

Optimisation des parcours d'épandage d'abrasifs et de déneigement de la chaussée



Source : Ville de Montréal

André Langevin



Source : Ville de Montréal

Professeur titulaire

Département de mathématiques et de génie industriel

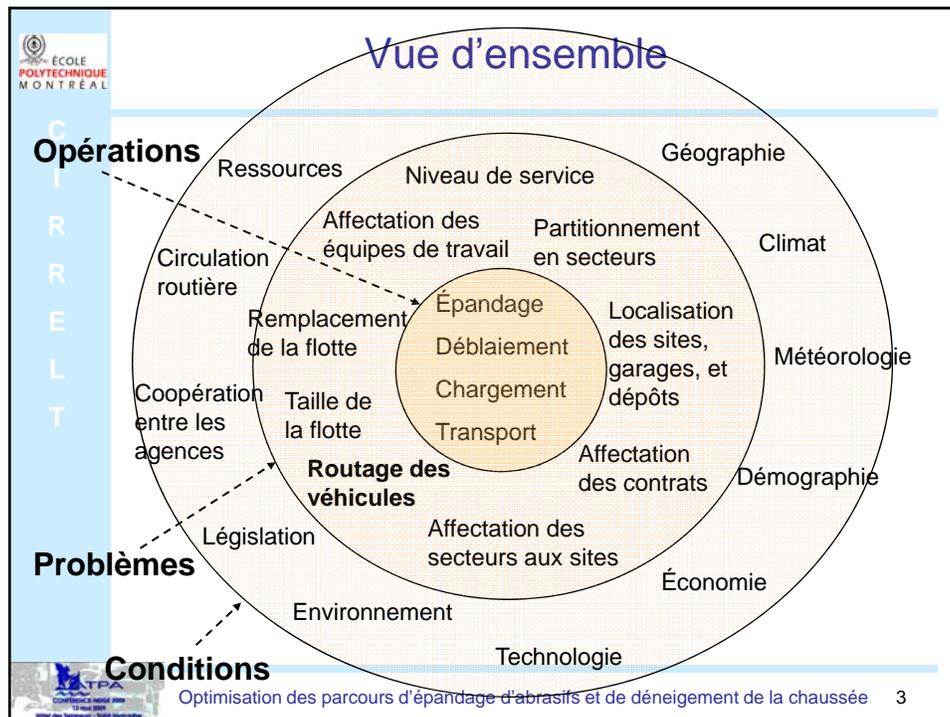


Plan

C
I
R
R
E
L
T

- Vue d'ensemble
- Caractéristiques des problèmes
- Outils et méthodes de résolution
- Cas de la Ville de Dieppe
- Partitionnement d'un réseau en secteurs de déneigement





- ### Classification des problèmes
- Détermination du niveau de service
 - Partitionnement d'une région ou d'un réseau en secteurs
 - Localisation des sites, garages et dépôts intermédiaires
 - Politique de remplacement des véhicules
 - Affectation de secteurs à des sites
 - Affectation de secteurs à des entrepreneurs
 - Détermination de la taille de la flotte de véhicules
 - Affectation des équipes de travail aux garages
 - Tournées de véhicules
- niveau stratégique

niveau tactique

niveau opérationnel

temps réel
- Optimisation des parcours d'épandage d'abrasifs et de déneigement de la chaussée 4



 C
I
R
R
E
L
T

Outils et méthodes de résolution


 Optimisation des parcours d'épandage d'abrasifs et de déneigement de la chaussée 5



 C
I
R
R
E
L
T

Optimisation des parcours : un défi quotidien

Comment faire face à la musique ?

- Développement d'**outils de planification et de gestion des opérations**

La réponse : combiner

- Systèmes d'information (géographiques)
- Technologies Système de Transport Intelligent (S.T.I.)
- Analyse des processus opérationnels
- Recherche opérationnelle

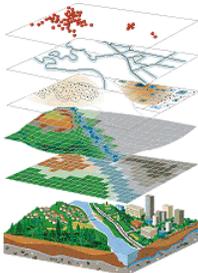
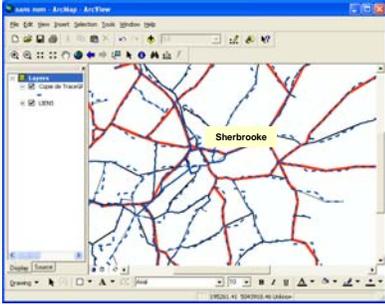



 Optimisation des parcours d'épandage d'abrasifs et de déneigement de la chaussée 6

C
I
R
R
E
L
T

Outils : S.I.G.

Les systèmes d'information géographique permettent le stockage, la visualisation et la gestion de données à caractère spatio-temporel


Avantages : très intuitifs, puissance du visuel, cartographie, SGBD
Bémol : coûteux et lourds à maintenir



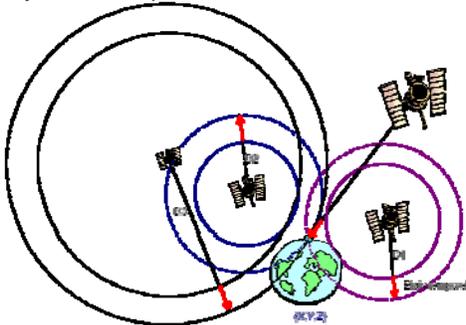
Optimisation des parcours d'épandage d'abrasifs et de déneigement de la chaussée

7

C
I
R
R
E
L
T

Outils : technologies S.T.I.

Éventail de technologies disponibles : *systèmes de transport intelligents, S.T.I.* (G.P.S., systèmes embarqués, etc.)




Avantages : puissance, automatisation → gains de temps
Bémol : indigestion de données, coûts élevés



Optimisation des parcours d'épandage d'abrasifs et de déneigement de la chaussée

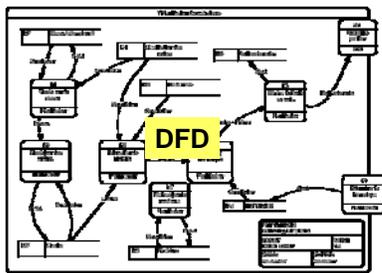
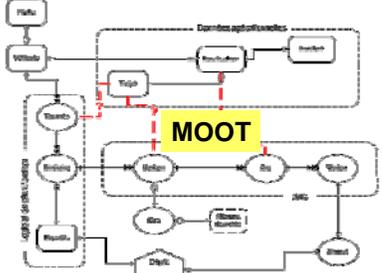
8

C
I
R
R
E
L
T



Outils : analyse des processus opérationnels

Activités d'entretien régies par des processus opérationnels précis.
 Analyse de ces processus nécessaire à l'adhésion aux systèmes d'aide à la décision.

Avantages : colle mieux aux besoins opérationnels
 Bémol : résistance au changement



Optimisation des parcours d'épandage d'abrasifs et de déneigement de la chaussée

9

C
I
R
R
E
L
T



Outils : recherche opérationnelle

Réorganisation des activités à l'aide d'algorithmes de R.O. permet l'économie de temps, d'argent et une meilleure offre de service aux citoyens

Choix judicieux des méthodes

- Surveillance
- Marquage
- Déneigement
- Remplacement de panneaux



Tournées sur les arcs

Tournées sur les nœuds

Avantages : puissance de calcul dépassant les capacités du décideur
 Bémol : très sensible aux données, solutions doivent être applicables



Optimisation des parcours d'épandage d'abrasifs et de déneigement de la chaussée

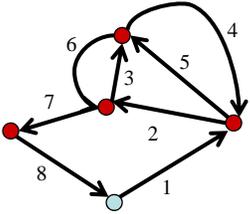
10

C
I
R
R
E
L
T

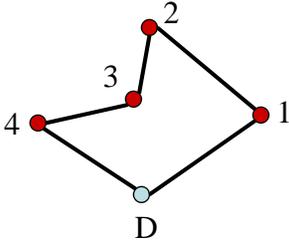


Outils : Classification des problèmes de tournées

Tournées sur les arcs



Tournées sur les nœuds





Optimisation des parcours d'épandage d'abrasifs et de déneigement de la chaussée 11

C
I
R
R
E
L
T



Outils : Applications des tournées sur les arcs

- Balayage de rues
- Collecte des ordures
- Déneigement
- Tournées de facteurs
- Lecture de compteurs
- Autobus scolaires
- Surveillance de réseaux routiers













Optimisation des parcours d'épandage d'abrasifs et de déneigement de la chaussée 12

 Le rôle de la recherche opérationnelle (RO)

C
I
R
R
E
L
T

- **Routage des véhicules pour l'entretien hivernal des réseaux routiers**
 - application de la RO
 - problème d'optimisation combinatoire
 - problème de grande taille
- **Recherche**
 - 1970-1990 : méthodes simples
 - 1991-2009 : méthodes plus sophistiquées
 - systèmes d'aide à la décision

 Optimisation des parcours d'épandage d'abrasifs et de déneigement de la chaussée 13

 Méthodes de résolution

C
I
R
R
E
L
T

Problème de parcours de base

- 1 dépôt
- 2 véhicules ou plus
- peu de contraintes

Méthodes

- méthodes constructives simples
- méthodes constructives en 2 phases
- méthodes d'amélioration

 Optimisation des parcours d'épandage d'abrasifs et de déneigement de la chaussée 14

ÉCOLE POLYTECHNIQUE MONTREAL

C I R R E L T

Méthodes constructives en 2 phases

2 stratégies

- stratégie **“Groupes & Tournées”**
 1. Créer des groupes de segments de rues selon certains critères
 2. Construire une tournée pour chaque groupe
- stratégie **“Tournées & Groupes”**
 1. Construire une tournée géante
 2. Partager la tournée en tournées admissibles

Opérations

- épandage de fondants et d’abrasifs
- déblaiement des rues

ATPA
Conférence sectorielle 2008
10 Mars 2009
Mise au point - 2008

Optimisation des parcours d'épandage d'abrasifs et de déneigement de la chaussée 15

ÉCOLE POLYTECHNIQUE MONTREAL

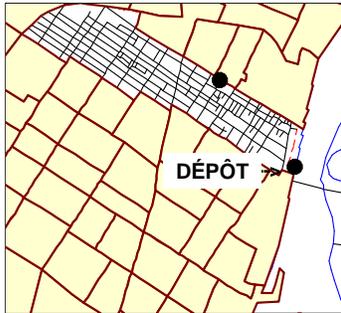
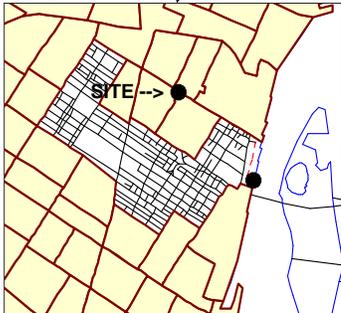
C I R R E L T

Méthodes constructives en 2 phases

Stratégie **“Groupes & Tournées”**

Critères utilisés pour la création des groupes de segments de rues

- groupes de même taille
- groupes allongés vers le dépôt
- groupes connexes
- groupes en arcs de cercle autour du site

ATPA
Conférence sectorielle 2008
10 Mars 2009
Mise au point - 2008

Optimisation des parcours d'épandage d'abrasifs et de déneigement de la chaussée 16

 **Méthodes d'échanges**

Application : U.S.

- sous-district Fowler, Indiana (Haslam et Wright, 1991)
 - distance couverte par les passages à vide réduite de **23%**
 - nombre de tournées réduit de plus de **3%**
- 3 sous-réseaux du comté Calvert, Maryland (Haghani et Qiao, 2001)
 - distance couverte par les passages à vide réduite de **15-54%**

Méthodes de recuit simulé

Application à un cas de plusieurs dépôts
Royaume-Uni, Comté Lancashire (Eglese, 1994)

- nombre de dépôts réduit de plus de **50%**
- sans augmenter la taille de la flotte ni le nombre de tournées

 Optimisation des parcours d'épandage d'abrasifs et de déneigement de la chaussée 17

 **Systèmes d'aide à la décision (SAD)**

SnowMaster (Evans 1990; Evans et Weant, 1990)

- épandage de fondants et d'abrasifs
- méthode constructive séquentielle
- application : comté Butler, Ohio, U.S.

- taille de la flotte réduite de **30%**
- temps d'achèvement réduit de **40%**

CASPER (Wang et Wright, 1994; Wang et al., 1995)

- épandage et déblaiement
- recherche avec tabous
- application : Indiana, U.S.

- taille de la flotte réduite de **10%**
- économies de **5 000 000 \$** de 1993 à 1995
- économies estimées à **15 000 000 \$** sur 10 ans

GeoRoute (GIRO, Montréal)

- épandage, déblaiement et chargement
- méthode combinée
- application : Suffolk, U.K. et Ottawa

- Suffolk : **4** des 37 tournées éliminées
- Ottawa : économies de **150 000 \$** / année

 Optimisation des parcours d'épandage d'abrasifs et de déneigement de la chaussée 18

ÉCOLE POLYTECHNIQUE MONTREAL

C
I
R
R
E
L
T

Cas de la Ville de Dieppe

ATPA Conférence spécialisée 18 Mars 2009

Optimisation des parcours d'épandage d'abrasifs et de déneigement de la chaussée 19

ÉCOLE POLYTECHNIQUE MONTREAL

C
I
R
R
E
L
T

Cas de la Ville de Dieppe



ATPA Conférence spécialisée 18 Mars 2009

Optimisation des parcours d'épandage d'abrasifs et de déneigement de la chaussée 20



ÉCOLE
POLYTECHNIQUE
MONTREAL

Problématique

C
I
R
R
E
L
T

- Population : forte croissance
 - augmentation du nombre de rues à déblayer
 - achat d'un 8^e véhicule
 - planification des opérations de déblaiement

Déterminer un **ensemble de 8 tournées de véhicules** de façon à minimiser le **temps d'achèvement** des opérations tout en respectant certaines **contraintes**.



ATPA
Conférence sectorielle
13 mai 2009
Mise au point - 10h30

Optimisation des parcours d'épandage d'abrasifs et de déneigement de la chaussée 21



ÉCOLE
POLYTECHNIQUE
MONTREAL

Contraintes

C
I
R
R
E
L
T

- hiérarchie du réseau
 - rues artérielles (A)
 - rues collectrices (C)
 - rues locales (L)
- promotion des classes C et L
- service en tandem
- une seule tournée par véhicule
- virages à gauche interdits
- dépôt
 - point de départ
 - point d'arrivée
- tournées équilibrées







ATPA
Conférence sectorielle
13 mai 2009
Mise au point - 10h30

Optimisation des parcours d'épandage d'abrasifs et de déneigement de la chaussée 22 **22**

C
I
R
R
E
L
T

Véhicules

- 2 chasse-neige
 - 1.5 voies à la fois
 - 25 km/h classes A et C
 - 10 km/h classe L
- 1 niveleuse
 - 1.5 voies à la fois
 - 20 km/h classes A et C
 - 10 km/h classe L
- 5 tracteurs-chargeurs
 - 1 voie à la fois
 - classes C et L seulement
 - 10 km/h





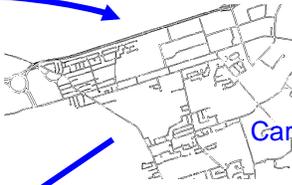

Optimisation des parcours d'épandage d'abrasifs et de déneigement de la chaussée 23

C
I
R
R
E
L
T

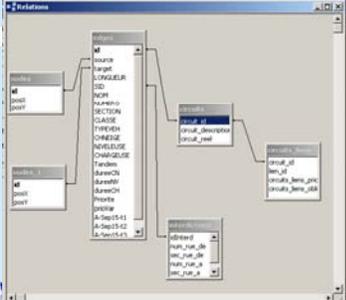
Construction BD cartographique



Carte géographique



Carte numérisée



Base de données cartographique
du réseau routier



Optimisation des parcours d'épandage d'abrasifs et de déneigement de la chaussée 24



Méthode de résolution

C
I
R
R
E
L
T

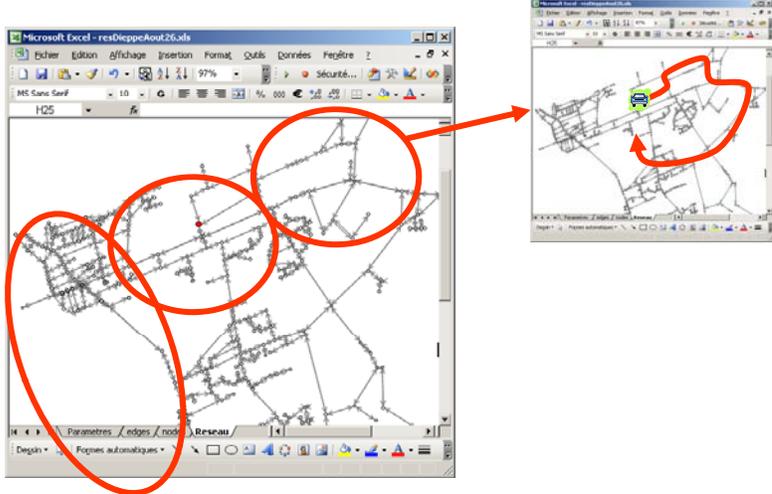
- méthode constructive en 2 phases
 - Phase I: Créer 8 groupes d'arcs selon certains critères
 - groupes ayant la même charge de travail
 - groupes compacts
 - Phase II : Construire une tournée pour chaque groupe
 - contraintes de priorité


 Optimisation des parcours d'épandage d'abrasifs et de déneigement de la chaussée 25



Méthode de résolution

C
I
R
R
E
L
T



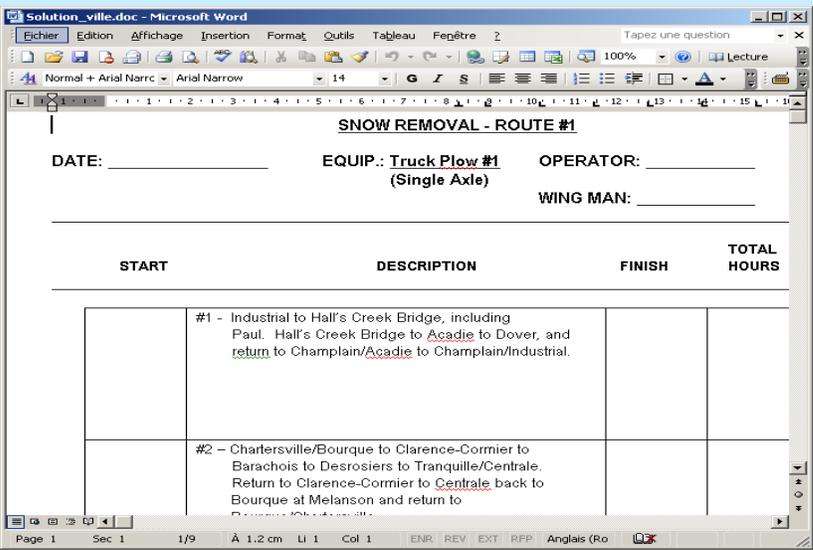

 Optimisation des parcours d'épandage d'abrasifs et de déneigement de la chaussée 26



ÉCOLE
POLYTECHNIQUE
MONTREAL

Feuilles de route initiales de la Ville

C
I
R
R
E
L
T



SNOW REMOVAL - ROUTE #1

DATE: _____ EQUIP.: **Truck Plow #1** OPERATOR: _____
(Single Axle) WING MAN: _____

| START | DESCRIPTION | FINISH | TOTAL HOURS |
|-------|---|--------|-------------|
| | #1 - Industrial to Hall's Creek Bridge, including Paul, Hall's Creek Bridge to Acadie to Dover, and return to Champlain/Acadie to Champlain/Industrial. | | |
| | #2 - Chartersville/Bourque to Clarence-Cormier to Barachois to Desrosiers to Tranquille/Centrale. Return to Clarence-Cormier to Centrale back to Bourque at Melanson and return to Bourque at Melanson. | | |



ATPA
Conférence sectorielle
10 mars 2009

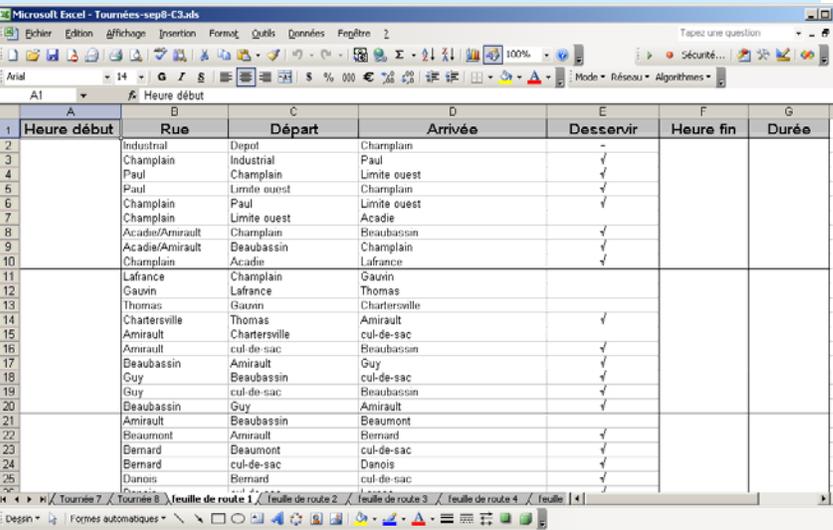
Optimisation des parcours d'épandage d'abrasifs et de déneigement de la chaussée 27



ÉCOLE
POLYTECHNIQUE
MONTREAL

Nouvelles feuilles de route

C
I
R
R
E
L
T



| A | B | C | D | E | F | G |
|-------------|-----------------|---------------|---------------|-----------|-----------|-------|
| Heure début | Rue | Départ | Arrivée | Desservir | Heure fin | Durée |
| 2 | Industrial | Depot | Champlain | - | | |
| 3 | Champlain | Industrial | Paul | ✓ | | |
| 4 | Paul | Champlain | Limite ouest | ✓ | | |
| 5 | Paul | Limite ouest | Champlain | ✓ | | |
| 6 | Champlain | Paul | Limite ouest | ✓ | | |
| 7 | Champlain | Limite ouest | Acadie | ✓ | | |
| 8 | Acadie/Amirault | Champlain | Beaubassin | ✓ | | |
| 9 | Acadie/Amirault | Beaubassin | Champlain | ✓ | | |
| 10 | Champlain | Acadie | Lafrance | ✓ | | |
| 11 | Lafrance | Champlain | Gauvin | | | |
| 12 | Gauvin | Lafrance | Thomas | | | |
| 13 | Thomas | Gauvin | Chartersville | | | |
| 14 | Chartersville | Thomas | Amirault | ✓ | | |
| 15 | Amirault | Chartersville | cul-de-sac | ✓ | | |
| 16 | Amirault | cul-de-sac | Beaubassin | ✓ | | |
| 17 | Beaubassin | Amirault | Guy | ✓ | | |
| 18 | Guy | Beaubassin | cul-de-sac | ✓ | | |
| 19 | Guy | cul-de-sac | Beaubassin | ✓ | | |
| 20 | Beaubassin | Guy | Amirault | ✓ | | |
| 21 | Amirault | Beaubassin | Beaumont | ✓ | | |
| 22 | Beaumont | Amirault | Bernard | ✓ | | |
| 23 | Bernard | Beaumont | cul-de-sac | ✓ | | |
| 24 | Bernard | cul-de-sac | Danois | ✓ | | |
| 25 | Danois | Bernard | cul-de-sac | ✓ | | |



ATPA
Conférence sectorielle
10 mars 2009

Optimisation des parcours d'épandage d'abrasifs et de déneigement de la chaussée 28

ÉCOLE POLYTECHNIQUE MONTREAL

C I R R E L T

Visualisation cartographique

Microsoft Excel - Tournées-sept-C3.xls

Echier Edition Affichage Insertion Format Outils Graphique Fenêtre ?

Tapez une question

Mode - Réseau - Algorithmes -

4 4 1 1 Tournée 1 / Tournée 2 / Tournée 3 / Tournée 4 / Tournée 5 / Tournée 6 / Tournée 7 / Tournée 8 / Tournée 9 / feuille de rou

Dessin

Optimisation des parcours d'épandage d'abrasifs et de déneigement de la chaussée 29

ÉCOLE POLYTECHNIQUE MONTREAL

Visualisation cartographique

Microsoft Excel - Tournées-sept-C3.xls

Echier Edition Affichage Insertion Format Outils Graphique Fenêtre ?

Tapez une question

Mode - Réseau - Algorithmes -

4 4 1 1 Tournée 1 / Tournée 2 / Tournée 3 / Tournée 4 / Tournée 5 / Tournée 6 / Tournée 7 / Tournée 8 / Tournée 9 / feuille de rou

Dessin

Simulation de la tournée

Optimisation des parcours d'épandage d'abrasifs et de déneigement de la chaussée 30

Résultats

| | Scénario | | | | | | Ville |
|----------------------------------|----------|-------------|------|-------------|------|------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| Temps d'achèvement (h) | 5.9 | 5.0 | 5.5 | 4.9 | 4.4 | 5.2 | 5.2 |
| Déséquilibre de durée (h) | 25.4 | 29.1 | 44.9 | 15.7 | 22.3 | 37.1 | 19.4 |
| C avant A (%) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 14.4 |
| L avant A (%) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 13.0 |
| L avant C (%) | 12.0 | 31.0 | 17.0 | 94.0 | 89.0 | 84.0 | 25.2 |

Amélioration de 67% par rapport au scénario 4

Optimisation des parcours d'épandage d'abrasifs et de déneigement de la chaussée 31

Résultats

| | Mesure de déséquilibre de durée des tournées | Distance totale (km) | Temps d'achèvement (h) |
|------------|--|----------------------|------------------------|
| Ville | 19.4 | 372.4 | 5.2 |
| Scénario 4 | 15.7 | 377.5 | 4.9 |
| Scénario 5 | 22.3 | 356.0 | 4.4 |
| Scénario 6 | 37.1 | 341.3 | 5.2 |

Optimisation des parcours d'épandage d'abrasifs et de déneigement de la chaussée 32

Résultats

| | C avant A (%) | L avant A (%) | L avant C (%) | Distance totale (km) | Temps d'achèvement (h) |
|------------|---------------|---------------|---------------|----------------------|------------------------|
| L Ville | 14.4 | 13.0 | 25.2 | 372.4 | 5.2 |
| Scénario 9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 391.3 | 5.4 |
| Scénario 3 | 0.0 | 0.0 | 17.0 | 368.4 | 5.5 |
| Scénario 6 | 0.0 | 0.0 | 84.0 | 341.3 | 5.2 |

Optimisation des parcours d'épandage d'abrasifs et de déneigement de la chaussée 33

Cas de la Ville de Dieppe : résumé

- méthode constructive en 2 phases
 - principes d'optimisation simples
 - contraintes opérationnelles
 - amélioration par rapport à la solution de la ville
- outil de visualisation des tournées
- feuilles de route plus détaillées
- possibilité de réaliser plusieurs scénarios

Optimisation des parcours d'épandage d'abrasifs et de déneigement de la chaussée 34



ÉCOLE
POLYTECHNIQUE
MONTREAL

C
I
R
R
E
L
T

Partitionnement d'un réseau en secteurs de déneigement



ATPA
Conférence sectorielle
10 mai 2009

Optimisation des parcours d'épandage d'abrasifs et de déneigement de la chaussée 35

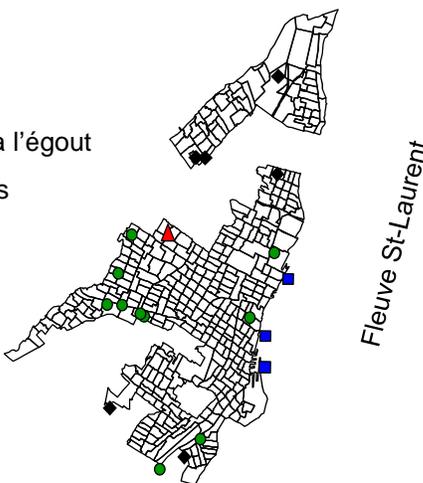


ÉCOLE
POLYTECHNIQUE
MONTREAL

C
I
R
R
E
L
T

Description du problème

- Fleuve
- ◆ Terrains
- Chutes à l'égout
- ▲ Carrières



Fleuve St-Laurent



ATPA
Conférence sectorielle
10 mai 2009

Optimisation des parcours d'épandage d'abrasifs et de déneigement de la chaussée 36

C
I
R
R
E
L
T

Description du problème

- Fleuve
- ◆ Terrains
- Chutes à l'égout
- ▲ Carrières

Fleuve St-Laurent

Quai # 90

Optimisation des parcours d'épandage d'abrasifs et de déneigement de la chaussée 37

C
I
R
R
E
L
T

Description du problème

Min coûts **transport** + coûts opération **sites** + coûts fixes **camions** } *Objectif*

Secteur **contigus, équilibrés**, en **arcs** de cercle } *Contraintes*

Capacités horaire et annuelle des sites

1 site par secteur

Optimisation des parcours d'épandage d'abrasifs et de déneigement de la chaussée 38

Approches de résolution

Épandage et déblaiement

Enlèvement de la neige

Optimisation des parcours d'épandage d'abrasifs et de déneigement de la chaussée 39

Approches de résolution

1. Affectation des unités de base aux installations
2. Agglomération des unités de base

- méthodes constructives
- méthodes d'amélioration

Optimisation des parcours d'épandage d'abrasifs et de déneigement de la chaussée 40



C
I
R
R
E
L
T

Conclusion



Optimisation des parcours d'épandage d'abrasifs et de déneigement de la chaussée 41



C
I
R
R
E
L
T

Conclusion

- **Progrès de la RO**
 - méthodes robustes
 - SAD interactifs-graphiques

- développements continuels en RO
 - ↑ de la puissance des micro-ordinateurs
 - SAD de + en + conviviaux
 - accessibilité de l'informatique
- **Percées futures**
 - recherche méthodologique
 - problèmes de grande taille
 - modèles plus réalistes



Optimisation des parcours d'épandage d'abrasifs et de déneigement de la chaussée 42

C
I
R
R
E
L
T

Conclusion



Addresses

- 3350 45th Ave NE
- 3383 30th Ave NE
- 2459 Country Rd. 9 NE

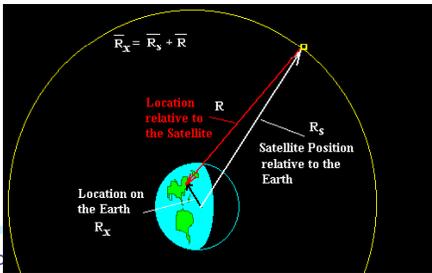
3383 30th A ve N E

2459 C country Rd. 9 N E



Entretien hivernal des réseaux routiers

Recherche opérationnelle





Optimisation des parcours d'épandage d

C
I
R
R
E
L
T

Merci de votre attention.

André Langevin

andre.langevin@polymtl.ca



Optimisation des parcours d'épandage d'abrasifs et de déneigement de la chaussée 44