

Maîtrise de la CEM des drones

15

Objectifs :

A l'issue de cette formation, le stagiaire sera capable de concevoir et intégrer des modules électroniques dans l'engin, en tenant compte des couplages et en limitant les effets des différentes sources, y compris les interférences radio et les brouillages fortuits ou hostiles.

À SAVOIR

Public

- Ingénieurs / techniciens en charge du développement de systèmes électroniques d'engins sans pilote
- Ingénieurs et techniciens en charge de la mise en œuvre de l'assemblage
- Ingénieurs et techniciens travaillant à la définition, la conception ou les essais de drones, y compris en environnement hostile.

Postulats

- Connaissances de base en électricité
- Aucune connaissance préalable en CEM

Méthodes pédagogiques

- Action de formation :
 - Support de cours
 - Exercices pratiques
 - Démonstrations pratiques si possible et effectuées par l'instructeur
- Évaluation des acquis :
 - QCM en fin de session

Modalités pédagogiques

- Formation d'adaptation et de développement des compétences dispensée en présentiel
- Programme adaptable en durée et contenu en intra entreprise
- Attestation de fin de formation

Intervenant

- Formateur et consultant terrain de plus de 20 ans d'expérience

Informations pratiques

- Durée : 3 jours soit 21 h
- Vélizy, du 08 au 10 septembre 2026

Tarif

1 860 € HT

Le but de cette formation est de :

- Savoir évaluer l'environnement CEM interne et externe à l'engin
- Maîtriser une méthode pour une conception optimisée intégrant la CEM
- Savoir identifier les risques CEM en fonction de la source de perturbation externe ou interne
- Savoir choisir les solutions de blindage, neutralisation et filtrage CEM à prévoir
- Connaitre la réglementation et/ou cahier des charges en vigueur pour un drone

PROGRAMME

1 – INTRODUCTION

- Bref rappel de fondamentaux CEM
- Définition des risques et contraintes des drones
- Que dit la réglementation sur les drones ?
- Prise en compte des techniques anti-drone (Counter-UAV)
- Exemple de budget US C-UAV

2 – VULNÉRABILITÉ

- Distinction Susceptibilité/ Immunité
- Discrétion (indétectabilité, non-compromission)
- Stratégie d'analyse CEM en début de conception
- Bilan préalable PERTURBATEURS → COUPLAGE → VICTIME
- Identifier les caractéristiques des principaux perturbateurs
- Type de fonctionnement : analogique, numérique, permanent, occasionnel.
- Niveau maximum du signal en sortie
- Bande Passante (ou temps de montée minimum)
- Les principaux éléments vulnérables
- Type de fonctionnement (analogique, numérique, permanent, occasionnel...)
- Niveau minimum détection (« seuil discernable ») en entrée de signal

3 – EXEMPLES DE VICTIMES TYPES

- Éléments de navigation (récept. GPS, Galileo, Glonass, centrale gyro/inertuelle, boussole, altimètre)
- Autopilotage n'utilisant pas de signaux extérieurs : capteurs inertIELS, accéléromètres
- Capteurs d'assiette, de vitesse, de rotation des moteurs
- Capteurs de 0° et état de charge batterie
- Étage d'entrée RF des signaux de télépilotage
- Identification ami/ennemi ? (IFF contrôlé par AI)
- Capteurs de références externes : champ magnétique terrestre, constellations de satellites, altimètre, baromètre...

4 – VÉRIFICATION BASIQUE, AUTO-COMPATIBILITÉ

- CEM interne préalable à toute analyse CEM générale
- MATRICE D'INTERACTION Perturbateurs → Victimes (Internes)
- Fléchage d'incompatibilités possibles

5 – ANALYSE COMPLÈTE CEM EXTRA-SYSTÈME VIS-À-VIS DE MENACES EXTERNES

- EXIGENCES D'IMMUNITÉ MAJEURES
- Immunité aux champs forts HIRF ou pulsés (Hi-Power Ultra Wide Band)
- Risque de susceptibilité conduite, en recharge directe ou induction (wireless)
- Enveloppe des plus fortes MENACES, BF → 10GHz
- Forte impulsion non répétitive: DES, Foudre Indirecte (non prise en compte de l'impact direct)
- INDICE de SUSCEPTIBILITÉ des victimes = B-Passante / Seuil détection
- Fléchage des victimes à + forte susceptibilité
- Calculs simples de susceptibilité en champs forts
- Hypothèse couplages pires cas : Polarisation la + défavorable, réjection minimale hors-bande...
- Avant ajout de tout remède, Bilan en l'état : OK / NOK
- Pour chaque NOK : durcissements nécessaires : Δ dB / plage de fréquence ?

6 – VALIDATION D'IMMUNITÉ EN CONFIGURATION VOL RÉEL

- Comportement en cas de défaillance

- «Retour maison» en autopiloté ?
- Arrêt moteur et parachute ?
- Autodestruction (déttection « homme mort ») ?
- Prise en compte : présence simultanée de perturbateurs internes avec une menace externe
- Effets induits d'une DES ou Foudre indirecte durant le vol
- Cas d'emport de charge critique

7 – ANALYSE CEM EXTRA-SYSTÈME, ÉMISSIONS RAYONNÉES

- Emissions rayonnées
- Contrainte légale ou contractuelle
- Causes des fréquents rejets aux essais d'émission EMI
- Discrétion (Tempest), décodage pirate du télépilotage
- Analyse simple de l'émission RF rayonnée des principaux perturbateurs
- Spectres pire-cas des signaux rapides
- Spectre des champs rayonnés (dB_µ/m) par cartes, câbles, moteurs de rotor, gros modules CI
- Calculs par modèles simples, maximalistes
- Pour chaque famille de signaux, noter dépassement ΔdB, NOK vis-à-vis de la norme

8 – COMPILATION DES BESOINS EN DURCISSEMENT, SUSCEPTIBILITÉ & ÉMISSION

- Enveloppe /cumul des + forts besoins Susceptibilité & Emission
- Feuille de route pour l'amélioration à la conception
- Introduction aux filtres HF passifs
- Maîtrise des Bandes passantes
- Réjections du Mode Commun
- Blindages : dernier ressort, si aucune autre solution
- Filtrage de tous conducteurs entrants ou sortants
- Intégration sur PCB
- Évitement des effets parasites : selfs de connexions, diaphonies de contournement...
- Mini-blindages zonés sur PCB. Possibilités/limites des plastiques conducteurs
- Câbles blindés miniature
- Utilisation des structures et carénages en composites chargés, aidant à un blindage global

9 – VALIDATION EN COURS DE CONCEPTION

- Retour d'expérience de consultants lors des essais d'une première recette
- Essais en équivalents conduits sur maquette ou prototype représentatif
- Recherche de susceptibilité hors-bande, par injection sur entrées critiques
- Seuil susceptibilité par injection de courant sur les torons (BCI)
- Mesure d'émission à la pince des courants des torons

10 – REVUE DES EXIGENCES, MONTAGES D'ESSAI ET LIMITES (MIL OU CIVIL)

- Tests existants applicables
- Personnalisations propres aux drones
- Prise en compte de la « cyber-vulnérabilité »
- DéTECTEUR d'intrusion, d'attaque RF d'un téléguidage
- Vérifier qu'un détecteur « hard » ajouté n'est pas lui-même perturbable
- Critères d'acceptation / rejet
- Montages de test (set-up) spécifiques

11 – CONCLUSION

- Synthèse générale
- Livres, revues ou sites internet