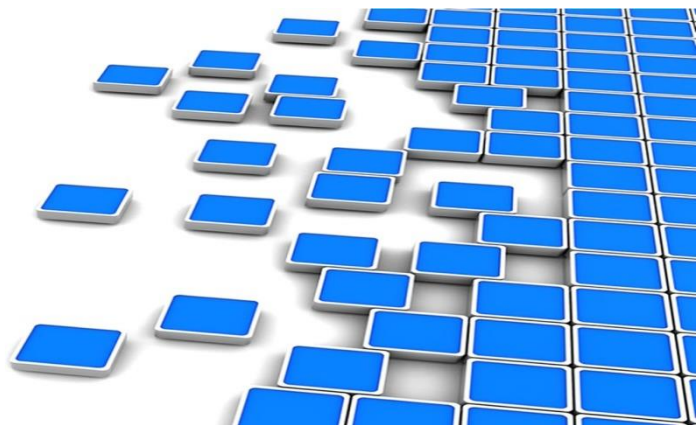




**Conseil national de recherches du Canada (CNRC)**  
Centre de recherche Herzberg en astronomie et en astrophysique

**ÉVALUATION COMMERCIALE DES TECHNOLOGIES DE TRAITEMENT  
NUMÉRIQUE DES SIGNAUX ET DES AMPLIFICATEURS À FAIBLE  
BRUIT DU CNRC**

**Sommaire**



**Préparé pour :**

**Conseil national de recherches du Canada (CNRC)** / gouvernement du Canada  
Centre de recherche Herzberg en astronomie et en astrophysique  
Autorité chargée du contrat technique : Carl Caron  
Bureau du vice-président, Technologies émergentes  
[carl.caron@nrc-cnrc.gc.ca](mailto:carl.caron@nrc-cnrc.gc.ca) ▲ Cell. : 613-863-7556

**Préparé par :**

**Doyletech Corporation**  
Bureau 201, 28, place Thornclyff, Ottawa (Ontario) K2H 6L2  
Gestionnaire de projet : Dennis Senik, directeur de la technologie  
[dennissenik@doyletechcorp.com](mailto:dennissenik@doyletechcorp.com) ▲ Tél. : 613-247-0725  
et Jeffrey Doyle, associé  
[jdoyle@doyletechcorp.com](mailto:jdoyle@doyletechcorp.com) ▲ Tél. : 613-226-8900, poste 12

La validité scientifique ou technique de ce rapport à forfait est entièrement la responsabilité du contractant et son contenu n'a pas nécessairement l'approbation ou l'aval du Conseil national de recherches du Canada (CNRC).

Cette page a été intentionnellement laissée en blanc.

## Sommaire

Le présent rapport fait suite à notre étude de marché de 2014 sur les technologies développées par le Centre de recherche Herzberg en astronomie et en astrophysique, soit : le traitement numérique des signaux (DSP) et les amplificateurs à faible bruit (LNA), deux technologies destinées au plus grand radiotélescope du monde, le Square Kilometre Array (SKA)<sup>1</sup>.

Le DSP et les LNA offrent des solutions à un défi fondamental des technologies de l'information et de la communication : ***comment extraire de manière fidèle des données à partir de signaux extrêmement faibles et dégradés avec énormément d'interférences?***

### Traitement numérique des signaux

Le DSP fonctionne en convertissant des signaux (p. ex. vidéo) en données numériques et en *traitant* pour en extraire l'information. Le DSP comprend les principes mathématiques, les algorithmes et les techniques nécessaires à cette fin, lesquels sont mis en œuvre par des circuits intégrés : les circuits DSP. Le CNRC a développé le matériel (cartes de traitement), les microprogrammes et les logiciels nécessaires à l'utilisation de matrices prédéfinies programmables (FPGA)<sup>2</sup> capables d'accomplir le travail de plusieurs circuits DSP. L'utilisation de ces circuits pourrait constituer une solution adéquate, mais entraînerait des dépassements dans les budgets consacrés au système et à son alimentation. En outre, les volumes de transmission de données dans le monde ne cessent d'augmenter : ils devraient passer de 33 zettaoctets ( $10^{24}$  octets) en 2018 à 175 zettaoctets en 2025. La solution de FPGA TALON-DX du CNRC répond aux exigences considérables du SKA en matière de traitement des données : toutes les 15 secondes, elle traite un flux de données égal à celui de l'Internet mondial. Les besoins concernent plusieurs secteurs, des télécommunications et du secteur industriel (robotique et Internet des objets [IDO]) à l'automobile (conduite autonome), en passant par l'électronique grand public (compression numérique), l'aérospatiale et la défense (radars), le traitement et le stockage de données (centres de données) et d'autres domaines, comme l'imagerie médicale. Au total, ***le marché des circuits DSP nécessaires pour répondre aux besoins s'élève à 13 milliards de dollars US (en 2020). Avec un taux de croissance annuel cumulé de plus de 6 %, il atteindra 18 milliards de dollars US en 2025.*** Cependant, les solutions de FPGA sont de plus en plus utilisées pour des applications encore plus exigeantes : les ventes de FPGAs s'élèvent à 8 milliards de dollars US (en 2020) et augmentent plus rapidement, en affichant un taux de

<sup>1</sup> Dans le cadre de son mandat d'exploiter et d'administrer des observatoires astronomiques construits ou entretenus par le gouvernement du Canada, le CNRC et ses partenaires canadiens participent à la phase de préconstruction du SKA depuis 2012. Il le fait en vue de promouvoir les intérêts scientifiques et industriels du Canada en ce qui concerne la conception de l'observatoire si le Canada décidait de participer à sa construction. Les technologies développées par le CNRC trouvent des applications dans les observatoires radioastronomiques de la prochaine génération et, comme le démontre l'étude, sur le marché commercial.

<sup>2</sup> Les matrices FPGA sont des circuits intégrés constitués d'un réseau de blocs matériels internes entourés d'interconnexions programmables par l'utilisateur, ce qui permet de connecter les blocs logiques configurables entre eux et de créer les circuits numériques nécessaires à une application donnée.

croissance annuel cumulé de plus de 8 %, pour éventuellement atteindre 12 milliards de dollars US en 2025.

Plus important encore : les circuits FPGA peuvent être reprogrammés *après leur fabrication*, contrairement aux circuits DSP qui sont essentiellement conçus pour une seule tâche. La modification de la fonction de ces derniers nécessite un nouveau cycle de conception et de fabrication long et coûteux (le coût d'un seul ensemble de masques pour la fabrication de circuits de moins de 20 nm peut facilement dépasser les 10 millions de dollars US). Les tâches changent sans cesse, et les normes en constante évolution des télécommunications nécessitent de nouveaux DSP. Les FPGA sont plus rapides parce que leur architecture de conception permet un traitement parallèle, alors que les DSP ne peuvent effectuer qu'un traitement séquentiel.

Le Canada dispose d'une excellente capacité de réception de technologies. ***Nous avons recensé plus de trente entreprises canadiennes qui sont en mesure d'exploiter les avancées du CNRC***, et nous en comptons des centaines dans le monde entier. Six grandes entreprises du secteur des semi-conducteurs fabriquent des matrices FPGA et entretiennent des réseaux actifs d'entreprises partenaires — dont plusieurs sont établies au Canada — qui fournissent des ressources de conception et de développement aux utilisateurs finaux afin de répondre aux exigences liées aux différentes applications. Enfin, le niveau de maturité technologique (NMT) du CNRC est assez élevé, soit NMT 6 sur l'échelle de 1 à 9 établie par la NASA. Il s'agit d'un argument convaincant en faveur de la commercialisation.

En tant que vaste marché en pleine expansion et le plus important pour ce qui est des circuits FPGA, les télécommunications (notamment dans le domaine de la technologie 5G) sont une des principales cibles pour la technologie du CNRC. Il s'agit également d'un domaine dans lequel le Canada est présent depuis longtemps et de manière importante. Le secteur industriel est également une cible importante. En effet, il s'agit du deuxième marché en importance, dans lequel les circuits FPGA sont de plus en plus utilisés, notamment pour la robotique et l'IDO. En 2020, la robotique, qui affiche une croissance de 26 %, représentait un marché de 100 milliards de dollars US. Le secteur de l'IDO connaît pour sa part une croissance de 21 %, et on comptait déjà 5,8 milliards d'appareils connectés en 2020.

### **Amplificateurs à faible bruit**

Les amplificateurs à faible bruit (LNA) et les amplificateurs cryogéniques (CLNA) du CNRC corrigent les signaux parasites en augmentant le rapport signal/bruit. Le plus important, c'est qu'ils le font sans ajouter de signaux indésirables issus de leurs propres circuits, ce qui est réalisé en trouvant le bon équilibre entre le choix des composants et la conception des circuits. La température de bruit est une mesure de l'entrée de signal indésirable d'un amplificateur et, depuis 2014, le CNRC l'a réduite de 3 K à moins de 1 K sans augmenter les coûts. Les principaux fournisseurs de services de communication par satellite atteignent des résultats entre 10 K et 30 K<sup>3</sup>. De plus, le CNRC a mis à profit son savoir-faire en matière de CLNA en fournissant des LNA (non cryogéniques) de pointe pour le réseau de radiotélescopes

---

<sup>3</sup> Selon la bande de fréquences.

MeerKAT, un précurseur du SKA. Les LNA et les CLNA desservent à peu près les mêmes marchés que le DSP. Nous avons mené des recherches sur trois domaines d'application établis : *les communications sans fil, les communications par satellite* et la *défense* ainsi que sur trois applications émergentes de la technologie quantique : *l'informatique, la métrologie et la détection et l'imagerie*. ***Ensemble, les besoins mondiaux en matériel des trois domaines établis s'élèvent à 160 milliards de dollars US (en 2018) et atteindront environ 310 milliards de dollars US en 2026, soit un taux de croissance annuel cumulé de plus de 8 %.***

Le marché émergent des technologies quantiques étant moins bien étudié, les estimations de sa valeur varient considérablement et la segmentation du marché est irrégulière. Cependant, toutes les sources font état d'une croissance dans les deux chiffres. Une valeur totale plausible pour les trois domaines d'application des technologies quantiques est d'environ 5 à 6 milliards de dollars US en 2020, et celle-ci devrait passer à environ 20 milliards de dollars US en 2025. L'informatique quantique est le domaine le plus développé. On y trouve des applications commerciales, exploitées par un écosystème en croissance d'entreprises, d'investisseurs et de chercheurs. Dans le monde, nous avons recensé environ 110 entreprises qui développent du matériel d'informatique quantique, dont dix sont canadiennes. La métrologie est un secteur de niche bien établi, mais les utilisations liées à la détection sont encore à leurs débuts. En octobre 2019, le département de la Défense des États-Unis a conclu que, pour l'instant, il devrait développer des applications en matière de détection en raison d'un manque d'intérêt commercial. Le domaine de l'imagerie fait face à une situation similaire. Il est à noter que le Centre de recherche Herzberg en astronomie et en astrophysique a déjà fourni des LNA à l'Institut d'informatique quantique de l'Université de Waterloo.

L'informatique quantique est une réalité et de grandes entreprises, dont Microsoft, Amazon, IBM et Google, sont fortement engagées dans le développement de l'infonuagique quantique. Au moins quatre entreprises canadiennes sont partenaires dans ces efforts et les institutions financières canadiennes s'associent également à des fournisseurs de services quantiques.

Étant donné que les technologies cryogéniques de l'informatique quantique dominent dans les efforts déployés pour conserver l'état de superposition fragile des qubits et effectuer les calculs, les CLNA du CNRC peuvent constituer une partie importante de la solution. Même si d'autres technologies, comme la photonique, devaient être développées pour effectuer des calculs quantiques à température ambiante, le CNRC pourrait encore apporter sa contribution grâce à ses plus récentes réalisations en radioastronomie. Des technologies d'informatique quantique à température ambiante contribueraient à accélérer l'adoption par le marché en permettant d'échapper aux contraintes de la cryogénie.

Les possibilités immédiates résident dans les utilisations déjà établies. Par exemple, l'infrastructure 5G a commencé à être déployée à grande échelle en 2019. ***Il est prouvé que les CLNA permettent d'étendre la couverture des stations de base***, ce qui réduit le nombre de stations nécessaires tout en augmentant considérablement la capacité de liaison. Dans le domaine des communications par satellite, des résultats similaires ont été obtenus : les coûts de construction des antennes ont diminué de moitié.

Le radar passif est un exemple d'une des principales applications dans le domaine de la défense. Les systèmes de radar militaire représentent un marché de 14 milliards de dollars US (en 2018) qui devrait passer à 20 milliards de dollars US (en 2026). Détecter et suivre des cibles en captant des signaux réfléchis extrêmement faibles qui proviennent de rayonnements électroniques ambiants nécessitent un LNA puissant, de même qu'une matrice FPGA rapide pour interpréter les signaux. Tout comme la technologie de FPGA du CNRC, les technologies de LNA et de CLNA obtiennent des résultats positifs. Les technologies sont déjà employées dans le réseau de radiotélescopes MeerKAT.

L'une des principales cibles pour la technologie du CNRC pourrait être le domaine des télécommunications. Une fois de plus, en ce qui concerne la technologie 5G, les coûts d'immobilisations des nouvelles infrastructures pourraient être grandement réduits en étendant la zone couverture afin de diminuer le nombre de stations de base. De plus, comme c'est le cas avec les radiotélescopes, les technologies de DSP, de CLNA et de LNA peuvent être complémentaires. Le deuxième marché principal est celui de l'informatique quantique. Il s'agit d'un domaine révolutionnaire dans lequel le Canada détient une forte présence et a la possibilité de participer à ce qui, selon tous les observateurs, pourrait être une croissance dans les deux chiffres.

### **Conclusions et recommandations**

Les conclusions de l'étude indiquent qu'il y a un fort potentiel commercial en ce qui concerne les technologies en question, ce qui pourrait créer des avantages sociaux et économiques pour le Canada. Maintenant que nous avons cerné les principaux marchés pour les technologies, il est recommandé d'en faire la promotion de manière proactive auprès des bénéficiaires potentiels de l'industrie en utilisant le dossier des possibilités d'affaires créé par Doyletech. Le dossier met en lumière les principales caractéristiques et les avantages des technologies dans des termes que les gens d'affaires comprennent. La prochaine étape consisterait à cerner les principaux décideurs des entreprises qui gagneraient à adopter ou à adapter les technologies du CNRC dans leurs gammes de produits et à entrer en contact avec eux. Le dossier leur serait envoyé afin d'établir un dialogue sur les options possibles pour réaliser un transfert de technologie. Ce genre d'approche a été utilisé avec succès par Doyletech pour aider d'autres clients à atteindre leurs objectifs de commercialisation.