

Une plate-forme de simulation pour la Planification Stratégique Nationale

projet 301

Jean Damay

journée scientifique de la
**Chaire de Recherche Industrielle du CRSNG
en Management Logistique**

5 décembre 2007



CIRRELT



La planification stratégique nationale/régionale

Modèles, problématiques et défis

Etape du projet : étude comparative des méthodologies d'affectation

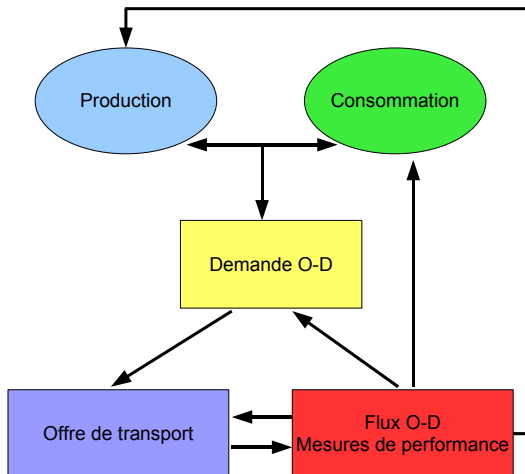
Modèles mathématiques

Algorithmes implémentés

Expérimentations

Travaux futurs

Les systèmes de transport



Caractéristiques des systèmes de transport et des problèmes de planification

- Passager vs. marchandise

Caractéristiques des systèmes de transport et des problèmes de planification

- Passager vs. marchandise
- Uni- vs. multi-/inter-modal

Caractéristiques des systèmes de transport et des problèmes de planification

- Passager vs. marchandise
- Uni- vs. multi-/inter-modal
- Services personnalisés vs. consolidés

Caractéristiques des systèmes de transport et des problèmes de planification

- Passager vs. marchandise
- Uni- vs. multi-/inter-modal
- Services personnalisés vs. consolidés

- Urbain vs. interurbain/" régional"

Caractéristiques des systèmes de transport et des problèmes de planification

- Passager vs. marchandise
- Uni- vs. multi-/inter-modal
- Services personnalisés vs. consolidés

- Urbain vs. interurbain/" régional"
- Utilisateurs/expéditeurs vs. transporteurs vs. autorités régisseuses

Caractéristiques des systèmes de transport et des problèmes de planification

- Passager vs. marchandise
- Uni- vs. multi-/inter-modal
- Services personnalisés vs. consolidés

- Urbain vs. interurbain/" régional"
- Utilisateurs/expéditeurs vs. transporteurs vs. autorités régisseuses
- Niveau opérationnel vs. tactique vs. stratégique

Planification stratégique nationale

- Transport de marchandises

Planification stratégique nationale

- Transport de marchandises
- Niveau régional, national, international

Planification stratégique nationale

- Transport de marchandises
- Niveau régional, national, international
- Planification à long terme (année/saison)

Planification stratégique nationale

- Transport de marchandises
- Niveau régional, national, international
- Planification à long terme (année/saison)
- Plusieurs types de produits/secteurs industriels

Planification stratégique nationale

- Transport de marchandises
- Niveau régional, national, international
- Planification à long terme (année/saison)
- Plusieurs types de produits/secteurs industriels
- Plusieurs types de décideurs

Planification stratégique nationale

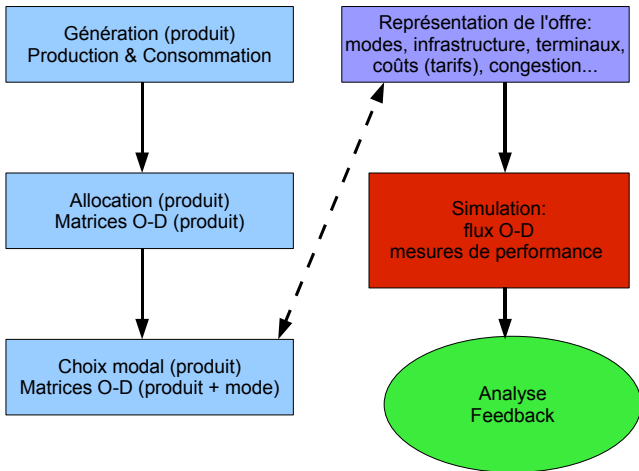
- Transport de marchandises
- Niveau régional, national, international
- Planification à long terme (année/saison)
- Plusieurs types de produits/secteurs industriels
- Plusieurs types de décideurs
- Plusieurs modes de transport et installations intermodales

Planification stratégique nationale

- Transport de marchandises
- Niveau régional, national, international
- Planification à long terme (année/saison)
- Plusieurs types de produits/secteurs industriels
- Plusieurs types de décideurs
- Plusieurs modes de transport et installations intermodales

- Analyse de scénarios
 - ▶ modifications d'infrastructure
 - ▶ évolution de la demande
 - ▶ changements technologiques
 - ▶ variations du cadre politique, économique, légal
 - ▶ ...

Modèle à quatre étapes



Autres modélisations

- Modèles de demande
 - ▶ modèles d'Entrée/Sortie (Isard 1951, Cascetta 2001)
 - ▶ modèles d'équilibre spatial (Friesz et al. 1983, Harker 1988)

Autres modélisations

- Modèles de demande
 - ▶ modèles d'Entrée/Sortie (Isard 1951, Cascetta 2001)
 - ▶ modèles d'équilibre spatial (Friesz et al. 1983, Harker 1988)
- "User Optimum" vs. "System Optimum" (Wardrop 1952)

Autres modélisations

- Modèles de demande
 - ▶ modèles d'Entrée/Sortie (Isard 1951, Cascetta 2001)
 - ▶ modèles d'équilibre spatial (Friesz et al. 1983, Harker 1988)
- "User Optimum" vs. "System Optimum" (Wardrop 1952)
- Modèle à deux niveaux (Friesz et al. 1986)

Autres modélisations

- Modèles de demande
 - ▶ modèles d'Entrée/Sortie (Isard 1951, Cascetta 2001)
 - ▶ modèles d'équilibre spatial (Friesz et al. 1983, Harker 1988)
- "User Optimum" vs. "System Optimum" (Wardrop 1952)
- Modèle à deux niveaux (Friesz et al. 1986)
- Modèles d'utilité aléatoire (Cascetta 2001, Nielsen 2004)

Défis à relever pour la future génération de modèles

- Faire face à l'agrégation des données à différents niveaux :
 - ▶ géographique et socio-économique
 - ▶ décideurs
 - ▶ dimension temporelle
 - ▶ produits
 - ▶ modes de transport

Défis à relever pour la future génération de modèles

- Faire face à l'agrégation des données à différents niveaux :
 - ▶ géographique et socio-économique
 - ▶ décideurs
 - ▶ dimension temporelle
 - ▶ produits
 - ▶ modes de transport
- Intégrer les Systèmes de Transport Intelligents (STI) et mesurer leur impact sur le comportement des systèmes
- Mesurer l'impact sur des chaînes logistiques spécifiques

Notre projet de recherche

- Identifier la dynamique entre :
 - ▶ les modèles de base fondamentaux
 - ▶ la structure des études de cas et des *scénarios*
 - ▶ les analyses à effectuer

Notre projet de recherche

- Identifier la dynamique entre :
 - ▶ les modèles de base fondamentaux
 - ▶ la structure des études de cas et des *scénarios*
 - ▶ les analyses à effectuer
- Différentes phases
 - ▶ état de l'art des méthodologies existantes (modèles mathématiques, algorithmes, décompositions...) – incluant celles pour les problèmes de transport de passagers
 - ▶ étude comparative des méthodologies d'affectation tenant compte des outils et capacités computationnelles actuelles
 - ▶ implémentation d'une plateforme pour la simulation du comportement des système
 - ▶ améliorer la simulation : composants et interactions, méthodologies, intégrations...

Modèle d'affectation du trafic en transport de marchandises : formulation flot chemin (1/3)

Modèle d'affectation du trafic en transport de marchandises : formulation flot chemin (1/3)

- Variables :
 - ▶ v_a^p, v_t^p : flots du produit p sur l'arc a et le transfert t
 - ▶ $s_a^p(v), s_t^p(v)$: coûts unitaires du produit p sur l'arc a et le transfert t
 - ▶ h_l, s_l : flot et coût unitaire du produit p sur le chemin l

Modèle d'affectation du trafic en transport de marchandises : formulation flot chemin (1/3)

- Variables :
 - ▶ v_a^p, v_t^p : flots du produit p sur l'arc a et le transfert t
 - ▶ $s_a^p(v), s_t^p(v)$: coûts unitaires du produit p sur l'arc a et le transfert t
 - ▶ h_l, s_l : flot et coût unitaire du produit p sur le chemin l
- Contraintes couplantes :
 - ▶ $v_a^p = \sum_{l \in \mathcal{L}^p} \delta_{al} h_l, a \in \mathcal{A}, p \in \mathcal{P}$ ($\delta_{al} = 1$ if $a \in l$, 0 otw.)
 - ▶ $v_t^p = \sum_{l \in \mathcal{L}^p} \delta_{tl} h_l, t \in \mathcal{T}, p \in \mathcal{P}$ ($\delta_{tl} = 1$ if $t \in l$, 0 otw.)

Modèle d'affectation du trafic en transport de marchandises : formulation flot chemin (1/3)

- Variables :
 - ▶ v_a^p, v_t^p : flots du produit p sur l'arc a et le transfert t
 - ▶ $s_a^p(v), s_t^p(v)$: coûts unitaires du produit p sur l'arc a et le transfert t
 - ▶ h_l, s_l : flot et coût unitaire du produit p sur le chemin l
- Contraintes couplantes :
 - ▶ $v_a^p = \sum_{l \in \mathcal{L}^p} \delta_{al} h_l, a \in \mathcal{A}, p \in \mathcal{P}$ ($\delta_{al} = 1$ if $a \in l, 0$ otherwise.)
 - ▶ $v_t^p = \sum_{l \in \mathcal{L}^p} \delta_{tl} h_l, t \in \mathcal{T}, p \in \mathcal{P}$ ($\delta_{tl} = 1$ if $t \in l, 0$ otherwise.)
- Contraintes de satisfaction de la demande :
 - ▶ $\sum_{l \in \mathcal{L}_{od}^{m(p)}} h_l = g_{od}^{m(p)}, o, d \in \mathcal{N}, p \in \mathcal{P}, m(p) \subseteq \mathcal{M}$
 - ▶ $h_l \geq 0, l \in \mathcal{L}_{od}^{m(p)}, o, d \in \mathcal{N}, p \in \mathcal{P}, m(p) \subseteq \mathcal{M}$

Modèle d'affectation du trafic en transport de marchandises : formulation flot chemin (2/3)

- Premier principe de Wardrop (User optimum)
 - ▶ "The journey times (the costs) on all the routes actually used are equal, and less than those which would be experienced by a single flow unit on any unused route."

Modèle d'affectation du trafic en transport de marchandises : formulation flot chemin (2/3)

- Premier principe de Wardrop (User optimum)
 - ▶ "The journey times (the costs) on all the routes actually used are equal, and less than those which would be experienced by a single flow unit on any unused route."
- Modèle d'équilibre de réseau (Florian and Hearn 1995) reformulé (pour des fonctions de coût positives, continues et additives) en un problème d'optimisation avec pour fonction objectif :

$$\text{▶ } \min f(v) = \sum_{p \in P} (\sum_{a \in \mathcal{A}} \int_0^{v_a^p} s_a^p(x) dx + \sum_{t \in \mathcal{T}} \int_0^{v_t^p} s_t^p(x) dx)$$

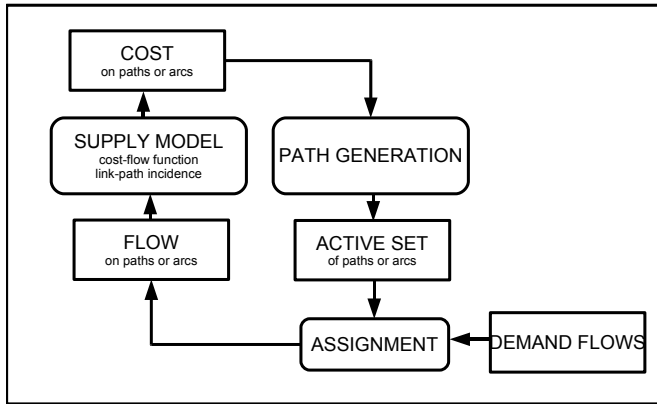
Modèle d'affectation du trafic en transport de marchandises : formulation flot chemin (3/3)

- Second principe de Wardrop (System Optimum)
 - ▶ Minimisation du coût total sur le réseau

Modèle d'affectation du trafic en transport de marchandises : formulation flot chemin (3/3)

- Second principe de Wardrop (System Optimum)
 - ▶ Minimisation du coût total sur le réseau
- Problème d'optimisation avec pour fonction objectif :
 - ▶ $\min F(v) = \sum_{p \in P} (\sum_{a \in \mathcal{A}} s_a^p(v) v_a^p + \sum_{t \in \mathcal{T}} s_t^p(v) v_t^p)$

Principe générique de résolution



Problèmes d'optimisation non linéaires de grande taille

- Décompositions cycliques (type Gauss-Seidel)
 - ▶ "whole"
 - ▶ "unitary"
 - ▶ "by class"
 - ▶ "by origin" ou "by destination"

Problèmes d'optimisation non linéaires de grande taille

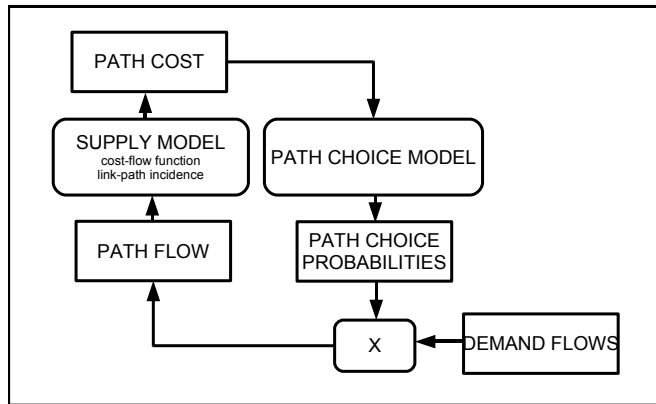
- Décompositions cycliques (type Gauss-Seidel)
 - ▶ "whole"
 - ▶ "unitary"
 - ▶ "by class"
 - ▶ "by origin" ou "by destination"
- Itérations d'algorithmes "non linéaires"
 - ▶ Frank-Wolfe (linéarisation)
 - ▶ Simplexe convexe
 - ▶ Gradient réduit
 - ▶ Gradient projeté

Problèmes d'optimisation non linéaires de grande taille

- Décompositions cycliques (type Gauss-Seidel)
 - ▶ "whole"
 - ▶ "unitary"
 - ▶ "by class"
 - ▶ "by origin" ou "by destination"
- Itérations d'algorithmes "non linéaires"
 - ▶ Frank-Wolfe (linéarisation)
 - ▶ Simplexe convexe
 - ▶ Gradient réduit
 - ▶ Gradient projeté
- Méthodes pour améliorer la convergence
 - ▶ Méthode des moyennes successives
 - ▶ *PARTAN*

Algorithme de choix de chemin

- Modèles d'utilité aléatoire



Résultats numériques (travail en cours, 1/3)

Génération d'instances génériques :

Résultats numériques (travail en cours, 1/3)

Génération d'instances génériques :

- Nombre de nœuds (50, 200, 1000) ;

Résultats numériques (travail en cours, 1/3)

Génération d'instances génériques :

- Nombre de nœuds (50, 200, 1000) ;
- Nombre de produits (1, 5, 15) ;

Résultats numériques (travail en cours, 1/3)

Génération d'instances génériques :

- Nombre de nœuds (50, 200, 1000) ;
- Nombre de produits (1, 5, 15) ;
- Nombre de modes de transport (1, 3, 12) ;

Résultats numériques (travail en cours, 1/3)

Génération d'instances génériques :

- Nombre de nœuds (50, 200, 1000) ;
- Nombre de produits (1, 5, 15) ;
- Nombre de modes de transport (1, 3, 12) ;
- Niveau de densité du réseau en liens et en transferts intermodaux (peu dense, moyennement dense, très dense)

Résultats numériques (travail en cours, 1/3)

Génération d'instances génériques :

- Nombre de nœuds (50, 200, 1000) ;
- Nombre de produits (1, 5, 15) ;
- Nombre de modes de transport (1, 3, 12) ;
- Niveau de densité du réseau en liens et en transferts intermodaux (peu dense, moyennement dense, très dense)
- Niveau de densité de la demande (peu dense, moyennement dense, très dense)

Résultats numériques (travail en cours, 1/3)

Génération d'instances génériques :

- Nombre de nœuds (50, 200, 1000) ;
- Nombre de produits (1, 5, 15) ;
- Nombre de modes de transport (1, 3, 12) ;
- Niveau de densité du réseau en liens et en transferts intermodaux (peu dense, moyennement dense, très dense)
- Niveau de densité de la demande (peu dense, moyennement dense, très dense)
- Pool de fonctions de coût (séparables)

Résultats numériques (travail en cours, 2/3)

Exécution des différents traitements :

Résultats numériques (travail en cours, 2/3)

Exécution des différents traitements :

- Décompositions spécifiques ("whole", "unitary", "by class") ;

Résultats numériques (travail en cours, 2/3)

Exécution des différents traitements :

- Décompositions spécifiques ("whole", "unitary", "by class");
- Itérations des algorithmes classiques ("Frank-Wolfe", "Simplexe convexe", "gradient réduit", "gradient projeté", "choix de chemin");

Résultats numériques (travail en cours, 2/3)

Exécution des différents traitements :

- Décompositions spécifiques ("whole", "unitary", "by class");
- Itérations des algorithmes classiques ("Frank-Wolfe", "Simplexe convexe", "gradient réduit", "gradient projeté", "choix de chemin");
- Hypothèses sur le comportement de l'utilisateur (User-Optimum, System-Optimum, perception du réseau).

Résultats numériques (travail en cours, 3/3)

Mesures de performance (maximum et moyen) :

Résultats numériques (travail en cours, 3/3)

Mesures de performance (maximum et moyen) :

- nombre d'équilibres atteints

Résultats numériques (travail en cours, 3/3)

Mesures de performance (maximum et moyen) :

- nombre d'équilibres atteints
- temps CPU d'exécution

Résultats numériques (travail en cours, 3/3)

Mesures de performance (maximum et moyen) :

- nombre d'équilibres atteints
- temps CPU d'exécution
- nombre de *cycles externes*

Résultats numériques (travail en cours, 3/3)

Mesures de performance (maximum et moyen) :

- nombre d'équilibres atteints
- temps CPU d'exécution
- nombre de *cycles externes*
- comparaison des valeurs de la fonction objectif

Résultats numériques (travail en cours, 3/3)

Mesures de performance (maximum et moyen) :

- nombre d'équilibres atteints
- temps CPU d'exécution
- nombre de *cycles externes*
- comparaison des valeurs de la fonction objectif
- nombre d'appels aux routines
 - ▶ recherche de plus court chemin intermodal
 - ▶ recherche unidimensionnelle

Résultats numériques (travail en cours, 3/3)

Mesures de performance (maximum et moyen) :

- nombre d'équilibres atteints
- temps CPU d'exécution
- nombre de *cycles externes*
- comparaison des valeurs de la fonction objectif
- nombre d'appels aux routines
 - ▶ recherche de plus court chemin intermodal
 - ▶ recherche unidimensionnelle
- indicateurs sur la solution générée (nombre de chemins actifs, caractère intermodal...)

Conclusion et travaux futurs

- Planification stratégique nationale
 - ▶ Modèles de représentation (demande, offre...)
 - ▶ Comparaison des modèles et algorithmes d'affectation

Conclusion et travaux futurs

- Planification stratégique nationale
 - ▶ Modèles de représentation (demande, offre...)
 - ▶ Comparaison des modèles et algorithmes d'affectation
- Résultats numériques

Conclusion et travaux futurs

- Planification stratégique nationale
 - ▶ Modèles de représentation (demande, offre...)
 - ▶ Comparaison des modèles et algorithmes d'affectation
- Résultats numériques
- Plateforme de simulation (études de cas, scénarios, analyses)

Conclusion et travaux futurs

- Planification stratégique nationale
 - ▶ Modèles de représentation (demande, offre...)
 - ▶ Comparaison des modèles et algorithmes d'affectation
- Résultats numériques
- Plateforme de simulation (études de cas, scénarios, analyses)
- Meilleure simulation des différents composants des systèmes de transport de marchandises et de leurs interactions, en fonction des instances proposées

Conclusion et travaux futurs

- Planification stratégique nationale
 - ▶ Modèles de représentation (demande, offre...)
 - ▶ Comparaison des modèles et algorithmes d'affectation
- Résultats numériques
- Plateforme de simulation (études de cas, scénarios, analyses)
- Meilleure simulation des différents composants des systèmes de transport de marchandises et de leurs interactions, en fonction des instances proposées
- Intégration STI

Conclusion et travaux futurs

- Planification stratégique nationale
 - ▶ Modèles de représentation (demande, offre...)
 - ▶ Comparaison des modèles et algorithmes d'affectation
- Résultats numériques
- Plateforme de simulation (études de cas, scénarios, analyses)
- Meilleure simulation des différents composants des systèmes de transport de marchandises et de leurs interactions, en fonction des instances proposées
- Intégration STI
- Impact sur des chaînes logistiques spécifiques