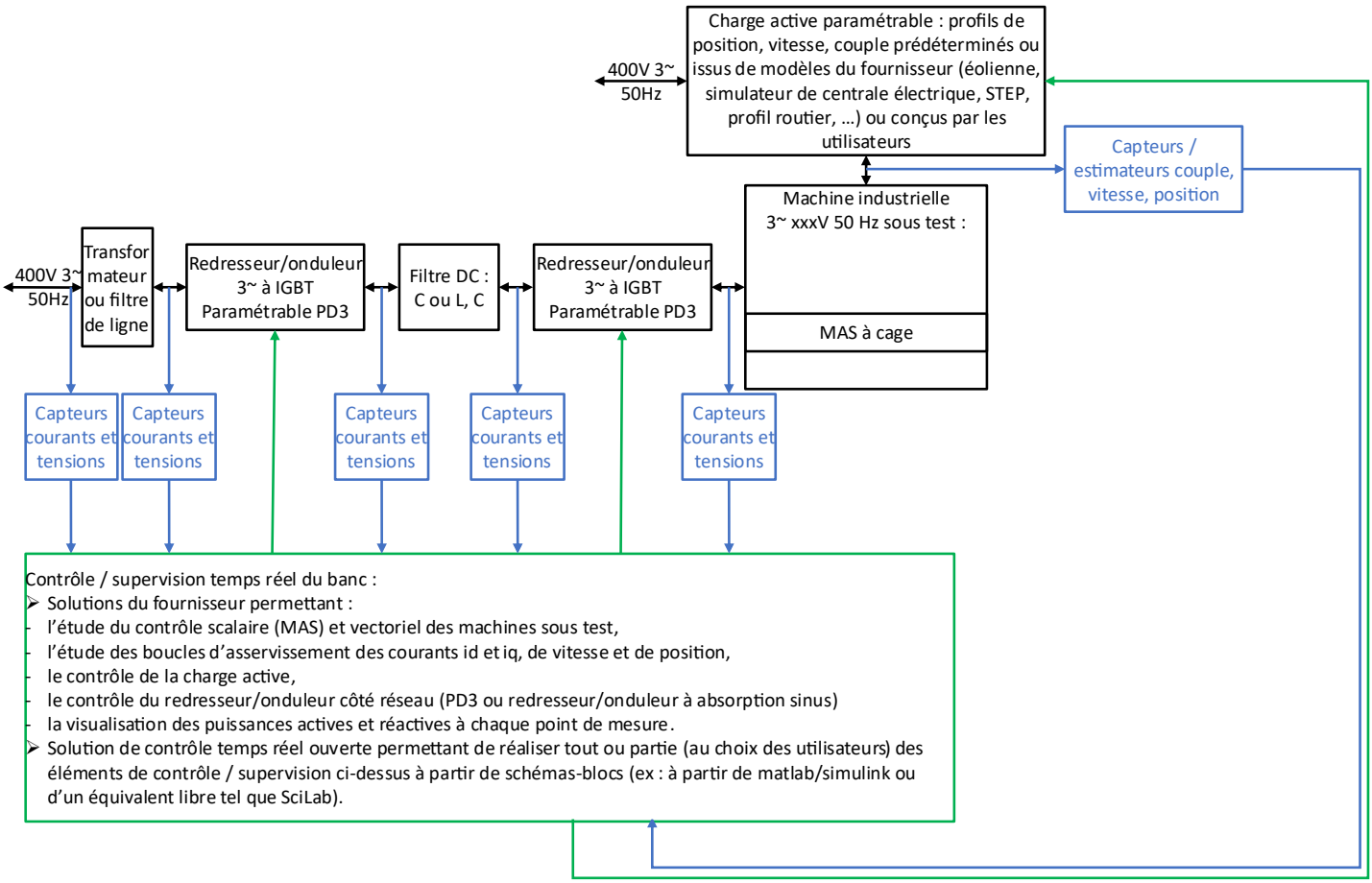


Figure 7 – Schéma du banc de type 3 – Machine asynchrone à cage en configuration de base (B3a)

Ce banc de type 3 pourra également être utilisé sans aucune électronique de puissance (configuration B3b) pour l'étude du démarrage direct du MAS, ou équipé d'un démarreur pour MAS dont la fourniture est ici optionnelle. Avec ce matériel, l'objectif serait l'étude du fonctionnement du gradateur à angle de phase et de son impact sur la caractéristique de couple et l'intensité du courant absorbé pendant un démarrage du MAS. Cette configuration B3b est décrite par la Figure 8.

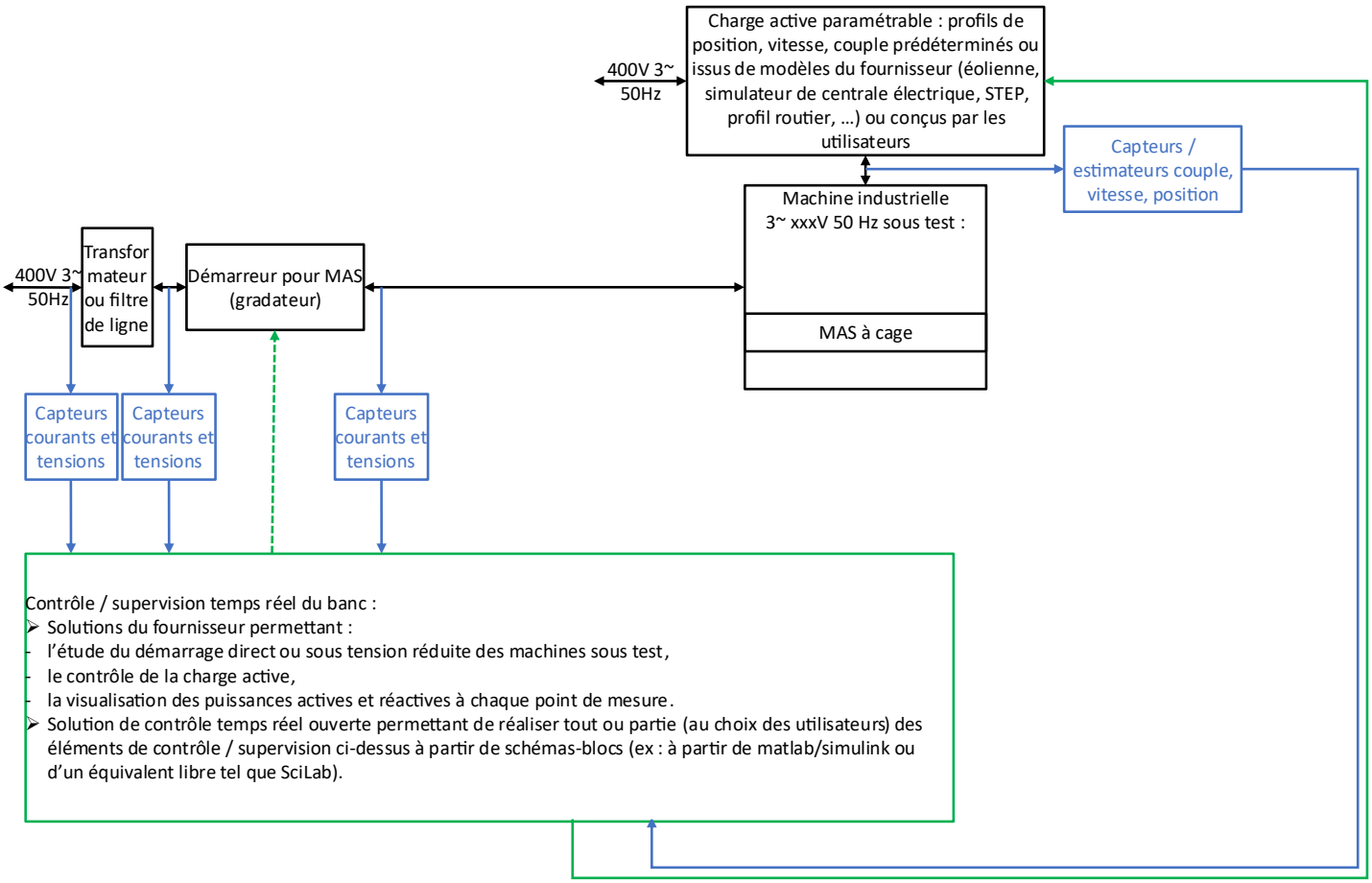


Figure 8 - Schéma du banc de type 3 – Machine asynchrone à cage en configuration B3b, sans variateur, avec option démarreur pour MAS

B4 – Schéma de principe des bancs type 4 avec moteur asynchrone à rotor bobiné (MASRB)

Ce banc est souhaité en **un ou deux exemplaires.** Chacun des exemplaires doit pouvoir être utilisé en configuration B4a et B4b.

La configuration B4a est décrite par la Figure 9 avec un contrôle d'alimentation du stator permettant l'utilisation en moteur/générateur avec mise en court-circuit du rotor bobiné. Dans cette configuration, ce banc de type 4 permet d'atteindre les mêmes objectifs d'études décrits pour le banc B3.

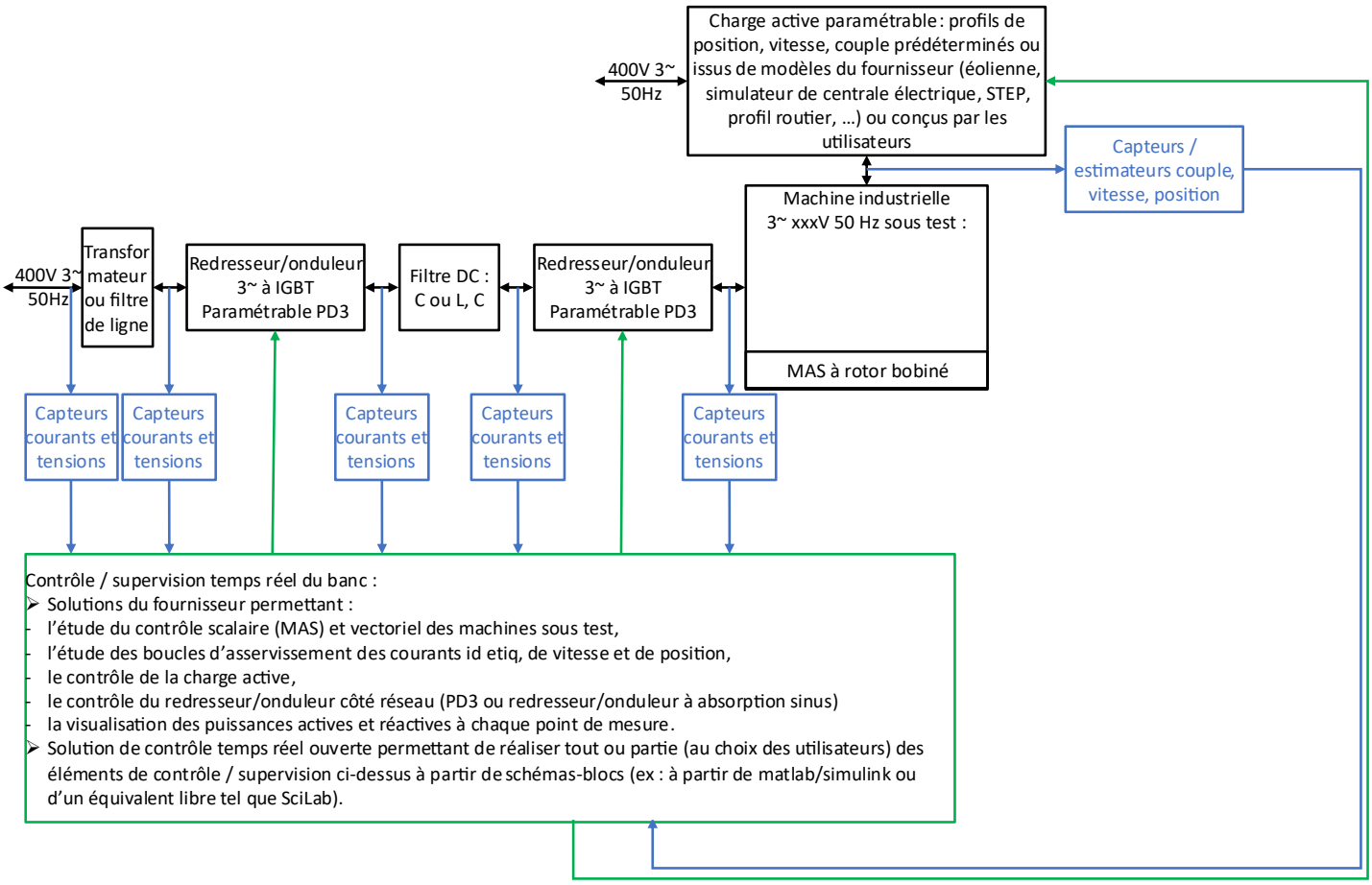


Figure 9 - Schéma du banc de type 4 – Machine asynchrone à rotor bobiné (MASRB) en configuration B4a contrôle d'alimentation par le stator et rotor en court-circuit

Ce banc permet une utilisation du MASRB en configuration B4b de machine asynchrone à double alimentation (MADA), i.e. sans électronique de puissance au stator et avec une électronique de puissance entièrement réversible pour contrôler l'alimentation du rotor, telle que décrite en Figure 10.

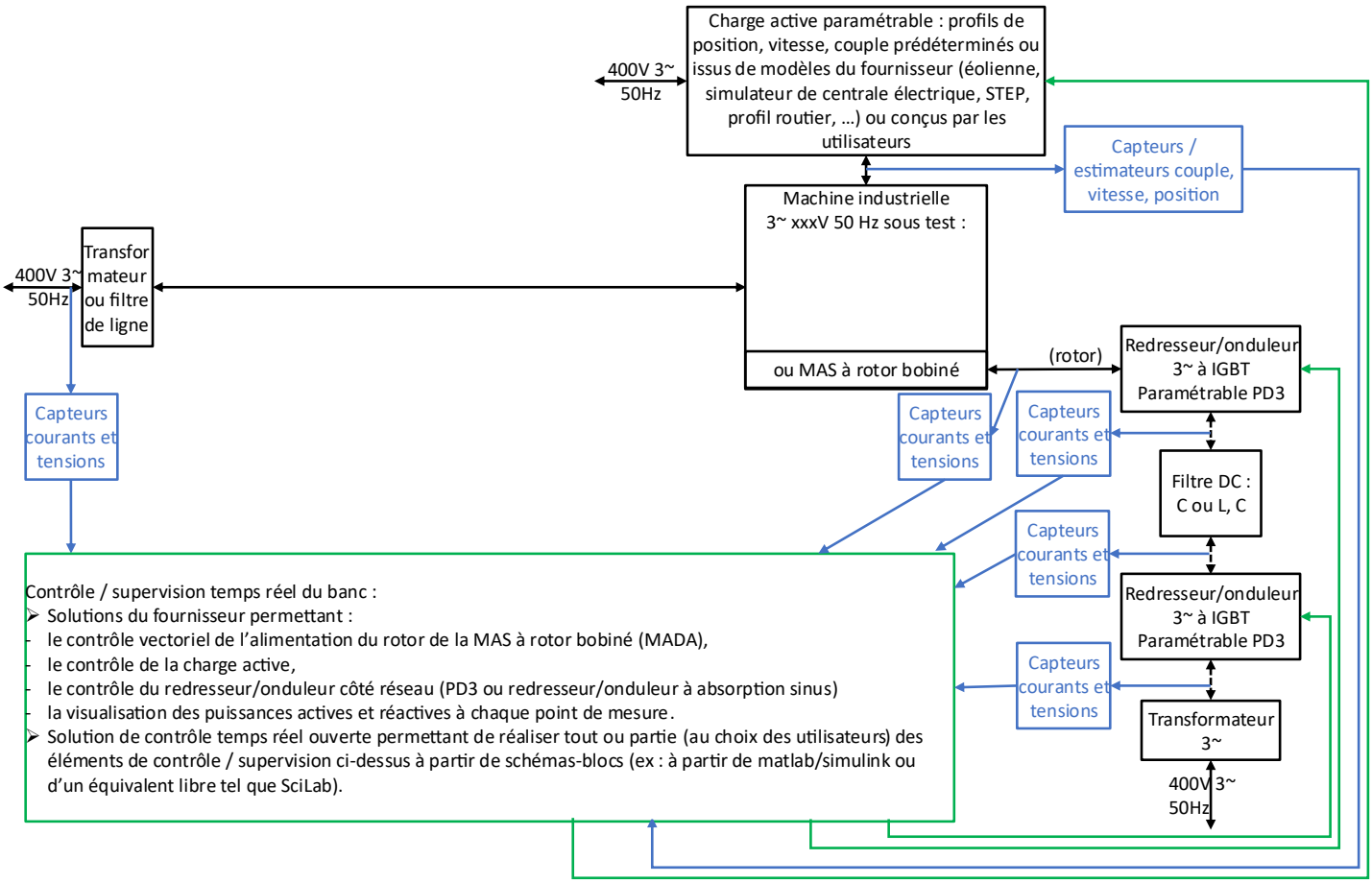


Figure 10 - Schéma du banc de type 4 – Machine asynchrone à rotor bobiné en configuration B4b avec contrôle d'alimentation par le rotor (MADA)

Prestation supplémentaire obligatoire :

Le titulaire proposera en prestations supplémentaires éventuelles obligatoires un banc MAS à rotor bobiné supplémentaire (en précisant l'architecture ou les technologies des bancs/moteurs générateurs) sous réserve du respect des objectifs pédagogiques et techniques du projet. Les solutions proposées devront permettre la constitution d'un ensemble cohérent de 4 à 6 bancs, intégrables dans un micro-réseau électrique et compatibles avec le système de supervision prévu au lot 2.

3.2 Livraison, installation, mise en service

L'installation, la mise en service, ainsi que les interventions ultérieures effectuées seront réalisées dans le respect des procédures définies dans le décret 92-158 du 20 février 1992, relatif aux travaux effectués dans un établissement par une entreprise extérieure.

D'autre part, les règles de sécurité propres à l'ENSAM s'appliquent au personnel du titulaire qui sera amené à y intervenir.

Le prestataire est réputé connaître les contraintes liées à la livraison.

3.2.1 Installation : Énergie / Fluides / Raccordements

Le titulaire fournira un manuel concernant l'installation de l'installation. Le titulaire prendra la responsabilité de tous les aspects de l'installation.

Le titulaire assurera une livraison des équipements « clé en main ». Il devra fournir également tous les accessoires nécessaires à l'installation. Le titulaire est réputé fournir une installation complète et en état de fonctionnement. En aucun cas, il ne pourra faire état d'une omission ou d'une mauvaise interprétation du dossier pour refuser la fourniture ou l'exécution de tout ou partie des prestations au complet achèvement et à la parfaite utilisation de l'appareil.

3.2.2 Essais et vérification

Le titulaire s'engage à effectuer avant le démarrage opérationnel sur le site de l'ENSAM Aix-en-Provence les tests de mise en service définis conjointement avec l'ENSAM respectivement aux usages (configurations) détaillés ci-dessus.

3.2.3 Recette et réception

Le titulaire devra être en mesure d'installer, de configurer et de réceptionner les équipements.

Une fois l'installation de la solution terminée, il sera procédé à une recette afin de valider le bon fonctionnement de tous les éléments et fonctionnalités décrits dans les chapitres 3.1.

La réception sera prononcée par l'ENSAM qui dressera un procès-verbal de réception. En cas de réserves, l'accord de réception sera reporté afin que l'entreprise puisse remédier aux défauts constatés.

3.3 Documentation et Formation

3.3.1 Documentation

Le titulaire chargé de l'exécution du marché devra assurer la conception puis la fourniture de l'ensemble des documents nécessaires au fonctionnement de la solution.

Le titulaire fournira l'ensemble des documents nécessaires à la configuration, à l'exploitation et l'administration du système ainsi que les notices d'utilisation et l'ensemble des documents techniques du matériel et du logiciel fourni.

- **Avant installation**

Avant le commencement des prestations sur site, le prestataire remettra à l'ENSAM les fiches techniques précisant les caractéristiques exactes du matériel.

- **Après installation**

3.3.2 Formation

Le titulaire assurera la formation en français (transfert de compétences) des personnels techniques concernés des Arts et Métiers Campus d'Aix-en-Provence (4 ou 5 personnes : enseignants-chercheurs), pour leur permettre d'assurer l'exploitation

et la maintenance préventive de l'équipement. Cette formation se fera dans les locaux de l'ENSAM d'Aix-en-Provence. Le titulaire devra également être en mesure de fournir des attestations de formation pour les personnels en ayant besoin dans le cadre de leur formation professionnelle.

3.4 Garanties

Le titulaire assurera une garantie sur site des pièces et de la main d'œuvre pour une durée minimale de 12 mois à partir de la date du Procès-Verbal de réception définitive de la machine.

Une garantie de base plus longue que 12 mois, sur 24 mois, sans surcoût sera appréciée.

Le prestataire décrira les conditions générales de garantie et d'extension de garantie applicables. Il précisera également les prestations offertes par son service après-vente et les modalités d'utilisation.

Le titulaire détaillera l'organisation, les moyens humains et matériels qui seront mis en place pour respecter ses engagements ainsi que la localisation et le coût de son service après-vente au-delà de la.

3.5 Spécifications sécurité/hygiène/environnement

Cet équipement étant dédié tant aux membres enseignants qu'aux étudiants, il devra être utilisable en toute sécurité par ces personnes. Il devra respecter les normes en vigueur sur la sécurité des opérateurs.

Le titulaire devra fournir à l'ENSAM une déclaration CE de conformité. L'équipement devra en particulier respecter les normes en vigueur pour sa fonction dans un établissement. Toute autre norme en vigueur et relative au type d'équipement fourni devra être respectée.

Le titulaire devra préciser la nature des nuisances générées par la machine : niveaux sonores émis, émission de polluants (COV, poussières, odeurs, vibrations, déchets ...). Le titulaire indiquera les mesures de préventions complémentaires à mettre en œuvre pour une utilisation satisfaisante de son équipement de travail. Des conceptions basées sur des protections collectives seront privilégiées.

L'affichage des messages d'erreur relatifs à la sécurité devra être clair et en français ou anglais.