

# Métaheuristiques

## stratégies pour l'optimisation de la production de biens et de services

Marc Sevaux



Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis

Laboratoire d'Automatique de Mécanique, d'Informatique  
Industrielles et Humaines du CNRS (UMR CNRS 8530)

Le Mont Houy – Bat Jonas 2  
F-59313 Valenciennes cedex 9 – France  
Marc.Sevaux@univ-valenciennes.fr

Habilitation à Diriger des Recherches  
1<sup>er</sup> juillet 2004, Valenciennes

## Contenu de la présentation

- ▶ Curriculum Vitæ
- ▶ Activités pédagogiques
- ▶ Activités de recherche
- ▶ Synthèse scientifique
- ▶ Perspectives

## Curriculum vitæ

### **Informations personnelles**

- ▶ 35 ans
- ▶ Marié, 3 enfants

### **Depuis septembre 1999**

- ▶ Maître de conférences
- ▶ 61<sup>e</sup> section
- ▶ IUT de Valenciennes – Dept. OGP Cambrai
- ▶ LAMIH – Equipe Systèmes de Production

## Parcours et Formation

- ▶ DEUG, Licence et Maîtrise, IMA (1992-1994)
- ▶ DEA Informatique et Recherche Opérationnelle, Paris 6 (1994-1995)
- ▶ Doctorat, Université de Paris 6 / EMN (1996-1998)
  - ▶ Etude de deux problèmes d'optimisation en planification et ordonnancement
    - Direction : S. Dauzère-Pérès
    - Président : Ph. Chrétienne
    - Rapporteurs : Y. Crama et J.-B. Lasserre
    - Examineurs : M.-C. Portmann et Ch. Prins
- ▶ Ingénieur de recherche, EMN (1998-1999)
- ▶ Maître de conférences, UVHC (depuis 1999)

## Activités pédagogiques

- ▶ Enseignements
- ▶ Encadrements et supports de cours
- ▶ Administration de l'enseignement

## Enseignements

### Avant l'UVHC

- ▶ IMA – Informatique – (1992-1993) 60h
- ▶ ITEC – Maths, Physique, Chimie – (1993-1994) 240h
- ▶ EMN – PL, Gest. Prod. – (1997-1999) 90h

### A l'UVHC

- ▶ Qualité, IUT 1, 1999-2000, 75h/an
- ▶ Programmation linéaire, EIGIP (2000-2002) 20h/an
- ▶ Mathématiques de la décision, Master 1 (2002-2003) 20h/an
- ▶ Informatique, IUT 1 (depuis 1999) 60h/an
- ▶ Recherche opérationnelle, IUT 2 (depuis 1999) 110h/an

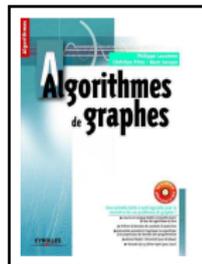
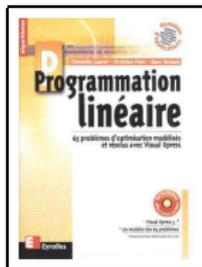
## Encadrements et supports de cours

### Encadrements d'étudiants

- ▶ Stages industriels (2 à 3 par an)
- ▶ Projets internes ou industriels (2 par an)
- ▶ Lancement du jeu d'entreprise

### Supports de cours

- ▶ Supports de cours électronique (RO, MD)
- ▶ Passage des cours en ligne (Info)
- ▶ Deux livres



## Administration de l'enseignement

- ▶ Elu au conseil restreint de l'IUT – depuis 2003  
Supervision de l'attribution des postes, Enseignants / Chercheurs, Enseignants, ATER, Vacataires
- ▶ Responsable des relations internationales – depuis 2003  
Stagiaires à l'étranger, invitations d'enseignants
- ▶ Responsable de l'organisation des projets – 2001-2003  
Projets en entreprise, concours national OGP, jeu d'entreprise
- ▶ Responsable des visites en entreprise – 1999-2001  
4 à 5 visites par an

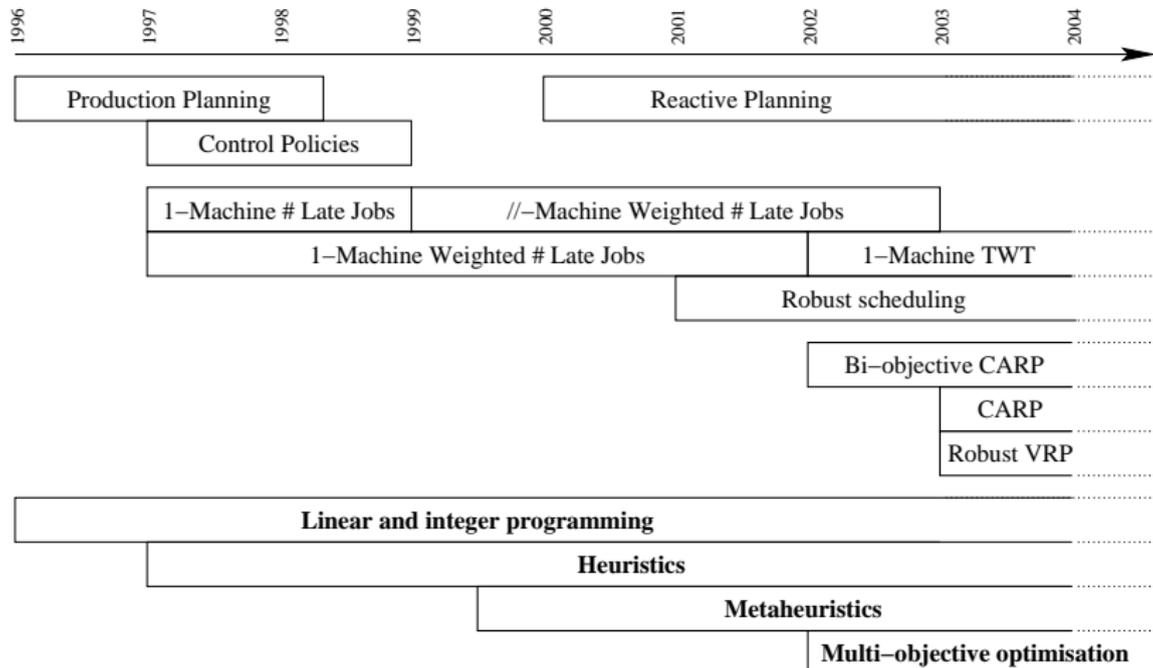
### **Responsable pédagogique**

Modules 9 (Informatique) et 17 (Recherche Opérationnelle).

## Activités de recherche

- ▶ Animation de la recherche
- ▶ Organisation de manifestations
- ▶ Visibilité et rayonnement
- ▶ Evaluation de la recherche
- ▶ Contrats, projets et financements
- ▶ Encadrement de 3<sup>e</sup> cycle

## Evolution des activités



## Le groupe EU/ME



EU/ME, European chapter on Metaheuristics  
Thème: métaheuristiques, création 2000, 750 membres

- ▶ Coordination avec K. Sörensen
- ▶ Administration/Animation
- ▶ Gestion du site web
- ▶ Relations avec EURO
- ▶ Mailing list, Forum, Working papers, Annonces, Annuaire

[www.euro-online.org/eume/](http://www.euro-online.org/eume/)



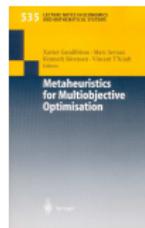
The screenshot shows the homepage of the EU/ME website. The header features the EU/ME logo and the text "EU/ME the European chapter on metaheuristics EURO Working Group". The main content area is divided into several sections: "Interests" (listing topics like Genetic Algorithms, Simulated Annealing, etc.), "How to join us" (describing membership benefits), "EURO Working Group" (mentioning the group's official status), "Who are we?" (a link to a directory), and "Support us" (a link to a log page). A sidebar on the right contains "What's new?" (with a link to a PDF), "Discussion topics" (with a link to a mailing list), and "Welcome to our latest members" (with a link to a list of members).

## Activités du groupe EU/ME



EU/ME, European chapter on Metaheuristics

- ▶ EU/MEetings : 1 manifestation internationale par an depuis 2001
- ▶ Un livre édité LNEMS
- ▶ Un numéro spécial EJOR
- ▶ Une session MIC 2001
- ▶ Deux “creative sessions” MIC 2001, MIC 2003



## Activités futures du groupe EU/ME



### EU/ME, European chapter on Metaheuristics

- ▶ Un cluster “Métaheuristiques”, INFORMS Denver 2004
- ▶ EU/MEeting : University of Nottingham 3-4 Novembre 2004
- ▶ libOR : une nouvelle version de la OR-Library
- ▶ On-line BibTeX : références en ligne
- ▶ EURO mini-conference, VNS (Mladenovic & Moreno-Pérez)
- ▶ MIC 2005 : EU/ME creative session

## Organisation de manifestations

### A Valenciennes

- ▶ Pentom 2003, IFIP FEATS 2001
- ▶ Réunion Bermudes 2001, Journées GRP 2000

### En dehors de Valenciennes

- ▶  EU/MEetings : en association avec un groupe local  
Londres 2001, Paris 2002, Anvers 2003, Nottingham 2004

### Sessions / Cluster de sessions

- ▶  MIC, Porto 2001  
Thème métaheuristiques et ordonnancement
- ▶  INFORMS, Denver 2004  
Thème métaheuristiques : 4 sessions

## Visibilité et rayonnement

### Collaborations

- ▶  Université d'Anvers
- ▶  Université Polytechnique de Hong-Kong
- ▶ Massachusetts Institute of Technology
- ▶ UTT, EMN, UBP, IMA

### Sociétés et groupes de recherche

- ▶ INFORMS, SOGESCI-BVWB, ROADéF,  EU/ME
- ▶ GDR-MACS/STP, Club EEA, PM20, GOTHa

### Comités scientifiques

- ▶  MIC'05, PENTOM'05, FRANCORO'04,  EURO XX
- ▶ ISS'04,  MIC'03,  ESI XXI, PENTOM'03,  MIC'01

## Evaluation de la recherche

### Editeur associé et fonction d'édition

- ▶ EA : Int. J. of Computational Intelligence (IJCM)
- ▶ EA : Int. J. of Signal Processing (IJSP)
- ▶  Edition d'un numéro spécial EJOR
- ▶  Edition d'un livre (LNEMS)

### Rapporteur de revues scientifiques

- ▶ EJOR, JOH, AOR, IEEE-SMC, EAAI, Kluwer
- ▶ 4OR, IJMS, IEEE-TRA, INFOR, RCIM, IIE Trans, DSS, Rairo, JESA, Hermes

### Commission de spécialistes

61<sup>e</sup> section – Suppléant en 2003, Titulaire depuis 2004

## Contrats, projets et financements

- ▶ Alcatel – 12 mois – 2003-2004  
Algorithmes d'optimisation du trafic
  - ▶ SNCF – 24.2k€ – 3 ans – 2000-2003  
Thèse CIFRE – Yann Le Quéré
  - ▶ Centre Hospitalier – 48k€ – 3 ans – 2000-2003  
Optimisation des flux logistiques
- 
- ▶ SART – 42.7k€ – 18 mois – 2003-2004
  - ▶ MOST – 27.4k€ – 18 mois – 2001-2002
- 
- ▶ MAE – MIC 2003 (850€) et IEPM 1999 (530€)
  - ▶  PAI – Univ. Polytech. Hong-Kong – 8k€ – 2003-2004

## Encadrements de 3<sup>e</sup> cycle

### Thèse de doctorat

- ▶ F. Beugnies – 2003-2006
- ▶ K. Bouamrane – 2003-2006
- ▶ Y. Le Quéré – 2000-2004 (8 septembre 2004)

### DEA

- ▶ C. Bian – 2003-2004
- ▶ J. Saint-Mars – 2002-2003
- ▶ Y. Qiu – 2003-2004
- ▶ C. Tilleul – 2000-2001

### Jury de thèse

- ▶ Comité d'accompagnement : N. Souaiï (2006)
- ▶  Rapporteur : K. Sörensen (13 juin 2004)
- ▶ Examineur : W. Ramdane-Chérif (12 décembre 2003)

# Métaheuristiques

## Stratégies pour l'optimisation de la production de biens et de services

- ▶ Intensification et diversification
- ▶ Algorithme mémétique
- ▶ Scatter search
- ▶ GA|PM
- ▶ Problématiques
- ▶ Conclusion

## Pourquoi les métaheuristiques

### Problèmes $\mathcal{NP}$ -difficiles

- ▶ Alternative efficace
  - ▶ aux heuristiques
  - ▶ aux méthodes exactes
- ▶ Besoin de rapidité (développement et résolution)

### Un outil formidable

- ▶ Cadre général “facile”
  - ▶ à appliquer
  - ▶ à adapter
- ▶ Outil de résolution pratique

## Métaheuristique : concepts de base

### **Intensification**

- ▶ Améliorer la qualité d'une ou plusieurs solutions

### **Diversification**

- ▶ Explorer un espace de solutions plus large

### **Equilibre**

- ▶ Trop d'intensification → optima locaux
- ▶ Trop de diversification → exploration trop longue

## Algorithme mémétique (MA) [Moscato 1989]

### Éléments de base

- ▶ **Population** : plusieurs solutions sont contruites et manipulées en parallèle
- ▶ **Sélection** : favoriser les individus de la population les mieux adaptés (meilleur *fitness*)
- ▶ **Croisement** : combiner deux solutions parents pour produire un ou deux enfants
- ▶ **Recherche locale** : améliorer les solutions enfants produites

### Technique

- ▶ Remplacer la mutation par une recherche locale systématique

## Algorithme MA

(version incrémentale)

- 1: **initialise**: generate an initial population  $P$  of solutions
- 2: **repeat**
- 3:   **selection**: choose 2 solutions  $x$  and  $x'$
- 4:   **crossover**: combine  $x$  and  $x'$  to form a child solution  $y$
- 5:   **local search**: apply a local search operator on  $y$
- 6:   choose an individual  $y'$  to be replaced in the population
- 7:   replace  $y'$  by  $y$  in the population
- 8: **until** stopping criterion satisfied

# Analyse de l'algorithme

## Algorithme extensible

- ▶ Taux de recherche locale
- ▶ Ajout d'un opérateur de mutation
- ▶ Taux de mutation
- ▶ Combinaisons infinies

## Intensification

- ▶ Sélection
- ▶ Recherche locale

## Diversification

- ▶ Remplacement
- ▶ Croisement ?
- ▶ Mutation

## Scatter search (SS) [Glover 1994]

### Éléments de base

- ▶ **Population** importante
- ▶ **Ensemble de référence** de taille réduite
- ▶ Mesure de **diversité**
- ▶ **Recherche locale**

### Technique

- ▶ Génération de nouvelles solutions par combinaison jusqu'à épuisement de l'ensemble de référence
- ▶ Remplacement d'une partie de l'ensemble de référence

## Algorithme SS

- 1: **initialise**: generate an initial improved population
- 2: **Select** a diverse subset  $R$  (Reference set)
- 3: **while** stopping criterion is not satisfied **do**
- 4:    $A \leftarrow R$
- 5:   **while**  $A \neq \emptyset$  **do**
- 6:     **combine** solutions ( $B \leftarrow R \times A$ )
- 7:     **improve** solutions of  $B$
- 8:     **update**  $R$  (keep best solutions from  $R \cup B$ )
- 9:      $A \leftarrow B - R$
- 10:   **end while**
- 11:   **Remove** half of the worst solutions in  $R$
- 12:   **Add** new diverse solutions in  $R$
- 13: **end while**

# Intensification et diversification

## **Intensification**

- ▶ Boucle interne
- ▶ Recherche locale
- ▶ Mise à jour de l'ensemble de référence

## **Diversification**

- ▶ Sélection d'un ensemble divers
- ▶ Remplacement d'une partie des solutions

# Algorithme génétique avec gestion de la population (GA|PM) [Sörensen 2003]

## Éléments de base

- ▶ **Population** de petite taille
- ▶ Mesure de **diversité**
- ▶ **Recherche locale**
- ▶ **Mutation**
- ▶ **Gestion** de la population

## Technique

- ▶ Accepter un nouvel individu dans la population s'il satisfait un critère de diversité

## Algorithme GA|PM

- 1: **initialise** population  $P$ , **set** diversity parameter  $\Delta$
- 2: **repeat**
- 3:   **select:**  $p_1$  and  $p_2$  from  $P$
- 4:   **crossover:**  $p_1 \otimes p_2 \rightarrow c_1, c_2$
- 5:   **local search:** on  $c_1$  and  $c_2$
- 6:   **for** each child  $c$  **do**
- 7:     **while**  $d_P(c) < \Delta$  **do**
- 8:       **mutate**  $c$
- 9:     **end while**
- 10:    **if**  $c$  satisfies conditions for addition **then**
- 11:     **update population:**  $P \leftarrow P \setminus b \cup c$
- 12:    **end if**
- 13:   **end for**
- 14:   update diversity parameter  $\Delta$
- 15: **until** stopping criterion satisfied

# Intensification et diversification

## **Intensification**

- ▶ Sélection
- ▶ Recherche locale
- ▶ Mise à jour de  $\Delta$

## **Diversification**

- ▶ Mutation
- ▶ Mise à jour de  $\Delta$

## Problématiques

### Problèmes étudiés

- ▶ Ordonnancement à une machine  
Single machine total weighted tardiness problem  $1|r_j|\sum w_j T_j$
- ▶ Tournées de véhicules sur arcs  
Capacitated Arc Routing Problem

### Algorithmes testés

- ▶ Algorithme mémétique (MA)
- ▶ Scatter search (SS)
- ▶ Algorithme génétique avec gestion de la population (GA|PM)

## Retour d'expérimentation

### **Ordonnancement à une machine**

- ▶ Supériorité de GA|PM sur MA
- ▶ Supériorité de SS sur MA
- ▶ Equivalence de SS et GA|PM  
Mais pas en terme d'effort de développement

### **Tournées de véhicules**

- ▶ Supériorité de GA|PM sur MA
- ▶ Quasi-équivalence de GA|PM avec un MA très sophistiqué

## Caractéristiques d'une métaheuristique

Pour une “bonne” métaheuristique, les caractéristiques suivantes sont importantes :

- ▶ Population  
parallélisme intrinsèque
- ▶ Codage  
de préférence indirect
- ▶ Coopération  
croisement adapté
- ▶ Recherche locale  
dans l'espace des solutions
- ▶ Diversité  
contrôle nécessaire
- ▶ Restarts  
un nouveau départ
- ▶ Aléatoire

## Publications

### Acceptées ou parues

- ▶ Co-auteur de **2 livres** – dont 1 traduit en Anglais
- ▶  Co-éditeur d'un livre
- ▶ **7 articles** en revues internationales  
JOS, CaOR,  4OR,  EJOR, IEEE-SMC, NRL, IIE Trans
- ▶ **18 conférences** internationales avec actes

### En préparation ou en soumission

- ▶ **2 livres** (Graphes, Métaheuristiques  )
- ▶  **1 chapitre** de livre
- ▶ **5 articles** (dont 3  )
- ▶  Edition d'une **revue**

## Perspectives

### Méthodes et outils

- ▶ Métaheuristiques
- ▶ Combinaison avec d'autres méthodes (PPC, PL, PLNE)
- ▶ Optimisation multi-objectif
- ▶ Optimisation robuste

### Applications potentielles

- ▶ Tournées de véhicules
- ▶ Ordonnancement

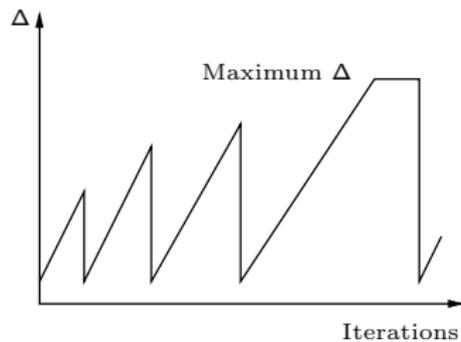
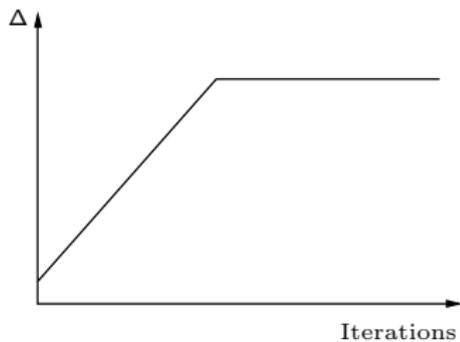
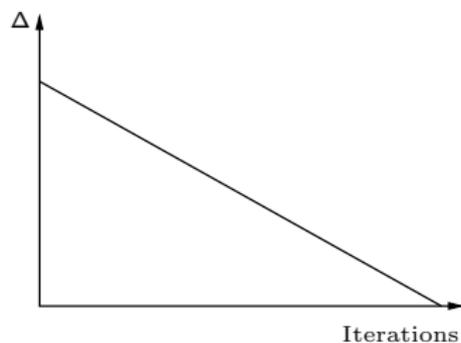
### Activités contractuelles

- ▶ Semurval
- ▶ Alcatel

## Compléments

- ▶ GA|M : gestion de la population
- ▶ Application en ordonnancement
- ▶ Application en tournées de véhicules

## GA|M : gestion de la population



## Single machine total weighted tardiness problem

$$1|r_j| \sum w_j T_j$$

Un ensemble de  $n$  jobs à séquencer sur une machine unique

- ▶  $p_j$  : processing time
- ▶  $w_j$  : weight
- ▶  $r_j$  : release date
- ▶  $d_j$  : due date

**Objectif** : Minimiser le retard pondéré total  $\sum w_j T_j$

$$T_j = \max(0, C_j - d_j)$$

$C_j$  : date de fin d'exécution du job  $j$

**Contraintes** : un seul job à la fois, pas de préemption  
début après sa date de disponibilité

**Complexité** :  $\boxed{1|r_j| \sum w_j T_j} \rightarrow \mathcal{NP}$ -complet au sens fort

# Expérimentations

## Algorithmes testés

- ▶ Algorithme mémétique (MA)
- ▶ Scatter search (SS)
- ▶ Algorithme génétique avec gestion de la population (GA|PM)

## Composants

- ▶ **Codage** : permutation
- ▶ **Fitness** : ordo. semi-actif
- ▶ **Croisement** : LOX
- ▶ **Mutation** : GPI
- ▶ **Recherche locale** : basée sur GPI
- ▶ **Population** : MA=25, SS=30(10), GA|PM=10
- ▶ **Arrêt** : 1 minute ou 10 000 itérations sans amélioration du meilleur individu

## Comparaison MA vs SS

Set of inst.	MA results			SS results			
	First pos.	Avg. gap (in %)	Avg. iter.	First pos.	Avg. gap (in %)	Avg. iter.	Avg. Xov.
ODD20	0	0.000	952757	0	0.000	168	25509
ODD40	0	0.000	258526	0	0.000	31	5710
ODD60	0	0.219	88106	7	0.000	8	1859
ODD80	2	0.080	39040	6	0.004	3	1021
ODD100	2	0.131	19854	12	0.007	1	938
Global	4	0.143	215539	25	0.006	31	5405

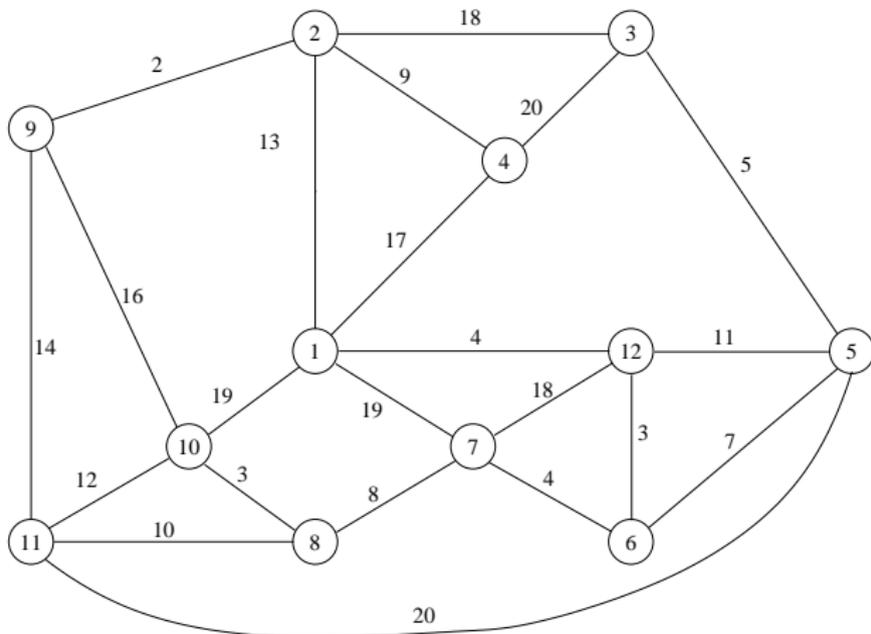
## Comparaison GA|PM vs MA

Set of inst.	GAPM results			MA results		
	First pos.	Avg. gap (in %)	Avg. iter.	First pos.	Avg. gap (in %)	Avg. iter.
ODD20	0	0.000	32375	0	0.000	952757
ODD40	0	0.000	4142	0	0.000	258526
ODD60	6	0.088	1685	1	0.251	88106
ODD80	6	0.003	1153	1	0.083	39040
ODD100	8	0.064	844	4	0.118	19854
Global	20	0.057	8040	6	0.148	271657

## Comparaison SS vs GA|PM

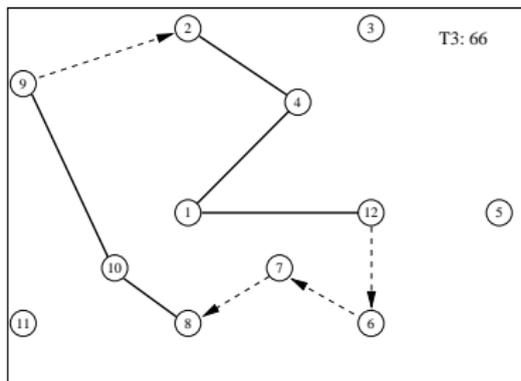
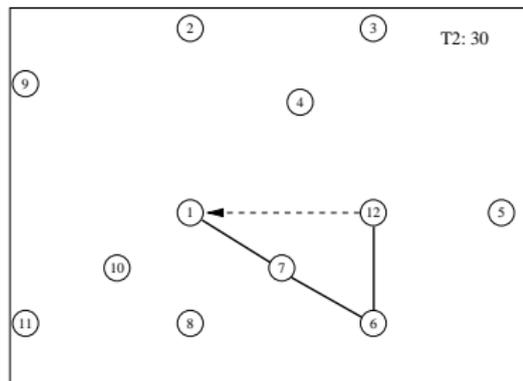
Set of inst.	GAPM results			SS results			
	First pos.	Avg. gap (in %)	Avg. iter.	First pos.	Avg. gap (in %)	Avg. iter.	Avg. Xov.
ODD20	0	0.000	33496	0	0.000	168	25509
ODD40	0	0.000	4142	0	0.000	31	5710
ODD60	0	0.057	1685	2	0.000	8	1859
ODD80	2	0.000	1153	0	0.013	3	1021
ODD100	3	0.128	844	7	0.010	1	938
Global	5	0.112	6070	9	0.011	31	5405

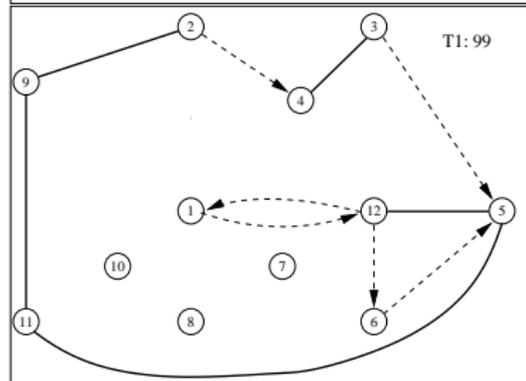
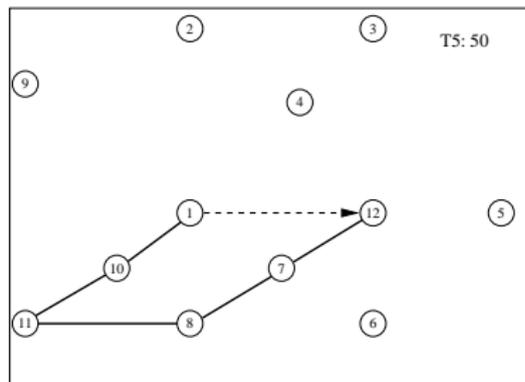
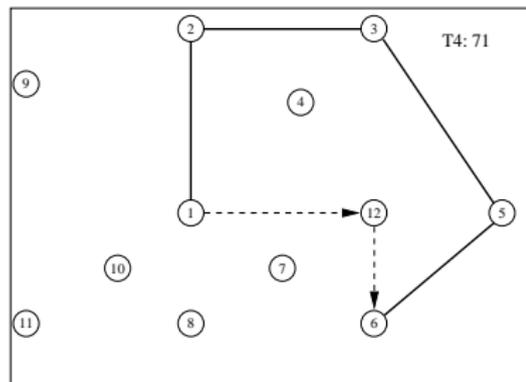
## Capacitated Arc Routing Problem



12 nodes, 22 edges, capacity = 5, unit demands

# Solution optimale





Optimal solution: 5 trips ;  
total cost= 316

## Comparaison GA|PM vs MA

Algorithm	Dev. LB	Worst	LB hits	Av. time	Restarts	Av. Xovers
SMA	0.65	4.07	15	0.37	0	2750.5
BMA-nr	0.33	2.23	18	0.95	0	3013.1
GAPM-nr	0.24	2.23	20	0.90	0	880.9
BMA	0.17	2.23	21	4.79	5(3)	9960.2
GA PM	0.17	2.23	21	1.59	3(1)	1968.9