



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^{er} 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^e 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

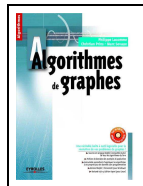
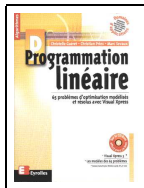
Encadrements et supports de cours

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

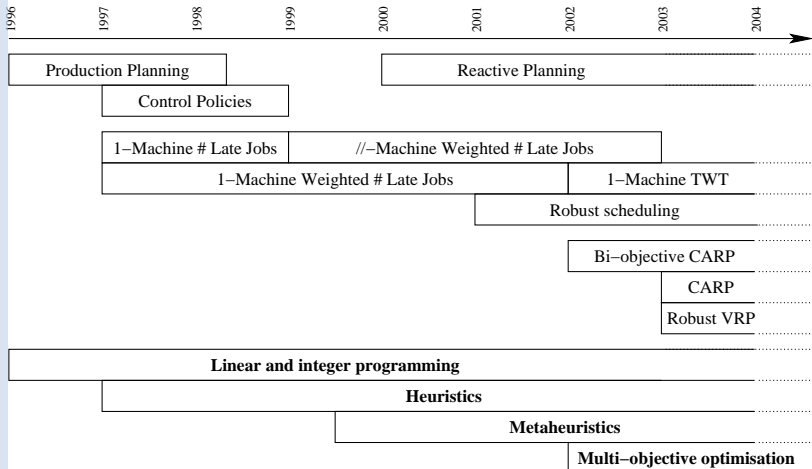
Responsable pédagogique

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^e 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/

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 recent years, industry applications, and various metaheuristic methods), 'How to join us' (describing membership benefits and the group's official status), 'EURO Working Group' (mentioning the group's creation by Sörensen, Glover, and Woeginger), 'Who are we?' (inviting members to identify themselves), and 'Support us' (encouraging site usage). A sidebar on the right contains 'What's new?' (with a link to a PDF on DCA/LUTE applications), 'Discussion topics' (listing topics like metaheuristic design and genetic algorithms), and 'Welcome to our latest members' (listing names like Luis Ramirez and others).

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, PM2O, 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^e 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^e 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

Algorithmes 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 Δ
- 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 Δ
- 15: **until** stopping criterion satisfied

Intensification et diversification

Intensification

- ▶ Sélection
- ▶ Recherche locale
- ▶ Mise à jour de Δ

Diversification

- ▶ Mutation
- ▶ Mise à jour de Δ

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

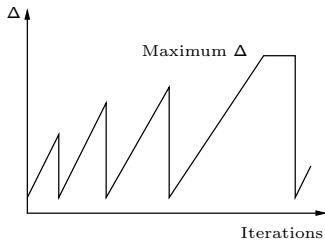
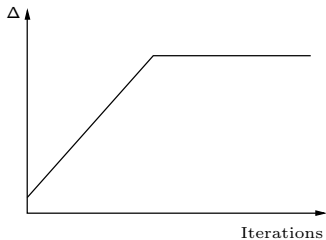
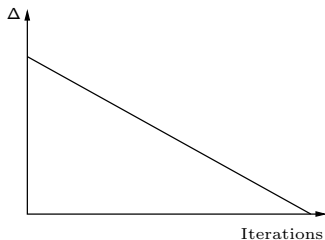
Activités contractuelles

- ▶ 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 : $1|r_j| \sum w_j T_j \rightarrow \mathcal{NP}$ -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
- ▶ **Croisement** : LOX
- ▶ **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
- ▶ **Fitness** : ordo. semi-actif
- ▶ **Mutation** : GPI

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

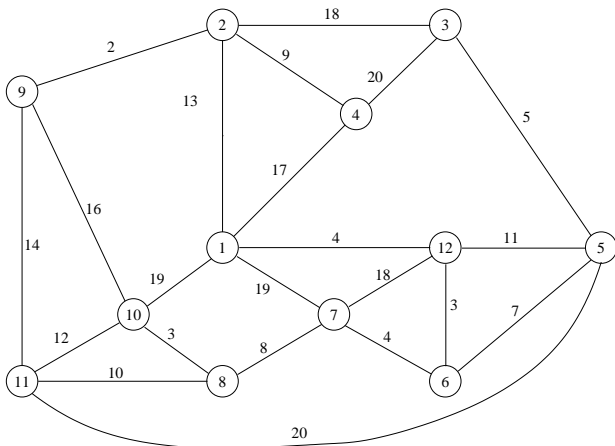
Comparaison GA|PM vs MA

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

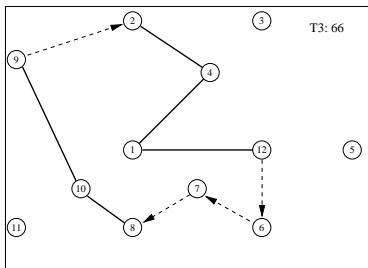
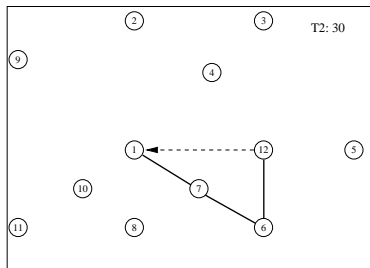
Comparaison SS vs GA|PM

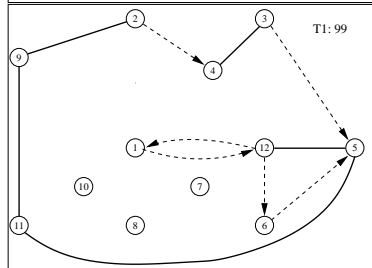
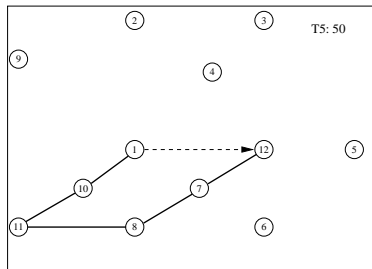
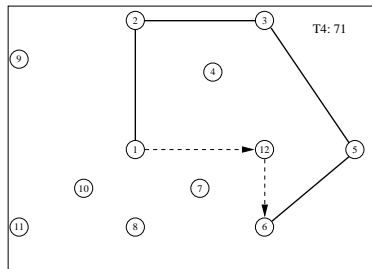
Set of inst.	GAPM results			SS results			
	First pos.	Avg. gap (in %)	Avg. iter.	First pos.	Avg. gap (in %)	Avg. iter.	Avg. Xov.
ODD20	0	0.000	33496	0	0.000	168	25509
ODD40	0	0.000	4142	0	0.000	31	5710
ODD60	0	0.057	1685	2	0.000	8	1859
ODD80	2	0.000	1153	0	0.013	3	1021
ODD100	3	0.128	844	7	0.010	1	938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

Capacitated Arc Routing Problem



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

tel-00011623, version 1 - 15 Feb 2006
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