



**DOSSIER DE CANDIDATURE  
POUR THESE EN COTUTELLE  
POUR LA RENTREE 2022  
FINANCEMENT: BOURSE**

Dossier complété et revêtu des signatures à transmettre impérativement pour le:

**09 mai 2022 12h00 au plus tard.**

A la Direction de la Recherche et Valorisation

[secretariat.recherche@univ-littoral.fr](mailto:secretariat.recherche@univ-littoral.fr)

**Titre de la thèse :** Conception automatique d'heuristiques constructives pour une large classe de problèmes de tournées de véhicules

**Laboratoire d'accueil ULCO :** LISIC

**Directeur de thèse ULCO :** Cyril Fonlupt

**Si nouveau partenariat (absent ci-dessous) merci de nous indiquer l'université d'origine, le directeur de thèse, le laboratoire, ainsi que les conditions de financement du doctorant dans le pays d'origine**

**☐ LIBAN - Université Libanaise (2 financements)**

Pour ce dispositif, merci d'indiquer en plus :

- le nom du codirecteur étranger et le laboratoire partenaire

- Thématique :

- (1) La qualité de l'air
- (2) Le milieu aquatique
- (3) L'obésité, la nutrition et les activités sportives,
- (4) Les énergies propres et renouvelables
- (5) La gestion et le traitement des déchets
- (6) L'urbanisme

**☐ LIBAN - CNRS Libanais (4 financements)**

Pour ce dispositif, merci d'indiquer en plus :

- le nom du codirecteur étranger et le laboratoire partenaire

- Thématique :

- (1) La qualité de l'air
- (2) Le milieu aquatique
- (3) L'obésité, la nutrition et les activités sportives
- (4) Les énergies propres et renouvelables
- (5) La gestion et le traitement des déchets
- (6) L'urbanisme



### **\* LABORATOIRE D'ACCUEIL**

Nom du laboratoire d'accueil : LISIC

Nombre de HDR dans le laboratoire :

Nombre de thèses encadrées dans le laboratoire (rentrée 2020) :

Cotutelles en cours au sein du laboratoire :

Durée moyenne des thèses soutenues dans le laboratoire, sur la période 2015-2020 :

### **ENCADREMENT**

Nom, Prénom du directeur de laboratoire : VEREL Sébastien

Nom, Prénom du directeur de thèse (si différent du directeur de laboratoire) : FONLUPT Cyril

Nom, Prénom du co-encadrant : GUIBADJ Rym

Nombre de doctorats en préparation sous la direction du directeur de thèse :

Avis détaillé du directeur de thèse :

Le sujet de thèse s'inscrit pleinement dans les thématiques de notre équipe de recherche, en particulier il se situe à la confluence des problématiques d'optimisation avec la programmation génétique, l'apprentissage automatique et la conception automatique d'heuristiques, thématiques communes au sein du laboratoire d'informatique.

La diversité des problèmes d'optimisation rencontrés dans le secteur de transport s'élargit et nécessite de développer de plus en plus rapidement des méthodes d'optimisation dédiées. Cependant, les outils de résolution existants ne sont pas adaptés à ces changements d'échelle en particulier dans un contexte dynamique où les décisions doivent être prises en temps réel. Nous proposons dans le cadre de ce travail de thèse d'automatiser la conception d'heuristiques à l'aide de la programmation génétique pour résoudre une large classe de problèmes de tournées de véhicules.

Signature du directeur de thèse

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'C. Fonlupt', is written on a light blue horizontal line.



Avis détaillé du directeur de laboratoire :

Le développement des activités du laboratoire dans le domaine de la résolution automatique de problèmes correspond à une priorité de notre unité de recherche dans le domaine de l'intelligence artificielle. Cette thèse s'inscrit dans les travaux de l'équipe OSMOSE qui concerne la résolution de problème de logistique de type tournées de véhicules et de l'apprentissage à l'aide d'algorithmes bio-inspirés de type Programmation Génétique qui est l'une des spécialités de l'équipe Osmose. Ce projet de thèse viendrait parfaitement renforcer la partie Optimisation/Apprentissage du laboratoire.

L'application cible sur la logistique urbaine ayant un impact important sur la qualité de l'air est aussi un développement important du laboratoire et fait suite à plusieurs projets dans le domaine. Pour toutes ces raisons, j'émetts un avis favorable à son financement.

Signature du directeur de laboratoire

#### **PROJET DE THÈSE**

**Intitulé du projet de thèse :** Conception automatique d'heuristiques constructives pour une large classe de problèmes de tournées de véhicules

**Domaine scientifique :**

Informatique

**Résumé (1/2 page maxi.) :**

Le secteur des transports contribue de manière non négligeable à la pollution atmosphérique dans les territoires densément peuplé. La circulation routière liée au transport de marchandises génère des émissions importantes, en particulier autour des grands centres d'activité logistique. Dans ce contexte, la mise en place d'une politique de transport optimale devient urgente et nécessaire. De nombreux problèmes de tournées de véhicules ont été identifiés et intensément étudiés ces dernières décennies. De nombreuses heuristiques ont été proposées pour résoudre de multiples variantes de problèmes tournées de véhicules. Ces heuristiques s'appuient généralement sur l'utilisation de critère d'insertions (politiques de construction) spécifique au problème rencontré. Toutefois, la conception d'une heuristique adaptée à une nouvelle variante émergente dans les chaînes logistiques est un problème difficile d'un point de vue fondamental et pratique. Une hyper heuristique est une méthode de recherche dont le but est d'automatiser le processus de sélection, de combinaison et de génération des heuristiques plus simples pour résoudre de manière efficace un problème. La programmation génétique, algorithme évolutionnaire dédié à la génération automatique de programmes, s'est avérée une piste prometteuse pour la génération d'hyper-heuristiques. Dans le cadre de cette thèse, nous nous proposons



d'utiliser la programmation génétique pour la génération et la combinaison automatique de différentes heuristiques constructives afin de résoudre efficacement de multiples problèmes de tournées de véhicules avec différentes contraintes et différents objectifs.

Projet de thèse (5 pages maxi.) :

▯ ***Le sujet de recherche choisi et son contexte scientifique***

Nous sommes actuellement dans une conjoncture où le transport routier se trouve de plus en plus mis à mal. En effet, les récents débats sur la politique à mener pour améliorer notre impact sur l'écologie ainsi que les nombreuses augmentations du prix du pétrole laissent à penser qu'il est nécessaire d'optimiser au maximum les différents déplacements de nos véhicules. Les recherches sur l'optimisation de la logistique, et plus particulièrement les recherches sur la construction des tournées de véhicules, vont dans le sens de ces besoins industriels et humains. Les constructions de tournées sont utilisées tant pour le transport de marchandises, de déchets, de courriers que pour le transport de personnes [Toth and Vigo 2002].

Les réseaux logistiques se distinguent par la particularité de leurs caractéristiques telles que la présence d'une flotte de véhicules pour satisfaire les demandes dont la capacité est homogène ou hétérogène, la présence de dépôts intermédiaires, la présence de contraintes d'accessibilité sur les différents sites à visiter, la nécessité de couvrir le réseau via les arcs ou les sommets. D'autres se distinguent par les caractéristiques des demandes telles que une demande de collecte ou livraison, une demande pouvant être livrée par plusieurs véhicules (cas des demandes pouvant être divisées), la présence de fenêtres de visite au sein desquelles les demandes doivent être effectuées. Les constructions de tournées peuvent avoir plusieurs objectifs. Nous pouvons notamment citer la minimisation des coûts, la minimisation du nombre de véhicules utilisés ou encore la maximisation du gain lorsque les contraintes de ressources ne permettent pas de couvrir toutes les demandes. L'optimisation des tournées permet non seulement de réaliser des accroissements de productivité (réduction des coûts) mais aussi contribue à la réduction des nuisances sonores, la congestion et les émissions de gaz à effets de serre.

Les problèmes de tournées de véhicules sont très étudiés dans la littérature. De nombreux travaux traitent ces problèmes dans leur forme classique, mais dans beaucoup de cas ces problèmes sont particulièrement contraints [Vidal et al 2013]. Nous pouvons citer de façon non exhaustive les différents cas suivants déjà étudiés au sein de l'équipe OSMOSE : présence de fenêtres de visite avec sélection des clients [Amarouche et al 2020], présence



de dépôts intermédiaires [El-Hajj et al 2020], présence de différents types d'actions (collectes et livraisons) [Ben-Said, et al 2022], etc.

De nombreux problèmes de tournées de véhicule attirent l'attention des chercheurs en raison de leur large applicabilité en milieu industriel et leurs difficultés inhérente en tant que problèmes d'optimisation combinatoires NP-complet. Ajouter une dimension dynamique à ces problèmes signifie que l'ensemble des données d'entrée est amené à évoluer lors de l'exécution du plan. Le principal degré de dynamisme pouvant être intégré au problème est le taux de requêtes/clients inconnus en début de planification. L'ensemble des nœuds n'est donc pas connu dans son intégralité avant le début de la tournée de chaque véhicule. Dans un cadre dynamique, il est difficile de définir l'optimalité d'une solution. En effet, le plan construit de façon incrémentale avec des requêtes découvertes pendant l'exécution a de fortes chances d'être sous optimal par rapport à celui qui aurait été élaboré en ayant connaissance de toutes les requêtes dès le départ [Rios et al 2021].

Pour résoudre un problème de tournée dynamique, une réaction rapide aux exigences changeantes sont nécessaires. Par conséquent, les méta heuristiques qui peuvent obtenir des solutions de bonne qualité ne sont pas applicables car elles sont coûteuses en terme de temps de calcul et ne peuvent pas en conséquence réagir assez rapidement aux changements dynamiques. Ainsi, des heuristiques constructives qui peuvent fournir des solutions acceptables mais pas nécessairement optimales en un temps de calcul court ont été adoptées pour résoudre les problèmes de tournées dynamiques. Une heuristique constructive commence par une solution vide et étend à plusieurs reprises la solution courante jusqu'à ce qu'une solution complète soit obtenue. L'heuristique constructive est particulièrement simple, est largement utilisée en raison de sa facilité de mise en œuvre et de sa faible complexité temporelle.

Une heuristique constructive se base sur un critère d'insertion pour déterminer la requête suivante à servir ayant la priorité la plus élevée parmi les requêtes en attente à traiter. Le critère d'insertion se compose généralement des informations d'attribut des nœuds à visiter et des véhicules. Les chercheurs dans le domaine ont proposé différents types de critère d'insertion pour résoudre plusieurs variantes de problème de tournées de grande taille. Bien que populaires, les critères d'insertion ont un inconvénient : aucun critère ne surpasse tous les autres dans toutes les configurations d'instances, conditions de fonctionnement et fonctions objectives. Ainsi, de nombreux chercheurs se sont concentrés sur la conception de règles pour des fonctions objectif spécifiques en combinant les règles existantes. Les règles conçues manuellement fonctionnent généralement bien dans l'environnement de planification spécifié, car elles prennent en compte davantage d'informations sur les attributs spécifiques du problème. Cependant, développer les règles d'insertion de cette manière nécessite beaucoup d'expertise.



Ce processus peut être automatisé par des approches hyper-heuristiques telle que la Programmation Génétique (PG), pour rechercher dans l'espace des heuristiques afin de générer la méthode la plus spécifique à un problème. Cette thèse a comme objectif d'étudier l'approche hyper-heuristique basée sur la programmation génétique pour la conception automatisée d'heuristiques constructives pour différentes variantes de tournées de véhicules dans un contexte classique et dynamique.

### ▮ ***L'état du sujet dans le laboratoire et l'équipe d'accueil***

La programmation génétique est l'un des domaines de recherche fondatrice de l'équipe OSMOSE depuis sa création. L'équipe OSMOSE a montré son savoir-faire dans ce domaine en travaillant sur la PG à la fois sur l'aspect théorique mais également sur l'aspect applicatif. L'aspect théorique en proposant des techniques d'accélération de la convergence de la PG (Tyghzert et al. (2018)) et les aspects applicatifs en créant des applications pour réaliser l'analyse de la couleur de l'eau (Fonlupt (2001)), ou encore utiliser la PG afin de créer des IA pour des jeux de société complexe (Mazyad et al (2015)).

Par ailleurs, des travaux récents ont été menés dans l'équipe autour de différents problèmes d'optimisation identifiés en logistique. Ces travaux ont traité des problèmes de tournées sélectifs multi-périodes [El-Hajj et al 2020], avec contraintes temporelles [Amarouche et al 2020] et également bi-objectif [Ben-Said et al 2022].

Cette thèse sera l'occasion d'investiguer l'apport de la PG dans la résolution automatique des problèmes de planification rencontrés dans le monde industriel. Cette thèse s'inscrit parfaitement dans les perspectives de l'équipe OSMOSE et du laboratoire LISIC qui encouragent l'utilisation conjointe de l'apprentissage automatique et de l'optimisation combinatoire pour concevoir des méthodes de résolution efficaces.

### ▮ ***Le programme et l'échéancier de travail***

#### **Etape 1 :**

- Étude bibliographique concernant les heuristiques constructives et adaptatives appliquées aux problèmes de tournées.
- Étude bibliographique concernant la programmation génétique et les dernières stratégies d'amélioration de la PG.

#### **Etape 2 :**

- Définir un cadre d'étude et d'expérimentation pour la conception d'heuristiques, par exemple la classe de problème de tournées profitables.
- Sélection d'attributs spécifiques à cette classe de problème pour la PG : attributs liés aux sites à visiter, attributs liés aux véhicules utilisés, attributs globaux du problème.
- Définir une grammaire possible pour une heuristique adaptative pour résoudre les problèmes précédents. En particulier les opérateurs possibles qui pourront être



utilisé dans une hyper-heuristique de type ALNS (Adaptative Large Neighborhood Search).

- Publications et communication.

### **Etape 3 :**

- Concevoir un algorithme de programmation génétique pour la conception d'heuristiques d'insertion dans le contexte dynamique.
- Adapter les techniques d'apprentissage automatique au contexte de la programmation génétique pour la création et la sélection d'heuristiques.
- Publications

### **Etape 4 :**

- Rédaction de la thèse et soutenance.

## ▮ **Les collaborations prévues**

### **Collaboration académique :**

**Laboratoire Heudiasyc de l'Université de Technologie de Compiègne (UTC) :** de nombreux travaux ont été déjà réalisés en collaboration avec Aziz Moukrim dans le cadre de la modélisation et la résolution de différents problèmes logistique.

### **Collaboration industrielle :**

**Le groupe Mobivia à Lille :** Un projet de thèse Cifre a été récemment accepté par l'ANRT sur l'étude de collaboration entre transporteurs dans un contexte multi objectif et dynamique (début septembre 2022).

### **Publications portant sur le sujet (les noms des encadrants de la thèse sont mis en gras) :**

[Toth and Vigo 2002] P. Toth & D. Vigo, The Vehicle Routing Problem, 2002,

[Vidal et al 2013] T. Vidal, T. G. Crainic, M. Gendreau, C. Prins, Heuristics for multi-attribute vehicle routing problems: A survey and synthesis, European Journal of Operational Research, Volume 231, Issue 1, 2013, Pages 1-21, ISSN 0377-2217,

[Rios et al 2021] Brenner Humberto Ojeda Rios, Eduardo C. Xavier, Flávio K. Miyazawa, Pedro Amorim, Eduardo Curcio, Maria João Santos, Recent dynamic vehicle routing problems: A survey, Computers & Industrial Engineering, Volume 160, 2021.

[Fonlupt 2001] C. **Fonlupt**, « Solving the ocean color problem using a genetic programming approach », Applied Soft Computing , Vol. 6, pages 1-10, 2001



[Mazyad et al 2015] A. Mazyad, F. Teytaud, C. **Fonlupt**. « Monte-Carlo Tree Search for the “Mr Jack” Board Game », in International Journal on Soft Computing, Artificial Intelligence and Applications (IJSCAI), 2015.

[Tyghzert et al 2018] L. Tighzert, C. **Fonlupt**, B. Mendil, « A set of new compact firefly algorithms », Swarm and Evolutionary Computation, Volume 40, June 2018, Pages 92-115

[Amarouche et al 2020] Y. Amarouche, R. N. **Guibadj**, E. Chaalal, A. Moukrim. Effective neighborhood search with optimal splitting and adaptive memory for the team orienteering problem with time windows. Computers & Operations Research, 2020, 123, pp.105039. (10.1016/j.cor.2020.105039). (hal-02890475)

[El-Hajj et al 2020] R. El-Hajj, R. N. **Guibadj**, A. Moukrim, M. Serairi. A PSO based algorithm with an efficient optimal split procedure for the multiperiod vehicle routing problem with profit. Annals of Operations Research, Springer Verlag, 2020, 291 (291), pp.281-316.([hal-02495002](#))

[Ben-Said, et al 2022] A. Ben-Said, A. Moukrim, R. **Guibadj**, Jérôme Verny. Using decomposition-based multi-objective algorithm to solve Selective Pickup and Delivery Problems with Time Windows. Computers & Operations Research, 2022, accepted, to appear.