

Projet de doctorat : Exploration de l'espace de conception pour des solutions de correction d'erreurs

Informations générales

- Domaine de recherche :** Codes correcteurs d'erreurs, exploration de l'espace de conception, conception de compilateurs, et architectures matérielles
- Directeur/directrice :** Prof. Pascal Giard <pascal.giard@etsmtl.ca>
- Établissement :** École de technologie supérieure, Montréal, Québec, Canada
- Date de début :** Automne 2026 ou dès que possible

Contexte

Les codes correcteurs d'erreurs sont essentiels aux systèmes modernes de communication et de stockage, permettant la détection et la correction de la corruption de données. Il existe de nombreuses familles de codes correcteurs d'erreurs (p. ex. Hamming, Reed-Solomon, Turbo, LDPC, polaires), chacune offrant des avantages distincts. Chaque famille de codes peut admettre plusieurs algorithmes de décodage, lesquels peuvent à leur tour être mis en œuvre avec différentes architectures matérielles, ordonnancements, schémas de quantification et nœuds technologiques. Il en résulte un immense espace de conception dans lequel trouver la solution qui répond le mieux aux exigences de l'application constitue une tâche complexe et exigeante.

L'exploration de l'espace de conception (DSE) offre une approche systématique pour naviguer dans cette complexité en évaluant et en optimisant divers algorithmes de décodage et configurations matérielles. Cependant, l'automatisation du DSE spécifiquement pour la correction d'erreurs, où les meilleurs candidats sont identifiés en évaluant des indicateurs clé de performance (KPIs) à travers plusieurs niveaux d'abstraction, demeure un défi ouvert.

Ce projet s'inscrit dans un programme de recherche Découverte du CRSNG dont l'objectif à long terme est de créer un écosystème ouvert pour l'exploration de l'espace de conception de solutions de correction d'erreurs, permettant le choix éclairé d'un code ainsi que de l'algorithme de décodage et de l'architecture matérielle, jusqu'à l'autogénération des circuits associés. De plus, ce programme implique des collaborations avec le prof. François Leduc-Primeau (Polytechnique Montréal), le prof. Camille Leroux (Bordeaux INP, France) et le prof. Stefan Weithoffer (IMT Atlantique, France). Selon l'orientation de la recherche et les intérêts de l'étudiant-e, des possibilités de codirection, de collaboration étroite ou de séjours de recherche à l'international peuvent être offertes.

Objectifs du projet

L'objectif principal de ce projet est d'étudier, de concevoir et de développer les fondations de l'exploration de l'espace de conception adaptée à la correction d'erreurs. Plus spécifiquement, le projet vise à :

- Mener une analyse approfondie des techniques de correction d'erreurs, en identifiant les KPIs pour diverses applications, familles de codes, algorithmes de décodage et implémentations matérielles.
- Concevoir et développer un cadriciel modulaire de DSE spécifique à la correction d'erreurs, séparant les composants tels que les codes et leurs contraintes de conception, le compilateur et l'estimation des KPIs, les outils de visualisation et les algorithmes d'optimisation.
- Rechercher la création de représentations intermédiaires (IRs) spécifiques au domaine, capables de capturer l'espace de conception, y compris dépendances de données, allocation de ressources et informations d'ordonnancement.
- Concevoir un compilateur qui traduit les entrées de l'utilisateur (p. ex. famille de codes, paramètres du code, algorithmes de décodage) en modèles représentés dans ces IRs, avec prise en charge de plusieurs familles de codes.
- Intégrer des mécanismes de gestion des contraintes permettant aux utilisateurs de spécifier des contraintes strictes et souples, d'explorer les compromis et de mener une optimisation multi-objectifs.

Contributions attendues

En plus de la thèse de doctorat, le projet devrait donner lieu à de multiples contributions significatives diffusées dans des publications évaluées par les pairs. De plus, voici des exemples de contributions techniques potentielles liées à ce projet :

- Un cadriciel de DSE modulaire et ouvert pour des solutions de correction d'erreurs couvrant plusieurs familles de codes.
- Des IRs spécifiques au domaine et un compilateur pour les espaces de conception en correction d'erreurs.
- Des modèles d'estimation de KPIs validés avec des bancs d'essai réels et, lorsque possible, des mesures réelles.

- Des aides à la visualisation pour faciliter l’interprétation des données de KPIs et l’exploration des compromis.

Profil recherché

- Étudiant·e en génie électrique, génie informatique, ou dans un domaine étroitement lié.
- Solide formation en codes correcteurs d’erreurs (p. ex. LDPC, polaires, Turbo) ou en communications numériques.
- Excellentes compétences en programmation.
- Intérêt pour la conception de compilateurs, le développement d’algorithmes, et les techniques d’optimisation.
- Un intérêt pour la conception et l’implémentation matérielle est souhaitable.

Les compétences suivantes sont considérées comme des atouts :

- Expérience avec des outils ou cadres de DSE.
- Expérience avec des langages de description matérielle, p. ex. VHDL ou Verilog.
- Familiarité avec les méthodes d’optimisation multi-objectifs.
- Expérience antérieure avec des outils tels qu’AFF3CT ou des plateformes similaires de simulation de correction d’erreurs.

Encadrement

La supervision sera assurée par le professeur Pascal Giard. M. Giard est professeur au Département de génie électrique de l’ÉTS. Ses recherches portent sur l’implémentation efficace de systèmes numériques, de la conception d’algorithmes à la réalisation logicielle et matérielle. Il possède une vaste expérience en codage (codes correcteurs d’erreurs), en conception d’architectures matérielles, et en développement d’outils d’exploration de l’espace de conception.

La personne sélectionnée se joindra à une équipe d’étudiants-chercheurs aux cycles supérieurs travaillant sur des sujets étroitement liés.



Pascal Giard

Financement et durée

Le projet est financé pour une durée de quatre ans et comprend un soutien financier pour la bourse de l’étudiant·e ainsi que pour les dépenses liées à la recherche, y compris les déplacements vers des conférences internationales.

Lieu

L’ÉTS est située à Montréal, Québec, Canada. Souvent décrite comme un mélange attrayant de culture nord-américaine et européenne, Montréal est une ville sûre, multiculturelle, où il fait bon vivre et où le coût de la vie est abordable. C’est la ville la plus bilingue et trilingue d’Amérique du Nord. Plus de 50% des Montréalais parlent couramment l’anglais et le français, et plus de 20% d’entre eux parlent trois langues ou plus.

Depuis 2016, Montréal s’est constamment classée comme la meilleure ville étudiante d’Amérique du Nord selon Quacquerilli Symonds. Montréal est également reconnue pour sa qualité de vie. Proche à la fois d’une beauté rurale paisible et de pistes de ski passionnantes, cette ville dynamique offre des quartiers animés et de nombreux espaces verts. Situé au cœur de la ville, le campus de l’ÉTS est facilement accessible à vélo ou en transport en commun. Près de 1 100 étudiant·e·s vivent dans les résidences universitaires de l’école. Ces studios et appartements comprennent l’ameublement, le chauffage, l’électricité et l’accès illimité à Internet.

Depuis sa création, l’ÉTS poursuit une mission qui est profondément ancrée dans toutes ses activités : Répondre aux besoins du secteur industriel, qui a besoin d’ingénieures et ingénieurs possédant non seulement une bonne formation théorique, mais aussi des connaissances pratiques. Pour remplir cette mission, l’ÉTS entretient un partenariat unique avec le monde des affaires et de l’industrie, tant avec les petites que les grandes entreprises. Elle se distingue des autres universités québécoises par la formation appliquée qu’elle offre aux étudiantes et étudiants, ainsi que par ses activités de recherche menées par et pour les entreprises.

Intéressé·e ?

Les personnes intéressées sont invitées à soumettre leur CV, leurs relevés de notes, les coordonnées de références appropriées, ainsi qu’une brève lettre de motivation (une page maximum) décrivant en quoi leur parcours est pertinent pour ce projet.

Contact : Prof. Pascal Giard <pascal.giard@etsmtl.ca>

Date de début : Automne 2026 ou dès que possible