

CIGI 2011

Optimisation de la tournée de collecte d'huile usagée

RICHARD COLIN¹, MARC PAQUET² ET PIERRE-REMI FOURES³

¹ Laboratoire de recherche sur les chaînes d'approvisionnement (LRCA)
École de Technologie Supérieure
1100 Notre-Dame Ouest, Montréal QC, H3C 1K3
richard.colin.1@ens.etsmtl.ca

² Laboratoire de recherche sur les chaînes d'approvisionnement (LRCA)
École de Technologie Supérieure
1100 Notre-Dame Ouest, Montréal QC, H3C 1K3
marc.paquet@etsmtl.ca

³ Fastercom Inc.
4480, Côte de Liesse, Suite 110, Bureau #16
Montréal QC, H4N 2R1
pierre-remi@fastercom.ca

Résumé – Le but de cet article est de présenter une méthode de résolution d'un problème d'optimisation de la collecte d'huile usagée dans un grand nombre de garage à travers le Québec. Ceci s'apparente à un problème de tournées de véhicules avec gestion de stocks (*Inventory Routing Problem* – IRP). Ce problème devient de plus en plus crucial pour la compétitivité des entreprises. Il est souvent résolu avec des méthodes exactes sur des problèmes de petites dimensions. Cependant, pour les problèmes de grande taille, les méthodes heuristiques sont plus souvent employées. Dans cet article, une procédure de résolution utilisant des méthodes exactes comme le MILP et le MIQP sera présentée afin d'établir une planification en horizon roulant pour un problème de grande échelle. Un modèle sera créé avec un jeu de données réduit puis utilisé sur un jeu d'une dizaine de milliers de clients.

Abstract – The aim of this article is to present a method for optimizing the collection of waste oil in a large number of customers across Quebec. This problem is similar to the Inventory Routing Problem (IRP). It is becoming more important to optimize the routing of the vehicles as companies are more competitive. Exact methods are often used for solving small scale problems by opposition to heuristics for large scale problems. In this article, a solving procedure using exact methods such as MILP and MIQP will be developed in order to create the planning of the oil collect in a rolling horizon for a large scale problem. The model will be developed with a small set of data and then used over a large set of customers.

Mots clés – Tournée de véhicules avec gestion de stocks, Collecte d'huile usagée

Keywords – Inventory Routing, Waste Oil Collection

1 INTRODUCTION

N'importe quel moteur utilise de l'huile pour sa lubrification. Selon l'utilisation qui est faite de ces moteurs, cette huile doit être vidangée plus ou moins régulièrement. Tout le monde considère cette huile usagée comme un rebut, mais avec les préoccupations actuelles en termes de respect d'environnement, de recyclage et de pénurie de produits pétroliers, cette denrée prend de plus en plus de valeur. Il est donc intéressant pour une société spécialisée dans le recyclage de récolter ces huiles et de les traiter pour les rendre à nouveau utilisables. Mais la particularité de cette tâche est que, dans une province comme le Québec, l'huile usagée est un produit extrêmement répandu. On en trouve en quantité dans les cuves de chaque garage automobile, aéroport, concessionnaire, etc. Le problème auquel sont alors confrontées ces sociétés est de visiter chaque point de

collecte avec ses camions-citernes au bon moment. Ce bon moment se situe entre l'instant où le client a suffisamment d'huile dans sa cuve pour amortir le déplacement et celui où sa cuve atteint un niveau maximal sécuritaire. Après cette limite, il faut intervenir d'urgence pour éviter un débordement. Dans ce cas, le client téléphone pour demander une visite en urgence, qui désorganise la planification courante. Mais le risque n'est pas seulement ce prix plus élevé, c'est aussi le risque de perdre ce client s'il appelle un concurrent pour faire vider sa cuve. Donc, pour pouvoir rester compétitif et aussi pour pouvoir augmenter la quantité d'huile collectée, il y a nécessité d'étudier le remplissage des cuves des clients et d'optimiser les routes de collectes pour à la fois, collecter un maximum d'huile chez chaque client et recevoir un minimum d'appels d'urgence.

Ce problème est très proche d'un problème bien documenté, celui des tournées de véhicules avec gestion de stocks ou

Inventory Routing Problem (IRP). Il est souvent employé dans le cas d'un dépôt central qui a la responsabilité de livrer un produit à un ensemble de clients et en s'assurant qu'aucun ne se retrouve jamais en rupture de produit. La seule différence entre le cas standard de l'IRP et celui traité dans cet article est le fait qu'au lieu de livrer un produit, nous collectons de l'huile et le dépôt doit s'assurer qu'aucun client n'ait sa cuve pleine.

Après une revue de littérature concernant les différentes techniques de résolution de l'IRP et les spécificités du problème, une méthode de résolution basée sur une succession de méthodes exactes sera présentée. Ensuite, il sera question de la collecte des données nécessaires à la résolution du modèle réel. Enfin, nous pourrions évaluer l'efficacité du modèle développé par rapport à la méthode empirique utilisée par le passé.

2 REVUE DE LA LITTÉRATURE

L'*Inventory Routing Problem* a émergé dans les années 80, il est une conséquence du *Vehicle Routing Problem* mais avec une composante de stock. Ce problème peut se résumer comme ceci (Federgruen et Zipkin, 1984): Un ensemble de clients consomme un bien à des vitesses différentes et tous les jours, l'entreprise doit établir des routes pour chacun de ses véhicules afin qu'aucun client ne manque de ce bien tout en minimisant les coûts de transport. Ce problème concerne de nombreux secteurs de l'industrie où le principe du VMI (*Vendor Managed Inventory*) est répandu, comme les livraisons de gaz ou d'essence (Golden *et al.*, 1984; Dror *et al.*, 1985; Cornillier *et al.*, 2009). Avec les coûts de transports grandissants, il est important de trouver les routes optimales et ne pas faire de visites superflues. Mais cette augmentation des prix des produits pétroliers ainsi que l'encouragement au recyclage a aussi permis à de nouveaux champs de recherches d'émerger. En effet depuis quelques années, les recherches concernant l'IRP ne se concentrent plus seulement sur la livraison de biens mais aussi sur la collecte de déchets (Chang et Wei, 1999; El-Fadel et Khoury, 2001; Repoussis *et al.*, 2009). Du fait que l'huile usagée ait une faible valeur (90\$/T) (Sander *et al.*, 2006), il est primordial, dans l'optique de faire du bénéfice, d'optimiser sa collecte. Bien que ces problèmes de livraison et de collecte soit similaires, ils comprennent des particularités qu'il est important de noter.

- Il n'existe pas de stock économique pour un client, lorsqu'il est visité, il devrait être vidé entièrement.
- Dans le cas d'huile usagée, le « débordement » du client (équivalent à la rupture dans le cas de la livraison) n'est pas envisageable car il entraîne des surcoûts considérables et affecte gravement l'image de marque de la société à cause de la pollution des sols qu'il peut causer.

2.1 Caractérisation des problèmes

Il existe de nombreuses configurations possibles au problème d'IRP, mais il est possible de trouver un cadre unique qui permet de les rassembler (Andersson *et al.*, 2010). Il faut considérer plusieurs points :

2.1.1 Le temps

Le problème peut concerner soit un instant donné, soit un horizon fini ou bien un horizon infini. Tandis que dans un

horizon fini, on peut préférer trouver les dates optimales de visites, dans un horizon infini, on va plutôt planifier des fréquences optimales (i.e. des intervalles entre les visites).

2.1.2 La demande

Elle peut être soit déterministe soit stochastique. Dans ce dernier cas, bien souvent il est choisi de fixer un niveau de confiance et de la transformer comme le premier cas.

2.1.3 La topologie

Le problème d'IRP classique concerne un dépôt qui distribue vers un ensemble de clients, cette topologie est nommée « un vers plusieurs ». Mais les évolutions du problème ont fait émerger d'autres topologies comme le « un vers un », le « plusieurs vers un » et surtout le « plusieurs vers plusieurs ».

2.1.4 Les types de tournées de véhicules

Dans cette section, on souhaite différencier le VRP classique, qui consiste en un dépôt qui sert de point de départ et d'arrivée et dans lequel se trouvent les stocks de produit du *Pickup and Delivery Problem* (PDP) où chaque client peut jouer le rôle de dépôt.

2.1.5 Gestion des stocks

Ici, plusieurs politiques de gestion des stocks se présentent. Il est bien souvent préférable de maintenir un niveau fixe, proche du stock économique chez chaque client mais d'autres cas peuvent aussi se présenter. On peut utiliser la technique du point de commande où l'on va déclencher la livraison lorsque le stock passe en dessous d'un seuil. Il faut aussi considérer la politique en cas de rupture de stock. Soit celle de vente perdue ou alors celle de commande en souffrance. En fonction de la politique de gestion de stock choisie, le choix des clients à visiter pour chaque période lors de la résolution de l'IRP peut changer.

2.1.6 Flotte de véhicule

La flotte peut n'être constituée que d'un camion, dans ce cas, il s'agit de flotte unique, mais elle contient bien souvent plusieurs camions, alors dans ce cas, il s'agit plutôt de flotte multiple. Ces deux types ont la particularité de limiter la capacité de la flotte mais dans les cas où l'on peut avoir recours à des camions supplémentaires qui permettent d'augmenter la capacité à souhait, on parle alors de flotte non contrainte. Ensuite il faut différencier si les camions sont tous de même capacité (flotte homogène) ou bien de capacités différentes (flotte hétérogène).

2.1.7 Résumé

En suivant cette caractérisation, nous pouvons définir clairement notre problème comme étant un problème de collecte :

- En horizon fini ;
- Avec une demande déterministe (l'effet stochastique est supprimé) ;
- Un vers plusieurs ;
- Avec point de commande situé à 80 % et commande en souffrance ;
- Avec une flotte multiple et hétérogène.

2.2 Caractérisation des méthodes de résolution

Dépendamment des caractéristiques du problème auquel l'entreprise est confronté, plusieurs méthodes de résolution ont été étudiées (Baita *et al.*, 1998). Les sections suivantes présentent leurs principales caractéristiques.

2.2.1 Décomposition

Devant la difficulté et les dimensions des problèmes, il est souvent indispensable de décomposer ces derniers. De cette façon, il est possible d'effectuer une décomposition en sélectionnant tout d'abord les clients à visiter par jour puis en résolvant un VRP (un par jour). Il est également possible de sélectionner les clients par jour et de les répartir par camion. La résolution se fait par la résolution d'un problème de voyageur de commerce (*Travelling Salesman Problem* – TSP) par jour dans ce cas (Dror *et al.*, 1985).

2.2.2 Méthodes de regroupement

Pour regrouper les clients à visiter, plusieurs objectifs peuvent être considérés. On peut soit les regrouper en suivant un objectif de distance (entre les clients, entre les clients et le dépôt, *etc.*), de temps, de quantité chez le client (quantité économique), de respect de fréquence de visite. Il est aussi possible de combiner ces objectifs ou d'en trouver de nouveaux. L'objectif de cette étape de regroupement reste néanmoins de réduire fortement la quantité de clients à considérer pour la partie routage du problème.

2.2.3 Modèles et algorithmes

Afin de résoudre les IRP, certaines approches préconisent les méthodes heuristiques, alors que d'autres utilisent la programmation entière ou encore une association des deux. On rencontre également de la programmation dynamique.

2.2.4 Méthode de résolution choisie

L'éventail des méthodes de résolution est extrêmement vaste. Ayant affaire à un problème de grande échelle NP-difficile car découlant du VRP, il est indispensable de procéder à une décomposition de la résolution. Afin de s'approcher de la démarche actuelle de création des routes, la résolution sera décomposée en deux parties, nommées phase 1 et 2 (voir Figure 1). Cette méthode de décomposition découle de celle présentée par Campbell et Savelsbergh (2004).

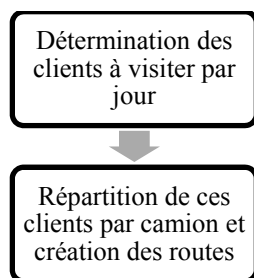


Figure 1 Décomposition du problème

La phase 1 sera résolue par une programmation linéaire en nombres mixtes, tandis que la phase 2 sera résolue en utilisant

une programmation quadratique en nombres mixtes.

3 MODELISATION ET PROCEDURE DE RESOLUTION

Afin de fournir des résultats satisfaisants en un temps raisonnable, l'optimisation des routes a été scindée en deux étapes. Dans un premier temps, le remplissage des cuves au jour le jour est modélisé. Il sera possible de déterminer uniquement les clients urgents en tentant de minimiser les visites sur l'horizon de planification. Puis dans une seconde optimisation, une optimisation des routes sera réalisée à partir des clients retenus. Par souci de clarté, nous allons définir trois niveaux de clients :

- Les clients de *niveau 1* sont les clients qui sont planifiés par la première optimisation i.e. ceux qui doivent absolument être visités à la période considérée.
- Les clients de *niveau 2* sont les clients qu'il peut être intéressant d'ajouter à la tournée d'un camion, parce qu'ils sont suffisamment près d'un niveau 1, que leur cuve est relativement pleine et que leurs cuves se remplissent rapidement.
- Les clients de *niveau 3* sont tous les autres clients qu'on ne considère pas dans les routes des camions tant qu'ils ne passent pas au niveau 2.

3.1 Première optimisation

La première optimisation s'inspire des travaux de Bersani *et al.* (2010) mais a été modifiée afin de prendre en compte un problème de plus grande dimension. En effet, le modèle original requiert de calculer au préalable les résultats de toutes les configurations de TSP possibles, ce qui est une tâche considérable dès lors qu'on a affaire à un problème de grande échelle. Seule la forme générale du modèle a été conservée, la partie TSP a été remplacée par la phase 2 de l'optimisation.

3.1.1 Ensembles

$i \in [1, I]$	Ensemble des clients
$k \in [1, K]$	Ensemble des camions
$t \in [1, T]$	Ensemble des périodes

3.1.2 Paramètres

T_{ini}	Première période de l'horizon.
H	Horizon de planification.
Q_i^{cli}	Capacité du client i .
Q_k^{cam-j}	Capacité de la citerne du camion k .
$NbVis$	Nombre de visites souhaité par jour.
we_t	Indicateur renseignant si le jour t est un jour travaillé.
Q_{it}^+	Vitesse de remplissage de la cuve du client i à la période t .
Q_i^0	Quantité initiale d'huile chez le client i .
$VisCalc_{it}$	Donnée issue de la phase 2 représentant les clients i qui ont été choisis pour être visités à chaque période t .

3.1.3 Variables

γ_{it}	Variable binaire représentant la visite obligatoire d'un client i à la période t .
Niv_{it}	Variable représentant le niveau de la cuve du client i à la période t .
q_{it}	Variable représentant la quantité collectée au client i à la période t .
P_i	Variable représentant la pénalité encourue si on collecte le client i avec une cuve pleine à plus de $\alpha_1\%$.

3.1.4 Fonction-objectif

L'objectif initial était de réduire le nombre de visites sur l'horizon considéré, mais en comparant les résultats avec ce qui avait été réalisé par l'entreprise. On se rend compte que cet objectif génère un nombre trop variable de visite d'un jour à l'autre. Afin d'éviter cela et d'avoir un nombre de clients de niveau 1 plus stable par jour, la fonction-objectif (1) a été écrite de manière à approcher le plus possible le nombre de visites d'un paramètre prédéfini à chaque période.

$$\text{Min} \left\{ \sum_{t=T_{ini}}^{T_{ini}+H} |NbVis - \sum_{i=1}^I \gamma_{it}| + \alpha_9 \sum_{i=1}^I P_i \right\} \quad (1)$$

3.1.5 Contraintes

$$\forall i, t = T_{ini}; Niv_{it}^t = Q_i^0 \quad (2)$$

$$\forall i, \forall t \in [T_{ini}, T_{ini} + H]; Niv_{it} = Niv_{it-1} + Q_{it-1}^+ - q_{it-1} \quad (3)$$

$$\forall i, \forall t \in [T_{ini}, T_{ini} + H]; Niv_{it+1} \leq \alpha_1 Q_i^{cli} + (1 - \alpha_1) Q_i^{cli} P_i \quad (4)$$

$$\forall t \in [T_{ini}, T_{ini} + H]; \sum_{i=1}^I q_{it} \leq \alpha_2 \sum_{k=1}^K Q_k^{cam-j} \quad (5)$$

$$\forall i, \forall t; \gamma_{it} \leq w e_t \quad (6)$$

$$\forall i, \forall t; q_{it} \leq M \gamma_{it} \quad (7)$$

$$\forall i, t = T_{ini}; \gamma_{it} = VisCalc_{it} \quad (8)$$

$$\forall i, t = T_{ini}; q_{it} = (Niv_{it} + q_{it}^+) \times VisCalc_{it} \quad (9)$$

$$\forall i, \forall t; q_{it} \geq 0 \quad (10)$$

$$\forall i, \forall t; Niv_{it} \geq 0 \quad (11)$$

$$\forall i; P_i \in \{0,1\} \quad (12)$$

$$\forall i, \forall t; \gamma_{it} \in \{0,1\} \quad (13)$$

Les contraintes (2) et (3) permettent de modéliser la dynamique des cuves des clients à chaque période. La contrainte (4) interdit les clients d'avoir leur cuve pleine au-dessus d'un certain seuil ou alors on encourt une pénalité. La contrainte (5) est la contrainte de capacité des camions. La contrainte (6) s'assure qu'on ne peut visiter un client que si la période t est un jour ouvrable. La contrainte (7) permet de lier les variables réelles et entières. Les contraintes (8) et (9) permettent de respecter la planification tel qu'optimisée par la deuxième optimisation. Ces contraintes ne sont utilisées qu'après une première optimisation

« d'initialisation » qui est identique à la phase 1 sans ces deux contraintes. Les contraintes (10) à (13) sont les contraintes d'intégrité et de non-négativité.

3.2 Seconde optimisation

3.2.1 Ensembles

Les ensembles de la seconde optimisation sont sensiblement les mêmes que ceux de la première, à la différence de l'ensemble des clients qui est réduit à l'addition des clients de niveau 1 et 2.

$i \in I^* \in [1, I]$	Ensemble des clients qui ne sont pas de niveau 3.
$k \in [1, K]$	Ensemble des camions.
$t \in [1, T]$	Ensemble des périodes.

3.2.2 Paramètres

Q_k^{cam-j}	Capacité de la citerne du camion k .
γ_{it}	Indicateur binaire représentant la visite obligatoire d'un client i à la période t (issu de la phase 1).
$Q_{it} = Niv_{it} + q_{it}^+$	Indicateur représentant la quantité dans la cuve avant la collecte du client i à la période t (issu de la phase 1).
$N3_{it}$	Indicateur signifiant si le client i est de niveau 3 à la période t .
D_{ij}	Distance entre le client i et le client j .

3.2.3 Variables

γ_{ikt}	Variable de décision binaire représentant la visite du client i par le camion k à la période t .
----------------	--

3.2.4 Fonction objectif

$$\text{Min} \left\{ \sum_{k=1}^K \left[\alpha_8 \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^I \gamma_{ikt} \gamma_{jkt} D_{ij} - \alpha_6 \sum_{i \in I^*} \gamma_{ikt} Niv_{it} \right] \right\} \quad (14)$$

La fonction-objectif (14) cherche ici à minimiser la distance totale des routes entre tous les clients visités par un même camion tout en maximisant la quantité d'huile collectée. Les facteurs α devant chaque terme permettent de configurer cette optimisation multicritère.

3.2.5 Contraintes

$$\forall i; \sum_{k=1}^K \gamma_{ikt} \geq \gamma_{it} \quad (15)$$

$$\forall i; \sum_{k=1}^K \gamma_{ikt} \leq 1 - N3_{it} \quad (16)$$

$$\forall i; \sum_{k=1}^K \gamma_{ikt} \leq 1 \quad (17)$$

$$\forall k; \sum_{i \in I^*} \gamma_{ikt} \geq 1 \quad (18)$$

$$\forall k; \sum_{i \in I^*} \gamma_{ikt} Q_{it} \leq \alpha_7 Q_k^{cam-j} \quad (19)$$

$$\forall i; VisCalc_{it} = \sum_{k=1}^K \gamma_{ikt} \quad (20)$$

$$\forall i, \forall k; \gamma_{ikt} \in \{0,1\} \quad (21)$$

Les contraintes (15) et (16) obligent à visiter les clients de niveau 1 et à ne pas visiter les clients de niveau 3 pour chaque période. La contrainte (17) permet de s'assurer que les clients ne peuvent être visités que par un seul camion. La contrainte (18) oblige tous camions sélectionnés à quitter le dépôt. La contrainte (19) permet de prendre en compte la capacité de chaque camion. La contrainte (20) agglomère les visites pour fournir une indication à la première optimisation. La contrainte (21) est la contrainte d'intégrité.

3.3 Procédure de résolution

La procédure de la Figure 2 permet d'optimiser les visites sur un horizon roulant en itérant les deux optimisations présentées ci-dessus en alternance après une phase d'initialisation.

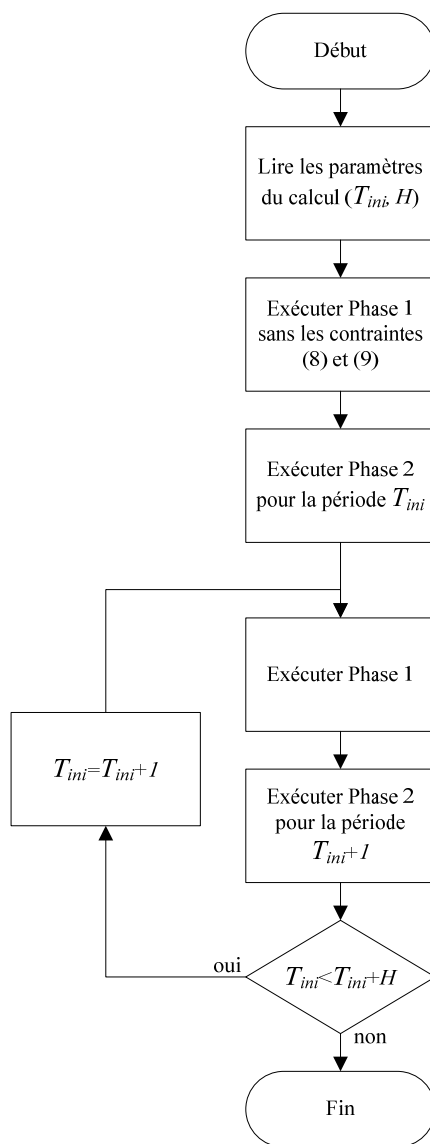


Figure 2 Procédure d'optimisation

Supposons un horizon de H périodes. A la période 1, on exécute la phase 1 de l'optimisation qui va nous fournir un horaire des clients de niveau 1 pour tout l'horizon. Ensuite, il faut déterminer les clients de niveau 3 pour la période 1 afin de ne pas les visiter. Pour cela, il faut comparer le niveau de la cuve de chaque client avec un paramètre propre à chaque client, dépendant de ses caractéristiques.

```

IF  $Q_i^{cli} - Niv_{it} \leq \alpha_5 Q_i^+$ 
  THEN  $Niv3_{it} = 1$ 
  ELSE  $Niv3_{it} = 0$ 
ENDIF
  
```

La phase 2 peut alors être exécutée. Elle permet de répartir tous les clients de niveau 1 entre les camions disponibles et d'ajouter les clients de niveau 2 qui sont intéressants à visiter, en considérant le niveau de leur cuve et la distance entre tous les arrêts du camion, et ce pour la période 1. Le modèle agrège les visites ainsi optimisées dans la variable $VisCalc_{it}$ pour que lors de la réexécution de la phase 1, ces visites soient prises en compte. On effectue donc cette boucle Phase 1, Niveau 3, Phase 2, jusqu'à ce que les routes de la période finale de l'horizon aient été optimisées par la phase 2.

4 COLLECTE DES DONNEES

4.1 Jeu de donnée test

Pour effectuer les tests et réglages, un jeu de donnée réduit a été utilisé. Ce jeu comprend 56 clients, un dépôt et 3 camions disponibles. Il est basé sur un distancier issu des grandes villes allemandes. Les capacités des cuves ont été attribuées aléatoirement entre 700 et 1500L, les vitesses de remplissage par jour et par clients ont été déterminées en partie suivant la capacité de la cuve et en partie aléatoirement et suivent une faible progression linéaire ainsi qu'une saisonnalité (comme on peut en rencontrer lors des périodes de changement de pneus). Ce jeu est réalisé pour un horizon de 12 périodes.

4.2 Jeu de données réel

Le jeu de données réel est issu de l'historique des collectes 2010 d'une société. Les dimensions approximatives de ce jeu sont de 10000 clients, 50 camions, 2 dépôts. Il a fallu réaliser une étude statistique en vrac sur les clients pour déterminer les vitesses de remplissage escomptées pour l'année suivante ainsi que traiter des centaines de cas particuliers où les capacités sont erronées ou bien où la vitesse de remplissage calculée ne correspond pas à la réalité. Ces vitesses peuvent prendre des valeurs différentes pour chaque jour de l'année. Ainsi, même si un client présente une très forte saisonnalité, le modèle sera en mesure de s'y adapter. Plus les clients ont été visités en 2010 plus l'estimation de leur vitesse de remplissage est fiable, en revanche pour les clients n'ayant reçu qu'une visite, nous avons estimé une vitesse de remplissage qui permet au client de se remplir en un an, la loi obligeant à au moins une collecte annuellement.

5 RESOLUTION ET TESTS

5.1 Résolution

Le problème a été résolu en utilisant IBM ILOG OPL Studio 6.3 couplé à une base de données MySQL sur un processeur Core i5 750 avec 8 Go de mémoire vive. Le jeu de données test a servi à réaliser les tests initiaux pour valider la procédure. L'avancement actuel du projet ne nous permet que d'évoquer les résultats issus de la phase 1 de l'optimisation. En effet,

la phase 2 n'est pour l'instant pas opérationnelle donc, afin de réaliser les tests, la phase 2 a été remplacée par un processus qui fait visiter uniquement les clients de niveau 1 tous les jours. Dans la phase opérationnelle, la planification sera établie une semaine à l'avance. Cependant, afin de pouvoir comparer l'efficacité globale de la procédure, le calcul a été lancé sur une année complète.

5.2 Indicateurs de performance

Afin de mesurer les gains apportés par la nouvelle méthode par rapport à l'historique de 2010, des indicateurs de performances ont été définis (voir le Tableau 1).

Tableau 1 Indices de performances employés

Nom	Représente	Objectif
IP1	Proportion des visites chez un client avec un niveau de cuve inférieur à 10 % de sa capacité	Réduction maximale
IP2	Proportion des visites chez un client lorsque le niveau de sa cuve atteint 80 %	Maximisation
IP3	Quantité moyenne d'huile collectée par visite.	Augmentation

5.3 Analyse des résultats

Une étude statistique sur l'historique a montré que l'on peut considérer le remplissage des cuves des clients entre les visites comme étant uniforme. De plus, la « production » d'huile usagée présente deux saisonnalités mais pas de progression linéaire (voir la Figure 3). Donc l'hypothèse a été faite que la planification de 2011 peut utiliser les valeurs de l'historique de 2010. Les résultats seront ainsi directement comparables.

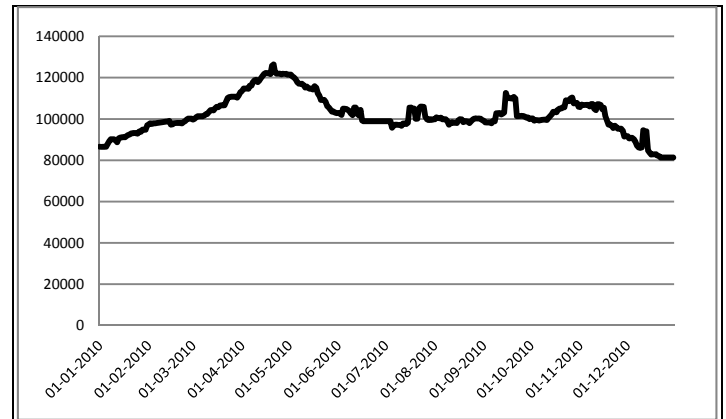


Figure 3 Production d'huile par jour (2010)

Pour déterminer les deux premiers indicateurs de performance, on utilise un histogramme représentant la proportion des visites effectuées en fonction du niveau de la cuve du client à la date de la visite. On constate visuellement l'efficacité du nouveau modèle (voir la Figure 4 et la Figure 5).

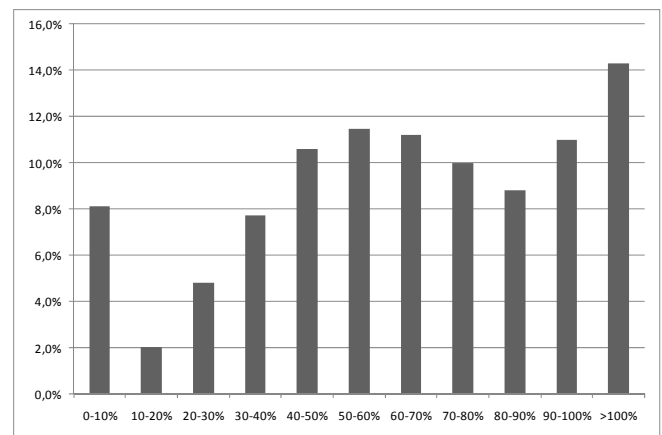


Figure 4 Proportion des visites effectuées en fonction du niveau de remplissage du réservoir en 2010

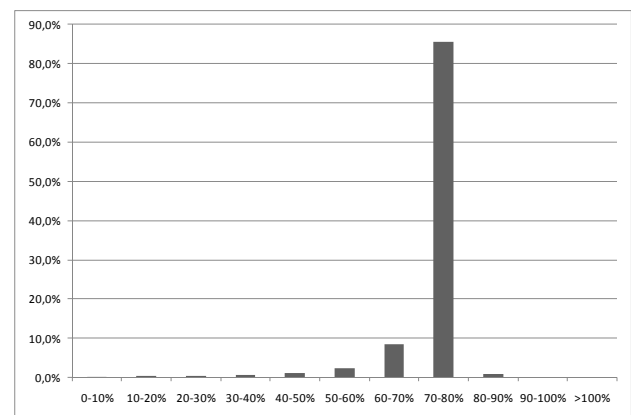


Figure 5 Proportion des visites planifiées en fonction du niveau de remplissage du réservoir

Il y a bien suppression des visites chez des clients trop peu remplis ou en débordement, et la majorité des clients sont visités alors que leur cuve est à 80% pleine. Les visites calculées ont bien suivi le nombre moyen de visites par jour indiqué dans la fonction-objectif (1), ce qui représente un gain en termes de stabilité de la charge de travail (voir la Figure 6 et le Tableau 2). La quantité moyenne d'huile collectée par visite a elle aussi fait un bond de 20 %. Le modèle présente donc une nette amélioration par rapport à l'historique.

Tableau 2 Gains de la nouvelle procédure

	2010 (historique)	2011 (prévision)	Gain
IP1	8,1%	0,2%	-7,9%
IP2	11,2%	85,6%	+74,4%
IP3	1097 L/jour	1311 L/jour	+20%

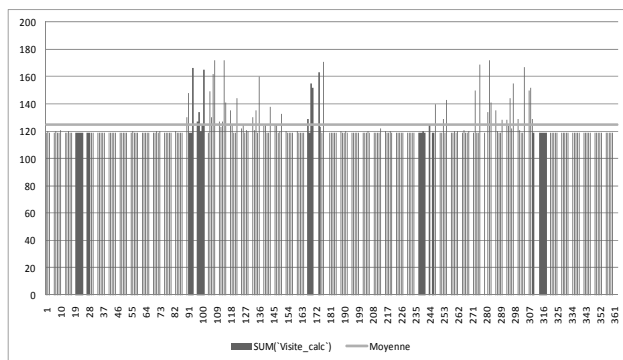


Figure 6 Nombre de visites par jour

6 CONCLUSION

Dans cet article, un modèle ainsi qu'une procédure de résolution ont été développés afin de résoudre un problème de tournée de véhicule avec gestion de stocks de grande échelle dans un contexte réel de collecte d'huile usagée. La procédure a été décomposée en deux sous-phases de résolution dont seule la première est opérationnelle à ce jour. Néanmoins, les résultats initiaux de cette phase sont très encourageants car des gains ont été apportés sur tous les indices de performance fixés. Une valeur cible quantifiant le nombre de visites espérées par jour a été introduite avec succès et permettra dans un contexte industriel de faciliter l'implantation du modèle en lissant la charge de travail au maximum, tel que souhaité par l'entreprise.

La mise en œuvre de la phase 2 de l'optimisation est en cours et montre déjà des résultats satisfaisants sur le jeu de données test. Lorsqu'elle sera implémentée, elle permettra d'introduire un indice de performance qui pourra représenter la quantité d'huile par kilomètre parcouru et par extension le profit généré par la cueillette d'un litre d'huile. Cet indicateur sera plus parlant pour les dirigeants de l'entreprise.

Il sera intéressant dans une étude future, de comparer ces prévisions de collectes avec les collectes telles qu'elles seront effectuées afin d'analyser les divergences entre les prévisions et la réalité du terrain de façon à améliorer le modèle.

7 REFERENCES

- Andersson, H., Hoff, A., Christiansen, M., Hasle, G. et Løkketangen, A (2010). "Industrial aspects and literature survey: Combined inventory management and routing." *Computers & Operations Research* **37**(9): 1515-1536.
- Baita, F., Ukovich, W., Pesenti, R. et Favaretto, D. (1998). "Dynamic routing-and-inventory problems: a review." *Transportation Research Part A: Policy and Practice* **32**(8): 585-598.
- Bersani, C., Minciardi, R. et Sacile, R. (2010). "Economic and Risk Implications in the Distribution of Petrol Products to Service Stations under Retailer Managed and Vendor Managed Inventories." *International Journal of Sustainable Transportation* **4**(3): 129-153.
- Campbell, A. et Savelsbergh, M. (2004). "A decomposition approach for the inventory-routing problem." *Transportation Science* **38**(4): 488-502.
- Chang, N. et Wei, Y. (1999). "Strategic planning of recycling drop-off stations and collection network by multiobjective programming." *Environmental management* **24**(2): 247-263.
- Cornillier, F., Laporte, G., Boctor, F. F. et Renaud, J. (2009). "The petrol station replenishment problem with time windows." *Computers & Operations Research* **36**(3): 919-935.
- Dror, M., Ball, M. et Golden, B (1985). "A computational comparison of algorithms for the inventory routing problem." *Annals of Operations Research* **4**(Copyright 1986, IEE): 3-23.
- El-Fadel, M. et Houry, R. (2001). "Strategies for vehicle waste-oil management: a case study." *Resources, Conservation and Recycling* **33**(2): 75-91.
- Federgruen, A. et Zipkin, P. (1984). "A combined vehicle routing and inventory allocation problem." *Operations Research* **32**(5): 1019-1037.
- Golden, B., Assad, A. et Dahl, R. (1984). "Analysis of a large scale vehicle routing problem with an inventory component." *Large Scale Systems* **7**(2-3): 181-190.
- Repoussis, P. P., Paraskevopoulos, D. C., Zobolas, G., Tarantilis, C. D. et Ioannou, G. (2009). "A web-based decision support system for waste lube oils collection and recycling." *European Journal of Operational Research* **195**(3): 676-700.
- Sander, K., D. Jepsen, Zangle, S. et Schilling, S. (2006). "Stoffstrom und Marktanalyse zur Sicherung der Altöleentsorgung." *Umweltbundesamt N° 15*.