ON4CRD — Club Radio Durnal
Bocq Arena · Rue des Écoles
5530 Purnode · BE

ON4CRD-ATU-INTEGRATION-ESSAIS-R1 · 2026-11-08

ATU V2 — plan d’intégration des interfaces et d’essais matériels

> Programme de travail proposé pour neuf variantes, sans résultat matériel acquis ni autorisation de mise sous RF. Tous les jalons et essais restent à réaliser. Le cœur logiciel testé ne constitue pas un firmware primaire prêt à flasher.
>
> Deux pilotes distincts : une plateforme à relais bistables de 20 W, puis une plateforme LC motorisée destinée au 500 W. Les 50/150 W et les puissances supérieures reçoivent des recettes propres ; aucune qualification ne se transmet automatiquement par ressemblance.
>
> Premier approvisionnement à préparer : une cellule de commande avec un relais réel, sa preuve de contact et une chaîne indépendante d’autorisation. La duplication des 27 voies attend cette recette.

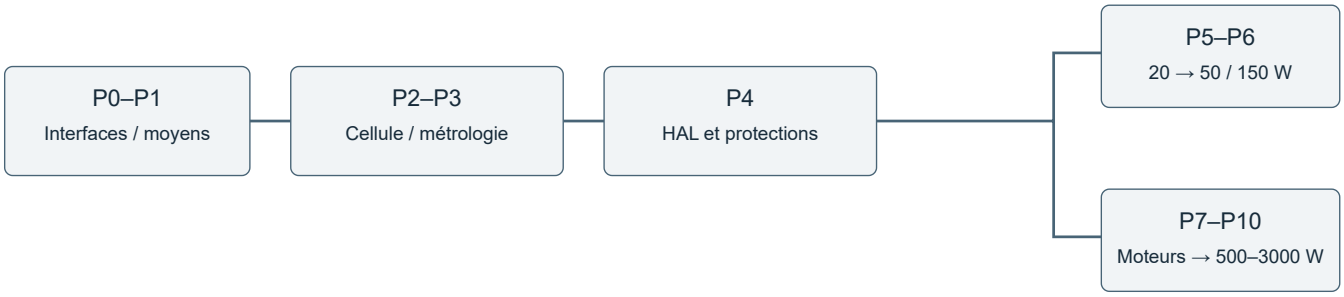
Décision de départ

T0 désigne le lancement après désignation des responsables et confirmation des moyens nécessaires au premier lot. Aucun rendez-vous, réservation, commande ou achat n’est engagé par ce plan. L’inventaire du club et la disponibilité hebdomadaire restent à confirmer.

Hypothèse fonctionnelle héritée du dossier : 1,8–30 MHz, source 50 Ω, objectif CW après qualification. La PEP, le domaine de charges et la plage ambiante finale sont des décisions de P0. Les essais de banc sont conduits sur terminaisons caractérisées ; le présent programme n’est pas un programme d’émission sur antenne.

La preuve physique des contacts, l’autorisation indépendante d’actionnement à froid, les fenêtres d’impulsion constructeur, la métrologie du seuil RF froide et les pièces RF haute puissance sont des décisions bloquantes. Le brochage actuel est provisoire ; aucune modification des drapeaux de mise en service n’est effectuée ici.

Ordre d’intégration



P7 peut commencer sur banc sans RF après P1. P11 : recette et libération propres à chaque variante, au fil des résultats.

Charge et calendrier relatifs

67–113 journées-personnes de 6 h, soit 402–678 heures-personnes.

Estimation initiale de préparation : 67–113 JP. Cette fourchette est une enveloppe d'ingénierie à réestimer à G1 puis après les pilotes ; elle n'est ni un devis ni une date de livraison.

Une seule séance collective de 3 h par semaine avec trois personnes disponibles représente 9 heures-personnes. Les 45–76 séances calculées sont un minimum de capacité pour les travaux, pas un calendrier de 45–76 semaines garanti : parallélisme réel, absences, approvisionnement, accès au laboratoire, reprises de PCB et campagnes thermiques s'y ajoutent.

P2 et P3 avancent en parallèle après P1. P7 peut commencer sur banc sans RF après P1 ; son séquenceur motorisé et sa recette RF restent distincts de P4/P5. Les deux branches ne progressent simultanément que si leurs compétences et instruments sont disponibles.

Chaque lot P5, P6, P8, P9 et P10 inclut la revue et la signature de ses propres appareils. P11 consolide le portefeuille et ne retarde pas une libération du 20 W déjà justifiée.

Hypothèse de capacité : 3 personnes × 3 h par séance collective ; environ 45–76 séances utiles, hors attentes et refontes. Les ressources réelles restent à confirmer.

Lot / charge	Travail et livrable	Dépendances / responsable
P0 · 3–5 JP	Exigences, équipe et moyens du banc. Inventaire des instruments, compétences, alimentations et charges ; domaine CW/PEP, plage ambiante et charges visées écrits ; matrice de traçabilité et moyens manquants identifiés. T0 reste relatif à la disponibilité confirmée de l'équipe et des moyens.	T0 · Référent RF/métrologie avec responsable d'intégration · sortie G0
P1 · 5–8 JP	Architecture des interfaces et décisions de conception. Contrats d'inhibition PA, preuve RF froide, retours de contacts, concurrence des impulsions, mesure, moteurs, connecteurs et masses ; références exactes et inconnues bloquantes affectées à un responsable. Autoriser seulement les achats de prototype compatibles avec les décisions prises.	P0 · Référent RF, développeur embarqué et constructeur électronique · sortie G1
P2 · 6–10 JP	Cellule bistable pilote et verrouillage matériel. Une carte impulsionnelle, un relais réel et sa preuve d'état ; mesures de polarité, durée, courant, énergie inductive, répétition et pannes ; chaîne matérielle empêchant l'actionnement sous RF. Réplication des 27 voies seulement après recette de cette cellule.	P1 · Constructeur électronique, développeur embarqué et référent RF · sortie G2
P3 · 6–10 JP	Chaîne de mesure et calibration. Chaîne directe/réfléchie caractérisée ; domaine utile, directivité, incertitudes et comportement autour du seuil RF froide documentés ; tables de calibration mesurées et versionnées, sans données fictives.	P1 · Référent RF/métrologie avec constructeur électronique · sortie G3
P4 · 6–9 JP	HAL bistable, SDK et essais avec matériel simulé. Compilation SDK reproductible, quatre MCP23017 et 54 requêtes intégrés, acquittements des contacts réels, délais mesurés et chaîne PA testés. Aucun armement avec état inconnu, retour périmé, calibration absente ou panne injectée.	P2, P3 · Développeur embarqué avec référent RF/métrologie · sortie G4
P5 · 8–12 JP	Prototype RF bistable de 20 W. Prototype 20 W assemblé ; L/C, parasites, coffret, accord à faible puissance et comportement thermique caractérisés ; fiche de recette et libération du seul profil 20 W après clôture de ses anomalies. La quote-part de revue et de signature de ce pilote est incluse ici : sa libération n'attend pas P11.	P4 · Référent RF/métrologie avec constructeur électronique et appui mécanique · sortie G5
P6 · 4–8 JP	Recettes séparées de 50 W et 150 W. Deux appareils ou configurations identifiés, avec pièces, protections et déclassements propres ; deux recettes et décisions de libération distinctes. La similitude avec le 20 W ne constitue pas une qualification automatique. Les revues unitaires sont incluses dans ce lot.	P5 · Référent RF/métrologie avec constructeur électronique · sortie G5

Lot / charge	Travail et livrable	Dépendances / responsable
P7 · 8–12 JP	Deux axes motorisés et retours de position, sans RF. Banc mécanique réel, pilotes d'axes, codeurs, référencement, fins de course, limites, arrêt et reprise après panne ; HAL moteur et retours récents testés sans RF. Aucun transfert de qualification depuis le HAL bistable.	P1 · Développeur embarqué, appui mécanique et constructeur électronique · sortie G4
P8 · 6–10 JP	Prototype motorisé de 500 W. Réseau motorisé 500 W intégré au banc de mesure et aux protections ; calibration, essais RF progressifs et thermiques ; recette et libération propres à cette plateforme. Revue unitaire incluse, sans attendre P11.	P3, P4, P5, P7 · Référent RF/métrologie, développeur embarqué et équipe de banc de puissance · sortie G6
P9 · 6–12 JP	Qualification de 1 000 W, 1 500 W et 2 000 W. Trois recettes séparées, avec références réelles, enveloppes de charge et déclassements propres ; instrumentation et charges adaptées à chaque essai. Libération progressive par variante, avec revue unitaire incluse.	P8 · Équipe de banc RF de puissance avec responsable de qualification · sortie G7
P10 · 6–12 JP	Qualification de 2 500 W et 3 000 W. Connecteurs, sélecteurs et éléments réactifs qualifiés pour les contraintes réelles avant le banc ; deux recettes distinctes et libérations par variante. Arrêt de la branche si les références disponibles ne couvrent pas le domaine retenu. Revues unitaires incluses.	P9 · Équipe de banc RF/haute tension avec responsable de qualification · sortie G7
P11 · 3–5 JP	Consolidation finale du dossier construit. Consolidation résiduelle des neuf dossiers construits, versions matérielles/logicielles, calibrations, incidents clos, anomalies résiduelles et étiquettes. Les signatures unitaires déjà prévues dans P5/P6/P8/P9/P10 ne sont pas comptées une seconde fois ; P11 n'est pas un préalable aux premières libérations.	P5, P6, P8, P9, P10 · Responsable d'intégration avec référent RF/métrologie · sortie G7

Jalons de passage

G0 · Exigences et moyens du premier lot

P0 terminé : responsable d'intégration, compétences, régime, domaine d'essai et instruments identifiés ; capacités et manques documentés. Aucun matériel supposé disponible.

Preuves : Inventaire moyens-fr.csv renseigné, exigences datées et affectation des rôles.

G1 · Architecture autorisant le prototype unitaire

P1 terminé : retours des contacts réellement réalisables, chaîne d'inhibition et autorisation d'actionnement, isolation, fenêtres d'impulsion, niveaux et brochage revus. Données exactes du relais et des pièces critiques disponibles ; tout écart reste un blocage.

Preuves : Document de contrôle d'interface, revue des décisions D01–D11, fiches constructeur et schémas de la cellule.

G2 · Cellule pilote et protections matérielles

Une cellule fonctionne et sa position est prouvée ; cas CELL de T09 documenté. Pannes, répétition, courant, VM, température et autorisation indépendante ont été vérifiés. Le cas BANK à 27 voies vient ensuite ; la duplication n'est pas permise par une simple sortie GPIO correcte.

Preuves : Chronogrammes et données de P2/T04–T10 applicables, preuve de contact et revue avant réplication.

G3 · Métrologie autonome puis confirmation intégrée

Cas BENCH de T14 : plages FWD/REF, directivité, incertitudes, plancher, zéro, saturation et réponse de la chaîne autonome établis avant P4. Le seuil configuré de 0,05 W exige une borne appropriée sur les deux voies, sinon revoir le dispositif. Le passage BENCH permet le travail HAL ; il n'autorise pas la RF de l'appareil. Reprendre le cas INTEGRATED de T14 après T11/T13 et T15 de bout en bout avant G5/G6.

Preuves : Rapports BENCH puis INTEGRATED distincts, tables et domaine versionnés, mesures indépendantes, incertitudes, contrôle des défauts et temps de réponse.

G4 · Intégration HAL/HIL de la plateforme concernée

Binaire construit par SDK, pins et profil identifiés, retours réels ou banc HIL clairement distingués. Tous les défauts prévus interdisent l'armement, les données périmées sont rejetées et les temps réels tiennent dans les budgets révisés. Passage séparé pour les banques et pour la commande motorisée.

Preuves : SHA binaire et sources, matrice HIL, traces de l'inhibition et acquittements, cas BANK ou MOTOR complet avant sa RF.

G5 · Recettes des 20, 50 et 150 W

D’abord le 20 W, puis chacun des deux autres profils : réseau et métrologie caractérisés, matrice basse puissance, défauts, montée en puissance et tenue thermique validés dans une enveloppe explicitement bornée. Résultats distincts pour chaque appareil.

Preuves : Dossier construit, fiche signée par variante, données de charge et calibration, journal d’anomalies clos ou exclusions publiées.

G6 · Plateforme motorisée et pilote 500 W

Axes, fins de course indépendantes, encodeurs, référencement et séquenceur motorisé testés sans RF ; inhibition, neuf sélecteurs, position et calibration intégrés. Qualification RF du 500 W effectuée après les prérequis propres à cette plateforme, sans héritage automatique du 20 W.

Preuves : Recettes P7/P8, T12 et essais communs applicables, fiche 500 W signée et état moteur après panne démontré.

G7 · Campagnes 1000 à 3000 W et libérations

Appareil, composants, connectique, charges et banc appropriés à chaque campagne. Les 2500/3000 W attendent notamment des sélecteurs admissibles au-delà du candidat 30 A et une connectique de service en désadaptation démontrée. Aucune extension du domaine ou de puissance sans preuves et signature propres.

Preuves : Campagnes P9/P10, recettes T20–T24, signatures par variante, domaine et durée effectivement qualifiés ; P11 consolide les versions et limitations.

Décisions bloquantes et risques

D01 · Preuve réelle de position des contacts non définie

Constat
Preuve réelle de position des contacts non définie. Une cellule pilote et son retour vérifiés avant réplication ; état inconnu ou périmé interdit l’armement.

Décision / réduction du risque
Choisir et démontrer une architecture de retour d’état compatible avec les relais réellement retenus ; ne présumer aucun auxiliaire sur K41P. Readback GPIO et courant de bobine ne sont pas une preuve de fermeture RF.

Avant quel passage
G1

D02 · Actionnement possible malgré la présence de RF

Constat
Actionnement possible malgré la présence de RF. Essais sans RF et injection de pannes : démarrage, extinction, fil rompu, MCU bloqué et demande maintenue ; aucune confiance dans un indicateur logiciel sain par défaut.

Décision / réduction du risque
Spécifier la chaîne indépendante qui retire l'autorisation PA et empêche physiquement les commutations/mouvements dangereux. Le pilote impulsionnel actuel ne fournit pas cette fonction à lui seul.

Avant quel passage
G2

D03 · Énergie inductive, répétition et défauts du pilote

Constat
Énergie inductive, répétition et défauts du pilote. Mesures sur une seule cellule puis surveillance indépendante appropriée ; ne commander 27 cartes qu'après recette et éventuelle révision du prototype.

Décision / réduction du risque
Valider la bobine réelle, la polarité, l'impulsion, les transitoires VM, le retour d'énergie et le duty-cycle. Ne pas assimiler la limite absolue du DRV à une tension normale admissible ; le DRV8871 ne fournit pas de sortie nFAULT.

Avant quel passage
G2

D04 · Preuve RF froide et incertitude non démontrées

Constat
Preuve RF froide et incertitude non démontrées. Calibration versionnée, absence d'extrapolation, tests de saturation/perte de capteur ; aucun armement lorsque la validité métrologique n'est pas acquise.

Décision / réduction du risque
Démontrer le plancher utile, les erreurs et la couverture des deux sens autour du seuil logiciel par défaut de 0,05 W ; fixer des seuils et marges compatibles avec les mesures réelles.

Avant quel passage
G3

D05 · Concurrence des impulsions et objectif de rapidité incompatibles

Constat
Concurrence des impulsions et objectif de rapidité incompatibles. Chronométrer inhibition, absence RF, actionneurs, stabilisation et mesure ; réévaluer les timeouts et l'objectif de rappel de 0,2 s. Ne pas allonger les délais simplement pour masquer une panne.

Décision / réduction du risque
Figer le nombre maximal de bobines simultanées, l'alimentation, les harnais et les délais du pire cas complet. À partir de 0,331 A nominal par bobine, 27 voies représenteraient environ 8,94 A / 237 W pendant l'impulsion ; il ne s'agit pas d'une consommation mesurée.

Avant quel passage
G4

D06 · Références RF et connecteurs haute puissance insuffisants

Constat
Références RF et connecteurs haute puissance insuffisants. Conserver les percements et la fabrication RF non libérés tant que les pièces ne sont pas vérifiées ; réduire explicitement le domaine de fonctionnement ou changer la conception si nécessaire.

Décision / réduction du risque
Sélectionner sur tension de service et courant RF en désadaptation, fréquence, température et marge. La candidature KC20 et un marquage de puissance adapté ne couvrent pas automatiquement 2 500/3 000 W.

Avant quel passage
G1

D07 · Axes non référencés, jeu mécanique ou retour périmé

Constat
Axes non référencés, jeu mécanique ou retour périmé. Banc moteur sans RF, défauts injectés, surveillance de mouvement et arrêt ; aucun transfert de qualification depuis la plateforme bistable.

Décision / réduction du risque
Choisir codeurs, référencement, limites et calibration position-vers-L/C avec fréquence/version ; qualifier le comportement après coupure ou perte d’un retour.

Avant quel passage
G4

D08 · Parasites et pertes incompatibles avec le modèle idéal

Constat
Parasites et pertes incompatibles avec le modèle idéal. Calibrations, filtres d’états admissibles, caractérisation du coffret et revue de la plage de charge ; nouvelle conception si les mesures l’imposent.

Décision / réduction du risque
Mesurer les éléments et états pertinents dans le montage réel ; ne pas présenter 2 pF de consigne ni la couverture des simulations idéales comme une précision ou couverture physique.

Avant quel passage
G5

D09 · Approvisionnement ou laboratoire indisponible

Constat
Approvisionnement ou laboratoire indisponible. Planning relatif et achats par petits lots ; aucune commande ou réservation n’est effectuée par ce plan. Les délais externes ne sont pas inclus dans les JP.

Décision / réduction du risque
Confirmer capacités du club, délais des pièces et accès à un banc adapté avant toute date ferme ; vérifier les conditions réglementaires applicables au protocole retenu.

Avant quel passage
G0

D10 · Enveloppe mécanique et isolements non confirmés

Constat
Enveloppe mécanique et isolements non confirmés. Maquette et revue sur pièces réelles ; ne pas confondre les enveloppes SCAD/DXF existantes avec une preuve de tenue mécanique ou diélectrique.

Décision / réduction du risque
Relever dimensions et volumes des composants réellement choisis ; contrôler accès, fixations, dégagements, ventilation, blindages et câbles avant fabrication définitive.

Avant quel passage
G5

D11 · Libération fondée sur des résultats non traçables

Constat
Libération fondée sur des résultats non traçables. Fiches initialement vides, journal d’incidents et décisions signées seulement après exécution ; aucune validation automatique des variantes voisines.

Décision / réduction du risque
Lier chaque résultat à l’appareil, au schéma, au binaire, à la calibration, aux instruments et aux conditions réelles ; revue séparée de chaque variante.

Avant quel passage
G5

Contrats d’interfaces à intégrer

IF01 · Contrat électrique, brochage et identité du matériel

Périmètre
Commun aux neuf puissances ; cartes primaires distinctes selon la famille.

Travail
Figer un document de contrôle d'interface avec signaux, niveaux, polarités, connecteurs détrompés, blindages, protections, états hors tension et références exactes des appareils. Le brochage Pico 2 actuel reste une proposition : GP4/GP5 I2C0, GP8 PA_PERMIT, GP9 PA_INHIBITED, GP10 protection agrégée, GP11 TUNE_REQUEST, GP26/GP27 ADC. Réserver les interfaces supplémentaires des retours, moteurs et façade avant tout routage définitif. Pour le banc primaire, prévoir quatre MCP23017 3,3 V aux adresses 0x20 à 0x23, soit 54 demandes de bobine et dix sorties libres ; le squelette actuel à deux expandeurs et commande non bistable n'est pas réutilisable tel quel.

Contrat à vérifier
Identifier profil de puissance, révision électronique, type d'actionneur et version du brochage. Aucune broche MCU ne reçoit directement la RF, une tension de bobine ou la commande inconnue d'un PA. Les entrées analogiques 0 à 3,0 V sont une cible du dossier à vérifier sur le conditionneur réel ; le budget comprend transitoires et défauts.

Critère de sortie
Revue croisée schéma, câble et composant réel ; aucun conflit de broche ou d'adresse ; tableau des niveaux et états sûrs complet. Le prototype garde commissioned=false et confirmed_actuator_interface=false tant que les portes correspondantes ne sont pas levées.

Preuves
Document d'interface signé, nomenclature des connecteurs, plan des harnais et relevés des alimentations.

IF02 · Inhibition PA et autorisation physique d'actionnement

Périmètre
Commun ; adaptation à chaque poste, PA et alimentation réels.

Travail
Concevoir une chaîne indépendante du logiciel qui retire l'autorisation PA au repos, à la rupture d'un fil, à la perte d'alimentation, au défaut de capot, à la surchauffe et à la perte du superviseur. Séparer demande pa_permit, preuve hardware_inhibited et demande low_power_request. Définir une limitation matérielle de la porteuse de réglage. Concevoir également l'autorisation physique d'alimentation ou de commande des actionneurs lorsque la RF froide est réellement prouvée : la carte impulsionnelle actuelle ne possède pas d'entrée ENABLE indépendante des requêtes. Définir le comportement en cas de RF inattendue pendant une impulsion ou un déplacement, sans imposer un changement arbitraire des contacts sous RF.

Contrat à vérifier
Outputs.pa_permit et Outputs.low_power_request sont des demandes, jamais une preuve d'état de l'amplificateur. Inputs.hardware_inhibited doit venir du circuit matériel réel. Inputs.supply_ok, guard_ok et temperature_ok doivent être diagnostiqués séparément ; l'alias actuel de ces trois champs sur GP10 est un squelette. Le watchdog externe ne dépend ni d'USB ni de la boucle graphique.

Critère de sortie
Sur un simulateur de PA sans RF, chaque défaut injecté retire physiquement l'autorisation et interdit de nouveaux mouvements ; aucune reprise automatique après retour de tension. Mesurer latence complète de coupure, rebond et délais de retour, puis fixer les budgets suivant le PA et les composants RF choisis. Ne pas déduire une latence sûre du watchdog MCU de 1 s ou du timeout logiciel de 1 500 ms.

Preuves
Schéma indépendant, liste de défauts injectés, traces oscilloscope demande/retour/actionneurs et procès-verbal de réarmement manuel.

IF03 · Mesure RF scalaire, étalonnage et fraîcheur des acquisitions

Périmètre
Commun, avec coupleur, atténuation et gamme propres à la puissance.

Travail
Développer les deux voies FWD/REF conditionnées et protégées ; caractériser zéro, bruit, directivité, réponse fréquentielle, température, saturation et temps de réponse. Construire les tables Calibration à partir de références mesurées, en incluant le domaine permettant de prouver l'absence de RF et les plages de réglage. Les deux puissances scalaires ne donnent ni phase ni impédance complexe ; conserver l'option vectorielle hors du premier lot fonctionnel. Définir la sélection de tables par fréquence, gamme et température et leur version commune. Dater les acquisitions dans le HAL, car Inputs ne possède actuellement pas de sampled_at_ms RF.

Contrat à vérifier
Calibration.count de 2 à 12, points raw et watts monotones, commissioned=true seulement après recette, version non nulle et identique entre voies, aucune extrapolation. Inputs.sensor_ok=false sur acquisition périmée ou incohérente ; measurement_valid=true seulement pour MeasurementStatus::Ok. Le plancher utile de réglage et le seuil cold_rf_w sont des paramètres distincts. cold_rf_w=0,05 W est un défaut de conception à qualifier avec l'incertitude et les contraintes des contacts, pas une preuve universelle d'absence de danger.

Critère de sortie
Démontrer, avec une borne d'incertitude appropriée, que les deux voies permettent de distinguer la condition RF froide retenue ; sinon revoir capteur, gamme ou seuil et l'analyse des risques. Saturation, déconnexion, ADC bloqué, mesure ancienne et absence de calibration interdisent l'armement. Relever les erreurs contre référence aux fréquences, températures et puissances retenues avant de déclarer un objectif de précision atteint.

Preuves
Données brutes ADC/référence, certificats ou vérifications des instruments, tables versionnées, incertitudes, traces des défauts et temps de réponse.

IF04 · Recette d'un canal impulsionnel bistable

Périmètre
20, 50 et 150 W ; un seul canal avant toute duplication par 27.

Travail
Assembler un prototype DRV8871/LTC6993-1 et le tester sur charge de substitution puis sur le relais exact. Obtenir du fabricant la documentation d'application actuelle : polarité, impulsion minimale et maximale, répétition, température et dimensions. Le catalogue K41P334 consulté indique SPST bistable, 26,5 V, 80 ohms ±10 % et actionnement maximal de 6 ms, mais ne fixe pas une impulsion maximale de 10 ms. Vérifier la durée calculée 9,667 ms et sa borne théorique 9,983 ms sur les conditions réellement requises ; la marge par rapport au budget de projet de 10 ms est très faible. Ajouter ou qualifier une limitation indépendante de cadence et le diagnostic externe. Le DRV8871 n'a pas de broche nFAULT ; ses protections internes ne fournissent pas un retour de défaut exploitable directement.

Contrat à vérifier
REQ_A/REQ_B : 00 au repos, polarité choisie maintenue suivant le contrat validé, retour à 00 entre impulsions, jamais d'inversion pendant Q. Les deux fils de bobine flottent. Mesurer VM, courant, énergie rendue au bus, température et pointes au composant ; le clamp catalogue de la SMBJ28A ne garantit pas VM sous la limite recommandée de 45 V du DRV8871. Le monostable borne une demande maintenue mais pas une succession de fronts.

Critère de sortie
SET et RESET reproductibles avec preuve de contact, y compris aux coins d'alimentation et température retenus. Tester requête bloquée haute, 11, répétition rapide, panne logique, coupure VIN et défaut de bobine. Aucune autorisation d'achat de 27 exemplaires avant validation de ce canal, de son retour réel et de l'autorisation physique IF02.

Preuves
Rapport de recette du canal, traces différentielles VM/bobine/courant, chronogrammes, températures, conditions et documentation constructeur confirmée.

IF05 · Preuve physique de l'état des contacts RF

Périmètre
27 contacts du banc et neuf relais de la famille motorisée.

Travail
Choisir une architecture de retour indépendante de la commande et vérifier sa compatibilité RF et haute tension avant le choix définitif des relais. Le K41P334 candidat est SPST bistable sans contact auxiliaire documenté ; ne pas en supposer un. Un courant de bobine, un registre OLAT ou une image mémorisée des sorties ne prouve pas le contact RF. Étudier soit des composants avec retour adapté effectivement documenté, soit une mesure de continuité ou une autre preuve isolée à froid. Une mesure globale de l'impédance du réseau peut avoir des états ambigus et ne valide pas automatiquement chaque contact. Le dispositif de test doit rester découplé ou isolé de la RF et ne jamais amener celle-ci aux GPIO.

Contrat à vérifier
Le HAL publie Inputs.applied_state_known, applied_state_word et actuator_idle seulement après observation du matériel et stabilisation. Au démarrage, après mouvement interrompu, après perte de retour ou après coupure d'un bistable, l'état est inconnu jusqu'à une procédure de référence à froid. Les 54 sorties de requête n'incluent pas les retours : prévoir une interface d'acquisition distincte une fois le principe choisi.

Critère de sortie
Détecter contact non actionné, retour figé, fil rompu, retour périmé et désaccord état demandé/état réel. Prouver séparément l'isolement d'entrée et de sortie du réseau en bypass. Une défaillance laisse le PA interdit et impose une intervention ou un réarmement à froid.

Preuves
Comparatif de solutions, schéma du retour retenu, analyse d'isolation/RF, matrice état physique/lecture et essais de défauts.

IF06 · HAL du banc à 27 contacts et ordonnanceur d'impulsions

Périmètre
20, 50 et 150 W.

Travail
Remplacer le squelette non bistable par un pilote de 54 requêtes sur quatre MCP23017. Initialiser reset et OLAT=0 avant IODIR=sortie, puis qualifier les états réels. Affectation proposée : requêtes globales 2k et 2k+1 pour le canal k, ports A puis B de chaque expandeur. Définir commandes atomiques par paire, interverrouillage de sens, cadence, annulation et nombre maximal d'impulsions parallèles. Quatre canaux simultanés constituent seulement l'objectif de l'étude, environ 35,1 W de bobines au nominal ; intégrer les tolérances, chutes de tension et transitoires. Un ordonnanceur séquentiel de 27 fenêtres de 20 ms atteint au moins 540 ms ; par groupes de quatre, au moins 140 ms hors transports et acquittements. Le timeout actuel de 500 ms par phase et l'objectif de rappel de 0,2 s doivent être recalculés sur le matériel, non conservés par défaut.

Contrat à vérifier
Outputs.relays décrit les contacts voulus, jamais les niveaux de bobine. Respecter Outputs.actuator_request et IF02. Les bits 0 à 10 ferment des shunts : ils sont inverses de Network.l. Bits 11 à 21 ajoutent C ; 22/23 sélectionnent une seule orientation ; 24 et 26 isolent les deux extrémités du réseau ; 25 est le bypass exclusif. Le passage de 0 GPIO ne remet pas un bistable à zéro. La perte I2C ou une transaction partielle invalide l'état et arrête les nouvelles impulsions.

Critère de sortie
Recette exhaustive des 27 canaux et des deux sens avec charges adaptées, puis contacts réels. Tester adresses absentes ou dupliquées, SDA bloquée, reset partiel des expandeurs, alimentation logique manquante, requête tardive, annulation et retour incohérent. Chaque phase doit respecter une borne de temps mesurée avec marge documentée et le budget d'alimentation qualifié.

Preuves
Table de correspondance bit/canal/relais, traces I2C et impulsions, mesure du courant maximal par groupe, histogrammes de temps et rapports d'injection de défauts.

IF07 · Intégration du séquenceur de banc et validation des transitions

Périmètre
Première chaîne fonctionnelle 20 W, puis reprise 50 et 150 W.

Travail
Relier les interfaces qualifiées au Controller et exécuter des essais matériels dans la boucle, d'abord sans PA ni RF. Couvrir Idle, Inhibiting, ColdDwell, Releasing, Settling, Probing, StoppingProbe, Ready, Armed et Fault. Distinguer la procédure de référence des bistables du démarrage logiciel. Ajuster les délais d'après les traces : cold_dwell_ms=50, release_ms=50, operate_settle_ms=50, sample_interval_ms=20, stable_samples=3 et actuator_timeout_ms=500 sont les valeurs actuelles, pas des qualifications. Le chemin actuel comporte déjà au moins environ 260 ms de temporisations et de mesures stables hors actionnement et PA ; le rappel de bout en bout à 0,2 s n'est donc pas garanti par cette architecture.

Contrat à vérifier
confirmed(inputs) exige applied_state_known, actuator_idle et applied_state_word==outputs.relays. Aucun armement automatique après accord ou rappel de mémoire. InhibitTimeout, UnexpectedRf, ActuatorTimeout, ActuatorFeedback, Sensor, Interlock et défaut de puissance retirent l'autorisation, sans remise à zéro arbitraire sous RF. La remise à zéro des défauts exige la preuve matérielle RF froide et un geste manuel.

Critère de sortie
Chronogrammes montrant aucun mouvement avant inhibition confirmée et RF froide dans les deux sens ; aucune demande RF avant acquittement et stabilisation ; aucune autorisation PA avant la mesure et le réarmement prévus. Injecter chaque défaut à chaque phase pertinente, y compris perte de courant ou retour pendant une impulsion. Les résultats matériels doivent compléter les 34 tests hôtes actuels, sans les remplacer.

Preuves
Matrice transitions/défauts, traces temporelles synchronisées, version source/binaire, rapport de banc et liste des écarts aux paramètres initiaux.

IF08 · Étages de puissance moteurs et neuf relais RF

Périmètre
500, 1 000, 1 500, 2 000, 2 500 et 3 000 W.

Travail
Sélectionner moteurs, réducteurs, accouplements, encodeurs absolus ou dispositif équivalent qualifié, références mécaniques et limites indépendantes pour L et C. Mesurer courant de démarrage, blocage, inertie et couple avant de dimensionner les drivers et l'alimentation. Choisir les pilotes des neuf relais selon les bobines réellement retenues, leur maintien et leur suppression de surtension. DRV16 est un accessoire limité à 50 mA par canal ; il ne convient pas directement aux bobines K41P ni au KC20 candidat d'environ 221 mA au nominal. La carte impulsionnelle bistable n'est pas le pilote des moteurs ni un pilote universel des relais monostables de cette famille.

Contrat à vérifier
Déplacement interdit sans IF02 valide. Les fins de course et la coupure d'énergie des moteurs doivent rester efficaces lorsque le MCU ou le bus est bloqué. Séparer limites physiques, limite logicielle et référencement. Prévoir chemin de câbles, séparation RF, retour de blindage, suppression des transitoires et connecteurs propres aux puissances de moteurs mesurées.

Critère de sortie
Banc SELV : courses complètes, arrêt en butée, encodeur débranché ou figé, rotor bloqué, rupture de fil de limite, coupure/reprise et sens inversé. Pas de dommage mécanique et aucune émission autorisée. Les références et ratings RF des relais et des connecteurs doivent être figés séparément avant l'intégration de puissance.

Preuves
Mesures courant/couple/arrêt, schémas de puissance et de limites, caractéristiques des actionneurs réels, rapport de montage et d'essais à froid.

IF09 · HAL et séquenceur motorisé complets

Périmètre
Famille de 500 à 3 000 W ; lot distinct du Controller de banc.

Travail
Concevoir et tester un séquenceur motorisé avec inhibition, référencement, parcours borné, planification de mouvement, arrêt contrôlé, commutation des neuf relais à froid, acquittements et mesure finale. Le Controller actuel refuse explicitement ActuatorMode::Motorized : changer un booléen de configuration ne suffit pas. motor_at_target est seulement une fonction de validation d'une cible et d'un retour, pas un pilote ni une autorisation PA. Qualifier la conversion position vers L/C à chaque fréquence et gamme, le jeu mécanique et les effets des capacités grossières et de la capacité série.

Contrat à vérifier
MotorTarget : inductance_h, fine_capacitance_f, coarse_capacitance_mask, calibration_version, frequency_hz et topologie. MotorFeedback : homed, encoder_ok, watchdog_ok, moving, limit_fault, sampled_at_ms et valeurs réellement acquises. motor_at_target exige cohérence de calibration/fréquence, retour récent et tolérances documentées ; son résultat seul ne peut pas commander pa_permit.

Critère de sortie
Tests hôtes puis matériels dans la boucle sur chaque transition et défaut ; jamais de mouvement ni de sélection RF sous émission. Un encodeur figé, une limite manquante, une position impossible ou un retour périmé interdit la suite. Démontrer recherche et rappel sur le profil 500 W avant de répliquer les variantes supérieures, sans hériter automatiquement leur qualification RF.

Preuves
Spécification du nouveau séquenceur, tests C++ et traces HIL, courbes position/L/C, répétabilité, temps de course et latences d'arrêt.

IF10 · Étalonnage LC, limites des états et mémoire d'accord

Périmètre
Bancs 11L/11C et réseau motorisé, avec recettes propres à chaque famille.

Travail
Mesurer composants et réseau assemblé par fréquence, ESR/Q, résonances et couplages utiles. Remplacer les seules valeurs nominales par des jeux étalonnés, en incluant parasites des relais, câblage et boîtier. Définir les états interdits par contraintes électriques et caractérisation ; le calcul idéal ne constitue pas cette validation. Définir la version commune de calibration et son lien au profil de puissance, à la fréquence et à l'antenne. La mémoire RAM actuelle contient seize propositions remesurées ; une future mémoire non volatile impose CRC, écriture atomique et invalidation des versions incompatibles.

Contrat à vérifier
Banks contient onze valeurs positives L et onze C ; StateAllowed peut refuser des états selon fréquence et contexte. TuneCache utilise frequency_hz, span_hz, antenna_id, calibration_version et power_w. Un état retrouvé en mémoire reste une proposition : il n'établit ni applied_state_known ni la permission PA. Les objectifs 2 pF et 20 nH sont des pas nominaux, pas des exactitudes garanties du réseau réel.

Critère de sortie
Prédictions comparées aux mesures sur des charges de référence identifiées ; aucune activation d'un état hors domaine qualifié. Changement de matériel, calibration, profil ou antenne invalide les mémoires incompatibles. Les gains de temps et de précision ne sont annoncés qu'après mesures répétées incluant échecs et cas défavorables.

Preuves
Tables LC et parasites versionnées, carte des états admis/interdits, fichiers VNA/LCR et résultats rappel/recherche avec définition de la métrique temporelle.

IF11 · Façade, affichage et commande locale

Périmètre
Commun ; simulation possible avant disponibilité de l'étage RF.

Travail
Définir un modèle d'état de présentation : inhibé, état inconnu, référencement, réglage, prêt, armé et défaut explicite. Intégrer l'écran réellement choisi, codeur/boutons et signalisation sans bloquer la boucle de commande. Prévoir une commande locale distincte pour l'armement et le réarmement ; une touche d'accord ne doit jamais armer automatiquement. Arbitrer bus et GPIO avec les expandeurs, encodeurs et ADC avant gel du câblage. La référence d'écran du dossier est candidate et aucun pilote graphique n'est livré actuellement.

Contrat à vérifier
L'interface opérateur émet des demandes au séquenceur et affiche ses retours, sans écrire directement les sorties de bobines ou pa_permit. Les mesures périmées doivent être signalées ; un écran figé ou une communication perdue ne peut conserver une autorisation dangereuse. Les diagnostics distinguent défaut matériel, état contact inconnu et simple mauvais ROS.

Critère de sortie
Tester bouton maintenu, rebonds, commandes simultanées, écran débranché, rafraîchissement lourd et redémarrage. La latence et la fraîcheur des fonctions de protection restent dans les budgets mesurés, même pendant les opérations graphiques. Validation avec un opérateur du club sur le simulateur avant RF.

Preuves
Maquettes des états, table des commandes, relevé d'occupation des bus/temps CPU et scénario de recette opérateur.

IF12 · Interface du poste, porteuse de réglage et CAT optionnel

Périmètre
Adaptation au modèle exact de poste et de PA ; lot séparé de la façade.

Travail
Inventorier niveaux et isolation de PTT, inhibition, ALC ou entrée de puissance, retour d'émission et fréquence. Choisir d'abord un protocole minimal qui ne dépend pas du CAT pour la sécurité. Si le CAT est retenu, développer un adaptateur par protocole documenté, avec timeout, retour à un état interdit sur perte de liaison et validation des fréquences reçues. Ne pas assimiler une commande CAT d'arrêt à la preuve matérielle d'inhibition ni une consigne de puissance à une limitation matérielle.

Contrat à vérifier
low_power_request ne provoque qu'une porteuse réellement bornée à la plage du profil : 0,2 à 2 W pour 20 W, 0,2 à 3 W pour 50 W, 0,5 à 5 W pour 150 W et objectif 0,5 à 10 W motorisé. Ces valeurs sont les paramètres actuels à qualifier. La fréquence et l'identité de l'antenne alimentent la mémoire ; un changement pendant armement doit être traité par le séquenceur. Le CAT ne court-circuite pas le geste d'armement local ni IF02.

Critère de sortie
Simulateur de poste : fréquence absente ou hors plage, paquet corrompu, PTT bloqué, arrêt non acquitté, délai de réponse variable et reprise de liaison. Puis essai avec le poste identifié et une charge adaptée à faible puissance, en mesurant la puissance réelle et l'arrêt RF.

Preuves
Document constructeur du poste/PA, schéma d'isolation, captures de protocole et chronogrammes demande/puissance/retour.

IF13 · Construction SDK, programmation et traçabilité des binaires

Périmètre
Commun ; première programmation sans connexion au PA.

Travail
Installer ou identifier une version figée du SDK officiel Pico correspondant à la carte réellement choisie, compiler le squelette non commissionné et archiver les versions des outils, commandes, sources et empreintes. Créer un banc de diagnostic des interfaces avec alimentation limitée et sortie PA physiquement absente ; ne pas lever les blocages pour remplacer des essais. Préparer les procédures de programmation, récupération, démarrage et retour à une version connue. L'actuel manifeste indique compilation SDK et flash non testés, et aucun firmware primaire prêt à programmer.

Contrat à vérifier
Configuration.commissioned, confirmed_actuator_interface, Calibration.commissioned et bank_adapter_commissioned restent des autorisations fondées sur un dossier de recette identifié. La présence d'un fichier UF2 ou un test hôte réussi ne les valide pas. Identifier chaque résultat avec profil, révision du matériel, hachage du binaire et versions des calibrations.

Critère de sortie
Compilation reproductible, programmation et récupération répétées sur la carte du banc. Vérifier les sorties inactives avant et pendant boot, reset, watchdog et interruption USB ; aucune autorisation PA au retour de courant. Le binaire de test et le binaire d'exploitation doivent être distingués sans ambiguïté.

Preuves
Rapport de compilation et de flash, empreintes des binaires, fiche de configuration et résultats de démarrage/récupération.

IF14 · Connectique, intégration mécanique et séparation RF/commande

Périmètre
Commun avec dimensionnement propre à chaque puissance.

Travail
Valider les composants et harnais réels avant perçages définitifs, en séparant commande, alimentations, moteurs et volume RF. Prévoir maintien des câbles, blindages, traversées filtrées et chemin de retour ; vérifier accès de mesure et protections sur le prototype assemblé. Les plaques RF du dossier restent volontairement sans perçage final tant que le connecteur exact et sa tension de travail RF en désadaptation ne sont pas qualifiés. Contrôler l'encombrement réel des relais, de leur retour et des 27 cartes impulsionnelles ; le boîtier proposé est une enveloppe de laboratoire, pas un assemblage déjà validé.

Contrat à vérifier
Ne pas dimensionner la sortie antenne seulement avec U=sqrt(50P). Les ratings DC, tensions d'essai et courants à basse fréquence ne valent pas une tension de travail ou un courant RF dans la bande. Pour 2 500 et 3 000 W, les sélecteurs RF requis par l'étude et la connectique haute tension restent des choix bloquants. Les moyens de preuve de contact et les capteurs ne doivent pas dégrader l'isolation, la RF ou les distances retenues.

Critère de sortie
Revue de montage avec dimensions et fiches exactes ; contrôle des risques de pincement, polarité, traction, voisinage RF et accès aux parties actives. Vérifications mécaniques et de câblage sans énergie, puis essais de susceptibilité à faible RF après recette des protections. Toute correction modifiant le réseau ou les capteurs impose une nouvelle mesure des parasites et des calibrations concernées.

Preuves
Photos et cotes du prototype, plan d'intégration révisé, liste des connecteurs et ratings, mesures d'intégrité et registre des modifications.

Programme d’essais matériels

T01–T24 sont des dossiers d’essais avec des cas par plateforme, appareil et révision. Une dépendance est satisfaite seulement dans le périmètre applicable. Un essai non applicable exige une justification ; il ne devient jamais un résultat réussi par défaut. T12 concerne les moteurs ; T09 distingue une cellule, les 27 contacts des banques et les neuf sélecteurs motorisés.

Les acceptations numériques proposées sont des objectifs d’ingénierie à approuver et à figer avec les limites des composants. Aucune valeur de catalogue ou issue du modèle idéal ne devient une mesure du prototype. Les seuils nécessaires à la sécurité, le temps d’inhibition admissible, les températures et la cadence doivent être définis avant le passage qui en dépend.

Le protocole documente alimentation, fréquence, charge réellement mesurée, révision, température, temps, incertitude et comportement de panne. Après toute correction matérielle ou logicielle, reprendre les essais affectés et les transitions de sûreté correspondantes ; ne pas réduire les délais pour faire réussir un objectif de rapidité.

L’isolement haute tension et les essais RF de puissance sont préparés et réalisés par une équipe et un laboratoire compétents, avec moyens et procédures adaptés. Le planning ne prescrit ni tension hi-pot générique, ni sondage direct des nœuds RF internes, ni essais de défaut destructifs improvisés.

T01 · Geler les exigences et les références réellement admissibles

Étape
conception

Périmètre
Neuf variantes ; deux familles d’actionneurs

Méthode
Revoir les contraintes par état et fréquence, la nomenclature, les enveloppes et les interfaces. Obtenir les données exactes des relais, condensateurs, roulette et connecteurs, puis figer températures, marges, temporisations, cadence, puissance de réglage et conditions d’essai. La limite projet de 10 ms n’est pas une spécification fabricant démontrée du K41P.

Moyens
Dossiers constructeur identifiés par référence/révision, calculs du dossier, revue RF et commande indépendante

Acceptation
Chaque pièce choisie possède une tension de travail RF, un courant RF et une tenue thermique suffisants dans le domaine retenu. Les sélecteurs KC-20 de 30 A ne couvrent pas les 31,71/34,74 A requis avec marge pour certains cas 2500/3000 W. Fenêtres d’impulsion et cadence du relais exact confirmées ; aucun seuil de protection indispensable laissé indéfini.

Preuves
Revue signée, références et révisions, enveloppe autorisée par variante, liste des exclusions, matrice des marges et points ouverts

T02 · Préparer la métrologie et le budget d’incertitude

Étape
conception

Périmètre
Tous les bancs RF et basse tension

Méthode
Inventorier instruments, étalons, adaptateurs, câbles, dates d’étalonnage et limites de puissance. Définir les plans de référence VNA et puissance ; inclure directivité, désadaptation, pertes, bruit, dérive et répétabilité des connexions. Vérifier les limites des sondes à la fréquence réelle.

Moyens
VNA 2 ports couvrant 1,8–30 MHz, étalons caractérisés, wattmètre de référence, multimètres, oscilloscope et sondes adaptés

Acceptation
Budget d’incertitude approuvé avant acceptation des mesures. Objectif proposé de puissance système : erreur résiduelle plus incertitude élargie à environ 95 % ≤ 5 % dans le domaine annoncé ; choisir la référence en conséquence. La précision de catalogue du détecteur seul n’est pas cette précision système.

Preuves
Inventaire et capacités, certificats/références, budget par gamme/fréquence, fichiers d’étalonnage et contrôle d’un étalon indépendant

---

T03 · Valider l’implantation mécanique et la séparation des baies

Étape
hors_tension

Périmètre
Prototype 20/50/150 W et prototype motorisé représentatif

Méthode
Monter les pièces réelles ou leurs gabarits vérifiés ; contrôler accès, dégagements, serrage, protection des câbles, blindages et liaisons du châssis. Vérifier les 27 cartes sur leurs deux plateaux, puis roulette, condensateur, transmissions et connecteurs dans la famille motorisée.

Moyens
Pied à coulisse, gabarits fabricant, montage de coffret, appareil de contrôle des liaisons de protection adapté au protocole retenu

Acceptation
Dimensions et accès conformes à la revue ; aucune collision ni trajectoire de câble vers la RF ; aucune découpe RF libérée sans connecteur exact. La grande enveloppe basse puissance reste un prototype de laboratoire ; masse et manutention validées. Valeurs d’isolement et de liaison fixées par T01, pas inventées ici.

Preuves
Photos cotées, relevé de dégagements, points de liaison, masse, liste des écarts et plans corrigés

T04 · Contrôler les cartes avant alimentation

Étape
hors_tension

Périmètre
Pilote impulsionnel prototype, distribution, interfaces de protection et mesure

Méthode
Faire une DRC indépendante puis inspecter assemblage, broche 1, polarités, PowerPAD, vias remplis/capés, continuité et absence de court-circuit. Comparer chaque connecteur à sa netlist. Tester un exemplaire avant de lancer 27 cartes.

Moyens
Visualiseur Gerber/CAO indépendant, microscope, multimètre et dossier d’assemblage

Acceptation
Aucune anomalie de polarité, connectivité ou dégagement non traitée. Références et dimensions des borniers/fusibles vérifiées. La carte DRV16 à 50 mA reste un accessoire et ne remplace pas le pilote primaire bistable ni les pilotes moteurs.

Preuves
Rapport DRC, liste de contrôle d’assemblage, numéro de carte et photos

---

T05 · Observer alimentation, démarrage, arrêt et baisse de tension

Étape
SELV

Périmètre
Logique, carte pilote unique, distribution et liaison PA simulée

Méthode
Alimenter les sous-ensembles séparément sur source limitée en courant, puis dans les différents ordres. Observer démarrage, reset, watchdog, coupure logique, coupure bobines et baisse de tension. Conserver le PA réel débranché.

Moyens
Alimentations isolées 3,3 V et bobines compatibles avec le prototype, oscilloscope, analyseur logique, charge PA simulée

Acceptation
Aucune impulsion involontaire ; autorisation PA et demande de porteuse inactives au repos et en défaut ; aucun armement automatique après redémarrage. Les états bistables sont inconnus tant qu’une preuve indépendante ne les confirme pas. Rails et courants dans les limites approuvées.

Preuves
Chronogrammes complets des rails, requêtes, sorties et autorisations ; valeurs des limites de courant et versions matérielles

T06 · Qualifier la durée et la polarité des impulsions bistables

Étape
SELV

Périmètre
Une carte DRV8871/LTC6993-1 et le relais exact retenu

Méthode
Mesurer requête, Q du monostable, tension différentielle et courant de bobine sur SET et RESET ; vérifier 00, 01, 10, 11, requête bloquée et changements de requête. Couvrir tensions, composants et températures de la plage approuvée, sans RF.

Moyens
Oscilloscope, mesure différentielle compatible avec les sorties flottantes, sonde de courant ou shunt correctement instrumenté, alimentation limitée, moyen thermique contrôlé

Acceptation
Actionnement fiable dans la fenêtre fabricant validée en T01, sans dépassement du plafond projet avec incertitude et marge. Les 9,66656 ms nominaux et 9,98271 ms calculés ne sont pas des mesures. Une requête maintenue ne prolonge pas l’impulsion ; aucune inversion en cours d’impulsion.

Preuves
Captures brutes, distributions durée/courant, température et tension, polarité du câblage, résultats d’actionnement et décision de marge

---

T07 · Mesurer l’énergie inductive et le clamp de VM

Étape
SELV

Périmètre
Pilote, bobine, faisceau et alimentation réels

Méthode
Caractériser inductance/courant, longueur de câble, capacité locale et retour d’énergie. Mesurer les pointes directement aux broches avec une méthode adaptée ; commencer avec une énergie limitée et augmenter seulement dans le protocole approuvé.

Moyens
Oscilloscope et sondage différentiel à connexions courtes, mesure du courant, LCR, alimentation limitée et protections de banc

Acceptation
VM, sorties et composants restent sous leurs limites de fonctionnement avec le budget d’incertitude et la marge approuvée. Pour DRV8871, 45 V est la borne recommandée de VM ; 50 V est une limite absolue, pas un objectif. Le clamp nominal SMBJ28A de 45,4 V ne démontre pas cette conformité.

Preuves
Courbes VM/OUT/courant, énergie estimée et mesurée, variantes de câblage, conditions les plus défavorables et choix final TVS/capacité

T08 · Qualifier cadence, répétition et budget d’alimentation

Étape
SELV

Périmètre
Pilote unique puis sous-ensemble et 27 voies

Méthode
Appliquer les séquences prévues et les défauts répétitifs à la cadence approuvée ; mesurer les appels de courant, retours d’énergie, températures et couplages entre voies. Définir la politique de simultanéité et un dispositif indépendant empêchant une répétition dangereuse.

Moyens
Alimentation limitée, enregistreur courant/tension, oscilloscope, thermocouples et générateur de défauts

Acceptation
Cadence, simultanéité et températures dans les limites validées ; aucune remise en marche dangereuse après protection interne. Le monostable actuel ne limite pas une succession de fronts : ce point doit être résolu avant une campagne automatisée sur 27 voies.

Preuves
Budget par rail, cadence maximale approuvée, captures de défauts répétés et journal thermique ; contrôle indépendant du limiteur

---

T09 · Prouver les états physiques sur cellule puis sur chaque réseau

Étape
SELV_HIL

Périmètre
Cas CELL : un canal avant réplication ; cas BANK : 27 contacts ; cas MOTOR : neuf sélecteurs, pour la variante concernée.

Méthode
Documenter séparément CELL, BANK et MOTOR ; seule la cellule est requise avant duplication. La preuve complète du réseau propre à chaque appareil est requise avant sa RF. Démontrer séparément les états ouvert, fermé, inconnu, collé et non actionné, sans RF. Comparer la preuve indépendante à applied_state_word/applied_state_known. Vérifier chaque contact puis les combinaisons, les deux isolateurs et le bypass.

Moyens
Mesure de continuité ou dispositif de preuve validé, interface de retour séparée, analyseur logique et banc d’injection de défauts

Acceptation
Aucun acquittement mécanique issu uniquement d’OLAT, du courant bobine ou d’une temporisation. Aucune autorisation PA si état inconnu ou discordant. Fermer KL retire la self : inversion des onze bits L vérifiée physiquement. En bypass, réseau isolé aux deux extrémités.

Preuves
Table contacts/commandes/preuves, schéma de la méthode de retour et de son influence RF, captures et journal des défauts

T10 · Vérifier la chaîne indépendante d’inhibition PA

Étape
SELV_HIL

Périmètre
Chaque type de PA et les deux architectures ATU

Méthode
Sur PA simulé puis interface réelle à émission inhibée, provoquer commande, retrait, fil coupé, contact capot, arrêt, alimentation perdue et watchdog. Observer l’inhibition matérielle, son retour et le verrouillage des actionneurs. La vérification PA seule commence avec une charge de substitution dès T05 ; sa validation de bout en bout est répétée avec les états réels lors de T15.

Moyens
Simulateur d’interface PA, oscilloscope multivoie, analyseur logique, schéma du PA et documentation des niveaux électriques

Acceptation
Commutation impossible tant que l’inhibition n’est pas réellement confirmée ; panne ou fil coupé retire l’autorisation sans dépendre du programme. Délais limites dérivés du PA, des relais et de l’énergie à interrompre puis mesurés ; le timeout logiciel de 1500 ms n’est pas une spécification de protection rapide.

Preuves
Chronogrammes autorisation/retour/énergie, essais par défaut simple, référence PA et interface isolée exacte

---

T11 · Exécuter les défauts HIL sur la vraie chaîne de commande

Étape
SELV_HIL

Périmètre
Contrôleur, bus, retour d’état, capteurs et interface PA simulée

Méthode
Injecter perte I2C, registre incohérent, MCU figé, ADC aux rails, capteur débranché, feedback périmé, mauvaise version de calibration, défaut alimentation, capot et température. Tracer la vraie sortie d’autorisation, pas seulement l’état logiciel.

Moyens
Banc HIL, simulateurs de capteurs et contact, analyseur logique, oscilloscope et capture horodatée

Acceptation
Chaque défaut attendu retire permission PA et demande de porteuse ; aucun nouveau mouvement en RF non prouvée froide ; réarmement manuel seulement après retour à des conditions prouvées saines. Les 34 cas hôte restent une régression préalable et ne remplacent pas cet essai matériel.

Preuves
Matrice défaut/réaction/délai mesuré, captures des sorties physiques, références du firmware et des cartes

T12 · Qualifier les deux axes motorisés et leurs limites indépendantes

Étape
SELV_HIL

Périmètre
Famille 500–3000 W ; moteurs et pilotes spécifiques

Méthode
Sur les organes réels sans RF, valider référencement, sens, course, couple, jeu, arrêt, perte de pas et retour absolu. Injecter débranchement d'encodeur, valeur figée/périmée, fin de course et axe bloqué. Vérifier les neuf contacts RF de gamme/topologie séparément.

Moyens
Pilotes moteurs limités, encodeurs, fins de course physiques, mesure de déplacement/couple adaptée, acquisition courant et logique

Acceptation
Aucun dépassement mécanique ; arrêt indépendant des compteurs logiciels ; états connus et récents, axes immobiles et calibrés avant RF. Les tolérances de position se déduisent des L/C réellement mesurés, et non d'un nombre de pas supposé précis. MotorTarget/motor_at_target ne constituent pas un pilote moteur.

Preuves
Courbes déplacement/L/C, hystérésis et répétabilité, courses et butées, preuves d'arrêt, défauts et température des moteurs

---

T13 · Caractériser le réseau RF passif et les parasites

Étape
RF_faible_puissance

Périmètre
Deux architectures, en coffret et avec le faisceau définitif de prototype

Méthode
Au VNA et à faible niveau, mesurer L/C complexes, ESR/Q, résonances propres, capacité des contacts, pertes et isolation ; couvrir fréquence, états et températures de la plage approuvée. Mesurer aussi l'effet de la méthode de retour des contacts et des capteurs.

Moyens
VNA étalonné au plan des pièces/ports, montages de mesure caractérisés, LCR complémentaire et étalons indépendants

Acceptation
Modèle mesuré et liste d'états admissibles compatibles avec les contraintes RF/thermiques. La consigne de 2 pF n'est pas déclarée précision effective. Toute combinaison proche d'une résonance ou hors limite est exclue avant la recherche automatique ; pertes documentées par fréquence.

Preuves
Touchstone, tables L/C/ESR, matrices des contacts, modèles et liste d'états interdits versionnés

T14 · Étalonner la mesure directe/réfléchie et son domaine utile

Étape
RF_faible_puissance

Périmètre
BENCH : chaîne de mesure autonome avant P4 ; INTEGRATED : reprise sur l'appareil et le réseau réels.

Méthode
Cas BENCH : étalonner la chaîne autonome avec sources et terminaisons de référence dès T02/T05, sans attendre le HAL ou le réseau RF complet. Cas INTEGRATED : reprendre l'étalonnage et les incertitudes après T11/T13 avant la RF de l'appareil. Étalonner les deux voies sur puissance de référence, fréquence et température ; caractériser couplage, directivité, fuite et saturation. Utiliser au plus douze points par courbe du contrat actuel, ou versionner explicitement son évolution. Valider avec des points et charges non employés à l'étalonnage.

Moyens
Source RF limitée, atténuateurs/coupleurs caractérisés, référence de puissance, VNA et acquisition ADC

Acceptation
Courbes monotones, limites basse/haute validées, aucune extrapolation ou pente nominale présentée comme étalonnage. Cibles proposées : directivité ≥ 35 dB et erreur système avec incertitude ≤ 5 % dans l'enveloppe déclarée, à accepter en T01. La phase n'est jamais déduite de deux puissances scalaires.

Preuves
Points bruts et indépendants, résidus, budget d'incertitude, identifiants de calibration, plages et températures utilisables Deux rapports distincts BENCH et INTEGRATED ; G3 initial ne clôt que le banc autonome, T15 valide ensuite la chaîne complète.

T15 · Prouver l'absence de RF avant commutation

Étape
RF_faible_puissance

Périmètre
Détection indépendante et chaîne ADC, dans les deux sens

Méthode
Injecter des niveaux encadrant le seuil RF froide, puis bruit, fuite, capteur absent, saturation et RF réfléchie seule. Mesurer l'instant où l'énergie disparaît réellement et celui où un mouvement devient physiquement possible.

Moyens
Générateur RF limité et étalonné, atténuateurs, coupleur, référence de puissance, oscilloscope multivoie et simulateur PA

Acceptation
Pour la valeur actuelle de 0,05 W, borne haute incluant l'incertitude sous le seuil dans les DEUX voies pendant au moins le dwell validé (50 ms actuellement) et inhibition confirmée. Si le plancher de mesure ne le démontre pas, commutation interdite ; une valeur ADC faible ou invalide ne suffit pas.

Preuves
Courbes du seuil et du bruit, chronogrammes RF/retour inhibition/actionneur, essais autour du seuil et défauts de capteur

T16 · Réaliser la matrice pilote de quinze accords

Étape
RF_faible_puissance

Périmètre
Un prototype par architecture ; puissance limitée, domaine déclaré

Méthode
Proposer trois fréquences (1,8 ; 14,2 ; 30 MHz) et cinq charges mesurées : 50, 25, 100, 50+j25 et 50−j25 ohms. Caractériser chaque fixture à la fréquence d'essai. Commencer vers 1 W délivré si la chaîne est précise à ce niveau, sinon fixer une valeur dans la plage de réglage autorisée du profil.

Moyens
VNA hors émission, source de réglage limitée matériellement, fixtures basse puissance caractérisées, référence de puissance et chaîne de protections

Acceptation
Quinze cas exécutés et tracés, aucune commutation sous RF et aucun état inconnu accepté. Cible ROS ≤ 1,2 ; l'armement doit en plus respecter sa limite de 1,3 avec une décision tenant compte de l'incertitude. Un cas raté réduit l'enveloppe annoncée et déclenche correction avant extension.

Preuves
Charge complexe réellement mesurée, réglage retenu, niveaux FWD/REF, ROS et incertitude, chronogrammes et motif de tout échec

---

T17 · Étendre la couverture à la grille calculée et aux pires contraintes

Étape
RF_faible_puissance

Périmètre
315 cas par architecture ; limites pratiques des fixtures documentées

Méthode
Reprendre la grille existante neuf fréquences × cinq résistances × sept réactances au VNA/faible RF. Relever les états de maximum tension, courant et perte ; comparer modèle et mesure. Les fixtures sont caractérisées, leur puissance limitée ; ne pas transformer cette grille en 315 essais à pleine puissance.

Moyens
Banc VNA, fixtures d'impédance protégées et caractérisées, source limitée, acquisition automatisée avec interverrouillage

Acceptation
Chaque cas possède un résultat mesuré ou une exclusion explicite ; couverture et exactitude ne sont pas inférées du modèle idéal. États hors contraintes interdits dans le firmware. La réussite idéale 315/315 et la perturbation illustrative ne constituent pas une recette matérielle.

Preuves
Matrice de couverture, données brutes, modèle révisé, cas extrêmes sélectionnés et exclusions par variante

T18 · Mesurer répétabilité, rappel mémoire et temps d’accord

Étape
RF_faible_puissance

Périmètre
Bancs et moteurs, froid/chaud, rappel et recherche scalaire

Méthode
Répéter des accords représentatifs après changement d’état, coupure, reprise mémoire, inversion d’approche et variation de température. Mesurer chaque phase et le temps complet ; publier médiane, p95 et maximum sur un échantillon défini avant essai.

Moyens
Acquisition horodatée, oscilloscope/analyseur logique, mêmes fixtures que T16/T17, logger de température

Acceptation
Aucun raccourci mémoire vers l’autorisation PA ; chaque rappel est remesuré. Les cibles de 0,2/1 s et 2/5 s doivent être rebaselinées si les dwell/relâchement/stabilisation et le PA les rendent impossibles. Aucun interverrouillage raccourci pour afficher un gain de vitesse ; répétabilité exprimée avec dispersion et incertitude.

Preuves
Chronogrammes par phase, distributions et conditions, nombre de répétitions, erreurs d’accord, version des mémoires et calibrations

---

T19 · Vérifier interface opérateur et précompatibilité électromagnétique

Étape
RF_faible_puissance

Périmètre
Façade, codeur, affichage, USB/CAT optionnel, câbles et blindages

Méthode
Tester commandes contradictoires, bus d’écran bloqué, perte de liaison, affichage périmé, changement de profil et défaut de calibration. Observer bruit conduit/rayonné proche lors des impulsions et mouvements, puis sous faible RF. CAT ne reçoit pas le rôle de chaîne de sécurité. T12 est un préalable supplémentaire pour la famille motorisée seulement ; aucune exclusion ne vaut résultat réussi sans justification.

Moyens
Banc HIL, analyseur logique, sondes de champ proche/analyse spectrale adaptées et instrumentation RF de faible niveau

Acceptation
Affichage des états inconnu/défaut et puissance de profil correct ; armement manuel confirmé et jamais rétabli par reconnexion. Aucun reset, fausse mesure, impulsion ou permission PA sous perturbation dans l’enveloppe approuvée. Précontrôle documenté, sans déclaration de certification EMC.

Preuves
Scénarios UI, captures d’écran et sorties physiques, traces spectrales comparatives, corrections de filtrage/blindage

T20 · Faire définir et réaliser la recette d’isolement par un laboratoire compétent

Étape
laboratoire

Périmètre
Enveloppes et composants des variantes concernées avant forte RF

Méthode
Faire approuver les distances, tensions de travail RF, environnement, contact accessible, contraintes transitoires et protocole d’essai par un spécialiste haute tension/RF. Les amplitudes, formes d’onde et durées d’essai sont établies pour les composants et l’assemblage exacts, pas fixées arbitrairement dans ce plan.

Moyens
Banc protégé et interverrouillé du laboratoire, mesure de fuite/isolement et instrumentation RF/HV spécifiquement admissible à la fréquence et tension réelles

Acceptation
Rapport favorable sur l’assemblage et l’enveloppe retenus avant toute montée forte puissance. Les 4657 Veff de travail requis au port antenne ATU-3000 et les 7285 Vcrête internes calculés avec marge ne sont pas des consignes d’essai hi-pot. Une sonde HV prévue en DC n’est pas réputée admissible à 30 MHz.

Preuves
Protocole validé par le laboratoire, justification des limites, conditions ambiantes, rapport et éléments couverts/exclus

---

T21 · Monter en puissance sous 50 ohms et valider le bypass

Étape
puissance_progressive

Périmètre
Chaque variante séparément ; gamme jusqu’à sa puissance autorisée

Méthode
Après admission du banc, proposer 1 W puis 10, 25, 50, 75 et 100 % du nominal avec revue entre paliers ; ajuster selon la résolution et les limites du matériel. Retirer la RF et prouver son absence avant toute modification. Le réglage automatique reste à sa faible puissance dédiée ; ne pas régler à ces paliers de puissance.

Moyens
Source/PA et charge 50 ohms réellement admissibles en CW au palier et à la fréquence, coupleurs/wattmètre, ligne RF, refroidissement surveillé, mesure thermique et arrêt indépendant

Acceptation
Aucun dépassement de courant/tension/température, aucune dérive ou dégradation ; puissance délivrée mesurée et pertes/échauffement tracés. Le banc et la charge tiennent le palier avec déclassement et marge. Ce test qualifie bypass, liaisons et connecteurs ; il ne qualifie pas le réseau LC à pleine puissance en désadaptation.

Preuves
Fiche par variante/palier/fréquence, durée et puissance mesurées, pertes, températures, débit si nécessaire, arrêt et inspection entre paliers

T22 · Qualifier les contraintes LC avec des charges désadaptées de puissance

Étape
laboratoire_puissance

Périmètre
Cas enveloppe et cas extrêmes retenus séparément pour chaque variante

Méthode
Avec le laboratoire, préparer des fixtures de puissance dont impédance, courant, tension, pertes et refroidissement sont qualifiés. Reproduire progressivement les cas tension/courant/pertes sélectionnés en T17 ; régler à froid/faible puissance puis augmenter à état fixe. Ne pas employer des étalons VNA ou un simple jeu de résistances de banc à plusieurs kW.

Moyens
Banc RF de puissance protégé, fixtures d'impédance spécifiées, instrumentation admissible au désaccord, référence de puissance, capteurs et surveillance thermique

Acceptation
Réseau LC, contacts et connectique restent dans leur enveloppe validée ; aucune commutation sous RF ni amorçage. Aucune extrapolation du test 50 ohms/bypass à l'ensemble de la grille. Une limite de fixture ou de pièce entraîne une restriction de domaine documentée ; 2500/3000 W restent bloqués si les sélecteurs de courant ne sont pas remplacés/validés.

Preuves
Fiches des fixtures, conditions réellement mesurées, tensions/courants ou méthodes validées, états LC, pertes, défauts et enveloppe finalement admise

---

T23 · Établir la tenue thermique CW et traiter la PEP séparément

Étape
laboratoire_puissance

Périmètre
Chaque variante ; cas pertes et courants les plus défavorables admis

Méthode
Après paliers, prolonger le fonctionnement jusqu'à un régime thermique démontré selon la constante de temps de l'ensemble et le protocole approuvé. Instrumenter composants, contacts, connecteurs, baies et air. Tester d'abord à faible énergie les défauts ventilation, débit et capteur ; ne pas provoquer volontairement une surchauffe à pleine puissance. Définir une campagne PEP/transitoires distincte si cet usage est demandé.

Moyens
Enregistreur de température multivoie, référence de puissance, surveillance du refroidissement et banc du laboratoire ; instrumentation crête pour la campagne PEP

Acceptation
Températures stabilisées sous les limites de T01 avec marge et incertitude, pertes compatibles avec le budget confirmé, protections et arrêt validés. Les budgets de pertes (jusqu'à 90 W RF à 3000 W) s'ajoutent aux bobines/moteurs/alimentations. Une durée courte ou une mesure PEP ne prouve pas la tenue CW ; inversement CW ne qualifie pas tous les transitoires.

Preuves
Courbes température/temps/puissance, durée et critère de stabilisation, conditions ambiantes, déclassement, résultats de protections et limites CW/PEP séparées

T24 · Prononcer une qualification traçable par variante et configuration

Étape
liberation

Périmètre
Neuf profils ; aucune qualification héritée automatiquement d’un autre profil

Méthode
Relire résultats, exclusions, non-conformités, versions PCB/logiciel, calibrations, câblage et composants exacts. Faire une régression ciblée après correction ; mettre à jour enveloppe RF, puissance/duty cycle, procédures et documents remis à l’opérateur.

Moyens
Dossier de preuves, revue indépendante RF/commande et responsable d’essai désigné

Acceptation
Chaque domaine annoncé possède des mesures et une décision signée ; points bloquants résolus. Les états non testés restent non qualifiés. Ne jamais passer hardware_tested, commissioned ou les autorisations de fabrication à vrai pour compenser une preuve manquante ; l’intégration fonctionnelle et la qualification RF sont deux décisions distinctes.

Preuves
Procès-verbal par variante, enveloppe et limites, signatures, matrice des exigences, empreintes des sources/calibrations et notices opérateur mises à jour

Campagne RF pilote

Quinze points de départ : trois fréquences et cinq impédances cibles. Caractériser chaque fixture et ses connexions au plan de référence VNA ; une charge notée 50 + j25 Ω ne conserve pas automatiquement cette valeur sur les trois fréquences. Retenir Z réellement mesurée.

Commencer au niveau du VNA et des instruments. La porteuse d'accord RF suivante est bornée matériellement et mesurée ; 1 W est une proposition pour les pilotes, utilisable seulement après G2/G3/G4 et si la sensibilité et les fixtures l'autorisent. Respecter les fenêtres de réglage de chaque profil ; aucun saut direct au nominal.

Après ces quinze points, étendre à la grille de 315 cas de la famille à faible niveau, puis ajouter les cas de résonance et de parasite détectés. Les valeurs idéales, même à ROS bas, ne sont pas des résultats attendus garantis. Tout cas non couvert ou hors limite reste explicitement exclu.

Fréquence MHz	R cible Ω	X cible Ω
1.8	50	0
1.8	25	0
1.8	100	0
1.8	50	25
1.8	50	-25
14.2	50	0
14.2	25	0
14.2	100	0
14.2	50	25
14.2	50	-25
30	50	0
30	25	0
30	100	0
30	50	25
30	50	-25

Paliers indicatifs et contraintes de sélection

Les paliers du CSV sont une trame de campagne sur terminaison 50 Ω : 10 %, 25 %, 50 %, 75 %, puis 100 % du nominal, après le pilote RF et les décisions de passage. Leur durée, répétition et refroidissement sont fixés avec le bilan thermique, les limites des composants et du banc avant la campagne. La personne responsable libère chaque palier à partir des données du précédent.

Une réussite en bypass ou sur trajet voisin du passage direct ne qualifie pas les éléments LC chargés. La recette du domaine désadapté exige des fixtures de puissance dédiées, caractérisées, protégées et admissibles en tension, courant et énergie. Choisir les pires cas de tension, courant et pertes avec le modèle corrigé par les mesures. La grille de 315 cas n'est pas une consigne de les appliquer tous à 3000 W.

Aucun amorçage, odeur anormale, dérive inexpliquée, perte de mesure, hausse thermique non maîtrisée, défaut d’actionneur ou dépassement de limite n’est toléré. Retirer l’autorisation RF et conserver les preuves ; aucune remise à zéro de contacts sous RF ni reprise automatique après défaut. Les limites thermiques et leurs marges d’incertitude sont propres aux composants montés.

La tenue CW exige l’établissement et le maintien d’un régime thermique accepté aux conditions ambiantes retenues ; une courte rafale ou un essai de trente minutes ne suffit pas par principe. La PEP nécessite un protocole de crête et de rapport cyclique propre et n’est jamais assimilée à la tenue CW.

W	Paliers 50 Ω · W	V crête interne requis	A RMS interne requis	V RMS ANT requis
20	2 / 5 / 10 / 15 / 20	597	2.87	380
50	5 / 12.5 / 25 / 37.5 / 50	944	4.53	601
150	15 / 37.5 / 75 / 112.5 / 150	1634	7.85	1041
500	50 / 125 / 250 / 375 / 500	2974	14.18	1901
1000	100 / 250 / 500 / 750 / 1000	4206	20.05	2689
1500	150 / 375 / 750 / 1125 / 1500	5151	24.56	3293
2000	200 / 500 / 1000 / 1500 / 2000	5948	28.36	3802
2500	250 / 625 / 1250 / 1875 / 2500	6650	31.71	4251
3000	300 / 750 / 1500 / 2250 / 3000	7285	34.74	4657

Contraintes reprises de l’étude idéale et incluant ses marges de conception, non des mesures ni une garantie sur tout l’espace de charge. Ce tableau ne fixe aucune tension d’essai diélectrique. Les paliers restent conditionnés par les pièces, les fixtures, le banc et les jalons.

Moyens et rôles

ID / moyen	Exigence à confirmer
R01 · Référent RF et métrologie	Responsable du domaine de charge, des contraintes RF, du budget d'incertitude, des protocoles et des décisions de passage en puissance.
R02 · Développeur embarqué	Compétences C++17, SDK Pico 2, I2C, acquisition, HAL, injection de pannes et traçabilité des binaires ; aucun drapeau de mise en service ne remplace une recette.
R03 · Constructeur électronique et moyens d'assemblage	Inspection des cartes, assemblage des CMS/PowerPAD conforme au dossier, contrôle des harnais et polarités ; inspection et reprise adaptées aux prototypes.
R04 · Appui mécanique et CAO	Pièces réellement choisies, enveloppes, accès, dégagements, fixation des axes, cloisons et liaisons au châssis ; plans provisoires non assimilés à une preuve d'ajustement.
R05 · Équipe de banc RF de puissance	Responsable d'essai et seconde personne compétente ; procédures de mise en sécurité, accès contrôlé, arrêt, surveillance et réponse à incident définis par le laboratoire.
R06 · Banc basse tension et acquisition temporelle	Alimentations isolées limitées en courant, multimètres, oscilloscope et sondes adaptés aux transitoires, mesure du courant de bobine, analyseur logique I2C et charges de substitution ; calibres et capacités vérifiés avant connexion.
R07 · Chaîne de métrologie RF basse puissance	VNA avec étalons et plans de référence identifiés, moyens L/C/impédance adaptés aux valeurs et fréquences, source RF limitée, wattmètre ou capteurs de référence, coupleurs/atténuateurs/câbles documentés ; plages et incertitudes compatibles avec les points mesurés.
R08 · Charges, liaisons et fixtures de test	Charges 50 Ω et fixtures de désadaptation identifiées par fréquence, puissance, tension, courant et régime thermique ; les réseaux R+jX de faible puissance ne sont pas réutilisés par défaut à haute puissance.
R09 · Laboratoire de puissance et d'isolement	Sources RF, charges et moyens de mesure dimensionnés, blindage, surveillance thermique, protections et procédure diélectrique définie par les spécialistes selon les composants réels. Disponibilité et conditions réglementaires d'essai à confirmer ; aucune réservation effectuée.
R10 · Responsable d'intégration et traçabilité	Identifiants de cartes/appareils, références de composants, schémas et binaires, versions de calibration, instruments, fiches de recette, incidents et décisions. Résultats, signatures et dates physiques restent vides avant exécution.

- Responsables nominatifs à désigner : intégration/versions, RF et métrologie, électronique, logiciel embarqué, mécanique et responsable du banc de puissance. Les références R01–R10 sont des fonctions ou des moyens, pas des personnes déjà engagées.
- Une même personne peut tenir plusieurs fonctions ; prévoir un second regard indépendant sur les interfaces critiques et l'équipe compétente requise au laboratoire pour les essais de puissance. La capacité de trois personnes est un exemple de calcul, pas un effectif confirmé.

Première séance à programmer

- 0–30 min : désigner les responsables et borner le premier pilote 20 W, le régime et les conditions de banc.
- 30–75 min : revoir preuve de contact, inhibition PA et autorisation d'actionnement ; affecter les décisions ouvertes.
- 75–120 min : inventorier instruments, étalonnages, charges, sondes, alimentations et interfaces de PA disponibles.
- 120–160 min : établir la liste de la cellule unitaire et les demandes de documentation constructeur, puis identifier les moyens manquants sans engager de commande.
- 160–180 min : attribuer P1, la préparation P2 et P3, préciser leurs livrables et convenir du point de revue suivant selon disponibilité.

Traçabilité et libération

Copier resultats-modele-fr.csv sous un nom de campagne avant saisie. Les fichiers portant modele sont des modèles régénérables ; ils ne contiennent aucune mesure. Enregistrer les acquisitions brutes, les conditions, les incertitudes et les chronogrammes dans le dossier du banc, puis publier uniquement les pièces revues du dossier final.

Chaque verdict identifie la variante, le numéro de matériel, les références montées, le SHA du binaire et des sources, la version de calibration, les instruments et leurs contrôles. Les lignes vides, une simulation ou la lecture d'un registre ne valent ni résultat physique ni signature.

La libération documente la bande, les charges et états autorisés, la puissance mesurée, le régime, la température ambiante, le refroidissement, les pertes, les limites et les anomalies résiduelles. Le rappel mémoire est invalidé après changement de calibration ou de réseau. Les états de readiness.json restent bloqués jusqu'à une nouvelle revue étayée ; le générateur ne les déverrouille jamais.

Documents de référence

- **kilovac · TE KILOVAC — catalogue, K41P page 7-60 et KC20** · https://www.te.com/content/dam/te-com/documents/aerospace-defense-and-marine/aerospace/global/hpg/5-1773450-5editable_section7.pdf · Références et limites de relais candidates ; aucune fenêtre maximale de 10 ms établie pour le K41P par la page consultée.
- **drv8871 · TI DRV8871 — SLVSCY9B** · https://www.ti.com/lit/ds/symlink/drv8871.pdf · Brochage, pont, limites recommandées/absolues, protections et récupération ; pas de sortie nFAULT.
- **ltc6993 · ADI LTC6993 — Rev. F** · https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ltc6993-6993-1-6993-2-6993-3-6993-4.pdf · La version -1 est non redéclenchable ; la durée et ses erreurs ne bornent pas une répétition de fronts.
- **mcp23017 · Microchip MCP23017 — DS20001952C** · https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20001952C.pdf · 16 GPIO, adresses et reset ; OLAT ne constitue pas une mesure mécanique de contact.
- **pico2 · Raspberry Pi Pico 2 — datasheet** · https://datasheets.raspberrypi.com/pico/pico-2-datasheet.pdf · Niveaux d'interface, entrées ADC, référence et précautions de chaîne analogique.
- **pico_sdk · Raspberry Pi — SDK C/C++** · https://www.raspberrypi.com/documentation/microcontrollers/c_sdk.html · Construction du binaire et intégration embarquée à réaliser et tracer.
- **ad8307 · ADI AD8307 — datasheet** · https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ad8307.pdf · Détecteur candidat ; son catalogue ne qualifie pas le coupleur et le système complet.
- **keysight_uncertainty · Keysight — Dynamic Uncertainty** · https://helpfiles.keysight.com/csg/pxivna/S3_Cals/Dynamic_Uncertainty.htm · Incertitudes VNA dépendant de la configuration, de l'étalonnage et des connexions.
- **tektronix_probe_safety · Tektronix — THDP/TMDP, manuel de sondes différentielles** · https://download.tek.com/manual/THDP-TMDP_Instructions-077054003.pdf · Vérifier les limites différentielle, mode commun et fréquence de la sonde réellement choisie ; ce lien ne choisit pas une sonde universelle.
- **baseline_firmware · Dossier ATU — contrat et état du logiciel** · ../firmware/README-fr.txt · Contrats actuels, délais, blocages, champs Inputs/Outputs et limites de l'adaptateur.
- **baseline_engineering · Dossier ATU — variantes et contraintes calculées** · ../engineering/variants.json · Neuf variantes, domaine idéal et contraintes avec marge ; ne constitue pas une qualification matérielle.

Utilisation et régénération

Les CSV sont des documents de préparation ou des modèles vierges. Copier resultats-modele-fr.csv sous un autre nom pour la campagne ; ne pas consigner des résultats dans les fichiers que le générateur recrée. Node.js : node generate-atu-plan.mjs. Le PDF fourni est un tirage figé du HTML ; sa nouvelle impression relève du navigateur. Aucun outil de ce dossier n'active un appareil ou ne valide automatiquement un jalon.

Mention de non-responsabilité

Ces dossiers sont fournis en l'état, à des fins pédagogiques et expérimentales. Les calculs, simulations et contrôles des fichiers ne constituent ni des performances mesurées, ni une certification, ni la qualification du montage réalisé.

La personne qui construit ou utilise le montage doit vérifier les schémas, composants, connexions et protections, respecter les notices des fabricants et la réglementation applicable, et faire valider sa réalisation avant utilisation. Selon le montage, les tensions électriques, la radiofréquence et la chaleur peuvent provoquer électrocution, brûlures ou incendie. Les essais doivent être réalisés par une personne compétente, en commençant à faible puissance et avec les protections adaptées.

Dans les limites autorisées par la loi, ON4CRD et les contributeurs ne garantissent ni l'aptitude à un usage particulier ni les résultats, et déclinent leur responsabilité pour les dommages résultant de la construction, de la modification ou de l'utilisation. Cette mention ne limite aucun droit impératif ni aucune responsabilité que la loi interdit d'exclure.