



L'IA dans la Guerre Électromagnétique

L'IA dans la guerre électromagnétique

Auteurs :

Thomas COURTAT, Cedric Deveraux, Thierry Deveze, Cyrille Enderli,

Thierry Sfez, François SAUSSET, Antoine VIOLLEAU,

Résumé

L'accélération des boucles tactiques et stratégiques, combinée à la densification des senseurs et effecteurs, impose la maîtrise du spectre électromagnétique dans les conflits modernes de haute intensité. Pour y parvenir, l'intégration de l'intelligence artificielle (IA) dans la guerre électromagnétique (GE), appelée « GE Cognitive », constitue un multiplicateur de force majeur.

Ce document présente les principaux gains opérationnels offerts par la GE Cognitive, ses applications métier, ainsi que les enjeux liés à la conception, l'intégration et le cycle de vie des systèmes IA.

1. Introduction

La guerre électromagnétique (GE) connaît une transformation majeure. En quelques décennies, elle est passée d'une fonction « utile » à une fonction « prioritaire », au même titre que la cybersécurité ou la guerre informationnelle. Les enseignements tirés des conflits récents, notamment en Ukraine, démontrent que la maîtrise du spectre électromagnétique est déterminante pour anticiper, détecter et contrer les menaces.

Face à des menaces adverses à bas coût, de plus en plus fréquentes, les solutions dites « soft-kill » — qui neutralisent les menaces par des contre-mesures électroniques plutôt que par interception physique — offrent un avantage stratégique et économique considérable. Elles permettent d'éviter l'écueil d'un missile à un million d'euros pour détruire une menace qui n'en coûte que dix mille.

Pour maximiser ces avantages, il est indispensable d'intégrer les progrès de l'intelligence artificielle (IA) dans la GE.

Par ailleurs, l'instabilité croissante du contexte géopolitique entraîne des évolutions rapides et imprévisibles des menaces, dans un environnement électromagnétique de plus en plus dense. Cette dynamique impose une adaptation accélérée des algorithmes aux nouvelles situations, ce qui dépasse les capacités des approches conventionnelles. L'IA, grâce à son agilité et sa capacité d'apprentissage, répond à ce besoin critique.

Enfin, les opérateurs font face à une surcharge de travail croissante : moins nombreux, confrontés à des systèmes complexes et à des exigences de formation élevées, ils doivent prendre des décisions rapides dans des contextes opérationnels tendus. Cette réalité impose une automatisation avancée, que l'IA est en mesure d'apporter, tout en maintenant l'humain dans la boucle pour garantir la responsabilité et la confiance.

2. Les gains apportés

2.1. GAINS OPÉRATIONNELS

Les bénéfices attendus de l'intégration de l'IA dans la guerre électromagnétique se situent à deux niveaux : l'assistance à l'humain et l'optimisation des chaînes de traitement machine.

Des combattants augmentés

L'IA vise à accroître la capacité des opérateurs à gérer des situations tactiques complexes impliquant des volumes croissants de données. Elle réduit la charge cognitive en masquant les complexités inutiles, notamment celles liées au micro-pilotage des senseurs et effecteurs électromagnétiques en temps réel. Cette assistance doit rester sous contrôle humain, avec des domaines d'emploi clairement définis et validés, afin de garantir la confiance et la responsabilité.

L'IA apporte également un avantage majeur : la capitalisation rapide de l'expérience et sa diffusion, bien plus efficace que la transmission classique entre équipages.

Des senseurs augmentés

L'IA améliore les performances des senseurs sans remplacer les chaînes classiques de traitement, mais en les renforçant. Cette hybridation accroît la robustesse globale. Elle permet de révéler des structures dans des environnements électromagnétiques denses et complexes, ou dans des temporalités peu accessibles à l'humain (très fugaces ou très longues). Ces capacités enrichissent la construction rapide des situations tactiques et des bases de connaissance, en capitalisant l'expérience opérationnelle des différents types de senseurs.

Une orchestration collective augmentée

Pour maximiser l'effet sur l'ennemi, les capacités de guerre électromagnétique doivent gagner en masse ce qui entraîne la multiplication des porteurs de charges, habités ou non. L'IA peut offrir une autonomie d'action à chaque vecteur et orchestrer la collaboration entre systèmes déployés. L'objectif : obtenir un effet global sur l'ordre électromagnétique de bataille ennemi en exploitant les synergies entre charges distribuées spatialement et temporellement, afin d'assurer la supériorité électromagnétique.

Une frugalité de l'emploi des moyens

L'IA favorise la capitalisation des événements récurrents ou rares et le partage efficace des connaissances, réduisant les redondances et les coûts opérationnels (par exemple, moins de sorties de vecteurs coûteux). Elle permet aussi d'optimiser le mix « low tech / high tech », en recourant à des plateformes moins onéreuses et plus économes en énergie, contribuant ainsi à un impact environnemental positif.

2.2. GAINS TECHNIQUES

Les gains techniques apportés par l'IA sont bien souvent liés à la numérisation de tous les capteurs, qu'il s'agisse des menaces ou des systèmes de renseignement ou de protection.

Traitements de données en masse

La numérisation des récepteurs de GE induit une augmentation drastique du volume de données à traiter. Non seulement la GE n'échappe pas à cette numérisation, mais elle est par nature particulièrement impactée. En effet, elle doit en permanence écouter, détecter, trier et pister un nombre en forte d'augmentation de signaux présents sur le théâtre d'opérations.

Dans le cas de la GE radar, par exemple, jusqu'à plusieurs dizaines de millions d'impulsions sont à prendre en compte chaque seconde, en fonction de la densité d'émetteurs sur le terrain. Et côté GE des communications, selon la bande passante enregistrée, le volume de données générées sur le terrain représente rapidement plusieurs téraoctets qui sont difficilement exploitables par un seul homme.

Dans ces situations, l'IA est particulièrement pertinente pour apporter de nouvelles solutions permettant de tirer profit au maximum de l'information contenue dans cette masse de données.

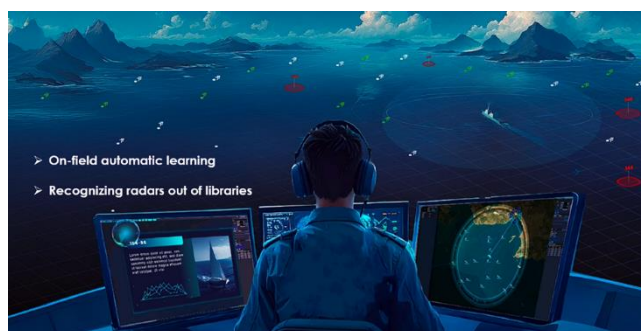
Adaptation automatique de la détection et l'identification à la variabilité des menaces

À l'instar des systèmes de GE de communications, les menaces radar modernes tendent désormais à être numérisées et reprogrammables facilement. Cette agilité logicielle, modulations et modes radars dynamiques, protocoles et schémas de transmission adaptatifs, sauts de fréquence, mettent à l'épreuve les approches de contre-mesure fondées uniquement sur une connaissance a priori capitalisée dans des bibliothèques embarquées.

Toute menace nouvelle, ou variation d'une menace connue mais non décrite en bibliothèque, peut être mal ou non classifiée, conduisant à un traitement inadapté.

L'IA offre ici une capacité de classification et de découverte dynamique, complémentaire des bibliothèques : détection de nouveauté, apprentissage, clustering, permettant d'identifier et de caractériser des signaux hors-catalogue.

Combinant des contraintes de chaque domaine, ELINT et COMINT, avec les modèles existants, l'IA facilite l'adaptation en cours de mission, l'enrichissement contrôlé des bibliothèques, tout en gardant l'opérateur dans la boucle pour garantir la robustesse et la traçabilité des décisions.



Les problèmes de classification étant les premiers où les méthodes d'IA ont montré leur pertinence, approfondissons un peu plus l'apport opérationnel technique dans le cas spécifique de la GE.

Tout d'abord, une bonne capacité de classification des formes d'onde nécessite d'utiliser l'information d'enchaînement temporel des paramètres décrivant les formes d'onde, ce qui ne va pas de soi compte tenu du débit de données et les résumés statistiques nécessaires.

Si les formes d'onde ne sont pas renseignées à l'avance, des exemples interceptés pendant la mission doivent être utilisés pour les « apprendre », c'est-à-dire les décrire selon un mode de représentation automatiquement établi permettant de classer ultérieurement de nouvelles interceptions.

Une spécificité de la GE radar est que ces données d'apprentissage sont généralement incomplètes (des impulsions radar sont manquées avec une probabilité inconnue), intermittentes (la durée de chaque interception est inférieure à la durée de la forme d'onde à apprendre), et pas toujours exemptes de mélanges avec d'autres formes d'onde — surtout en environnement dense.

Ne pas prendre en compte ces spécificités lors de la mise au point de nouveaux modèles d'IA et en particulier lors de leur entraînement conduit souvent à des performances inappropriées de ces derniers.

En revanche, des adaptations ad-hoc mais en profondeur des méthodes existantes, prenant bien en compte les spécificités de la GE, permettent de reconnaître des formes d'onde non renseignées mais déjà rencontrées, simplifier la situation tactique, faire ressortir les informations d'intérêt ou les changements, et finalement alléger la charge cognitive des opérateurs.

L'intelligence artificielle va également permettre des apports notables au niveau des référentiels techniques.

Plusieurs types de référentiels existent : au niveau capteur et national. C'est justement sur la coexistence de ceux-ci que l'approche est nouvelle.

Au niveau capteur, un référentiel technique est une bibliothèque comportant des signatures, qui permettent de reconnaître des signaux. Son défaut principal est d'être spécifique à un capteur donné et empêche ses signatures d'être génériques et réutilisées sur d'autres capteurs.

Un référentiel national existe, basé sur des paramètres uniques. Il apporte plutôt une vision métier, basée sur le protocole en lui-même. Même si la cible est identique entre les deux référentiels précédents, sa définition sera différente. On rencontre ainsi un problème de cohérence et il est difficile d'enrichir ces précieuses bases de données.

Aujourd'hui, nous avons des outils qui permettent la traduction des cibles du référentiel national au bénéfice du référentiel technique. C'est une approche assez compliquée et qui n'est pas totalement exhaustive.

L'IA permettrait de caractériser un signal détecté par un capteur et d'en extraire les paramètres techniques essentiels. Ainsi, ces paramètres pourraient être utilisés pour enrichir le référentiel technique national et finalement obtenir une base de données complète et cohérente.

Pour finir sur ce point de la variabilité des comportements des menaces, mentionnons encore que celle-ci apparaît également dans leur jeu collectif.

Ainsi les systèmes de défense interconnectés (IADS), se distribuent la charge de la veille, de la poursuite et du tir, avec pour objectif de ne dévoiler les tirs au plus

tard, idéalement lorsque leurs cibles sont dans une No Escape Zone de leurs batteries Surface Air.

L'IA permet l'analyse macro chronologique des séquences d'émissions des différents émetteurs de l'IADS et de la typologie de positionnement géographique relatif pour dresser des couloirs de survivabilité où le passage des raids serait possible.

Là encore, compte tenu de l'importance de l'ordre dans lequel les événements se produisent sur le théâtre, des modèles séquentiels bien maîtrisés d'IA ont un rôle particulier à jouer.

Une situation tactique améliorée pour un processus de décision plus rapide et pertinent

En mission de renseignement, l'objectif de la guerre électromagnétique n'est pas seulement de confirmer la présence des éléments attendus, mais aussi d'informer sur les nouveautés ou les changements dans le théâtre d'opérations.

Un scénario typique est qu'au retour d'une mission, l'IA ait identifié les signaux qu'elle connaissait, mais aussi qu'elle ait isolé et reconnu d'autres signaux inconnus dans la base de données d'apprentissage.

Avant la mission suivante, les opérateurs de GE doivent confirmer cette remontée automatique de nouvelles cibles ou classes par l'IA et, si possible, labelliser les signaux inconnus pour les intégrer dans la base d'apprentissage.

Si cela est prévu dès la conception du modèle, le réapprentissage sur cette nouvelle base peut s'effectuer sur une petite sous-partie du modèle uniquement, ouvrant la voie à des cycles courts (potentiellement en cours de mission), automatiques et nécessitant peu de ressources de calcul.

De plus, l'exploitation de nombreuses données, avec une granularité progressivement accrue ces dernières années dans l'analyse des signaux, offre une acuité nouvelle pour identifier des signaux dans des environnements électromagnétiques de plus en plus denses.

Après avoir exploité les pistes produites par les senseurs, l'IA permet une analyse de fragments de signaux à l'intérieur de trains d'onde lacunaires, allant jusqu'à la signature électromagnétique propre à chaque émetteur (fingerprinting).

Cette capacité à identifier plus précisément, au-delà des variabilités dynamiques introduites, contribue à construire des situations tactiques plus fines et

robustes, et de là un processus de décision plus pertinent.

Capacité de brouillage et de déception améliorée

L'IA permet une optimisation en temps réel du signal de brouillage ou de la stratégie de séduction/déception à appliquer à l'ensemble des menaces à traiter simultanément.

Cette optimisation tire parti des ressources de brouillage du porteur disponibles (par exemple bandes de fréquences, niveau de puissance, formes d'ondes), mais également des capacités collectives (pods de brouillage d'escorte, charges GE positionnées sur l'avant du raid, en contexte Aero par exemple).

Une optimisation est également appliquée pour contrer les techniques de contre-mesure déployées par les émetteurs adverses.

3. De la conception aux opérations

Comme nous venons de le détailler, les apports opérationnels de l'IA dans le domaine de la guerre électromagnétique sont potentiellement dimensionnants et pourraient changer la manière de conduire les opérations à l'avenir. Encore faut-il rendre ces promesses tangibles en concevant ces nouveaux traitements, en les intégrant dans les systèmes existants et à venir, et en s'assurant qu'au cours des opérations leur performance se maintienne.

Considérant le caractère particulièrement critique des applications de défense, il convient de soigneusement choisir pour chacune d'elles les techniques ou une combinaison de techniques idoines qui assurent une performance maîtrisée et explicable. La Figure 1 illustre la diversité des approches d'IA existantes.

Dans l'état de l'art, on peut distinguer la famille des approches guidées par les données (data-driven) de celle basée sur les connaissances (knowledge-based). Alors que la première famille repose essentiellement sur des modèles statistiques optimisés avec des données de référence afin d'en extraire une connaissance implicite, la seconde famille est plus propice à la vérification, validation et qualification des

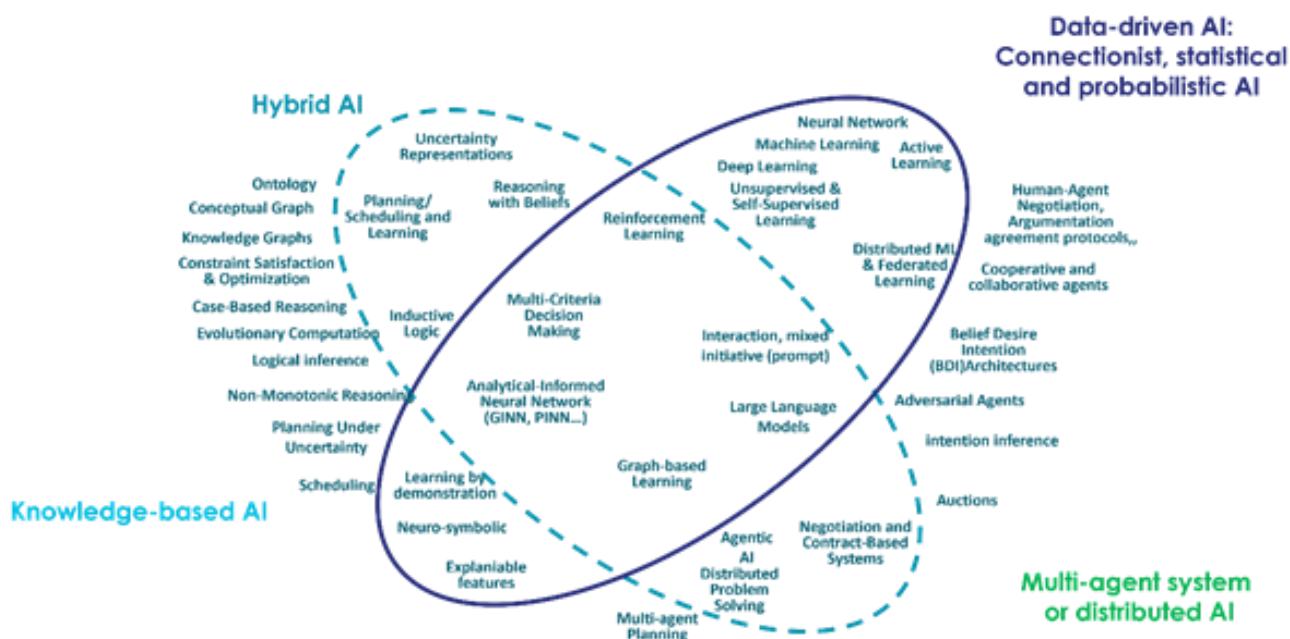


Figure 1 - Familles d'IA

systèmes car elle est basée généralement sur des représentations explicites des connaissances humaines et des dispositifs d'automatisation du raisonnement. À la croisée des deux approches se trouvent les méthodes dites hybrides, visant à améliorer la robustesse, l'explicabilité et la maintenabilité des approches basées sur les données en les couplant au paradigme de l'IA fondée sur les connaissances.

Si l'on se focalise sur l'efficacité globale d'une solution à base d'IA en termes de bonne décision, un pipeline d'ingénierie des algorithmes doit tenir compte du domaine de conception opérationnelle, de la collecte et du pré-traitement des données, de la conception et de l'implémentation d'un algorithme sur un matériel adapté, et de son déploiement.

3.1. UNE IA ANCRÉE DANS LE MÉTIER ET LES CAPTEURS

La science des données cherche à définir des concepts et des méthodes génériques, pertinents pour différents domaines d'application (image, vidéo, son). De nombreux outils et logiciels génériques sont disponibles, et l'on pourrait être tenté de les appliquer tels quels ou presque à une problématique métier précise.

Cependant, dans le domaine de la guerre électromagnétique, la spécificité des signaux impose

une connaissance approfondie du domaine pour concevoir des solutions adaptées et optimales.

Par exemple, pour analyser un signal large bande, on peut faire l'analogie entre sa représentation spectrale (présentée aux opérateurs sous forme de "chute d'eau") et une image, ce qui permet d'envisager la réutilisation d'IA optimisées pour le traitement d'image. Cette approche donne rapidement des premiers résultats qui peuvent sembler convaincants.

Toutefois, si l'on prend en compte les spécificités du signal — notamment la non-équivalence entre les dimensions du temps et de la fréquence (contrairement aux images classiques où les deux directions sont de même nature), le facteur de forme particulier des spectres des signaux de communication, leur densité et leur entrelacement parfois complexe — on peut concevoir des modèles d'IA plus performants, tout en étant plus simples et donc beaucoup plus frugaux en ressources de calcul.

Les illustrations ci-dessous (Figure 2 et Figure 3) montrent d'abord un spectre large bande typique de la gamme HF, où des signaux élémentaires se partagent l'espace-temps-fréquence et parfois se superposent. Pour interpréter ce spectre, il faut détecter et caractériser les signaux élémentaires qui le composent.

Si des premiers résultats intéressants peuvent être obtenus avec un algorithme de détection d'objets "sur

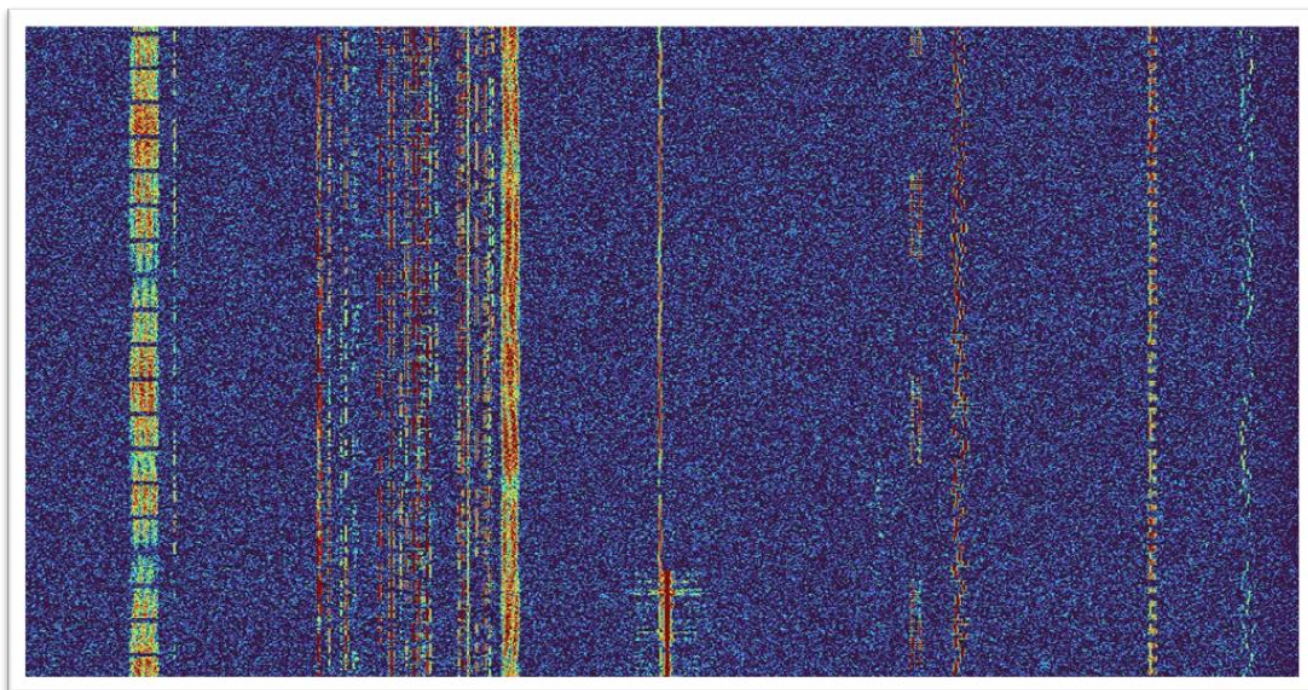


Figure 2 - Illustration d'un signal large bande par son spectrogramme

étagère", la conception d'un algorithme spécialisé mène à des résultats plus satisfaisants, comme le montrent les cadres rouges indiquant les détections par l'IA.

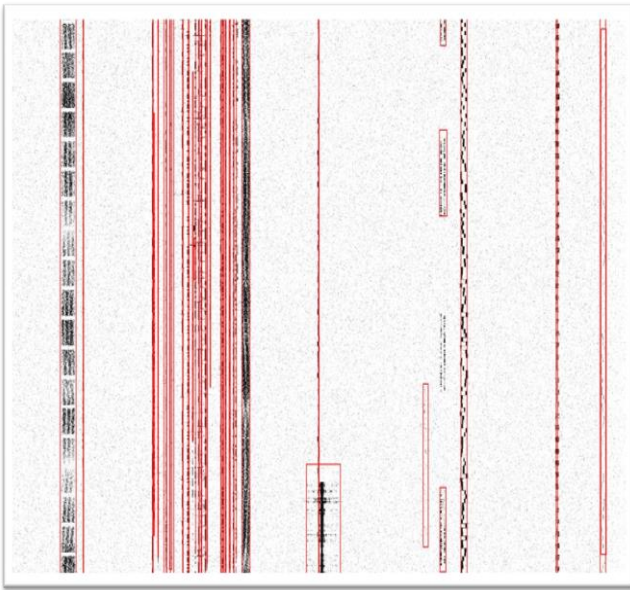


Figure 3 - Résultat de la décomposition en signaux élémentaires (cadres rouges) par une IA

Contraintes de traitement et déploiement

En guerre électromagnétique, les quantités de données à traiter juste après numérisation des signaux sont souvent très importantes (jusqu'à ~1 Tbps). Les contraintes de latence (par exemple pour l'autoprotection), de bande passante des communications, ainsi que de sensibilité des données exigent que les traitements soient faits au plus près des capteurs. Ceci est d'autant plus vrai quand les capteurs sont embarqués. Ces traitements doivent donc être déployés sur des cibles contraintes, au lieu de puissants serveurs distants.

Cela doit être pris en compte dès la conception des algorithmes d'intelligence artificielle afin que leur complexité soit du bon ordre de grandeur vis-à-vis des capacités de calcul des cibles visées pour leur déploiement. Une optimisation spécifique à l'IA est ensuite nécessaire pour l'intégration finale. On voit ainsi qu'il est crucial de maîtriser le couple hardware/software embarqué pour exploiter tout le potentiel de l'IA et pouvoir la déployer à tous les niveaux système pertinents, en particulier au plus près du signal brut issu des capteurs.

3.2. COMMENT L'INTÉGRER

Dans les systèmes

La première question à se poser est : où positionner de manière pertinente l'IA dans une chaîne de traitement du signal existante ?

Selon les cas, des approches bout-en-bout peuvent s'avérer pertinentes lorsque l'existant est globalement sous-optimal (par exemple dans des situations trop complexes pour être modélisées efficacement) et que le problème peut se formaliser d'une manière accessible à une méthode purement IA. Ce type d'approche a par exemple porté ses fruits dans un contexte ELINT sur des regroupements d'impulsions radars.

Dans d'autres cas, où seules certaines parties de la chaîne de traitements existante sont sous-optimales, il est plus pertinent de circonscrire l'IA à ces sous-modules, quitte à en enchaîner plusieurs à base d'IA. C'est par exemple l'approche qui s'est avérée la plus souvent fructueuse pour l'instant dans nos travaux sur le COMINT.

La question de l'hybridation avec les traitements existants se pose également : pour des raisons de robustesse, il peut être pertinent de paralléliser les traitements existants et ceux à base d'IA, pour ensuite fusionner leurs résultats.

Enfin, de manière plus pratique, l'intégration software et hardware nécessite parfois de repenser les pratiques, car l'ingénierie de l'IA possède quelques spécificités :

- des accélérateurs matériels souvent dédiés et s'appuyant sur des SDK propriétaires,
- pour l'intégration continue, des tests de non-régression de l'IA qui doivent être fonctionnels et nécessitent des données du capteur, etc.

Sur la partie matérielle

Les architectures utilisées en guerre électromagnétique reposent classiquement sur des FPGAs en sortie de conversion analogique/numérique pour les premiers traitements bas-niveau sur le signal. Selon les cas, les FPGAs peuvent gérer des tâches plus haut-niveau ou envoyer les données vers des CPUs plus classiques une fois le flux de données réduit après ces traitements.

Intégrer de l'IA nécessite de repenser ce paradigme car, bien que pouvant accélérer des réseaux de neurones, les FPGAs ne sont pas les meilleurs candidats en termes de performance/Watt et de simplicité de programmation.

Pour les CPUs, ils peuvent être adaptés à des algorithmes d'IA ne faisant pas appel à des réseaux de neurones, mais pour ces derniers leur architecture n'est pas suffisamment parallèle pour exécuter efficacement des réseaux de neurones.

Il existe maintenant des GPUs particulièrement adaptés à l'accélération de réseaux de neurones de par leur architecture massivement parallèle. Ils permettent également d'accélérer d'autres traitements, par exemple en traitement du signal, et leur bande passante mémoire élevée leur permet d'ingérer des flux de données compatibles avec l'ordre de grandeur cité plus haut¹. Cela ouvre la voie à des architectures logicielles et matérielles unifiées, donc simplifiées, qui faciliteront d'autant l'intégration d'IA en guerre électromagnétique.

Plus spécifiquement pour l'IA, des NPUs ont été développés depuis plusieurs années, accélérant spécifiquement les réseaux de neurones, avec des consommations pouvant aller de quelques mW à quelques centaines de Watts. Leur avantage est leur efficacité en termes de performance/Watt, au prix d'une spécialisation et d'une difficulté de portage à mi-chemin entre celle d'un FPGA et d'un GPU.

Dans ce cas, cela revient à complexifier l'architecture globale qui se décomposerait en un triptyque FPGA/NPU/CPU, qui dans certains cas est l'unique moyen d'aboutir aux performances nécessaires dans certaines applications de guerre électromagnétique.

Sur la partie logicielle

Au-delà des langages utilisés et des architectures existantes qui doivent souvent être à minima adaptés afin de pouvoir intégrer de l'IA, l'enjeu principal se situe dans l'ingénierie de cette dernière qui diffère du logiciel "classique" à plusieurs égards.

Pour intégrer de l'IA dans une chaîne de développement et d'intégration continue, il faut prendre en compte les spécificités suivantes :

- Les modèles de réseaux de neurones comportent des poids issus d'un apprentissage, souvent stockés en mode fichier. Il est important de monitorer les versions de ces poids, ainsi que l'impact sur les performances via des tests fonctionnels.

- À ces modèles sont également rattachés ce que l'on appelle des hyperparamètres définissant par exemple les détails du processus d'apprentissage ("learning rate", etc.). Il est à nouveau crucial de les monitorer car, à architecture de modèle identique, ceux-ci conditionnent les poids appris et donc les performances de ce modèle.
- Leur apprentissage se base sur des données qu'il est nécessaire de répertorier et dont l'évolution éventuelle doit être suivie. En effet, comme les hyperparamètres, celles-ci impactent les performances des modèles mais surtout leur capacité de généralisation, qui idéalement doit aussi être monitorée par des tests spécifiques dans ce processus d'industrialisation de l'IA.

Pour les opérateurs

L'intégration de l'IA pose également la question de l'interaction avec les humains, et notamment avec les opérateurs de guerre électromagnétique.

Pour les tâches proches du signal brut, comme auparavant où l'humain n'intervenait pas, il est tout à fait légitime de continuer à faire de même pour les méthodes à base d'IA.

En revanche, pour des tâches de plus haut niveau, l'IA peut apporter une aide à la décision, une efficacité accrue des opérateurs, et surtout de nouvelles possibilités difficilement envisageables auparavant, comme la détection de cibles inconnues avec la possibilité de les intégrer en boucle courte par l'opérateur pour une meilleure agilité du système global et ainsi fournir un avantage opérationnel.

L'IA peut s'intégrer à différents endroits de la boucle OODA ("Observe / Orient / Decide / Act") en soutien des opérateurs de guerre électromagnétique, dans la durée en opération.

Dans les systèmes de guerre électromagnétique embarqués, on parle de segment bord et de segment sol qui ont des missions et temporalités différentes. L'IA peut ouvrir de nouvelles possibilités dans ce contexte, par exemple en mettant à jour les modèles sur le segment sol entre deux missions grâce aux données récoltées et transférées du segment bord en fin de mission.

¹ <https://developer.nvidia.com/blog/how-seti-uses-ai-to-search-for-intelligent-alien-life/>

Afin de maintenir la confiance dans l'IA qui a été apprise face aux évolutions du contexte d'emploi (comme le montrent les conflits récents avec une accélération notable du tempo d'apparition de nouvelles menaces/cibles, particulièrement dans le domaine de la guerre électromagnétique), les performances des modèles doivent être suivies en opérations, ainsi que la confiance en leurs prédictions.

3.3. L'IA POUR L'AIDE À L'ANALYSE COMINT : DES EXEMPLES PRATIQUES THALES

Com*

L'outil Com* permet d'identifier des signaux de communication dans différentes bandes de fréquences. Il s'agit à la fois d'un algorithme dont le cœur est une intelligence artificielle et d'un logiciel qui offre à l'opérateur plusieurs modes d'interaction.

L'identification repose sur un paradigme d'extraction de signature d'un signal et de comparaison avec un ensemble de signatures connues, enregistrées dans un référentiel technique IA. Une signature peut être définie à partir de paramètres métier ou apprise par le moteur IA. Cette approche dépasse les limitations des méthodes classiques de classification par IA, qui supposent que tous les types d'entités à reconnaître soient connus dès la phase de conception et représentés par de nombreux exemples dans la base de données utilisée pour optimiser le système.

Com* est évolutif : à partir de quelques extraits typiques d'une nouvelle forme d'onde, l'opérateur peut ajouter cette forme d'onde aux capacités d'identification du système. Contrairement aux approches canoniques, cet ajout se fait à partir d'un nombre réduit d'exemples, directement en production et sur des ressources de calcul limitées.

Une autre limitation des approches classiques est qu'une IA tend à fournir un résultat, parfois erroné, avec un niveau de certitude déconcertant. Avec Com*, un signal issu d'une forme d'onde non répertoriée sera catégorisé comme « inconnu ». Quelques formes d'onde proches peuvent être proposées à l'utilisateur, qui décidera ou non d'affecter le signal à l'une d'elles. Dans les deux cas, le signal est placé dans un espace d'analyse avancée où l'opérateur expert peut visualiser les signaux, les enrichir d'informations contextuelles, corriger d'éventuelles erreurs, les

regrouper avec des signaux similaires et finalement les ajouter au référentiel technique.

Sans chercher à s'imposer, le moteur IA accompagne l'opérateur dans son étude métier :

- en isolant automatiquement des signaux d'intérêt dans des signaux large bande,
- en proposant des visualisations et des mesures appropriées,
- en suggérant des similarités entre signaux,
- en mettant en avant des portions de signal plus riches en informations.

Cette approche garantit par construction la non-régression du système au fil de l'étoffement du référentiel d'identification. La logique de comparaison de signatures aboutit aussi à une IA de confiance, nativement sécurisée contre les attaques extérieures.

KIA

Un autre exemple de mise en œuvre d'IA pour le COMINT est KIA, une boîte à outils IA qui aide à l'analyse de grandes bases de données audio. Ces outils IA sont spécifiquement adaptés aux besoins des opérateurs COMINT et optimisés pour des signaux audios issus de capteurs électromagnétiques, ce qui permet de dépasser significativement les performances des briques du monde civil.

KIA fonctionne à deux échelles :

- **À l'échelle de la base de données** : KIA aide l'opérateur à explorer rapidement un grand volume de données en mettant en avant les enregistrements les plus intéressants grâce à la détection d'activité vocale, puis en leur associant des métadonnées (conditions d'enregistrement, langue, thèmes abordés via transcription automatique). KIA propose aussi un regroupement des enregistrements selon divers critères pour croiser des informations entre plusieurs fichiers. Cette indexation préalable permet de prioriser les éléments à analyser et d'orienter les fichiers vers les opérateurs pertinents.
- **À l'échelle du signal spécifique** : KIA se présente comme un lecteur audio amélioré, permettant à l'opérateur de naviguer dans les enregistrements, de détecter les segments d'intérêt, d'améliorer la qualité du signal, d'isoler les voix et les bruits de fond, de retranscrire et de séparer les locuteurs automatiquement, et enfin d'accompagner la production de comptes rendus d'écoute.

L'apport opérationnel principal, validé par les retours d'expérience, n'est pas seulement l'amélioration de la compréhension des communications, mais surtout la réduction significative de la fatigue cognitive des opérateurs. On aurait pu penser que l'avantage premier du débruitage était l'intelligibilité, or un opérateur expérimenté n'est pas spécialement gêné par le manque de clarté du son. L'atout majeur est de fournir une information plus claire, qui augmente l'endurance et l'efficacité sur la durée.

Pour Thales, il ne s'agit pas d'assembler des briques « sur étagère », mais de concevoir une logique de traitements qui accompagne l'opérateur dans son travail, allège la charge cognitive en anticipant les besoins sans jamais chercher à se substituer à l'humain. L'IA n'est qu'une partie du moteur de Com*, orchestrée par des algorithmes efficaces et robustes. L'interaction entre l'humain et la machine est au cœur de la création de valeur.

4. Les conditions du succès

Comme nous venons de le voir, le domaine de la guerre électromagnétique possède de nombreuses spécificités que l'on ne peut pas ignorer si l'on veut bénéficier des gains que l'IA peut apporter.

La connaissance métier est indispensable pour développer des modèles d'IA pertinents, ainsi que des données réelles représentatives pour assurer une performance et une robustesse à ces modèles.

L'intégration de l'IA au sein des solutions de guerre électromagnétique ne pourra passer que par l'adoption de nouvelles architectures, aussi bien au niveau système, logiciel que matériel. Ces changements, parfois radicaux, sont à anticiper au même titre que le développement de nouveaux modèles, sans quoi ces derniers failliront à tenir leurs promesses.

Enfin, c'est pour et par l'utilisateur final, opérateur de guerre électromagnétique, que ces changements s'opéreront : leurs retours pour validation des solutions à base d'IA seront indispensables, en particulier afin d'assurer un certain niveau de confiance envers celles-ci.

Mais c'est surtout par la valeur que les développements IA apporteront au quotidien pour ces opérateurs que son adoption passera.

5. A propos de Thales

Thales est directement impliqué dans les défis et opportunités décrits dans ce document à travers ses activités variées. Depuis plusieurs années, l'intelligence artificielle est intégrée dans l'ensemble de son portefeuille de produits — en particulier dans les systèmes critiques et les solutions de défense déployées ou destinées à être déployées dans de nombreux pays à travers le monde. Cette expérience opérationnelle a permis aux équipes de recherche et d'ingénierie de Thales de développer des composants, des outils et des méthodologies IA adaptés à la fois aux contextes souverains et internationaux.

Certaines de ces innovations ont été mentionnées dans les sections précédentes pour aider l'écosystème à mieux comprendre les complexités de l'IA utilisée pour la guerre électromagnétique et les solutions pratiques qui peuvent être mises en œuvre.

Aujourd'hui, Thales rassemble plus de 800 experts en IA au sein de son organisation interne dédiée, **cortAix**, créée en 2024. Ces experts sont répartis en trois équipes principales :

- Labs : axés sur la recherche fondamentale et le développement de modèles.
- Factory : responsables des chaînes d'outils, de la cybersécurité et des infrastructures critiques.
- Sensors : intégrant l'IA dans les systèmes embarqués et edge.

Ensemble, ces équipes garantissent que les capacités IA sont non seulement à la pointe de la technologie, mais aussi opérationnellement viables, sécurisées et conformes aux exigences de souveraineté. Les équipes cortAix de Thales sont stratégiquement réparties entre la France, le Royaume-Uni, le Canada, Singapour, l'Allemagne et les Émirats arabes unis, reflétant l'empreinte mondiale de l'entreprise et son engagement à soutenir la souveraineté régionale grâce à une expertise locale.

cortAix
Artificial Intelligence by THALES



4, rue de la Verrerie 92190
Meudon FRANCE

Tél. + 33(0)1 57 77 80 00

www.thalesgroup.com

