

# ONDES ACOUSTIQUES ET RADIOELECTRIQUES

Responsable : Philippe Pouliguen

[philippe.pouliguen@intradef.gouv.fr](mailto:philippe.pouliguen@intradef.gouv.fr)

Tél : 02 99 42 96 34

L'axe « Ondes Acoustiques et Radioélectriques » couvre un large spectre compris entre le Hertz et le bas TéraHertz. Il s'intéresse aux théories et technologies appliquées à la détection et à l'imagerie, à la guerre électronique et à la furtivité, aux télécommunications, au guidage et à la navigation, aux agressions électromagnétiques intentionnelles ou non, à la compatibilité électromagnétique et à la maîtrise des effets bio-électromagnétiques. Les enjeux pour la défense sont de préparer les solutions qui assureront le maintien de ces fonctions ou capacités techniques au meilleur niveau de l'état de l'art, quels que soient le milieu (marin, sous-marin, terrestre, urbain, aérien, spatial) et les contraintes opérationnelles (diversité des théâtres, prolifération des menaces conventionnelles et asymétriques, mobilité, structures composites, partage du spectre des fréquences, besoins accrus en transmissions haut débit, réglementations DREP, DRAM...), dans un contexte de numérisation de l'espace de bataille et de connectivité entre les différentes composantes d'un théâtre d'opérations.

Les 7 sous-thèmes de cet axe thématique et leurs orientations sont :

## SOUS-THEME : GENERATION ET MESURE DES RAYONNEMENTS

Ce sous-thème est commun aux fonctions détection, télécommunication, guerre électronique, guidage et navigation :

- Sources d'énergie et systèmes multi-sources compacts, agiles en fréquence, à amplificateurs de puissance à état solide (GaN, SiGe) ;
- Sources sonar actives déportées large bande (ex : source acoustique laser) ;
- Technologie de capteurs optiques et technologie de capteurs vectoriels pour antennes acoustiques (pour toute la bande de fréquence) ;
- Agilité électronique au sens large (fréquence, forme d'onde, polarisation, rayonnement) pour antennes multi-fonctions ;
- Lever les limitations structurelles des antennes réseaux actives (lobes de réseaux, directivité, pureté polarimétrique, rendement, couplages, largeur de bande) ;
- Utilisation des bandes millimétriques Ka, V et W, pour répondre aux besoins accrus des transmissions militaires à haut débit et des systèmes imageurs ;
- Antennes textiles pour la communication du combattant ;
- Radômes : formes, performances radioélectriques (pertes, aberration, perturbation de la qualité du rayonnement, ...), résistance à la température et aux chocs ;

- Apports des matériaux magnéto-diélectriques ;
- Apports des technologies à base de graphène, de MXenes, de supraconducteurs ;
- Apports de la fabrication additive et de l'impression jet d'encre ;
- Maîtrise des systèmes antennaires en environnement aérothermique ;
- Diagnostic et auto-calibrage des antennes in-situ, mesures non invasives des antennes : capteurs électro-optiques, mesures en SER, mesures en champ proche.

#### SOUS-THEME : PROPAGATION

Ce sous-thème adresse les problématiques de modélisation, de mesure, d'analyse et de compensation des effets du canal de propagation :

- Urbain, indoor (multi-trajets dus aux phénomènes de réflexions et diffractions multiples, masquages par les murs, ...) ;
- Terrestre (pénétration à travers les couverts, rétrodiffusion des sols, diffusion multiple, effets des éoliennes sur les systèmes radar et de télécommunications...);
- Aérien et spatial (effets de l'atmosphère, réfraction, propagation ionosphérique, scintillations troposphérique et ionosphérique ...);
- Marin et sous-marin (réflexion diffusion sur la surface et sur les fonds, propagation en onde de surface, conduits de propagation, fluctuations de la colonne d'eau, sondage bathymétrique, Ultra Basses Fréquences...).

#### SOUS-THEME : DETECTION, IMAGERIE ET COMMUNICATIONS

- Systèmes multifonctions à architecture numérique programmable pour une plus grande flexibilité et pour une optimisation dynamique et adaptative de l'allocation des ressources (ordonnancement et/ou entrelacement des modes, supervision en réseau) ;
- Capteurs et réseaux modulaires de capteurs (systèmes MIMO, multistatiques), connectés à une intelligence artificielle (IA) permettant d'adapter la topologie des capteurs, la gestion des faisceaux, le choix des modes ou formes d'onde, et les traitements en fonction de l'environnement pour assurer dynamiquement les fonctions de détection localisation identification, sonar ou radar, de communication ;
- Formes d'ondes multifonctions (communication, radar, localisation, guerre électronique);
- Architectures radiofréquences et numériques à hautes performances (ex : large bande, efficacité énergétique, SDR, multi formes d'onde...);
- Surveillance des activités électroniques spatiales ;
- Communications spatiales sécurisées haut débit en mobilité ;
- Communications et liaisons de données inter-véhicules et entre véhicules et infrastructures ;
- Couverture multi-bande ou large bande pour radio logicielle et radio cognitive qui intégreront plusieurs standards de communication, plusieurs fonctionnalités ;
- Emetteurs-récepteurs flexibles (ex : radio intelligente) et accès multiples (CDMA, SDMA, NOMA...);

- Techniques de couche physique avancées (ex : « Faster-Than-Nyquist », Full duplex, techniques multi-antennes, multi-porteuses...);
- Formes d'ondes robustes et/ou sécurisées (ex : estimation/détection aveugle, codage canal, sécurité de la couche physique, auto brouillage, génération de clés secrètes...);
- Utilisation de la bande HF (3-30 MHz) pour la communication longue portée et la surveillance transhorizon (radars à onde de sol et à onde de ciel) ;
- Radars légers aéroportés / navals / terrestres pour la surveillance et la tenue de situation,
- Surveillance passive : exploitation de signaux d'opportunité, détection des radars à faible puissance crête, localisation et discrimination de sources acoustiques aériennes et sous-marines (en particulier dans la bande UBF), méthodes inverses pour mesurer les fonds marins, détection d'anomalies dans le bruit ambiant ;
- Détection et identification de cibles lentes, hyper-véloces, petites ou à faibles signatures, en milieux perturbés ou hétérogènes (ex : traitements optimaux et haute résolution sur signaux à très larges spectres, méthodes parcimonieuses / bayésiennes, analyses temps-fréquence, imageries SAR et ISAR...);
- Détection d'objets ou structures enfouis ou partiellement enfouis dans le sol (IED, fils de commande, électroniques, caches, cavités...);
- Techniques de reconnaissance automatique de cibles (ATR), basées sur l'intelligence artificielle, pour la détection des drones, des IED, des mines sous-marines ;
- Détection et localisation de brouilleurs/leurres GNSS.

#### SOUS-THEME : GUERRE ELECTRONIQUE ET FURTIVITE

- Méta-matériaux à paramètres constitutifs effectifs extrêmes « permittivité / perméabilité » ou « densité / compressibilité », avec gradient ou modulation d'impédance, pour la réalisation de filtres sélectifs / structures absorbantes / cloaking / réflexion ou réfraction « généralisée » - problématiques de modélisation, homogénéisation et réalisation ;
- Revêtements absorbants ultra fins large bande et multi-incidence « radioélectriques / acoustiques » basés sur des associations « méta-matériaux / composites / composants localisés » ;
- Matériaux structuraux fonctionnalisés : Intégration de capteurs dans les parois structurantes des plateformes ;
- Caractérisation électromagnétique des matériaux in situ et en température ;
- Identification et contrôle des sources de bruits acoustiques impulsionnels pour contrer les sonars basés sur la détection de bruits transitoires ;
- Contre-mesures adaptatives contre les menaces radar de nouvelle génération, numériques, agiles, adaptatives ;
- Guerre électronique coopérative (mini-drones avec charge utile pour activer ou annihiler les défenses ennemies...);
- Amélioration des moyens de mesure de SER et de rayonnement d'antennes (chambres anéchoïques) en basses fréquences (V/UHF) ;

- Perturbation des systèmes de radio communication (brouillage, leurrage) et techniques de durcissement ;
- Evaluer les potentialités du quantique en guerre électronique et écoute du spectre électromagnétique.

#### SOUS-THEME : AGRESSIONS ELECTROMAGNETIQUES / VULNERABILITE

- Générateurs électromagnétiques compacts agiles en fréquence et en directivité ;
- Formes d'onde optimales pour perturber les systèmes électroniques (IED, drones...) ;
- Maîtrise de la chaîne de vulnérabilité des systèmes ;
- Techniques de protections (blindage de l'électronique, limiteurs et circuits de protection),
- Application de micro-décharges de plasmas au durcissement électromagnétique ;
- Perturbation des systèmes GNSS (brouillage, leurrage) et techniques de durcissement.

#### SOUS-THEME : COMPATIBILITE ELECTROMAGNETIQUE

- Amélioration de la métrologie : Exploitation du retournement temporel et des techniques d'inter-corrélation du bruit en chambre réverbérante, techniques de contrôle des ondes en environnement complexe, imagerie CEM ;
- Approches probabilistes des évaluations de susceptibilité EM ;
- Coexistence électromagnétique : Outils de gestion du spectre EM (cartographie temps réel d'occupation du spectre EM), partage du spectre et/ou des aériens entre systèmes radar de guerre électronique et de communications ;
- Définition de procédures et stratégies efficaces adressant l'interopérabilité des fonctions et les formes d'onde.

#### SOUS-THEME : BIO-ELECTROMAGNETISME

- Maîtriser les effets thermiques et athermiques des ondes EM sur le corps humain : Etudes de DAS (débit d'absorption spécifique), analyse des couplages « ondes - structures biologiques » et des interactions au niveau cellulaire.

*Les priorités affichées pour cet axe thématique sont :*

- **Systèmes haute performance de communication / détection / Guerre électronique :** Architectures numériques – Réseaux à grande échelle de capteurs – formes d'ondes et traitements adaptatifs à l'environnement basés sur des techniques d'intelligence artificielle – Communications spatiales en mobilité – Systèmes émission/réception large bande reconfigurables multi-services « COM-RADAR-GE-NAVWAR » – Guerre électronique cognitive – Réseaux de capteurs pour détection et communication longue portée en acoustique sous-marine...
- **Maîtrise des rayonnements :** Matériaux composites et méta-matériaux pour optimiser le rayonnement des antennes et la furtivité des plateformes.
- **Gestion du spectre EM :** Cartographie temps réel du spectre EM – Outils de partage du spectre entre systèmes (Radar, Guerre Electronique, Communications, ...).