



POLYTECH MONS

Faculté Polytechnique de Mons

Dissertation présentée en vue de l'obtention du titre
de Docteur en Sciences Appliquées
Option : Gestion et Informatique
Spécialité : Recherche Opérationnelle

SIMULATION ET OPTIMISATION DES FLUX DE PRODUCTION SIDÉRURGIQUES

Présentée par
ADIL BELLABDAOUI

Jury de thèse

Promoteur :
Jacques TEGHEM

Professeur, Faculté Polytechnique de Mons

Comité de lecture :
Fouad RIANE
Renaud KEUTGEN
Enrico FILLIPI
Antonio FIORDALISO
Marc PIRLOT
Paul LYBAERT

Professeur, Les Facultés Universitaires Catholiques de Mons
Direction Recherche & Développement, Groupe Arcelor-Mital
Professeur, Faculté Polytechnique de Mons
Chercheur Qualifié, Faculté Polytechnique de Mons
Professeur, Faculté Polytechnique de Mons
Doyen de la Faculté Polytechnique de Mons

Janvier 2007



ACADÉMIE
UNIVERSITAIRE
WALLONIE-
BRUXELLES

Table des Matières

1	Introduction et présentation de la thèse	17
1.1	Le projet industriel à la base de la thèse	17
1.2	Le contexte général de la thèse	18
1.2.1	La production industrielle	18
1.2.2	Les domaines scientifiques de la thèse	19
1.3	Objectifs de la thèse	21
1.3.1	Réaliser la modélisation et la simulation des flux liquides des hauts fourneaux jusqu'aux coulées continues (Cf. Partie III)	21
1.3.2	Elaborer des outils de gestion de flux d'un atelier entre les convertisseurs et les coulées continues (Cf. Partie IV)	21
1.3.3	Intégrer les modèles d'ordonnancement dans l'outil de simulation (Cf. Partie V)	22
1.4	Organisation de la thèse	22
I	Problématique et Méthodes de résolution	25
2	Ordonnancement et gestion des flux	29
2.1	Introduction	30
2.2	Méthodes de pilotage des flux de production	30
2.2.1	Modes de pilotage des flux	30
2.2.2	Gestion des stocks	31
2.2.3	La prévision et la planification : MRP	31
2.2.4	Gestion des flux : JAT	32
2.2.5	Méthode TOC/OPT	34
2.3	Les enjeux stratégiques, tactiques et opérationnels	34
2.3.1	Niveau stratégique	34
2.3.2	Niveau tactique	34
2.3.3	Niveau opérationnel	35
2.4	Concepts de base en ordonnancement	35
2.4.1	Le problème d'ordonnancement	36
2.4.2	Les méthodes de résolution des problèmes d'ordonnancement	38
2.5	Ordonnancement dans le milieu industriel	46

2.6	Progiciels de planification et d'ordonnancement pour l'industrie	48
2.6.1	ERP (Entreprise Ressource Planning)	48
2.6.2	APS (Advanced Planning Systems)	48
2.6.3	MES (Manufacturing Execution System)	49
3	Modélisation et simulation des flux	57
3.1	Introduction	58
3.2	Généralités sur la modélisation et la simulation	59
3.2.1	La modélisation : qu'est ce que c'est ?	59
3.2.2	La simulation : qu'est ce que c'est ?	60
3.2.3	Relation entre modélisation et simulation	60
3.2.4	Types de modèles, types de simulation	61
3.2.5	Avantages, inconvénients et pièges de la simulation	63
3.2.6	Domaines d'application	65
3.3	La simulation dans les systèmes manufacturiers	66
3.3.1	Complexité de prise de décision dans les systèmes manufacturiers	66
3.3.2	Choix de l'approche simulateur pour résoudre un problème	66
3.3.3	Concepts fondamentaux en simulation discrète	67
3.3.4	Potentialités de la simulation	69
3.3.5	Utilisation de la simulation dans les systèmes manufacturiers	69
3.4	Etapes d'un projet de simulation	70
3.4.1	Formuler le problème	70
3.4.2	Etablir des objectifs et définir le plan du projet	72
3.4.3	Construire le modèle	72
3.4.4	Recueillir les données	72
3.4.5	Coder le modèle	72
3.4.6	Vérifier le modèle	72
3.4.7	Valider le modèle	72
3.4.8	Lancer l'exécution du modèle	73
3.4.9	Générer les rapports et les analyser	73
3.4.10	Autres exécutions du modèle?	73
3.4.11	Documenter le modèle	73
3.4.12	Présenter les résultats et les mettre en œuvre	73
3.5	Choix d'un logiciel : critères et gammes	74
3.5.1	Langages de programmation ou simulateurs?	74
3.5.2	Considérations lors du choix d'un logiciel	75
3.5.3	Logiciels de simulation	78
3.5.4	Choix de Witness parmi les logiciels orientés pour la fabrication	80
3.6	Conclusion	80

4	Couplage entre ordonnancement et simulation	85
4.1	Introduction	86
4.2	Approches de couplage optimisation et simulation	87
4.2.1	Optimisation pour la simulation	87
4.2.2	Simulation pour optimisation	88
4.2.3	Difficulté de l'approche d'optimisation-simulation	89
4.3	Méthodes d'optimisation-simulation	89
4.3.1	Méthodes de recherche basées sur le gradient	90
4.3.2	Méthodes d'approximation stochastique	90
4.3.3	Méthodes heuristiques	90
4.3.4	Méthodologie de surface de réponse	90
4.4	Software d'optimisation-simulation	91
4.5	Conclusion	92

II L'industrie sidérurgique : description et panorama de la littérature 97

5	L'industrie sidérurgie	101
5.1	Introduction	102
5.2	Généralités sur l'industrie sidérurgique mondiale	102
5.2.1	Histoire de l'industrie sidérurgique	102
5.2.2	Production sidérurgique	103
5.2.3	Consommation sidérurgique	105
5.2.4	Demande future	106
5.2.5	Portrait du groupe Arcelor	106
5.3	Processus sidérurgique	109
5.3.1	Processus de production	109
5.3.2	Focalisation de notre étude	118
6	Panorama de la littérature	123
6.1	Introduction	124
6.2	Méthodes de recherche opérationnelle	125
6.2.1	Problème d'homogénéisation pour la fabrication de l'aggloméré	126
6.2.2	Problème de regroupement au niveau de l'aciérie	127
6.2.3	Problème d'ordonnancement de coulées continues	129
6.2.4	Premier problème de regroupement au niveau du laminoir	130
6.2.5	Deuxième problème de regroupement au niveau du laminoir	131
6.2.6	Problème de sélection de brames dans le stock	133
6.2.7	Problème d'approvisionnement du stock de brames	134
6.2.8	Ordonnancement des équipements pour le recuit au laminoir	135
6.2.9	Organisation du transport ferroviaire entre sites d'une usine sidérurgique	137
6.2.10	D'autres références	137

6.3	Autres techniques que la recherche opérationnelle	140
6.3.1	Modèles de simulation	141
6.3.2	Techniques d'intelligence artificielle	143
6.3.3	Etudes diverses	144
 III Modélisation et simulation dans l'industrie sidérurgique : le cas du bassin du Liège		153
7	Processus de l'atelier I	157
7.1	Introduction	158
7.2	Description du processus	158
7.2.1	Les hauts fourneaux	159
7.2.2	Transfert SNCB	165
7.2.3	Entrée d'aciérie	167
7.3	Modélisation de l'atelier 1	169
7.3.1	Modèle global	169
7.3.2	Les composantes importantes intervenant dans l'établissement du modèle	170
7.4	Conclusion	178
8	Processus de l'atelier II	183
8.1	Introduction	184
8.2	Description de l'atelier 2	184
8.2.1	Description des flux	184
8.2.2	Contraintes du système et opérations	187
8.2.3	Problématique du goulot d'étranglement	188
8.3	Modélisation & simulation	190
8.3.1	Etablissement du modèle	190
8.3.2	Vérification et validation	194
8.3.3	Simulation	195
8.4	Différentes stratégies de configuration de l'atelier	196
8.5	Résultats de la simulation et analyse des scénarios	199
8.6	Conclusion	203
9	Processus de l'atelier III	207
9.1	Introduction	208
9.2	Description du processus	209
9.2.1	Bloc 1	209
9.2.2	Bloc 2	209
9.2.3	Bloc 3	211
9.2.4	Bloc 4	211
9.2.5	Contraintes à respecter	212

12.3	Ordonnancement de plusieurs séquences ordonnées	275
12.3.1	Notations	275
12.3.2	Variables de décision	276
12.3.3	Données	276
12.3.4	Fonction objective	276
12.3.5	Contraintes	277
12.4	Résultats numériques	281
12.4.1	Résultats numériques pour le cas d'une seule séquence par CC . . .	281
12.4.2	Résultats numériques pour le cas de plusieurs séquences sur chaque CC	285
12.5	Extension au cas de plusieurs séquences non ordonnées	287
12.6	Conclusion	289
13	Comparaison entre heuristique et exacte	299
13.1	Introduction	300
13.2	Comparaison entre les deux approches	300
13.2.1	Etat initial	300
13.2.2	Temps de séjour	301
13.2.3	Propagation de ralentissement des poches	301
13.3	Résultats numériques	302
13.3.1	Résultats de l'exemple de base analysé par les deux approches . . .	302
13.3.2	Résultats avec différents cas réels	304
13.4	Remarques et limitations	304
13.4.1	Remarque 1 : limitations des deux approches	304
13.4.2	Remarque 2 : influence de l'état initial sur l'optimum	305
13.5	Conclusions	306
V	Intégration	309
14	Intégration	313
14.1	Introduction	314
14.2	Approche d'intégration	315
14.2.1	Méthodologie de l'approche	315
14.2.2	Algorithme de l'approche	316
14.2.3	Interface de l'approche	318
14.3	Résultats numériques	339
14.4	Conclusion	339
15	Conclusions et perspectives	345

ANNEXES	349
A Witness : un outil visuel et interactif pour la simulation	351
A.1 Introduction	351
A.2 Environnement de Witness	351
A.2.1 Éléments de base de Witness	353
A.2.2 Construire un modèle Witness	360
A.2.3 Points forts de Witness	363
A.3 Autres produits associés au logiciel de base Witness	365
A.3.1 <i>Witness VR</i> - Outil de visualisation 3D	365
A.3.2 <i>Witness Optimiser</i> - Outil d'optimisation	365
A.3.3 <i>Witness SDX</i> - Outil d'échange de données CAO	366
A.3.4 <i>Witness Visio</i>	367
A.3.5 <i>Witness Miner</i> - Outil d'extraction de données	367
A.3.6 <i>Witness Documentor</i> - Outil de création de rapports	367
A.4 Conclusion	367
BIBLIOGRAPHIE	371