

# Amélioration d'une optimisation dans le cadre de tournées de facteurs

Paul-Antoine Filippi

Pôle Prospective et Solutions Logistiques  
Direction Technique du Courrier  
10, rue de l'île Mabon  
BP 86334  
44263 Nantes – France  
pa.filippi@hotmail.com



**Résumé** Ce sujet proposé par la DTC, Direction Technique du Courrier, le centre de recherche du groupe La Poste, est l'étude et l'analyse d'un algorithme de résolution d'un VRP sur un grand nombre instances. En effet, le comportement et le résultat de cette méthode ne sont pas satisfaisant, et il sera étudié comment y remédier. Une présentation de La Poste et de ces outils, ainsi que les développements futurs de ce projet feront également parti de ce rapport.

## Remerciements :

Je tiens, tout d'abord, à remercier l'ensemble du personnel du Service de Recherche Technique de La Poste pour son accueil au sein de l'entreprise.

Je souhaite également remercier les personnes du Pôle Prospective et Solution Logistique au sein duquel mon stage s'est déroulé dans les meilleures conditions, et tout particulièrement Bernard Lemarié, directeur du Pôle Prospective et Solution Logistique, Delphine Daniel, responsable de mon stage, pour leur collaboration et leur aide tout au long de l'étude.

Enfin, merci aux enseignants du Master ORO, à Nantes, pour leur enseignements au cours de ces deux années de master.

# 1 L'entreprise

## 1.1 Le groupe La Poste

### *Spécificité*

Jusqu'en 1990, le service postal et le service de télécommunications étaient assurés par le Ministère des PTT. La loi n°90-568 du 2 juillet 1990 relative à l'organisation du service public de La Poste et des télécommunications a abouti à la création de deux groupes : le groupe La Poste qui gère le service courrier et le groupe France Télécom assurant le service des télécommunications. Le groupe La Poste a le statut d'établissement autonome de droit public.

L'Etat exerce une mission de contrôle économique et financier par l'intermédiaire du ministre chargé de l'Economie et des Finances et du ministre chargé du Budget.

### *Activité*



**Figure 1.** Chiffre d'affaires du groupe

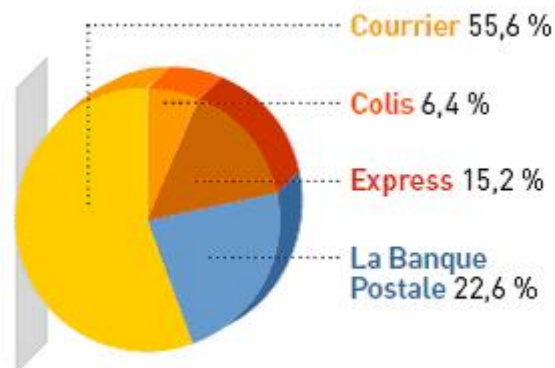
L'année 2007 s'est inscrite comme les 5 précédentes dans une progression constante du Groupe. Le chiffre d'affaires conforte sa position au-delà de la barrière des 20 milliards d'euros qui avait été dépassée en 2006. Les activités du Groupe La Poste concernent les quatre secteurs que sont le courrier, l'express et les colis, et les services financiers (Banque).

Le métier courrier représente 56% des activités du groupe. Avec 28,4 milliards de plis distribués chaque année par 100 000 facteurs, le groupe est le deuxième opérateur courrier européen par le chiffre d'affaire, et le 4ème groupe français par ses effectifs. La Poste s'ouvre aussi aux nouvelles technologies en étant un des premiers fournisseurs d'adresse Internet (plus d'un million de clients). Le chiffre d'affaire du métier courrier s'élevait à 11,5 milliards d'euros en 2007.

Les métiers colis et express représentent plus de 21% de l'activité du groupe. La Poste y opère via deux structures. Un opérateur interne, Coliposte, qui intervient sur les marchés de la vente à distance et celui des particuliers via le réseau

postal. Un holding, GeoPost, regroupe les filiales du groupe dans les domaines du colis et de la logistique en France et à l'international. Il s'agit de 645 millions de colis transportés par ans, 60 hubs et centres de transit et une présence dans 23 pays.

Le métier des services financiers gère 45 millions de comptes pour 29 millions de clients. Ils opèrent essentiellement dans quatre activités : l'argent au quotidien, l'épargne, le crédit immobilier et la prévoyance. En forte croissance, il représente 23% de l'activité du Groupe avec un chiffre d'affaire de 4,7 milliards d'euros en 2007.



**Figure 2.** Répartition du chiffre d'affaires par secteur d'activité

Depuis quelques années, la Poste a travaillé à rejoindre les meilleurs standards européens, en considération de l'ouverture du courrier à la concurrence au niveau européen.

Les défis qu'elle s'était fixé de relever, et qui l'on été portaient sur :

- la qualité : 90% de J+1 pour la lettre. C'est à dire une livraison de la lettre le lendemain qu'elle est été postée
- le respect des engagements de délais pour les produits industriels
- la réduction des coûts de traitement dans un environnement totalement compétitif

## 1.2 La Direction technique du Courrier (DTC)

La Direction Technique du Courrier de La Poste est le centre technologique et scientifique de La Poste. Elle apporte l'innovation technologique tant dans le cadre de la modernisation et de l'automatisation de l'outil de production du

courrier que dans l'évolution de l'offre de service de La Poste. Elle agit au coeur des objectifs stratégiques de La Poste en étant un acteur essentiel dans la plupart des grands projets techniques du courrier. Elle met son expertise au service de La Poste et de ses filiales, en partenariat avec de grands groupes industriels, les centres d'études et laboratoires, les grandes écoles et universités, et les institutions. Elle représente La Poste au niveau international dans le cadre de groupes de travail sur la normalisation postale.

La DTC assure principalement deux missions :

- Assister le client interne (la Direction du Courrier) dans la réalisation de ses projets.
- Assurer la Maîtrise d'oeuvre de l'outil industriel et des solutions clients.

Afin de réaliser ses missions, la DTC a développé un certain nombre de fonctions :

#### *Le conseil et l'audit*

La DTC agit en tant que conseil sur les outils existants sur le marché. La DTC garantit ainsi la qualité des équipements de La Poste par des tests, des évaluations, des audits de produits et de systèmes qualité des entreprises.

#### *La veille technologique et les études avancées*

La DTC est à la recherche constante d'informations sur les nouvelles technologies pour les adapter au monde postal. Grâce à ses compétences, elle permet à l'entreprise d'effectuer les choix technologiques les plus pertinents. Elle assure en amont une veille permanente sur l'offre technologique et logistique. La DTC maîtrise des technologies dans des domaines très pointus.

#### *La protection industrielle*

La valorisation de la recherche passe par la gestion de brevets. La DTC gère aujourd'hui un peu plus de cent brevets et une cinquantaine de logiciels déposés.

#### *La démarche qualité*

La DTC assure l'assistance et le conseil aux établissements de La Poste dans leur démarche de certification aux normes ISO 9000. Elle s'est engagée, il y a un peu plus de dix ans, dans une démarche qualité avec les fournisseurs de La Poste.

#### *L'ergonomie*

Les ergonomes de la DTC interviennent dans les projets de conception des équipements et des logiciels. Leurs interventions permettent d'assurer les choix les plus adaptés du point de vue des conditions de travail et des impératifs d'ex-

ploitation.

### *La modélisation et l'optimisation*

La DTC est un pôle de compétences en matière de mathématiques appliquées à l'organisation postale. Ce savoir-faire lui permet d'assister les responsables de projets dans la résolution des problèmes liés au pilotage de l'organisation postale et aux systèmes d'information. Le champ d'application est vaste : allocation de ressources, organisation de dessertes, ordonnancement des tâches etc.

### **Matériels et logiciels**

Pour accomplir ces fonctions, la DTC met à disposition de ses employés les moyens informatiques nécessaires. En effet, la structure dispose de 350 postes informatisés ayant accès à Internet, un système de messagerie et une police de sécurité spécifique à l'entreprise. De plus, la DTC possède des licences de logiciels, notamment l'environnement de développement Visual Studio ou le logiciel de cartographie ESRI.

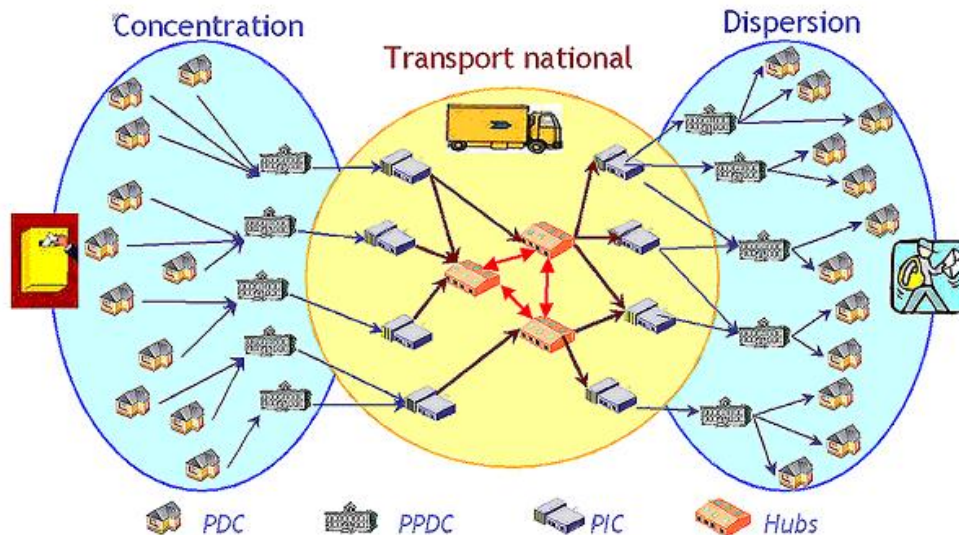
De plus, la Poste s'équipe régulièrement de matériels toujours plus performants et mieux adaptés, comme par exemple les machines de tri. Il existe différents types de machines selon les types de traitement possibles des plis : tri, lecture automatique de l'adresse, mécanisation, redressage, etc...

- Prépa+ : Dimension : 6m\*18m, 16 tasseurs dont 4 de rejets, débit opérationnel (théorique) : 30 000 o/h
- MTT : Dimension : 37m\*8m, jusqu'à 256 tasseurs, débit opérationnel (théorique) : 40 000 o/h
- etc...

Mais elle dispose également de moyens sophistiqués de reconnaissance d'adresse par lecture automatique à haute vitesse, ou même d'aiguillage de lettre en cours de transportation grâce au vidéocodage effectué par des agents à distance...

## **2 Contexte du projet**

La DTC, de par son rôle d'amélioration du service postal, a pour mission sans cesse de faire progresser le rendement, la qualité de travail, et la qualité de service rendu aux clients. La notion d'optimisation s'inscrit donc naturellement dans ce processus. Et parmi les problèmes posés, d'importantes recherches sur le transport de courrier, à différents niveaux, ont fait le sujet d'études et d'expérimentations au fil du temps.



Comme on peut l'imaginer d'après le schéma précédent, l'étendue du réseau est telle, et les flux en circulation si importants, que différents types de traitement doivent être effectués, de la collecte à la livraison du pli. C'est pourquoi il existe différents centres de traitements, différents engins de transports (avion et trains sont encore utilisés, bien qu'en plus faible proportion que le transport routier), au sein du groupe.

Le sujet sur lequel j'ai été affecté concerne la distribution de courrier entre les divers dépôts finaux (PPDC) et les clients publics, aussi appelés clients ménage. Le problème s'approche donc d'un VRP, Vehicule Routine Problem, car l'on dispose d'une flotte de véhicules pour visiter l'ensemble des points de distribution à livrer d'une zone géographique. Les solutions obtenues recherchent donc quels seraient les meilleurs trajets effectués par chaque tournée afin de distribuer l'ensemble du réseau à des frais minimaux.

Un algorithme de résolution par l'approche du recuit simulé, sous l'appellation de Distrib, a initialement été élaboré il y a maintenant une dizaine d'années, et à évolué au fur et à mesure du temps de manière toujours expérimentale.

### Enjeux

Les résultats obtenus et restant à obtenir, ne serviront que de simples indicatifs. Il reste en effet difficilement envisageable de complètement rénover le système de distribution pour des raisons sociales évidentes vis-à-vis du personnel postier.

Néanmoins, dans le cadre de l'évolution des flux de courrier, avec une tendance

à la diminution des courriers publics, la distribution et le prélèvement quotidien dans la totalité des points de distribution pourraient se révéler inadéquat. Il est alors très intéressant pour la Poste de pouvoir déterminer quelle marge existe-t-il entre le rendement actuel et celui provenant d'une solution optimisée.

La DTC dispose déjà de logiciels (principalement deux) développés en leur sein et optimisant les tournées de courrier. Mais ces derniers répondent à des problématiques quelques peu différentes, qui les empêchent d'être adaptés à notre problème.

### **Optimap :**

Il s'agit de l'un des logiciels développé par la DTC. Nous en ferons une brève description, afin de comprendre pourquoi cet outil ne permet pas de résoudre efficacement notre problème, et aussi puisque certaines de ces fonctions sont réutilisées dans le programme de résolution Distrib.

Cette application facilite le travail d'organisation de tournées de collecte et de remise entre différents points de passage. Elle offre des fonctionnalités d'aide à la décision permettant de construire de façon automatique, semi-automatique ou par édition manuelle des organisations de tournée selon des critères et des contraintes paramétrables par l'utilisateur. Elle permet en outre de visualiser et d'évaluer les organisations de tournées ainsi que d'éditer et d'exporter des feuilles de route/bulletin d'itinéraires.

Elle dispose également d'un module cartographique permettant de représenter le réseau routier, les points de passage, les dépôts ainsi que les tournées.

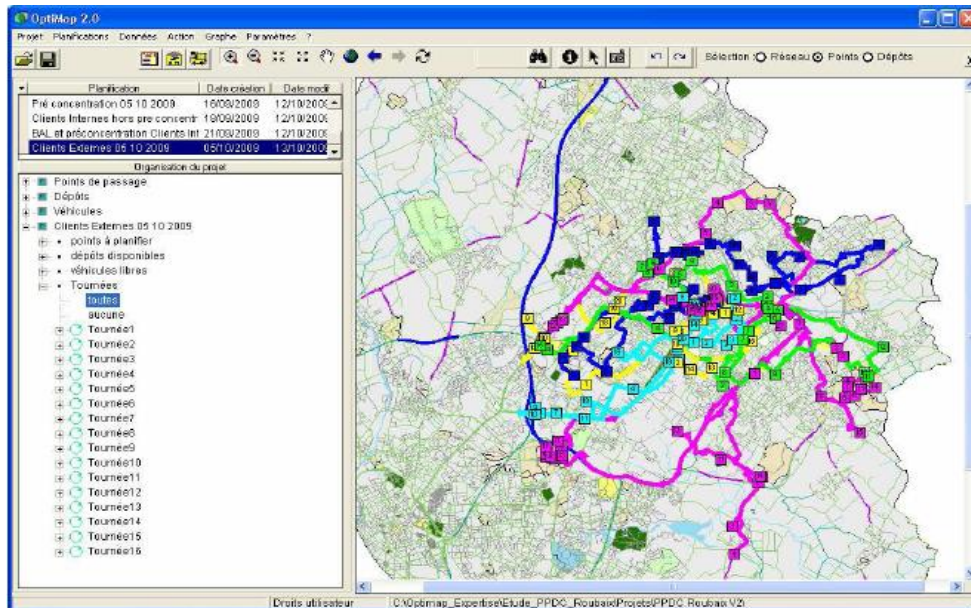
Son utilisation est cependant réservée à déterminer les tournées délivrant les courriers d'entreprises, car en appui avec des tests, on constate que le nombre de clients de notre problème est trop grand pour répondre en des temps acceptables.

## **2.1 Formalisation du problème**

Le problème pourrait se formuler de la façon suivante :

Etant donné un réseau de transport dont les arcs ont un coût proportionnel à la distance entre 2 sommets du graphe, trouver un ensemble de cheminements de coût minimum afin de livrer une même sorte de produit (courrier) à un ensemble de point de distribution (PDI), usant pour cela d'une flotte hétérogène de véhicules de capacité restreinte, partant et arrivant de n'importe quel dépôt parmi ceux présents sur le réseau.

Il s'agit donc d'un CVRP, Capacitated Vehicule Routine Problem, avec quelques particularités :

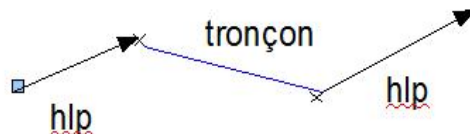


**Figure 3.** Prise d'écran de l'interface d'Optimap

- une tournée peut partir d'un dépôt et aboutir à un autre
- selon la représentation du graphe utilisé, on peut dire que les sommets visités ne sont pas indépendants, ou bien que leur valeur dépend des tronçons voisins dans la tournée

Nous allons détailler le point précédent.

Pour minimiser le nombre de clients du problème, c'est à dire le nombre de PDI à visiter, ceux-ci ont été regroupés ensemble s'ils appartiennent à un même tronçon de voie. Il en résulte que cet ensemble, ce tronçon, pourrait se visualiser comme une arrête dans notre graphe avec un point d'arrivée et un point de sortie, et donc un sens de parcours. On considère alors que le temps de livraisons de



**Figure 4.** visualisation d'un tronçon



chaque PDI du tronçon est proportionnel à la longueur du tronçon. Et, dans l'ensemble du sujet, nous considérerons proportionnels la longueur de trajet et le temps de parcours d'un point géographique à un autre. Ce qui implique que le temps d'accès d'un tronçon à un autre dépend des points d'entrées et de sorties choisis pour chacun d'entre eux. En voyant les choses autrement, on peut

Sans le sens des tronçons,

0- 1 - 2 - 6

peut correspondre à plusieurs graphes

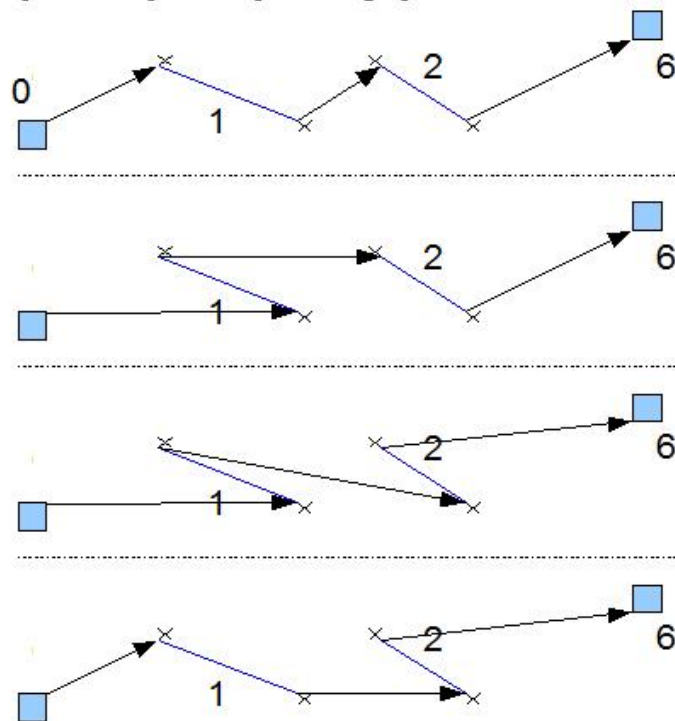


Figure 5. Le sens de parcours des tronçons est déterminant

remplacer les sommets de notre graphe par des arrêtes dont le passage au travers, quel qu'en soit le sens, est obligatoire pour obtenir une solution réalisable.

### Représentation par un graphe

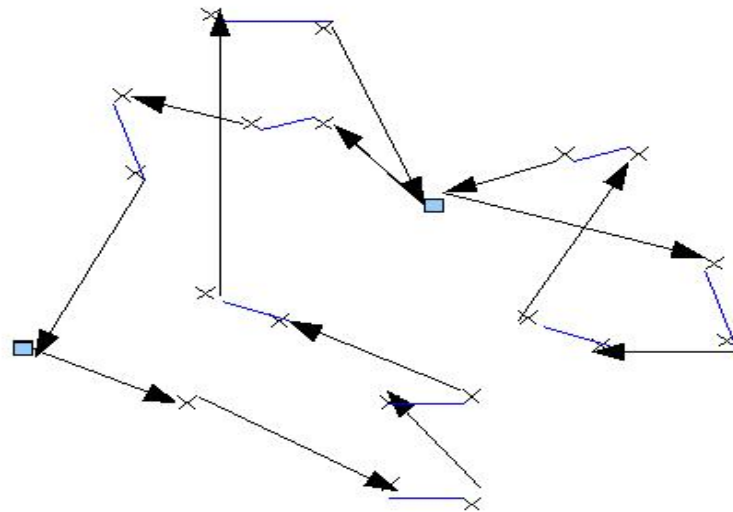
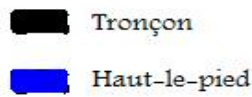
Notre graphe eulérien comprend donc :

- un ou plusieurs dépôts

- un ensemble de tronçons qui devront être parcourus une fois chacun uniquement
- un ensemble d'arrêtes reliant toutes les extrémités de tronçons et tous les dépôts

Ce dernier ensemble correspond à la totalité des haut-le-pied (hlp) qu'un facteur a la possibilité d'emprunter. Les tronçons, eux, sont représentés selon les deux coordonnées de leur points d'entrée et de sortie. Chaque tronçon forme alors une arrête, donc la longueur correspond à la distance entre ces deux extrémités. Le

On observe toujours une alternance entre les hlp et les tronçons



**Figure 6.** Représentation par un graphe

fait d'avoir à déterminer un sens de parcours de ces tronçons influe sur la qualité de la solution et complexifie le problème. Il semble cependant que l'heuristique de regroupement des PDI en tronçon réduit suffisamment la taille des données pour qu'il soit plus intéressant de l'appliquer, en dépit d'une complexification du problème.

Enfin, dans la réalité du terrain, certaines contraintes temporelles existent. Bien que les fenêtres horaires ne soient pas de mises en ce qui concerne la distribution

du courrier ménage, le facteur lui, dispose d'un temps de travail limité pour livrer son courrier dans la journée. Cependant cet aspect n'est pas traité dans le sujet, car les solutions actuelles n'offrent aucun risque de violer cette contrainte, dont la prise en compte serait alors une complication inutile.

## 2.2 Objectif du stage

L'objectif du stage est donc la résolution de ce problème de distribution de courrier. L'algorithme qui a été mis en place ne satisfait pas sur divers plans, tel que la rapidité du temps de réponse et autres désagréments rencontrés au fur et à mesure de l'étude.

Le travail initial devra porter sur l'analyse du code et du comportement du Recuit Simulé lors de son exécution.

L'aboutissement consisterait à déterminer les causes des problèmes algorithmiques et à les résoudre, ou bien d'apporter une nouvelle solution pour résoudre de manière plus satisfaisante ce problème de distribution.

De plus, un outil permettant une bonne visualisation du résultat serait appréciable.

## 2.3 Point de départ

Voici les éléments dont à disposition au commencement, et leur spécification :

- Une "brique d'optimisation", qui est un programme indépendant contenant le traitement d'une solution via le principe de Recuit Simulé. Il comprend également des bibliothèques utilisant des fonctions du logiciel Optimap qui permettent aussi bien l'accès aux diverses données liées aux distances, à l'affichage d'une solution, etc. . .

- Des données clients provenant d'une précédente étude, et qui permettent d'agglomérer les PDI proches les uns des autres en tronçon de voie à desservir.

Un point de distribution (PDI) est défini tel quel dans le jargon postier : Point d'arrêt du facteur pour distribuer du courrier (maison d'habitation individuelle ou collective, magasin, local industriel, etc. . .)

Et un tronçon de voie correspond à : Une partie d'une voie généralement délimitée par deux carrefours.

Dans notre cas, nous considérons comme tronçon cette même définition, à condition qu'il possède également la caractéristique d'avoir à être parcouru pour satisfaire la demande de notre problème. En d'autres mots, nous ne considérons comme tronçon que les tronçons (au terme général) contenant des PDI à desservir.

Enfin, pour compléter les définitions, un haut-le-pied (hlp) est le parcours entre

le dépôt et un tronçon, ou bien entre deux tronçons. Il peut donc être nul en cas d'adjacence. Il correspond à une arrête de notre graphe.

- Du distancier d'Optimap, qui a pour avantage de donner la distance exacte entre deux points via le réseau routier. Celui prend donc en compte le sens de circulation des voies, ce qui n'est pas nécessaire dans notre étude si l'on considère les postiers à pied, comme c'est le cas initialement.

## 2.4 Présentation de la solution préalablement existante

C'est donc sous l'appellation Distrib que se trouve le programme ayant été conçu pour traiter ce problème. Ce programme a été écrit en langage C, et son développement à titre expérimental remonte à plusieurs années. Il réutilise certaines fonctions implémentées dans le logiciel Optimap, principalement des fonctions de calculs de distances, d'affichage, de lecture fichier, d'initialisation de tournées.

Si l'on fait le point à son sujet, nous obtenons les observations suivantes :

- Le nombre de paramètres du Recuit est réduit, avec seulement la température initiale et le choix entre l'usage d'un distancier par vol d'oiseau (distance euclidienne), ou bien celui fourni par Optimap.
- Le taux de décroissance, la longueur des plateaux, les critères d'arrêts, sont tous fixes, et correspondent pour les deux derniers à un certain nombre (arbitraire) d'itérations.
- la construction de la solution initiale se fait en prenant les tronçons dans leur ordre d'apparition dans le fichier de données.

Bien que le cas multi-tournées devrait être supporté, la majorité des tests sont réalisés dans le cadre mono-tournée.

Seulement qu'un seul dépôt peut être traité par le programme.

De plus la notion de capacité de transport par véhicule n'est pas prise en compte.

Les fichiers de données clients utilisés sont issus d'une étude recherchant le moyen les plus avantageux de regrouper les PDI d'une même voie par tronçon. Les DPI non raccrochables ou trop éloignés, un faible pourcentage parmi la totalité, sont simplement supprimés. Toutefois, ce fichier comprend des champs non utilisés par le programme.

Le nombre d'instances souhaitant être traitées s'élève jusqu'à 300 tronçons.

## 3 Contribution

### 3.1 Analyse de la solution existante

Détail du fichier Unit :

Comme abordé précédemment, le fichier de données de tronçon est obtenu depuis

le regroupement par tronçons, selon une certaine méthode, des DPI à délivrer. Parmi quelques champs non utilisés, il comprend principalement un identifiant du tronçon et les coordonnées cartésiennes de ses deux extrémités.

Ce fichier est initialement créé via les données clients utilisées par Optimap. Le fichier clients Optimap ayant davantage de champs et d'informations que nécessaire pour le programme, la majorité d'entre eux sont supprimés. Il existerait une automatisation à implémenter pour passer des fichiers clients d' Optimap aux fichier Unit dont se sert ce programme.

Malgré avoir effectués quelques tests, diverses modifications, et ajoutés des commentaires afin d'éclaircir le déroulement de l'algorithme, il n'en reste pas moins que des difficultés rendent la progression ardues. Parmi celles-ci on pourrait citer :

- Pas d'indexation, ce qui rend difficile la lecture des débuts et fin de blocs
- Un très grand nombre de variables, rendant le tout peu explicite, et le suivi de celles-ci difficile
- Usage de type de base uniquement, avec des structures simples, tableaux, mais n'offrant pas de fonctions facilitant leur utilisation
- Faible découpage en fonctions, ce qui donne de gros blocs de code
- Relativement peu de commentaires dans l'ensemble, et peu de docs explicatives du fonctionnement du programme
- Problèmes d'incompatibilité de certains bouts de code avec des versions plus récentes de compilateur

A cela s'ajoutent des soucis de cohérences au niveau des résultats :

- la température n'a pas ou peu d'influence
- des courbes de résultats laissent apparaître que des solutions dégradantes sont acceptées alors que la température du système est nulle

C'est pour ces diverses raisons qu'il semble intéressant de reprendre la démarche à neuf, ce qui fournirais par la même un outil de comparaison avec les résultats préalables.

### **3.2 Adaptation d'un nouveau programme**

Pour une simplification initiale, et pour pouvoir comparer aux précédents résultats de l'algorithme Distrib, le choix des développement suivants ont été effectué : construction simplifiée de la solution, mouvements "élémentaires", distancier par vol d'oiseau, non prise en compte des capacités des véhicules.

Le calcul d'optimisation se fera pour un nombre de tournées laissé au libre choix de l'utilisateur, et correspondra à une seule tournée, toujours dans un but comparatif avec les travaux antérieurs.

Les apports que ce nouvel outil de résolution souhaite offrir sont :

- La clarté et la logique du déroulement des calculs

- Une structuration du code simplifiée afin d’identifier plus facilement le rôle des fonctions, et la manière dont elles procèdent
- Une plus grande adaptabilité au problème, en supportant complètement la gestion de plusieurs tournées
- L’ajout de plusieurs dépôts au problème, ainsi que la gestion des capacités des véhicules
- Un programme autonome qui peut s’il le souhaite se passer des fonctions proposées par Optimap

### 3.3 Représentation d’une solution

Une solution est constituée de la liste des tournées, avec chaque tournée comprenant la succession des tronçons visités, depuis et vers le dépôt de départ et d’arrivée. On indique enfin pour chaque tronçon quel est son sens de parcours.

On dispose ainsi de tous les éléments permettant d’identifier une solution de notre problème.

Reprise du fichier Unit : Toujours dans un but de clarification, les champs non utilisés auparavant, et qui ne le seront toujours pas, ont été supprimés. Les extrémités des tronçons sont désormais identifiées de manière à être facilement différencier l’un de l’autre. Le premier point correspondra donc à ce que l’on dénommera point A du tronçon, et le second point B.

Bien que le souhait de coller au plus près à la résolution de ce problème précis est toujours de rigueur, il semble intéressant d’introduire dès maintenant des champs liés à des problèmes proches tel que le CVRP et le VRP-TW (et par là même, le CVRP-TW).

C’est pourquoi la quantité de plis à délivrer à chaque client est conservée. Dans le cas de la prise en compte de la contrainte de capacité de transport. De même, l’ajout de champs pour les fenêtres horaires permettra la possibilité future de traiter la distribution du courrier professionnel.

Le fichier de données respecte donc la forme suivante :

**Format du fichier UNIT** Avec les informations suivantes pour chaque tronçon : Identifiant, quantité, date au plus tôt, date au plus tard, temps de traitement coordonnées  $x_A$ ,  $y_A$ ,  $x_B$ ,  $y_B$ ,

Où les coordonnées correspondant respectivement à celles des points A et B du tronçon.

**Distancier avec distance à vol d’oiseau** La lecture du fichier de données des tronçons permet la création d’un distancier à vol d’oiseau. Il indique la distance

entre chaque point, qu'il s'agisse d'un dépôt ou d'une extrémité d'un tronçon.

Le tout est stocké dans une matrice carrée favorisant l'accès aux informations. On peut voir en annexe un exemple d'exécution du programme, avec entre autre l'affichage de la matrice créée.

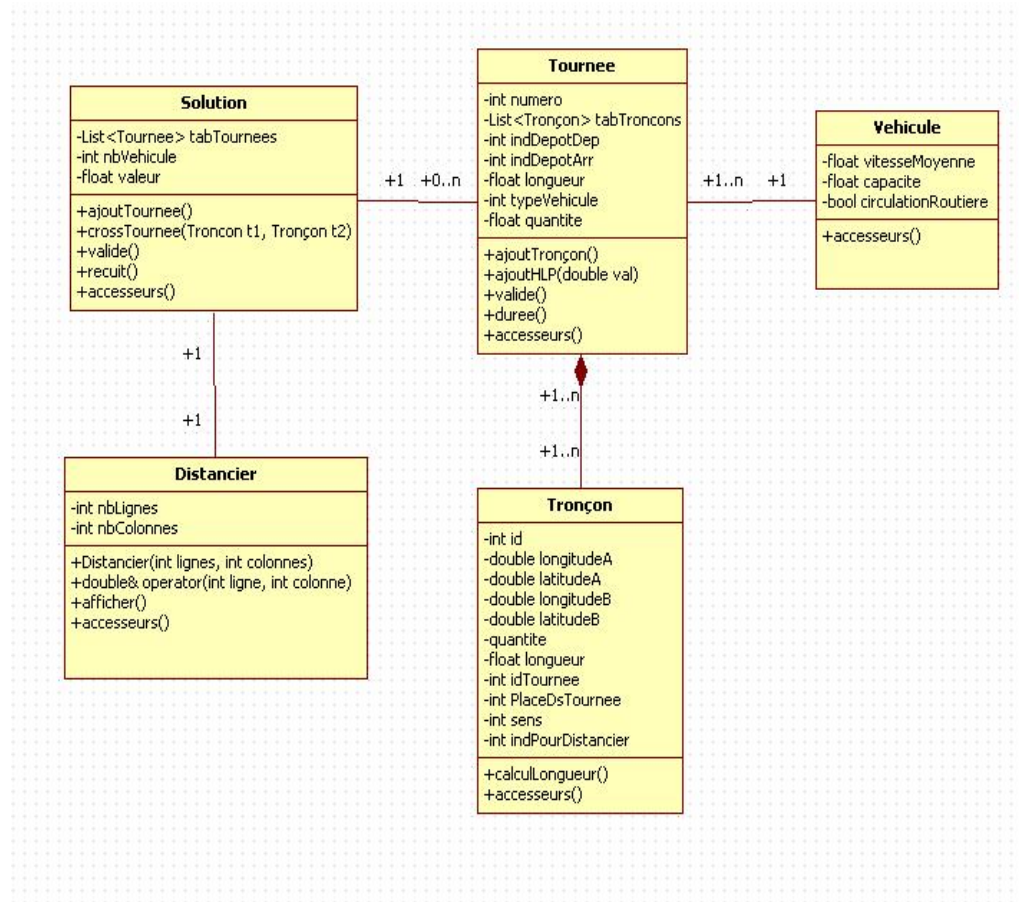


Figure 7. Diagramme de classes

### 3.4 Solution initiale

Le choix d'une première construction de la solution initiale a porté sur une construction aléatoire de celle-ci. Le nombre de tournée étant fixé, à chaque tronçon l'on fixera aléatoirement une tournée. On parcourt donc la liste de nos tronçons, on tire une valeur aléatoire, et l'on affecte le tronçon au numéro de

tournée tirée.

Chaque tournée comprend un dépôt de départ et d'arrivée tiré aléatoirement, ainsi que la succession des tronçons dont le numéro de cette tournée a été tiré. Ces tronçons se succèdent les uns aux autres selon les propriétés suivantes :

- leur numéro d'identifiant est par ordre croissant
- leur sens de parcours est fixé de leur point A à leur point B

En offrant potentiellement des tournées vides. On peut alors voir le nombre de tournées choisi par l'utilisateur comme un maximum de tournées possibles, ce qui ne semble pas déroger à la résolution souhaité du problème. Tout de fois cet aspect peut facilement être modifié, par exemple en forçant l'ajout des derniers tronçons de la liste aux tournées vides.

La prochaine méthode pour obtenir une solution initiale est considéré comme celle : du plus proche voisin. Cette heuristique de construction consiste à sélectionner de manière gloutonne le prochain point le plus proche. On part donc d'un dépôt en ajoutant le point le plus proche, à condition qu'il ne soit pas plus près d'un autre dépôt. On constitue ainsi l'ensemble des tournées, probablement de meilleure facture que la solution aléatoire.

On peut voir en Annexe un schéma où l'on obtient une solution basé sur ce principe.

### 3.5 Obtention de solutions voisines

Le mouvement souhaité correspond à un inter changement entre deux arrêtes, qu'elles appartiennent à une même tournée ou non. Les opérateurs choisis sont donc pour le cas intra-tournée d'un 2-opt, et pour le cas inter-tournée d'un Cross-exchange.

Pour rappel, soit A et B les deux extrémités du tronçon 1, et C et D celles du tronçon 2. Alors ces opérateurs procèdent de la manière suivante :

2-opt et Cross-exchange ont pour point commun que le résultat obtenu est la suppression des arrêtes/hlp : A-B et C-D, et l'ajout des arrêtes/hlp : A-C et B-D

Précisions pour le 2-opt :

Pour que le mouvement soit viable, on doit considérer que le tronçon 1 se situe avant le tronçon 2 dans l'ordre de parcours des tronçons de la tournée. De plus, l'ordre du parcours entre B et C est inversé!

La procédure pour créer une solution voisine procède de la manière suivante. Comme l'on travail depuis les tronçons et non des haut-le-pied, qui eux seront interchangeables, alors la fonction d'échange va sélectionner au hasard le haut le pied suivant ou précédent de chacun des deux tronçons. S'il ne s'agit du même hlp, alors on applique l'un des deux opérateurs vu précédemment, selon que les deux hlp appartiennent à la même tournée ou à deux tournées distinctes.



## 4 Perspectives

### 4.1 Développements à suivre

Dans la poursuite du stage, les points suivants devront être remplis :

- l’achèvement de la mise en place de la fonction d’optimisation basée sur le Recuit Simulé
- la création de diverses solutions initiales, telle que celle du plus proche voisin
- la gestion des contraintes de capacités
- le choix de plusieurs tailles de voisinage possibles  
c’est à dire l’apport de nouveaux opérateurs et/ou modifier le nombre de mouvements à chaque phase avant d’obtenir une solution voisine (plus de diversification à chaque étape)
- la création d’une légère interface graphique rendant la manipulation du programme plus agréables.

Le choix des fichiers de données et des divers paramètres du programme, comme ceux de la fonction de Recuit Simulé sont autant de candidats à cette amélioration

### 4.2 Developpements envisageables

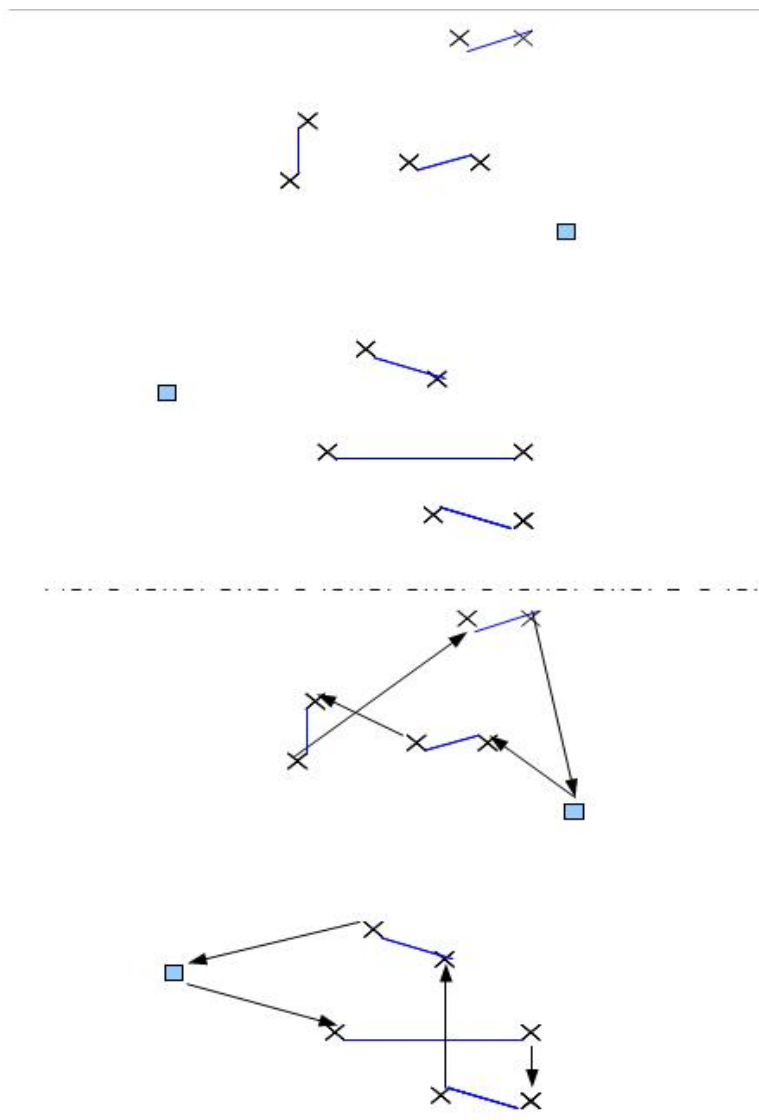
Voici un listing des ajouts qui compléterait encore davantage le projet :

- Encore d’autres solutions initiales, comme celles issues de Clark and Wright, de Solomon, etc...
- Un mouvement doit vérifier que la/les tournées restent possibles : respect des fenêtres de temps, capacités, durée maximale
- Comptabiliser le nombre d’échanges rejetés afin d’évaluer le taux de satisfiabilité de ces contraintes
- Visualiser les tournées en cours de modification sur le plan géographique, en alliant le programme avec les données cartographiques d’Optimap

## Références

1. Vehicule Routine Problem <http://www.idsia.ch/monaldo/vrp.html>
2. Problems and Benchmarks <http://www.sintef.no/projectweb/top>
3. BenchMarks – VRP and TSP <http://www.top.sintef.no/vrp/benchmarks.html>
4. Données VRP <http://neumann.hec.ca/chairedistributique/data/>
5. The VRP Web <http://neo.lcc.uma.es/radi-aeb/WebVRP/>

## 5 Annexes



**Figure 8.** Exemple de construction par plus proche voisin

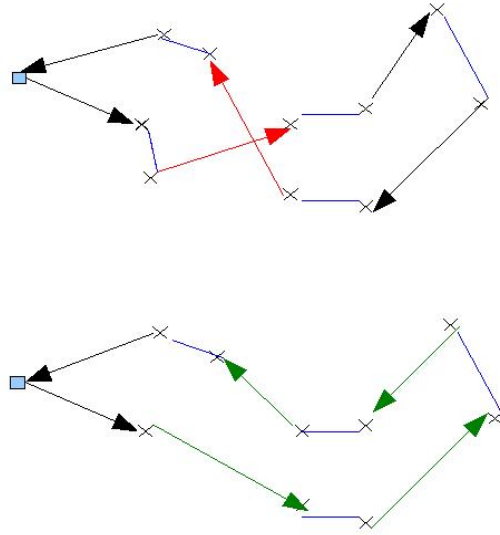


Figure 9. 2-opt

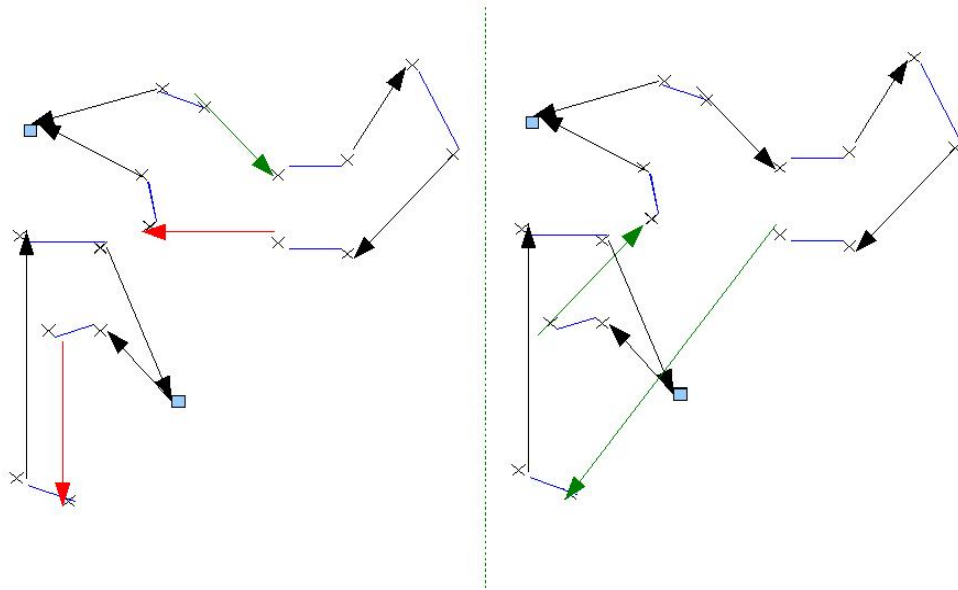


Figure 10. Cross exchange

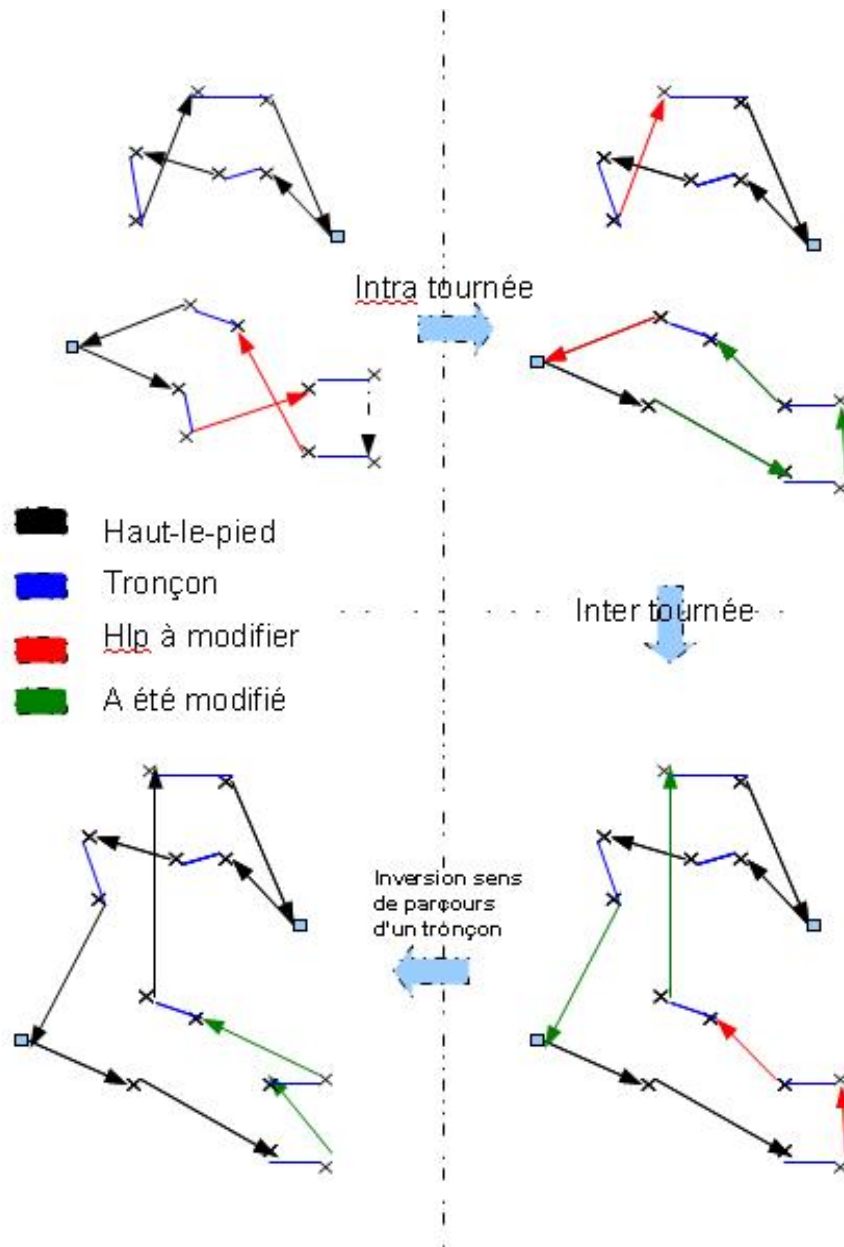


Figure 11. Exemple de sélection successive d'une solution voisine