

## Mémoire de Fin de cycle

Pour l'obtention du diplôme de master

Filière : Mathématique Appliquée

Spécialité : Recherche Opérationnelle

Option : Modélisation Mathématique et Évaluation des Performances  
des Réseaux

### THÈME

---

## Minimisation du Temps de Séjour des Navires dans un Port

### Cas : Entreprise Portuaire de Béjaïa(EPB)

---

Présenté par :

M<sup>r</sup> HADJI Mohammed  
M<sup>lle</sup> MEDJAHEDI Ilham

Devant le jury composé de :

M <sup>r</sup> KABYLE	Kamal	M.C.B	Univ. de Bejaia	Encadreur
M <sup>me</sup> YOUNSI	Leila	M.A.A	Univ. de Bejaia	Président
M <sup>lle</sup> BOUCHAMA	Kahina	M.A.A	Univ. de Bejaia	Examinatrice
M <sup>r</sup> ZIANI	Hamza	Doctorant	Univ. de Bejaia	Examineur

ANNÉE UNIVERSITAIRE : 2015/2016

---

## *Remerciement*

*Tout d'abord on aimera d'adresser nos plus sincères remerciements au Dieu le tout puissant et le miséricordieux de nous avoir donné la chance, la patience et le courage pour réaliser ce travail.*

*On tient à exprimer nos vifs remerciements au Dr Kabyl Kamel pour avoir accepté de nous encadrer lors du présent travail en dépit de son emploi du temps très chargé et de la confiance qu'il nous a témoignée. Et les précieux conseils qu'il a bien voulu prodiguer pour cibler les aspects traités dans ce travail.*

*On tient à remercier aussi Mme Bourihane .D qui nous a encadrée à l'entreprise portuaire de Béjaia , et elle nous donne des conseils très importantes en signe de reconnaissance.*

*On adresse nos sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé nos réflexions et ont accepté à nous rencontrer et répondre à nos questions durant la recherches.*

*En fin, on ne voudra pas oublier de remercier tous nos amis qu'ont été d'un soutien que ce soit moral ou matériel, et qui ont contribué de près ou de loin à m'aider.*

*Beaucoup de charité et Bonne chance à tous.....Merci!*

---

## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail  
À Mes chers parents, Grâce à leurs tendres encouragements et leurs grands sacrifices, ils  
ont pu créer le climat affectueux et propice à la poursuite de mes études.  
À mes proches de mes frères et mes sœurs, chacun à son nom.  
À tous mes chers amis et mes collègues de l'Université de A- mira de Bejaia  
Et à tous ce qui m'ont enseigné au long de ma vie scolaire.*

*MEDJAHEDI ILHAM*

*Je dédie cet humble travail  
A mes très chers parents que Dieu tout puissant les protège  
A mes chers frères et sœurs qui sont toujours présents dans mes pensées  
A mes amis (e)s de l'université Abderrahmane MIRA de Bejaia  
A mon frangin qui m'est toujours le plus cher*

*HADJI MOHAMMED*

---

# TABLE DES MATIÈRES

Remerciement . . . . .	I
Dédicace . . . . .	II
Introduction générale . . . . .	1
<b>I l'Entreprise Portuaire de Béjaïa(EPB)</b>	<b>3</b>
I.1 Historique . . . . .	4
I.2 Situation géographique . . . . .	4
I.3 Les bassins du port . . . . .	4
I.3.1 Bassin de l'avant port . . . . .	4
I.3.2 Bassin du vieux port . . . . .	4
I.3.3 Bassin de l'arrière port . . . . .	4
I.4 Organisation de l'entreprise . . . . .	5
I.4.1 Directions opérationnelles . . . . .	5
I.4.2 Direction fonctionnelles . . . . .	7
I.5 Mission et activités de l'EPB . . . . .	9
I.5.1 Mission : . . . . .	9
I.5.2 Activités : . . . . .	9
I.6 Description des services . . . . .	10
I.7 Types des navires . . . . .	11
I.7.1 Cargaison sèche . . . . .	11
I.7.2 Cargaison liquide . . . . .	11
I.8 Quais et caractéristiques . . . . .	12
I.9 Parcours d'un navire arrivant au port . . . . .	13
I.9.1 Étape de mouillage . . . . .	13
I.9.2 Étape de service . . . . .	13
I.10 Phénomène de mouvement . . . . .	16
I.11 Généralité sur la chaîne logistique . . . . .	17
I.11.1 Les maillons de la chaîne logistique . . . . .	17
I.11.2 Les flux dans la chaîne logistique . . . . .	18
I.11.3 Gestion de la chaîne logistique (Supply Chain Management) . . . . .	18
I.11.4 Planification de la chaîne logistique . . . . .	18
I.12 Position du problème . . . . .	19

<b>II Optimisation Combinatoire et Technique de Résolution</b>	<b>20</b>
II.1 Optimisation Combinatoire . . . . .	20
II.2 Notions sur la complexité : . . . . .	22
II.3 Techniques l'optimisation . . . . .	23
II.3.1 Méthodes exactes . . . . .	23
II.3.2 Méthodes approchées . . . . .	26
<b>III Modélisation du Problème</b>	<b>32</b>
III.1 Principe . . . . .	32
III.2 Construction de modèle 1 . . . . .	32
III.2.1 Notations . . . . .	32
III.3 Construction du modèle 2 . . . . .	37
III.3.1 Notations . . . . .	37
<b>IV Application</b>	<b>41</b>
IV.1 Choix et présentation du logicielle . . . . .	41
IV.1.1 Qu'est ce que CPLEX ? . . . . .	41
IV.1.2 Composantes du CPLEX : . . . . .	41
IV.1.3 Choix du langage . . . . .	42
IV.2 Liste des escales . . . . .	44
IV.3 Application du modèle . . . . .	45
IV.4 Les résultats obtenus . . . . .	47
IV.5 Interprétation des résultats . . . . .	48
<b>Annexe A</b>	<b>52</b>

---

# TABLE DES FIGURES

I.1	Plan de Développement du Port de Béjaia . . . . .	5
I.2	Organigramme de L'EPB(source : DC de l'EPB) . . . . .	9
I.3	Modélisation du parcours d'un navire . . . . .	17
I.4	Une chaine logistique portuaire . . . . .	18
II.1	Courbe d'une fonction évaluation. . . . .	22
II.2	Principe d'un algorithme évolutionnaire (EA) . . . . .	29
II.3	Exemples de croisement : (a) croisement simple en un point, (b) croisement en deux points, (c) croisement uniforme . . . . .	30
III.1	Exemple d'un plan de planification . . . . .	36
IV.1	Schéma de modèle . . . . .	45
IV.2	Fenêtre des options du modèle . . . . .	46
IV.3	Schéma d'exécution du modèle . . . . .	47

---

# LISTE DES TABLEAUX

I.1	Quais et caractéristiques (source : DC de l'EPB) : . . . . .	12
I.2	Équipement de manutention de l'EPB(source : DC de l'EPB) . . . . .	15
III.1	Paramètres des postes à quai . . . . .	39
III.2	Paramètres des navires . . . . .	39
III.3	Paramètre sur les ordres de service . . . . .	39
IV.1	Liste des escales . . . . .	44

---

# INTRODUCTION GÉNÉRALE

La mondialisation constitue un vecteur de modernisation, subi ou maîtrisé, du secteur maritime. Les adaptations sont introduites à un rythme inégal, selon les secteurs (transport maritime, construction navale, ports, logistiques), et selon le degré d'exposition à la concurrence internationale.

Les effets de la mondialisation sur le secteur portuaire ne se sont pas faits attendre, puisque durant la dernière décennie, les ports du monde ont été affectés par d'importantes réformes institutionnelles et organisationnelles, essentiellement par l'adoption de politiques publiques de privatisation, de déréglementation et de décentralisation des infrastructures de transport. Ces réformes dans la gouvernance portuaire furent associées aux objectifs plus généraux d'amélioration de l'efficacité portuaire et au désir de réduire l'intervention de l'État dans la planification et la gestion des infrastructures maritimes.

Le port est un lieu naturel de rupture de charge afin de transférer la marchandise ou son contenant d'un mode de transport à un autre. C'est par conséquent, le lieu idéal ou doivent s'intercaler des entreprises logistiques pouvant offrir non seulement des services de transport mais des services à la marchandise. L'entreprise portuaire de Bejaia mène un projet de modernisation et de développement pour s'engager dans une démarche d'optimisation de tous les domaines dont l'objectif est de maîtriser la facture d'importation et par la suite, diminuer les coûts et ainsi augmenter la marge de gain de l'entreprise. La compétitivité de L'EPB est marquée par différents facteurs, y compris le temps passé au port par les navires (délai d'exécution), combiné à un faible taux de temps de chargement et de déchargement.

Le problème traité dans ce mémoire est connue dans la littérature par le problème d'allocation des postes à quai (Berth Allocation Problem (BAP)). Une solution optimale de ce problème se représente par un plan de service de (chargement/ déchargement) des navires entrants et des durées de séjour de longueurs minimales. Ce temps de séjours des navires dans le port doit être minimal, en éliminant les contraintes dynamiques. Dans cette perspective, L'EPB cherche à minimiser le temps de séjour des navires au port pour augmenter son profit, et pour discuter sur la situation journalière des navires, L'EPB fait chaque jour une conférence de placement des navires (CPN) pour trouver une meilleur affectation des navires aux postes à quai et aussi affecter les équipements de manutention.

L'organisation de ce mémoire suit une progression ordonnée. Il se décompose en quatre chapitres :

- Dans le premier chapitre, on présente l'entreprise portuaire de Bejaia, le parcours des navires au port et la chaîne logistique portuaire. On le termine avec notre problématique.
- Le deuxième chapitre, s'intéresse à la présentation de l'optimisation combinatoire et à la description des principales méthodes d'optimisation utilisées dans la littérature.
- Le troisième chapitre, consiste à la modélisation de notre problème en proposant un modèle d'aide à la décision qui s'ajoute au premier modèle l'affectation des ordres de service pour un meilleur résultat.
- Dans le quatrième chapitre, on présente brièvement le solveur en langage OPL et on donne une solution optimale à notre problème.
- Nous terminons ce manuscrit par une conclusion générale.

---

---

# CHAPITRE I

---

## L'ENTREPRISE PORTUAIRE DE BÉJAÏA(EPB)

### Sommaire

---

I.1	Historique . . . . .	4
I.2	Situation géographique . . . . .	4
I.3	Les bassins du port . . . . .	4
I.4	Organisation de l'entreprise . . . . .	5
I.5	Mission et activités de l'EPB . . . . .	9
I.6	Description des services . . . . .	10
I.7	Types des navires . . . . .	11
I.8	Quais et caractéristiques . . . . .	12
I.9	Parcours d'un navire arrivant au port . . . . .	13
I.10	Phénomène de mouvement . . . . .	16
I.11	Généralité sur la chaîne logistique . . . . .	17
I.12	Position du problème . . . . .	19

---

## I.1 Historique

L'entreprise portuaire de Béjaïa(EPB) est née le 14 Aout 1982 suite à la restriction de l'Office national des Ports(ONP), de la Société Nationale de Manutention (SONAMA) et de la Compagnie Nationale Algérienne de Navigation (CNAN). Le 15 Février 1989, elle devient une entreprise publique autonomie, son capital social fut fixé à dix millions (10.000.000) de dinars algériens par décision du conseil de la planification n° 191/SP/DP du 09 Novembre 1988. Actuellement, le capital social de l'entreprise a été ramené à 3.500.000.000 Da.

## I.2 Situation géographique

Le port de Béjaïa se situe à une latitude nord de  $36^{\circ}45' 24''$  et une longitude de  $5^{\circ}05' 05''$ . Il dispose de sites de mouillage avec des profondeurs variant de 10 m à plus de 20m. La passe d'accès au port est formée par les deux musoirs de la jetée **Est** et de la jetée **Sud**. Cette situation géographique offre des commodités exceptionnelles dues à des liaisons étroites et sure avec les autres modes de transport.

## I.3 Les bassins du port

Le port de Béjaïa est formé de trois bassins :

### I.3.1 Bassin de l'avant port

Sa superficie est de 75 hectares, ses profondeurs varient entre 10.5 m et 13.5 m, disposant d'installations spécialisées. L'avant port est destiné à traiter les navires pétroliers.

### I.3.2 Bassin du vieux port

Sa superficie est de 26 hectares, ses profondeurs varient entre 6m et 8m.

### I.3.3 Bassin de l'arrière port

Sa superficie est de 60 hectares, ses profondeurs varient entre 10,5m et 12m.

La figure suivante montre le plan de développement du port de Béjaïa



FIGURE I.1 : Plan de Développement du Port de Béjaïa

## I.4 Organisation de l'entreprise

L'EPB est organisé selon les directions fonctionnelles et opérationnelles suivantes :

### I.4.1 Directions opérationnelles

Il s'agit des structures qui prennent en charge les activités sur le terrain et qui ont une relation directe avec les clients.

#### I.4.1.1 Direction générale adjointe opérationnelle (DGAO)

#### I.4.1.2 Direction de manutention et acconage (DMA)

Elle est chargée de prévoir, organiser, coordonner et contrôler l'ensemble des actions de manutention et d'acconage liées à l'exploitation du port. Elle abrite les départements suivants :

- **Manutention :**  
 Qui comprend les opérations d'embarquement, d'arrimage, de désarrimage et de débarquement de marchandises, ainsi que les opérations de mise et de reprise des marchandises sous hangar, sur terre-plein et magasins. La manutention est assurée par un personnel formé dans le domaine. Elle est opérationnelle de jour comme de nuit, répartie en deux shifts (période de travail d'une équipe) de 6h à 19h avec un troisième shift opérationnel qui s'étale entre 19h et 01h du matin. Pour cas exceptionnels, ce dernier peut s'étaler jusqu'à 7h du matin.
- **Acconage :**  
 A pour tâches :
  - a) **Pour les marchandises :**

- La réception des marchandises.
- Le transfert vers les aires d'entreposage des marchandises.
- La préservation ou la garde des marchandises sur terre-plein ou hangar.
- Marquage des lots de marchandises.
- Livraison de marchandises aux clients.

b) **Pour le service :**

- Rassembler toutes les informations relatives à l'évaluation du traitement des navires à quai et l'estimation de leur temps de sortie ainsi que la disponibilité des terres pleins, et hangars pour le stockage.
- Participer lors de la Conférence de Placement des Navires(CPN) aux décisions d'entrée des navires et recueillir les commandes des clients (équipes et engins) pour le traitement de leurs navires.

#### I.4.1.3 Direction logistique (DL)

Elle a pour tâches :

- La gestion du parc engins.
- La maintenance des engins de manutention.
- L'approvisionnement en pièces de rechanges (PDR).

#### I.4.1.4 Direction domaine et développement (DDD)

Elle a pour tâches :

- La Gestion du domaine (terre-pleins, hangar, bureaux, immeubles, installations et terrains) à usage industriel ou commercial.
- L'enlèvement des déchets des navires et assainissement des postes à quai.
- Le pesage des marchandises (pont bascule).
- L'avitaillement des navires en eau potable.
- Le suivi et la mise en œuvre des investissements.
- L'entretien et le développement du domaine portuaire.
- L'approvisionnement en PDR de la flotte navale de la capitainerie et du parc à engins de la DDD (camions et engins).

#### I.4.1.5 Direction capitainerie (DC)

Elle est chargée de la sécurité portuaire, ainsi que de la bonne régulation des mouvements des navires, et la garantie de sauvegarde des ouvrages portuaires. Elle assure également les fonctions suivantes :

- Pilotage :** La mise à disposition d'un pilote pour assister ou guider le commandant du navire dans les manœuvres d'entrée, de sortie. Cette activité s'accompagne généralement de pilotes, de canots et de remorqueurs.
- Amarrage :** Cette appellation englobe l'amarrage et le dés amarrage d'un navire. L'amarrage consiste à attacher et fixer le navire à quai une fois accosté

pour le sécuriser. Cette opération se fait à l'aide d'un cordage spécifique du navire.

- (c) **Accostage** : Le port met à la disposition de ces clients des quais d'accostage en fonction des caractéristiques techniques du navire à recevoir.

#### **I.4.1.6 Direction remorquage(DR)**

Elle est chargée d'assister le pilote du navire lors de son entrée et de sa sortie du quai. Son activité consiste essentiellement à remorquer les navires entrants et sortants, ainsi que la maintenance des remorqueurs. Les prestations sont :

- Le remorquage portuaire.
- Le remorquage hauturier (haute mer).
- Le sauvetage en mer.
- La maintenance de la flotte.

### **I.4.2 Direction fonctionnelles**

Il s'agit des structures de soutien aux structures opérationnelles, elle est composée de :

#### **I.4.2.1 Direction générale (DG)**

Elle est chargée de concevoir, coordonner et contrôler les actions liées à la gestion et au développement de l'Entreprise.

#### **I.4.2.2 Direction du management intégré (DMI)**

Elle est chargée de :

- La mise en œuvre, le maintien et l'amélioration continue du Système de Management Intégré (processus, programmes de management, plans et projets d'amélioration et indicateurs de mesure).
- L'animation et la coordination de toutes les activités des structures dans le domaine QHSE.
- La Contribution active à l'instauration et au développement d'une culture HSE au sein de l'entreprise et de la communauté portuaire.
- La Contribution dans des actions de sensibilisation et de formation à la prévention des risques de pollution, à la protection de l'environnement, la santé des travailleurs et à l'intervention d'urgence.

#### **I.4.2.3 Direction finances et comptabilité (DFC)**

Elle est chargée de :

- La tenue de la comptabilité.
- La gestion de la trésorerie (dépenses, recettes et placements).
- La tenue des inventaires.
- Le contrôle de gestion (comptabilité analytique et contrôle budgétaire).

#### **I.4.2.4 Direction ressources humaines et moyennes (DRHM)**

Elle est chargée de prévoir, d'organiser et d'exécuter toutes les actions liées à la gestion des ressources humaines en veillant à l'application rigoureuse des lois et règlement sociaux. Elle assure les tâches suivantes :

- La mise en œuvre de la politique de rémunération, de recrutement et de la formation du personnel.
- La gestion des carrières du personnel.
- La gestion des moyens généraux (achats courants, parc automobile, assurances, . . . etc.).

#### **I.4.2.5 Direction zones logistiques extra portuaires (DZLEP)**

Elle est érigée en deux départements : Département de la zone logistique de TIXTER et de la zone logistique d'IGHIL OUBEROUAK. Ses principales missions sont :

- Rapprocher la marchandise du client final.
- Décongestionner les surfaces dans l'enceinte portuaire.
- Réduire les temps d'attente en rade des navires dus au manque d'espace d'entreposage, et réduire ainsi les sur estaries.
- Développer le transfert de masse des marchandises par voie ferroviaire.
- Réduire les congestions sur les routes et réduire l'émission de gaz polluants.

La figure I.2 montre l'organigramme de l'entreprise portuaire de Béjaïa.

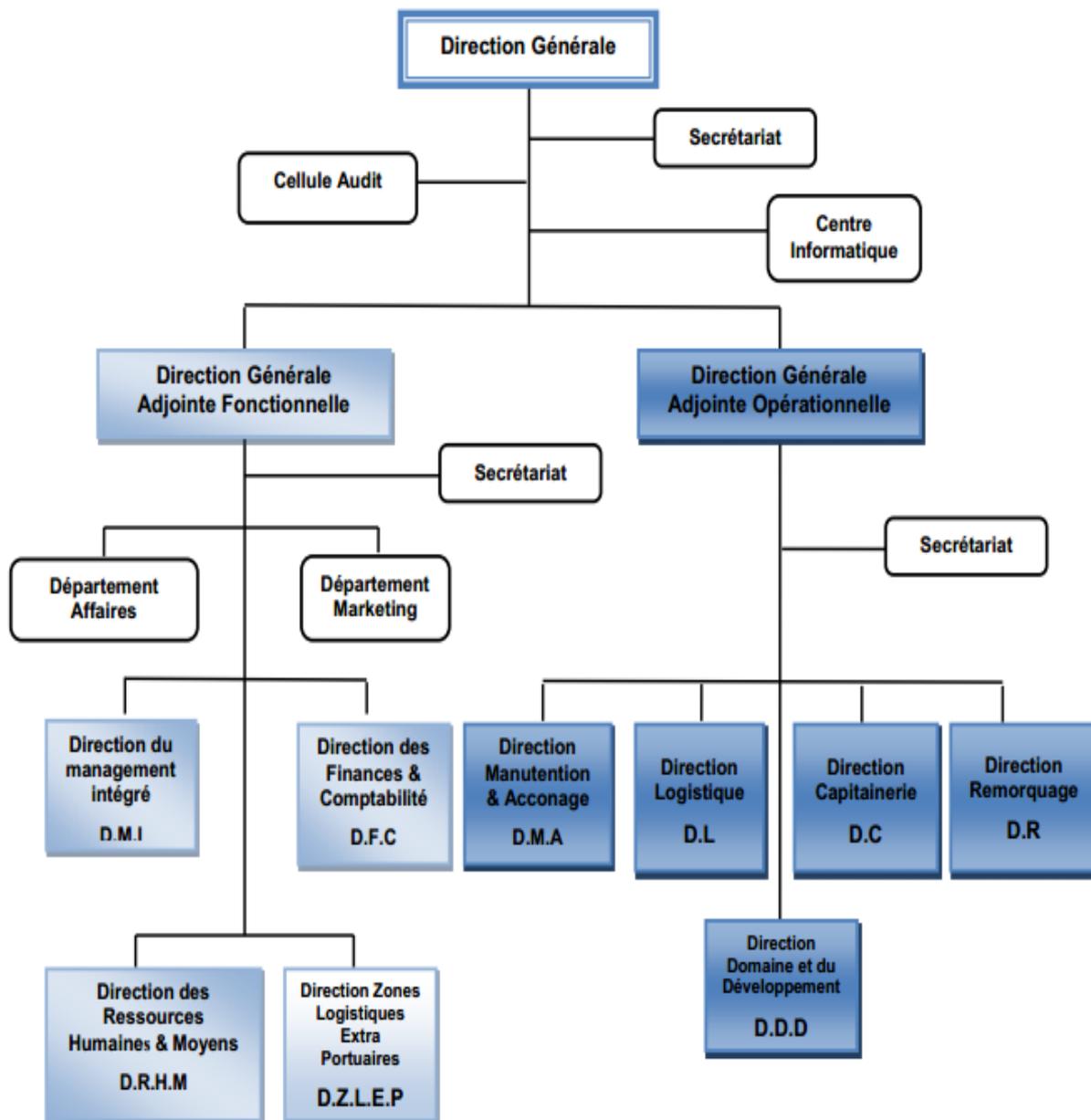


FIGURE I.2 : Organigramme de L'EPB(source : DC de l'EPB)

## I.5 Mission et activités de l'EPB

### I.5.1 Mission :

Le rôle essentiel de l'EPB est la gestion, l'exploitation, le développement et la protection des installations portuaires. Elle assure toutes les opérations nécessaires pour la prise en charge totale des navires et des marchandises.

### I.5.2 Activités :

Les activités du port sont d'intérêt international par ses lignes régulières que relie Béjaïa aux continents. Parmi les activités du port on distingue :

- L'organisation de l'accueil des navires.
- L'exercice des opérations de pilotage, remorquage et lamanage.
- Exécution des travaux d'entretien, d'aménagement et de renouvellement de la superstructure portuaire.
- L'exercice des opérations de manutention et d'acconage des marchandises,...

Les principaux domaines d'activités sont :

- La gestion et l'exploitation de l'infrastructure et de la superstructure.
- La manutention et l'acconage des marchandises.
- La mise à disposition des infrastructures nécessaires aux activités relatives aux hydrocarbures.
- Le pilotage, le remorquage et le lamanage des navires dans les limites de la zone de pilotage du Port de Béjaïa.
- La sécurité et la sûreté dans les limites terrestres et maritimes du domaine portuaire.

## I.6 Description des services

### 1. L'acheminement des navires de la rade vers le quai :

Dans certains cas exceptionnels, d'arrivée massive en rade, les navires restent en attente dans la zone de mouillage (rade) jusqu'à obtention de l'autorisation de rejoindre un poste à quai. Cette dernière est délivrée après une conférence de placement qui se tient quotidiennement au niveau de la Direction Capitainerie.

L'acheminement des navires se fait par des opérations d'aide à la navigation identifiée par le remorquage, le pilotage et le lamanage.

### 2. Le remorquage :

Il consiste à tirer ou à pousser le navire, pour effectuer les manœuvres d'accostage, de décalage ou d'appareillage du navire.

### 3. Le pilotage :

Il est assuré de jour comme de nuit par la Direction Capitainerie et est obligatoire à l'entrée et à la sortie du navire. Il consiste à assister le commandant dans la conduite de son navire à l'intérieur du port.

### 4. Le lamanage :

Il consiste à amarrer ou désamarrer le navire de son poste d'accostage.

### 5. Les opérations de manutention et d'acconage pour les marchandises :

Elles consistent en :

- o Les opérations d'embarquement et de débarquement des marchandises.
- o La réception des marchandises.
- o Le transfert vers les aires d'entreposage, hangars et terre-pleins, ports secs.
- o La préservation ou la garde des marchandises sur terre-pleins ou hangar et hors port.
- o Pointage des marchandises.
- o La livraison aux clients.

- o La manutention et l'acconage sont assurés, par un personnel formé dans le domaine. Il est exercé de jour comme de nuit, réparti sur deux vacations de 6h à 19h avec un troisième shift optionnel qui s'étale entre 19h et 01h du matin. Pour des cas exceptionnels, ce dernier peut s'étaler jusqu'à 7 h du matin.

D'autres prestations sont également fournies aux navires et aux clients telles que :

- o Enlèvement des déchets des navires et assainissement des postes à quai.
- o Pesage des marchandises (ponts bascules).
- o Location de remorqueurs ou vedettes (pour avitaillement des navires, transport de l'assistance médicale, assistance et sauvetage en haute mer).

## I.7 Types des navires

On distingue différents types de navires de charge selon le type de marchandises qu'ils transportent, et leur façon de les transporter :

### I.7.1 Cargaison sèche

1. **Cargos polyvalents** : Aussi appelés « cargos de divers » ou « cargos mixtes » lorsqu'ils transportent des passagers, se sont des navires qui embarquent à la fois des marchandises et des passagers, en général une douzaine , mais les « cargos de divers » n'embarquent pas de passagers.
2. **Porte-conteneurs** : Ces navires sont spécialisés dans le transporteur de conteneurs, boîtes au format prédéfini. Leur taille varie du caboteur transportant une centaine de conteneurs aux géants pouvant en transporter une dizaine de milliers.
3. **Vraquiers** : ils transportent de marchandises solides en vrac comme des granulats, des céréales, du charbon, etc
4. **Navires frigorifiques (reefers)** : Petits, esthétiques et rapides, souvent peints en blanc, ils transportent des denrées périssables : bananes, jus de fruits, viande, poisson... à basse température, grâce à des installations spécialisées.
5. **Les rouliers** : Ces navires transportent des véhicules sur plusieurs ponts, chargés grâce à une ou plusieurs rampes d'accès. Ils transportent souvent aussi d'autres marchandises sur leur pont, ou des passagers sur certaines routes très fréquentées

### I.7.2 Cargaison liquide

Les navires-citernes sont destinés au transport des marchandises liquides. On y trouve les types suivants :

1. **Les pétroliers** : Navires citernes transportant du pétrole. les transporteurs de pétrole brut sont les plus grands, dépassant 100000 tonnes.

2. **Les Chimiquiers** : Pouvant transporter une grande variété de produits, ils disposent de nombreuses citernes et de tuyautages séparés, ainsi que de systèmes de chauffage. Ils sont soumis à des normes de sécurité drastiques.
3. **Les Gaziers** : Ces navires transportent soit du gaz naturel (les méthaniers), soit du gaz de pétrole liquéfié (GPL), à basse température (-160 C) ou à haute pression, dans des citernes spécialement conçues.

On trouve encore d'autres navires-citernes spécialisés dans d'autres produits comme les huiliers, les pinardiens pour le vin, les bitumiers, etc...

## I.8 Quais et caractéristiques

Le port s'étale sur une superficie totale de 79 hectares. Sa surface d'entreposage s'étale sur 410.000 m<sup>2</sup> dont 17.500 m<sup>2</sup> couverts. Il dispose de 3575 ml de quai, répartis sur 16 postes à quai pour les navires de marchandises générales, 03 postes à quai pour les navires pétroliers et 01 poste gazier.

Le tableau suivant montre les caractéristiques de chaque quai.

Nom du Quai	N° des postes à quais	Bassins	Profondeurs	Longueurs
Port pétrolier	01 à 03	Avant port	11,5 à 13,5	250, 260 et 260 ml
Quai Nord	06 à 08	Vieux port	08	290 ml
Quai Nord Ouest	09 à 11	Vieux port	08	273 ml
Quai de la Casbah	12 et 13	Vieux port	08	257 ml
Quai de la passe	14	Passe Casbah	08,50	146 ml
Quai Sud Ouest	15 et 16	Arrière port	10	230 ml
Quai de la gare	17 à 19	Arrière Port	10	530 ml
Nouveau Quai	21 à 24	Arrière Port	12	750 ml
Grande jetée du large	26	Arrière Port	12	78 ml

TABLE I.1 : Quais et caractéristiques (source : DC de l'EPB) :

## I.9 Parcours d'un navire arrivant au port

### I.9.1 Étape de mouillage

A l'exception de car-ferries, tout navire arrivant au port de Béjaïa est mis en attente dans la zone de mouillage (rade) durant une durée qui varie d'un navire à un autre. Selon les types des navires.

### I.9.2 Étape de service

Cette étape est assurée par des sections opérationnelles telles que les sections de pilotage, remorquage et amarrage, de manutention des marchandises, de facturation de polices et sécurité et enfin des services divers.

#### I.9.2.1 Allocation de quai au navire

L'objectif d'allocation de quai est de déterminer un horaire d'affectation des navires au quai qui permet de minimiser le temps total de l'exécution des opérations. Pour cela plusieurs facteurs sont pris en considération .Tout d'abord la disponibilité de quai, la caractéristique des navires ensuite l'emplacement des marchandises. Comme les navires maritimes suivent un horaire régulier, dans la plupart des cas, la décision d'attribuer un poste à quai au navire doit être prise sur une base régulière. Les poste d'accostage à l'EPB sont affectés par le président d'une conférence de placement des navires(CPN) qui doit être fait quotidiennement le matin à 10h sauf le samedi et les jours fériés pour affecter les navires à poste à quai.

Cette conférence a une procédure à suivre.

**La procédure du la CPN :** Son objectif est la prise en charge des commandes clients et placement des navires en toute sécurité.

Le président de la CPN établit le programme des mouvement arrêtés dans les 24h à venir, selon les priorités d'accostage des navires et les critères d'affectation des postes d'accostages pour :

- Décider des navires en sortie.
- Décider des navires en entrée.
- Prévoir les mouvements éventuels dans le port.
- Exprimer des réserves éventuelles.

**Critère d'affectation des postes d'accostage :**

- Tirant d'eau maximum et longueur du navire .
- Type de navire et nature de marchandises.

- Nature de l'escale (chargement, déchargement, relâche , réparation, avitaillement, mesures sanitaires et allègement).
- Durée de l'escale.
- Paramètres de sécurité.
- Contrainte d'exploitation (disponibilité des aires d'entreposage).
- Diversification des navires présents au port, avec esprit de service public et intérêt général.
- Situation du client vis-à-vis de l'entreprise portuaire de Béjaïa (créance, contrat).

### **Priorités d'accostage :**

Sauf dérogation motivée et réglementaire du directeur de la capitainerie ou son remplacement représentant l'autorité portuaire, les mouvements de navires au port de Béjaïa sont comme suit :

- Les navires sortant sont prioritaires sur les navires entrant.
- Les navires de passage sur tous les autres.
- Les gaziers au poste n 24 durant la saison hivernal.
- Les caboteurs d'essence au poste n 19.
- Les navires animaliers ou de denrées périssables sur les autres cargaisons.
- Les navires transportant des produits stratégiques dans le cadre de plans nationaux ou de souveraineté.
- Les navires de lignes régulières ou ceux à escale rapide (maximum deux shift) sur les autres cargos non prioritaires .
- Les navires régis par des conventions particulières.
- Les huiliers au postes 23 ou 24 lorsque le poste est libéré par le gazier.

### **I.9.2.2 Allocation des équipements de manutention de quai au navire**

Elle consiste à déterminer quel type d'engins à affecter pour le traitement d'un navire et en particulier sur quelle partie de navire.

Le problème d'allocation des équipements de quai au navire vise à déterminer une séquence de travail d'escales des navires qui permet de minimiser le temps d'opération total sur le navire. L'EPB utilise une procédure de programmation et d'affectation des engins qui définit les modalités de planification et de répartition des moyens matériels pour la satisfaction des commandes clients. Elle s'applique à la mise à disposition de la direction manutention et acconage et des clients les moyens matériels pour le traitement des marchandises à l'import et à l'export (chargement, déchargement, entreposage et évacuation). Le port s'est doté de :

Désignation	Capacités	Nombre d'engins	Affectations
Chariot élévateurs à pincés	<5T	09	Affectation aux navires et ou relevage Traitement du bois rouge
Chariot élévateurs à fourche	<3T	12	Affectation aux navires et Traitement du bois rouge
	5T	10	Affectation aux navires et ou relevage
	6T	05	Traitement du bois rouge
	8T	04	Affectation aux navires et ou relevage Traitement du fer (poutrelle, cornières...)
	10T	11	Affectation aux navires et ou relevage
	18T	01	Traitement du rond à béton et les bobines d'acier
	32T	01	Affectation aux navires et ou relevage Traitement du marber,RO/RO divers et les conteneurs
Pelles chargeuses	<1.5T	06	Traitement des navires et céréalier en finition
Rétrochargeure	4T	03	
Steackers	38T	02	Affectation ou relevage de rond à béton, les tubes
Tracteur remorques	38T	03	Transfer des des marchandises
	50T	04	
Grue Gottwald HMK 260E	80T	01	Affectation aux navires et ou relevage
Grue Gottwald HMK 170E	63T	01	
Grue Liebherr	63T	01	
Grue autos mobiles Liebherr	50T	02	

TABLE I.2 : Équipement de manutention de l'EPB(source : DC de l'EPB)

### I.9.2.3 Planification de chargement et déchargement

Elle Consiste à positionner la marchandise sur le navire (quai). Le problème de chargement (déchargement) des marchandises dans un navire (quai) vise à développer un plan de chargement (déchargement) qui minimise le nombre de manutention improductive. Le plan de chargement (déchargement) doit tenir compte de plusieurs factures. Tout d'abord on retrouve les contraintes de stabilités de navire et contraintes de type de marchandises.

## I.10 Phénomène de mouvement

Un navire qui arrive au port peut passer par plusieurs postes. L'action de changer de poste s'appelle *mouvement*. Le mouvement peut être dû :

- Soit au besoin des autorités portuaires de libérer un poste pour un navire de priorité supérieure ; Exemple : Les postes 8,12 et 13 sont les postes d'accostage des car-ferries ; lorsque des navires cargos y sont travaillés et qu'un car-ferry se présente. un des cargos fait un mouvement pour lui libérer le poste.

- Soit à cause du type de marchandise qu'il transporte. Exemple : un navire essence en générale transporte du gasoil et de l'essence en même temps. Dans ce cas il décharge le gasoil au poste 1 et fait un mouvement au poste 19 pour décharger l'essence.

Le navire concerné par le mouvement est dirigé vers un autre poste, s'il y en a un poste libre et qui correspond à ses caractéristiques, sinon il est remis en rade en attendant qu'un poste soit libéré.

Les principales fonctions opérationnelles et administratives d'un port sont représentées dans l'organigramme suivant :

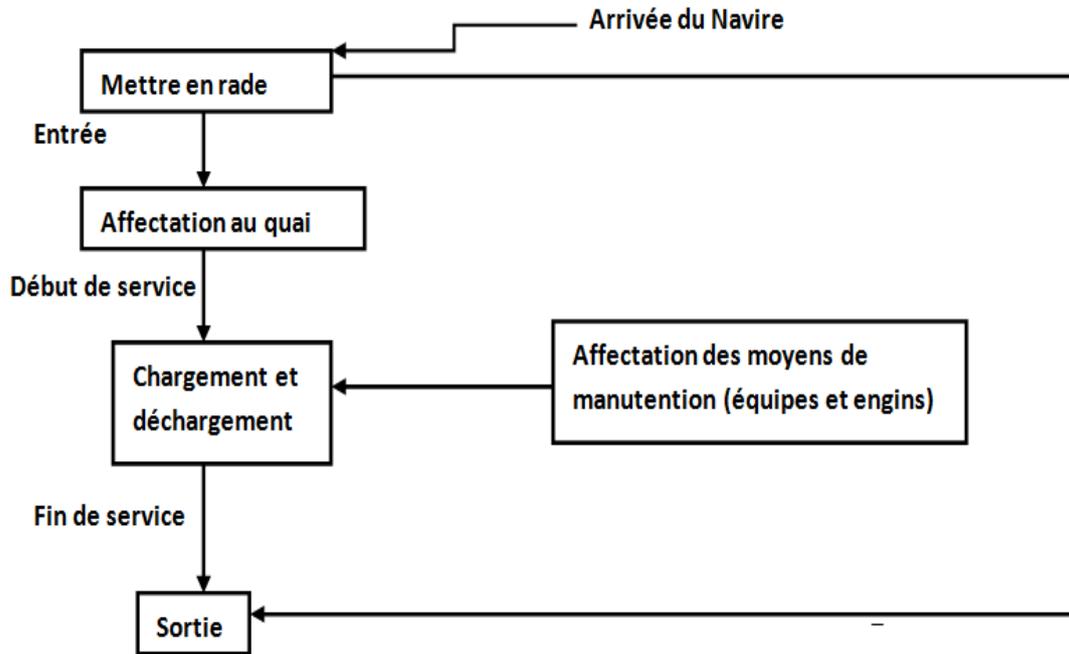


FIGURE I.3 : Modélisation du parcours d'un navire

## I.11 Généralité sur la chaîne logistique

**Définitions :** La littérature sur la logistique recouvre de nombreuses définitions de la chaîne logistique. Plusieurs travaux de recherche se sont focalisés sur cette vision, qui considère la chaîne logistique comme une succession des activités et des fonctions servant à amener un produit ou un service de cette entreprise jusque'au client. Pour Poirier et Reiter [13], une chaîne logistique est le système grâce auquel les entreprises amènent leur produits et leur services jusqu'aux clients. Kearney [14] a défini la chaîne logistique, de la même vision.

**La chaîne logistique portuaire :** La chaîne logistique, en transport maritime, est l'ensemble des flux physiques, des processus et des informations associés, relatifs à la marchandise depuis son expédition, en passant par son transport principal via navire et qui transite par le port jusqu'à sa mise à disposition au destinataire final.

### I.11.1 Les maillons de la chaîne logistique

En considérant la notion de la chaîne logistique dans le cas portuaire, celle-ci est composée par plusieurs maillons qui commencent par les fournisseurs (Navires), et qui se terminent par le client, ainsi que les fonctions d'approvisionnements, de stockage et de distributions comme présenté dans la figure I.4.

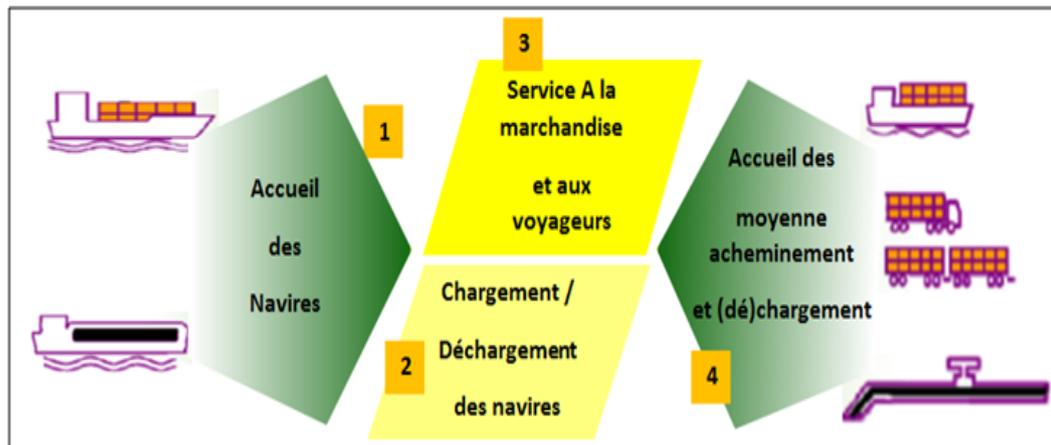


FIGURE I.4 : Une chaîne logistique portuaire

### I.11.2 Les flux dans la chaîne logistique

Nous distinguons trois types de flux échangés entre les membres d'une même chaîne logistique.

- Flux d'information : Ce flux est composé d'un flux de données et d'un flux de décisions, qui sont essentiels au bon de fonctionnement d'une chaîne logistique. En effet, c'est par la connaissance du fonctionnement des autres maillons de la chaîne logistique qu'un gestionnaire peut prendre les meilleures décisions pour le fonctionnement de sa propre entreprise ou service.
- Flux financier : Les flux financiers constituent les échanges des valeurs monétaires.
- Flux physique : Les flux physiques, appelés également flux de produits, sont les matières qui circulent entre les différents maillons de la chaîne logistique.

### I.11.3 Gestion de la chaîne logistique (Supply Chain Management)

Le Supply Chain Management (SCM) est le résultat d'un long processus d'évolution de la chaîne logistique. La gestion de la chaîne logistique est un mode de gestion des flux physiques et d'informations visant à optimiser les processus de commandes, de production et de livraison.[15]

### I.11.4 Planification de la chaîne logistique

La planification de la chaîne logistique consiste à optimiser les activités d'approvisionnement, de production et de distribution des articles, en se basant sur la demande prévisionnelle des clients. Elle nécessite de prendre un ensemble de décisions à des niveaux différents.

- **Décisions stratégiques :** Elles permettent d'évaluer les alternatives de configuration de la chaîne logistique. Elles sont prises pour un horizon de planification à long terme sur la base des prévisions de ventes annuelles.

- **Décisions tactiques** : Les décisions prises à moyen terme permettent de fournir les différentes ressources physiques et informationnelles nécessaires à la production et à la distribution (humaines, équipement et matières).
- **Décisions opérationnelles** : Elles reflètent le fonctionnement journalier des opérations logistiques. Les décisions opérationnelles les plus importantes sont la gestion et le contrôle des stocks, le dimensionnement des lots, l'affectation des stocks aux clients, l'ordonnancement de la production et la définition des programmes de transport et de livraison.

## I.12 Position du problème

La problématique que nous traitons dans ce mémoire est connue dans la littérature par le problème d'allocation des postes à quai (Berth Allocation Problem (BAP)). Une solution optimale de ce problème se représente par un plan de service de (chargement/déchargement) des navires entrants et des durées de séjour de longueurs minimales. Ce temps de séjours des navires dans le port doit être minimal.

Notre objectif est de chercher à atteindre une meilleure affectation des navires aux postes à quai pour améliorer la qualité de service au niveau du port l'exploiter d'une manière scientifique, afin de ne sanctionner ni le client ni l'entreprise. Le problème rencontré pourrait alors être résolu par l'application des méthodes de la recherche opérationnelle.

---

---

# CHAPITRE II

---

## OPTIMISATION COMBINATOIRE ET TECHNIQUE DE RÉOLUTION

### Sommaire

---

II.1 Optimisation Combinatoire . . . . .	20
II.2 Notions sur la complexité : . . . . .	22
II.3 Techniques l'optimisation . . . . .	23

---

### Introduction

L'optimisation combinatoire occupe une place très importante en recherche opérationnelle, en mathématiques discrètes et en informatique. Son importance se justifie d'une part par la grande difficulté des problèmes d'optimisation et d'autre part par de nombreuses applications pratiques pouvant être formulées sous la forme d'un problème d'optimisation combinatoire. Bien que les problèmes d'optimisation combinatoire soient souvent faciles à définir, ils sont généralement difficiles à résoudre. En effet, la plupart de ces problèmes appartiennent à la classe des problèmes NP-difficiles et ne possèdent donc pas à ce jour de solution algorithmique efficace valable pour toutes les données[10].

Dans ce chapitre, on a une description sur l'optimisation combinatoire et une description des principales méthodes d'optimisation utilisées dans la littérature est donnée.

### II.1 Optimisation Combinatoire

#### Définition II.1.1. problème d'optimisation

Un problème d'optimisation se définit comme la recherche du l'optimum (minimum ou maximum) d'une fonction donnée, Mathématiquement, dans le cas d'une minimisation, un problème d'optimisation se présentera sous la forme suivante :

minimiser  $f(s)$  (fonction à optimiser)

avec  $g(s) < 0$  (m contraintes d'inégalités)

et  $h(s) = 0$  (p contraintes d'égalités)

En d'autres termes, résoudre un problème d'optimisation  $P(S, f)$  revient à déterminer une solution  $s^* \in S$  minimisant ou maximisant la fonction  $f$  avec  $S$  l'ensemble des solutions ou l'espace de recherche et  $f : S \rightarrow Y$  une application ou une fonction d'évaluation qui à chaque configuration  $s$  associe une valeur  $f(s) \in Y$ .

Il est possible de passer d'un problème de maximisation à un problème de minimisation grâce à la propriété suivante :

$$\max_{s \in S} f(s) = \min_{s \in S} (-f(s)) \quad (\text{II.1})$$

Généralement, une solution  $s \in S$  est un vecteur d'un espace à  $N$  dimensions.

**Définition II.1.2.** Problème d'optimisation continue

Dans le cas de variables réelles, on a :  $S \subseteq \mathbb{R}^N$ . On parle alors de problème d'optimisation en variables continues.

un problème d'optimisation continues (PO) peut être formulé de la façon suivant :

$$(PO) \min_{s \in \mathbb{R}^N} f(s)$$

**Définition II.1.3.** Problème d'optimisation combinatoire

Un problèmes d'optimisation combinatoire est un problème d'optimisation dans lequel l'espace de recherche  $S$  est dénombrable.

Un problèmes d'optimisation combinatoire (POC) peut être formulé ainsi :

$$(POC) \min_{s \in \mathbb{Z}^N} f(s)$$

ou une solution  $s$  est un vecteur composé de  $N$  valeurs entières, soit  $S \subseteq \mathbb{Z}^N$ .

La principale différence entre problème d'optimisation continue et problème d'optimisation combinatoire repose sur l'utilisation de variables discrètes, Dans les deux catégories de problèmes, une solution  $s \in S$  est une instantiation des variables  $X_i \in X$ , ou  $i$  est l'indice de la variable, et  $X$  est le vecteur de dimensions  $N$  correspondant à la solution, et  $f(s)$  est son évaluation. Résoudre ces problèmes revient à trouver une solution optimale appelée aussi optimum global.

**Définition II.1.4.** Optimum global

Une solution  $s^* \in S$  est un optimum global d'un problème d'optimisation s'il n'existe pas d'autres solutions de meilleure qualité. La solution  $s^* \in S$  est un optimum global[11] ssi :

$$\forall s \in S \begin{cases} f(s^*) \leq f(s) & \text{dans le cas de minimisation} \\ f(s^*) \geq f(s) & \text{dans le cas de maximisation} \end{cases} \quad (\text{II.2})$$

La figure II.1 schématise la courbe d'une fonction d'évaluation en faisant apparaître l'optimum global dans le cas d'un problème de minimisation.

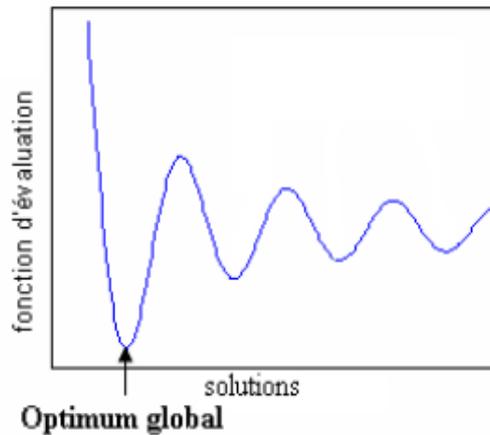


FIGURE II.1 : Courbe d'une fonction évaluation.

## II.2 Notions sur la complexité :

Avant d'aborder les différentes méthodes de résolution des problèmes d'optimisation combinatoire nous introduisons quelques définitions et notions sur la complexité des (POC).

Généralement, le temps d'exécution est le facteur majeur qui détermine l'efficacité d'un algorithme, alors la complexité en temps d'un algorithme est le nombre d'instructions nécessaires (affectation, comparaison, opérations algébriques, lecture et écriture, etc.) que comprend cet algorithme pour une résolution d'un problème quelconque.

**Définition II.2.1.** Une fonction  $f(n)$  est  $\mathcal{O}(g(n))$  ( $f(n)$  est de complexité  $g(n)$ ), s'il existe un réel  $c > 0$  et un entier positif  $n_0$  tel que pour tout  $n \geq n_0$  on a  $|f(n)| \leq c.g(n)$ [12].

**Définition II.2.2.** Un algorithme en temps polynomial est un algorithme dont le temps de la complexité est en  $\mathcal{O}(p(n))$ , où  $p$  est une fonction polynomiale et  $n$  est la taille de l'instance (ou sa longueur d'entrée).

Si  $k$  est le plus grand exposant de ce polynôme en  $n$ , le problème correspondant est dit être résoluble en  $\mathcal{O}(n^k)$  et appartient à la classe P.

**Définition II.2.3.** La classe NP contient les problèmes de décision qui peuvent être décidés sur une machine non déterministe en temps polynomial. C'est la classe des problèmes qui admettent un algorithme polynomial capable de tester la validité d'une solution du problème. Intuitivement, les problèmes de cette classe sont les problèmes qui peuvent être résolus en énumérant l'ensemble de solutions possibles et en les testant à l'aide d'un algorithme polynomial.

**Définition II.2.4. La classe NP-complet :** parmi l'ensemble des problèmes appartenant à NP, il en existe un sous ensemble qui contient les problèmes les plus difficiles : on

les appelle les problèmes NP-complets. Un problème NP-complet possède la propriété que tout problème dans NP peut être transformé (réduit) en celui-ci en temps polynomial, c'est à dire qu'un problème est NP-complet quand tous les problèmes appartenant à NP lui sont réductibles. Si on trouve un algorithme polynomial pour un problème NP-complet, on trouve alors automatiquement une résolution polynomiale de tous les problèmes de la classe NP.

**Définition II.2.5. La classe NP-difficile :** Un problème est NP-difficile s'il est plus difficile qu'un problème NP-complet, c'est à dire s'il existe un problème NP-complet se réduisant à ce problème par une réduction de Turing[6].

## II.3 Techniques l'optimisation

La principale difficulté à laquelle est confronté un décideur, en présence d'un problème d'optimisation, est celle du choix d'une méthode efficace capable de produire une solution optimale en un temps de calcul raisonnable. Dans la littérature, on distingue essentiellement deux classes de méthodes : les méthodes exactes assurant la résolution des problèmes en un temps polynômial et les méthodes approchées ou heuristique, permettant de trouver une solution proche de l'optimale en un temps tolérable [1]

### II.3.1 Méthodes exactes

Le terme de **méthodes exactes** [6] regroupe l'ensemble des méthodes permettant d'obtenir la solution optimale d'un problème , ces méthodes sont généralement utilisées pour résoudre des problèmes de petite taille. Dans ce cas, le nombre de combinaisons possibles est suffisamment faible pour pouvoir explorer l'espace de solutions en un temps raisonnable. On distingue trois sous-classes de méthodes exactes , la procédure de séparation et d'évaluation (Branch and Bound) la programmation dynamique et la programmation linéaire (simplexe).

#### II.3.1.1 Procédure de séparation et évaluation

Branch and bound est l'une des méthodes exacte utilisé pour la résolution des problèmes combinatoires, elle est basée sur quatre opérations.

1. **Principe de l'approche par énumération implicite :**

Au cours du processus de développement de l'arborescence, l'ensemble des solutions est partitionnée en deux ou plusieurs sous ensembles en éliminant les parties ne contenant pas de solution entières réalisables. Chaque sommet représente un sous problème et la racine correspond au problème tout entier. A chaque itération, nous sélectionnons, en utilisant une stratégie de sélection, un sous ensemble promoteur conduisant à une meilleure solution réalisable. Si cette solution est trouvée, nous éliminons le sous ensemble des prochaines considérations et nous obtenons ainsi une borne inférieure pour le problème en question. Sinon nous continuons l'exploration.

**2. Principe de séparation :**

Soient  $x_r$  la solution optimale du programme linéaire relaxé (PR) et  $x_i$  une variable de base non entier de  $x_r$  telles que :

$$[x_i] \leq x_i \leq [x_i] + 1 .$$

La séparation de (P), selon la variable  $x_i$  , consiste à diviser (P) en deux programme ( $P_1$ )et( $P_2$ ) avec :

$$(p_1) = \begin{cases} (p) \\ et \\ x_i \leq [x_i] \end{cases} \quad (\text{II.3})$$

$$(p_2) = \begin{cases} (p) \\ et \\ x_i \geq [x_i] + 1 \end{cases} \quad (\text{II.4})$$

Désignons par :

$R_0$  la région ne contenant pas de solutions entières.

$R_1$  la région des solutions réalisables ( $P_1$ ) .

$R_2$  la régions des solutions réalisables ( $P_2$ ).

La séparation consiste à éliminer  $R_0$  et à chercher des solutions entières dans les régions  $R_1$  et  $R_2$ .

**3. Principe d'évaluation :**

On utilise en général des fonctions d'évaluation et des bornes.

A l'étape  $k$ , on résout le problème relaxé ( $PR_k$ ) associé à ( $p_k$ ).Pour ce faire deux cas se présentent

(a) Cas où la solution optimale  $x_r^k$  est entière,  $Z(x_r^k)$  constitue une borne inférieure à tous les problèmes prédécesseurs au problèmes ( $P_r$ ),et en même temps un majorant à tous les problèmes successeurs au problème ( $P_k$ ).

(b) Cas où la solution optimale obtenue  $x_r^k$  n'est pas entière,on sépare à nouveau le problème ( $P_k$ ).

**4. Stratégie d'exploration de l'arborescence :**

On distingue trois stratégies différentes :

(a) **Stratégie en profondeur**

A partir d'un nœud donné, elle explore tous les nœuds successeurs tant que ceci est possible, ensuite revenir à une autre, à chaque étape on change de niveau.

- (b) **Stratégie en largeur** A chaque partie d'un nœud donnée, cette stratégie explore les nœuds d'un même niveau, puis séparer les nœuds séparables. Ensuite, revenir à explorer les nœuds du niveau suivant.
- (c) **Stratégie meilleure** L'ordre d'exploration des sommets n'est pas défini au départ. On explore le sommet ayant la meilleure valeur de la fonction objective.

### II.3.1.2 Programmation dynamique

Introduite par Bellman dans les années 50 [3], La méthode de la programmation dynamique est une méthode générique pour les problèmes d'optimisation, et, en particulier, il a été prouvé que c'est un outil à la fois souple et puissant pour traiter les problèmes d'optimisation. Cette méthode consiste à décomposer le problème posé en sous-problèmes (ou phases), puis à établir une équation récursive exprimant la solution du sous-problème d'ordre  $k$  en fonction de celle du sous problème d'ordre  $(k-1)$ . Ainsi, le dernier sous-problème serait d'ordre  $n$ , en l'occurrence, c'est le problème à résoudre.[2]

### II.3.1.3 Programmation linéaire

La modélisation analytique d'un problème permet, non seulement de mettre en évidence l'objectif et les différentes contraintes du problème, mais également, parfois de le résoudre. L'idéal est d'obtenir un programme linéaire dont les variables sont réelles. Dans ce cas, il existe des solveurs efficaces pour le résoudre. Dès que le problème comporte des variables entières ou le modèle n'est pas linéaire, il devient plus difficile à résoudre.

Néanmoins, il est parfois surprenant de voir qu'un problème particulier de taille intéressante peut être résolu par la programmation mathématique . Il est donc justifié de commencer à étudier un problème en proposant une ou plusieurs modélisations analytiques. De plus, cette démarche à été simplifiée car il existe, actuellement, des langages de modélisation (comme MPL) permettant d'écrire les programmes linéaires de façon formelle, proche de l'écriture mathématique,[20]

Un programme linéaire est écrire sous la forme suivante :

$$(PL) \begin{cases} \min Z = cx \\ Ax \leq b \\ x \geq 0 \end{cases} \quad (II.5)$$

Si les variables sont entier,alors le programme est en nombre entier de dimension  $(m \times n)$  a la forme suivante :

$$(PLNE) \begin{cases} \min Z = cx \\ Ax \leq b \\ x_j \in N \quad j = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (II.6)$$

Ou  $A$  est une matrice  $(m \times n)$ ,  $b$  un vecteur de dimension  $n$  et  $x$  est un vecteur inconnu. Dans le cas particulier, ou les contraintes  $x_j \in N$  sont remplacées par  $x_j \in \{0, 1\}$ , on dit qu'on a un programme linéaire en 0,1.

## II.3.2 Méthodes approchées

La résolution d'un problème d'optimisation combinatoire, de taille comparable à ceux rencontrés dans la pratique, demande des tailles de mémoires et des temps de calcul trop importants. L'objectif n'est plus alors d'obtenir systématiquement l'optimum mais plutôt d'obtenir une solution proche de l'optimum ou de « bonne qualité » en un temps minimal. Ainsi, au lieu d'effectuer une recherche exhaustive, les méthodes approchées échantillonnent l'espace de recherche, n'en considèrent qu'une partie, et fournissent ainsi en un temps raisonnable, la meilleure configuration rencontrée. On distingue deux types de méthodes : les heuristiques et les méta-heuristiques.[1]

### II.3.2.1 Les heuristiques

En optimisation combinatoire, une heuristique est un algorithme approché qui permet d'identifier en temps polynomial au moins une solution réalisable rapide, pas obligatoirement optimale. L'usage d'une heuristique est efficace pour calculer une solution approchée d'un problème et ainsi accélérer le processus de résolution exacte. Généralement une heuristique est conçue pour un problème particulier, en s'appuyant sur sa structure propre sans offrir aucune garantie quant à la qualité de la solution calculée. Les heuristiques peuvent être classées en deux catégories[4] :

1. Méthodes constructives : qui génèrent des solutions à partir d'une solution initiale en essayant d'en ajouter petit à petit des éléments jusqu'à ce qu'une solution complète soit obtenue.
2. Méthodes de fouilles locales : qui démarrent avec une solution initialement complète (probablement moins intéressante), et de manière répétitive essaie d'améliorer cette solution en explorant son voisinage.

### II.3.2.2 Les méta-heuristiques

Face aux difficultés rencontrées par les heuristiques pour avoir une solution réalisable de bonne qualité pour des problèmes d'optimisation difficiles, les méta-heuristiques ont fait leur apparition. Ces algorithmes sont plus complets et complexes qu'une simple heuristique, et permettent généralement d'obtenir une solution de très bonne qualité pour des problèmes issus des domaines de la recherche opérationnelle ou de l'ingénierie dont on ne connaît pas de méthodes efficaces pour les traiter ou bien quand la résolution du problème nécessite un temps élevé ou une grande mémoire de stockage.

Le rapport entre le temps d'exécution et la qualité de la solution trouvée d'une méta-heuristique reste alors dans la majorité des cas très intéressant par rapport aux différents types d'approches de résolution.

La plupart des méta-heuristiques utilisent des processus aléatoires et itératifs. Une méta-heuristique peut être adaptée pour différents types de problèmes, tandis qu'une heuristique est utilisée à un problème donné.

Plusieurs d'entre elles sont souvent inspirées par des systèmes naturels dans de nombreux domaines tels que : la biologie (algorithmes évolutionnaires et génétiques) la

physique (recuit simulé), et aussi l'éthologie (algorithmes de colonies de fourmis).

Un des enjeux de la conception des méta-heuristiques est donc de faciliter le choix d'une méthode et le réglage des paramètres pour les adapter à un problème donné.

Les méta-heuristiques peuvent être classées de nombreuses façons. On peut distinguer celles qui travaillent avec une population de solutions de celles qui ne manipulent qu'une seule solution à la fois. Les méthodes qui tentent itérativement d'améliorer une solution sont appelées méthodes de recherche locale ou méthodes de trajectoire. Ces méthodes construisent une trajectoire dans l'espace des solutions en tentant de se diriger vers des solutions optimales.

**II.3.2.2.1 Les méthodes de recherche locale :** Dans cette section, nous présentons quelques métaheuristiques à base de solution unique, aussi appelées méthodes de trajectoire. Contrairement aux métaheuristiques à base de population, les métaheuristiques à solution unique commencent avec une seule solution initiale et s'en éloignent progressivement, en construisant une trajectoire dans l'espace de recherche. Les méthodes de trajectoire englobent essentiellement la méthode de descente, la méthode du recuit simulé et la recherche tabou.

**Méthode de descente :** La méthode de descente (DM : *Descent method*) est l'une des méthodes les plus simples de la littérature. Elle est également appelée *hill climbing* dans les problèmes de maximisation. Son principe consiste, à partir d'une solution initiale, à choisir à chaque itération un point dans le voisinage de la solution courante qui améliore strictement la fonction objectif. Il existe plusieurs moyens de choisir ce voisin : soit par le choix aléatoire d'un voisin parmi ceux qui améliorent la solution courante (*first improvement*), soit en choisissant le meilleur voisin qui améliore la solution courante (*best improvement*). Dans tous les cas, le critère d'arrêt est atteint lorsque plus aucune solution voisine n'améliore la solution courante. Le principal inconvénient de la DM est qu'elle reste piégée dans le premier optimum local rencontré. Les méthodes de ce type ne présentent aucune forme de diversification. Une amélioration de cet algorithme consiste à redémarrer plusieurs fois, lorsqu'un optimum local est trouvé, à partir d'une nouvelle solution générée aléatoirement. On parle alors d'algorithme de descente avec relance (*multiple start random hill climbing*).

**Le recuit simulé :** Le but de la méthode du recuit simulé (SA : *Simulated annealing*) est de trouver une solution optimale pour un problème donné. Elle a été mise au point par trois chercheurs de la société IBM : S. Kirkpatrick, C.D. Gelatt et M.P. Vecchi en 1983, et indépendamment par V. Cerny en 1985 à partir de l'algorithme de Metropolis, qui permet de décrire l'évolution d'un système thermodynamique.

L'idée principale du recuit simulé tel qu'il a été proposé par Metropolis en 1953 est de simuler le comportement de la matière dans le processus du recuit très largement utilisé dans la métallurgie. Le but est d'atteindre un état d'équilibre thermodynamique, cet état d'équilibre (où l'énergie est minimale) représente dans la méthode du recuit simulé la solution optimale d'un problème, L'énergie du système sera calculé par une fonction de coût (ou fonction objectif). La méthode va donc essayer de trouver la solution optimale

en optimisant une fonction objectif, pour cela, un paramètre fictif de température a été ajouté par Kirkpatrick, Gelatt et Vecchi. En gros le principe consiste à générer successivement des configurations à partir d'une solution initiale  $S_0$  et d'une température initiale  $T_0$  qui diminuera tout au long du processus jusqu'à atteindre une température finale ou un état d'équilibre (optimum global)[16].

**La méthode de recherche avec tabous :** La méthode taboue qui fait partie des méthodes de voisinage, a été proposée par F.Glover durant les années 1980. Elle utilise la notion de mémoire pour éviter un optimum local. Le principe de l'algorithme est le suivant ; à chaque itération, le voisinage de la solution est sélectionné en appliquant le principe de voisinage. La méthode autorise de remonter vers des solutions qui semblent moins intéressantes mais qui ont peut être un meilleur voisinage. Des fois, ce principe engendre des phénomènes de cyclage entre deux solutions, tandis que la méthode taboue a l'interdiction de visiter une solution récemment visitée. Pour cela, une liste taboue contenant les attributs des dernières solutions considérées est tenue à jour. Chaque nouvelle solution considérée enlève de cette liste la solution la plus anciennement visitée. Ainsi, la recherche de la solution suivante se fait dans le voisinage de la solution actuelle sans considérer les solutions appartenant à la liste taboue.[17]

**II.3.2.2 Méthode heuristique à population de solution :** Travaillent sur un ensemble de points de l'espace de recherche en commençant avec une population de solution initiale puis de l'améliorer au fur et à mesure des itérations. L'intérêt de ces méthodes est d'explorer un très vaste espace de recherche et d'utiliser la population comme facteur « de diversité ».

**Les algorithmes évolutionnaires :** Un algorithme évolutionnaire est typiquement composé de trois éléments fondamentaux [18] :

- **Une population** constituée de plusieurs individus représentant des solutions potentielles (configurations) du problème donné, permettant de mémoriser les résultats à chaque étape du processus de recherche.
- **Un mécanisme d'évaluation** (fitness) des individus permettant de mesurer la qualité de l'individu.
- **Un mécanisme d'évolution** de la population permettant, grâce à des opérateurs prédéfinis (tels que la sélection, la mutation et le croisement), d'éliminer certains individus et d'en créer de nouveaux.

La figure II.2 décrit le squelette d'un algorithme évolutionnaire, commun à la plupart des instances classiques d'EA.

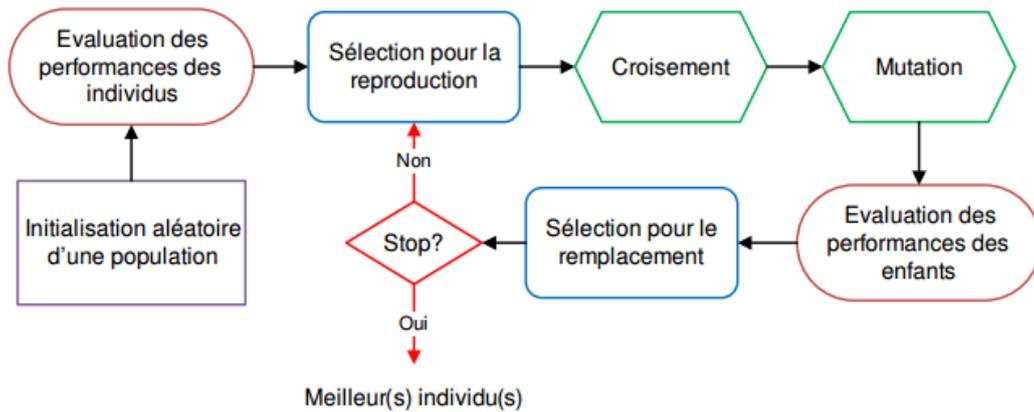


FIGURE II.2 : Principe d'un algorithme évolutionnaire (EA)

Chaque itération de l'algorithme correspond à une génération, où une population constituée de plusieurs individus, représentant des solutions potentielles du problème considéré, est capable de se reproduire. Elle est sujette à des variations génétiques et à la pression de l'environnement qui est simulée à l'aide de la fonction d'adaptation, ce qui provoque la sélection naturelle (la survie du plus fort). Les opérateurs de variation sont appliqués (avec une probabilité donnée) aux individus parents sélectionnés, ce qui génère de nouveaux descendants appelés enfants, on parlera de mutation pour les opérateurs unaires, et de croisement pour les opérateurs binaires (ou n-aires). Les individus issus de ces opérations sont alors insérés dans la population. Le processus d'évolution est itéré, de génération en génération, jusqu'à ce qu'une condition d'arrêt soit vérifiée, par exemple, quand un nombre maximum de générations ou un nombre maximum d'évaluations est atteint. Parmi ces algorithmes les algorithmes génétiques.

### Les algorithmes génétiques :

Les algorithmes génétiques (GA : *Genetic Algorithms*) sont, sans conteste, la technique la plus populaire et la plus largement utilisée des EA. Les origines de ces algorithmes remontent au début des années 1970, avec les travaux de John Holland. Ces algorithmes se détachent en grande partie par la représentation des données du génotype, initialement sous forme d'un vecteur binaire et plus généralement sous forme d'une chaîne de caractères.

Chaque étape de GA est associée à un opérateur décrivant la façon de manipuler les individus :

- **Sélection** : Pour déterminer quels individus sont plus enclins à se reproduire, une sélection est opérée. Il existe plusieurs techniques de sélection, les principales utilisées sont la sélection par tirage à la roulette, la sélection par tournoi, la sélection par rang, etc.
- **Croisement** : L'opérateur de croisement combine les caractéristiques d'un ensemble d'individus parents (généralement deux) préalablement sélectionnés, et génère de nouveaux individus enfants. Encore, il existe de nombreux opérateurs

de croisement, par exemple le croisement en un point, le croisement en  $n$ -points ( $n \geq 2$ ) et le croisement uniforme (voir figure II.3).

- **Mutation** : Les descendants sont mutés, c'est-à-dire que l'on modifie aléatoirement une partie de leur génotype, selon l'opérateur de mutation.
- **Remplacement** : Le remplacement (ou sélection des survivants), comme son nom l'indique, remplace certains des parents par certains des descendants. Le plus simple est de prendre les meilleurs individus de la population, en fonction de leurs performances respectives, afin de former une nouvelle population (typiquement de la même taille qu'au début de l'itération).

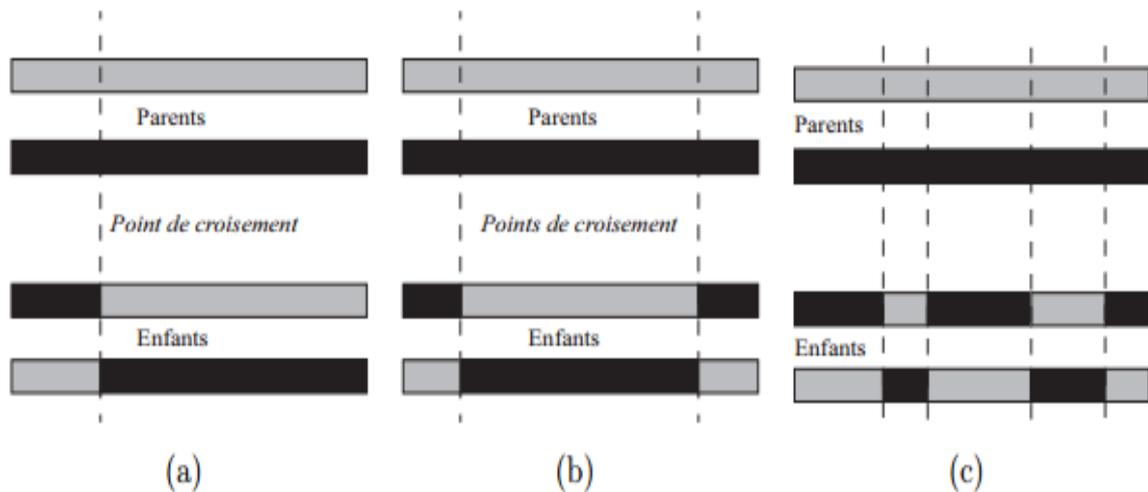


FIGURE II.3 : Exemples de croisement : (a) croisement simple en un point, (b) croisement en deux points, (c) croisement uniforme

**Les colonies de fourmis** : Les algorithmes à base de colonies de fourmis ont été introduits par Dorigo. Une des applications principales de la méthode originale était le problème du voyageur de commerce et depuis elle a considérablement évolué. Cette nouvelle métaheuristique imite le comportement de fourmis cherchant de la nourriture. A chaque fois qu'une fourmi se déplace, elle laisse sur la trace de son passage une odeur (la phéromone). Avec plusieurs de ses congénères, elle explore une région en quête de nourriture. Face à un obstacle, le groupe des fourmis explore les deux côtés de l'obstacle et se retrouvent, puis elles reviennent au nid avec de la nourriture. Les autres fourmis qui veulent obtenir de la nourriture elles aussi vont emprunter le même chemin. Si celui-ci se sépare face à l'obstacle, les fourmis vont alors emprunter préférentiellement le chemin sur lequel la phéromone sera la plus forte. Mais la phéromone étant une odeur elle s'évapore. Si peu de fourmis empruntent une trace, il est possible que ce chemin ne soit plus valable au bout d'un moment, il en est de même si des fourmis exploratrices empruntent un chemin plus long. Par contre, si le chemin est fortement emprunté, chaque nouvelle fourmi qui passe redépose un peu de phéromone et renforce ainsi la trace, donnant alors à ce chemin une plus grande probabilité d'être emprunté[19].

## Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons dans un premier temps défini des notions de base sur les problèmes d'optimisation combinatoire, Après avoir rappelé certaines méthodes de résolution exacte, heuristiques qui permet de résoudre un problème d'optimisation combinatoire. Le choix de la méthode de résolution à mettre en œuvre dépendra souvent de la complexité du problème. Si le problème est de petite taille, alors un algorithme exact permettant de trouver la solution optimale peut être utilisé. Malheureusement, ces algorithmes par nature énumératifs, souffrent de l'explosion combinatoire et ne peuvent s'appliquer à des problèmes de grandes tailles. Dans ce cas, il est nécessaire de faire appel à des (méta)heuristiques permettant de trouver de bonnes solutions approchées. Ces derniers sont divisés en deux classes : les méthodes qui font évoluer une seule solution et les méthodes à base de population de solutions. Donc pour résoudre un problème on doit choisir les méthodes adéquates qui peuvent être adapté au type du problème.

Dans le chapitre suivant, nous allons proposer un modèle mathématique qui modélise le problème d'affectation des navires à des postes à quais de sorte à minimiser le temps de séjour des navires au port.

---

---

# CHAPITRE III

---

## MODÉLISATION DU PROBLÈME

### Sommaire

---

<b>III.1 Principe</b> . . . . .	<b>32</b>
<b>III.2 Construction de modèle 1</b> . . . . .	<b>32</b>
<b>III.3 Construction du modèle 2</b> . . . . .	<b>37</b>

---

### Introduction

Les opérateurs portuaires sont intéressés à conserver des niveaux de service satisfaisants pour tous les clients, puisque cela est habituellement une mesure de négociation des ententes contractuelles à venir avec de nouveaux clients. Enfin, l'une des principales préoccupations des opérateurs portuaires est la minimisation du coût associé aux opérations de manutention des navires et du temps de séjour des navires dans le port.

Dans le présent chapitre, nous élaborons un modèle qui cherche à planifier de façon optimale les navires entrants sur les quais tout optimisant le temps de séjour des navires. Après nous proposons un système d'aide à la décision en ajoutant au premier modèle une affectation des ordres de services .

### III.1 Principe

Le modèle consiste à pouvoir réaliser une bonne politique d'affectation des navires aux postes à quais, dans le but de minimiser leur temps de séjour au port.

### III.2 Construction de modèle 1

#### III.2.1 Notations

- Indices :

$B = \{1, 2, \dots, I\}$  Ensemble des postes à quai.

$V = \{1, 2, \dots, J\}$  Ensemble des navires entrants.

• **Paramètres :**

$S_i$  : Le moment où le poste à quai  $i$  devient libre, pour la planification d'allocation des postes à quai.

$A_j$  : Le temps d'arrivée de navire  $j$ .

$C_{ij}$  : Le temps de traitement du navire  $j$  sur le poste à quai  $i$ .

$L_i^*$  : La longueur de quai  $i$ .

$L_j$  : La longueur de navire  $j$ .

$T_i^*$  : La profondeur d'eau du poste à quai  $i$ .

$T_j$  : Le tirant d'eau de navire  $j$ .

• **Variable de décision :**

$$X_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{Si le navire } j \text{ est affecté au poste à quai } i, \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (\text{III.1})$$

• **Hypothèses considérées pour la formulation du problème :**

1. Le processus de planification est considéré statique : (tous les navires sont au port avant le début de plan de la planification).
2. Chaque poste à quai ne peut accueillir qu'un seul navire à la fois.
3. Chaque navire peut être affecté à au plus un poste à quai.
4. Le temps de manutention de chaque navire dépend du poste à quai sur lequel il est assigné.
5. Une fois qu'un navire est amarré sur un poste à quai, il doit rester sur ce poste jusqu'à la fin de son manutention de service.

• **Modélisation du problème :**

**La fonction objectif :**

$$F = \min \sum_{i \in B} \sum_{j \in V} (C_{ij} + (S_i - A_j)) X_{ij}$$

**Les constraints :**

1.  $\sum_{i \in B} X_{ij} = 1, \quad \forall j \in V.$

Assure que chaque navire sera servi sur un seul poste à quai.

$$2. \sum_{j \in V} X_{ij} = 1, \quad \forall i \in B.$$

Assure que chaque poste à quai ne peut accueillir qu'un seul navire à la fois.

$$3. X_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \forall i \in B, j \in V.$$

Donne les valeurs que prend la variable de décision.

$$4. S_i \geq A_j, \quad \forall i \in B, j \in V.$$

Assure que les navires doivent arriver avant le début du plan de planification.

$$5. (L_i^* - L_j)X_{ij} \geq 0, \quad \forall i \in B, j \in V.$$

Assure que la longueur de chaque navire j ne dépasse pas la longueur de quai i.

$$6. (T_i^* - T_j)X_{ij} \geq 0, \quad \forall i \in B, j \in V.$$

Assure que Le tirant d'eau de chaque navire j ne dépasse pas la profondeur d'eau du quai i.

• **Le modèle mathématique (PLEN) :**

$$F = \min \sum_{i \in B} \sum_{j \in V} (c_{ij} + (S_i - A_j))X_{ij}$$

$$\text{S.c} \left\{ \begin{array}{ll} \sum_{i \in B} X_{ij} = 1, & \forall j \in V. \\ \sum_{j \in V} X_{ij} = 1, & \forall i \in B. \\ S_i \geq A_j, & \forall i \in B, j \in V. \\ (L_i^* - L_j)X_{ij} \geq 0, & \forall i \in B, j \in V. \\ (T_i^* - T_j)X_{ij} \geq 0, & \forall i \in B, j \in V. \\ X_{ij} \in \{0, 1\}, & \forall i \in B, j \in V. \end{array} \right.$$

$$i \in B = \{ 8, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 23 \}$$

**Remarque :**

- $(S_i - A_j)$  est la durée d'attente de navire j dans la rade avant d'être accosté ou poste à quai i.
- Les quais concernés par notre étude sont les postes énumérés du 8 à 23 sauf :
  - Le poste 20 qui est pour la réparation naval.
  - Les postes 9 et 10 qui sont pour la gare maritime.

**Exemple :**

Pour illustrer notre modèle on propose un exemple avec les données suivantes :

- Un nombre des navires  $N = 5$  navires.
- Un nombre des postes à quais  $Q = 3$  postes.
- Les durées de séjour des navires dans les postes est présenté dans la matrice suivant :

$$C_{ij} = \begin{pmatrix} 48 & 30 & 22 & 35 & 60 \\ 29 & 45 & 36 & 35 & 40 \\ 38 & 62 & 23 & 55 & 30 \end{pmatrix}$$

- Les heures d'arrivées des navires sont présenté par le vecteur suivant :

$$A_j = \begin{pmatrix} 8.00 & 10.25 & 9.35 & 12.00 & 11.00 \end{pmatrix}$$

- Les tirants d'eaux des navires sont :

$$T_j = \begin{pmatrix} 8 & 7 & 3 & 12 & 10 \end{pmatrix}$$

- Les longueurs des navires sont :

$$L_j = \begin{pmatrix} 390 & 250 & 130 & 140 & 310 \end{pmatrix}$$

- Les moments où les postes à quai sont libre :

$$S_i = \begin{pmatrix} 13.30 & 15.15 & 14.20 \end{pmatrix}$$

- Les longueurs des postes à quai :

$$L_i^* = \begin{pmatrix} 290 & 530 & 750 \end{pmatrix}$$

- Les profondeurs des postes à quai :

$$T_i^* = \begin{pmatrix} 08 & 12 & 10 \end{pmatrix}$$

La fonction objectif de cet exemple est :

$$MAXF = 58, 25X_{11} + 52, 95X_{12} + 25, 95X_{13} + 36, 3X_{14} + 62, 3X_{15}$$

$$36, 15X_{21} + 49, 9X_{22} + 41, 8X_{23} + 38, 15X_{24} + 44, 15X_{25}$$

$$44, 2X_{31} + 65, 95X_{32} + 27, 85X_{33} + 57, 2X_{34} + 33, 2X_{35}$$

Après la résolution du problème par des méthodes exactes sur le solveur CPLEX on obtient l'affectation présenté dans la matrice suivant :

$$X_{ij} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

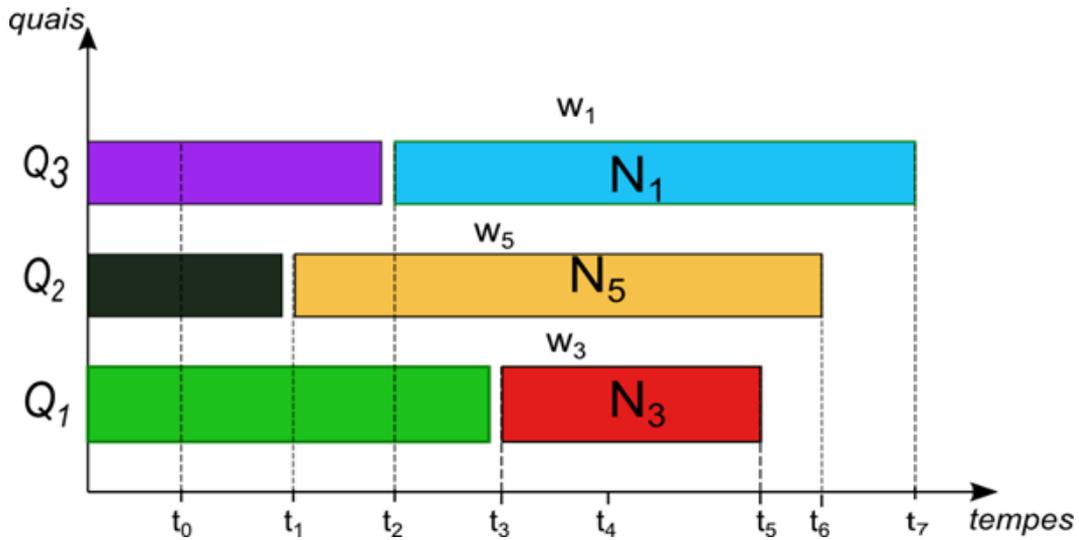


FIGURE III.1 : Exemple d'un plan de planification .

$t_0$  : La date de planification.

$t_1$  : Le temps d'accostage de navire  $N_5$  dans le poste à quai  $Q_2$ .

$t_2$  : Le temps d'accostage de navire  $N_1$  dans le poste à quai  $Q_3$ .

$t_3$  : Le temps d'accostage de navire  $N_3$  dans le poste à quai  $Q_1$ .

$W_3 = t_5 - t_3$  : Le temps de séjour du navire  $N_3$  dans le poste à quai  $Q_1$ .

$W_5 = t_6 - t_1$  : Le temps de séjour du navire  $N_5$  dans le poste à quai  $Q_2$ .

$W_1 = t_7 - t_2$  : Le temps de séjour du navire  $N_1$  dans le poste à quai  $Q_3$ .

### Le système Navire-Quai-Service

Après avoir donné l'affectation des navires à des postes à quai nous avons constaté que plusieurs décisions très importantes sont prises afin d'améliorer le fonctionnement et les mesures de performances. Parmi ces décisions, on a l'affectation des équipements de manutention à des navires, pour cela nous proposons un modèle qui consiste à améliorer le premier modèle pour pouvoir réaliser une bonne politique d'affectation des moyens de manutentions regroués à des ordres de service  $O_k$ .

Soit l'ensemble  $O_k$ ,  $k \geq 1$  est donné par les équipements à utiliser pour la manutention d'un navire dans un quai donné.

**Le but :** réduire le temps d'occupation des quais et rendre ainsi les équipes efficaces dans leurs opérations.

## III.3 Construction du modèle 2

### III.3.1 Notations

- **Indices :**

$B = \{1, 2, \dots, I\}$  Ensemble des postes à quai.

$V = \{1, 2, \dots, J\}$  Ensemble des navires entrants.

$O = \{1, 2, \dots, K\}$  Ensemble des ordres de services

- **Paramètres :**

$S_i$  : Le moment où le poste à quai  $i$  devient libre, pour la planification d'allocation des postes à quai.

$A_j$  : Le temps d'arrivée de navire  $j$ .

$C_{ij}$  : Le temps de traitement du navire  $j$  sur le poste à quai  $i$ .

$L_i^*$  : La longueur de quai  $i$ .

$L_j$  : La longueur de navire  $j$ .

$T_i^*$  : La profondeur d'eau du poste à quai  $i$ .

$T_j$  : Le tirant d'eau de navire  $j$ .

$H_{jk}$  : Le temps de traitement de navire  $j$  par ordre de service  $k$ .

$N$  : Le nombre des ordres de service.

- **Variable de décision :**

Ces sorties représentent des affectations optimales des navires entrants, elles sont présentées comme une matrice  $X = [X_{ijk}]$ , avec :

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{Si le navire } j \text{ est affecté au poste à quai } i \text{ avec un ordre de service } k \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (\text{III.2})$$

$$Q_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{Si l'ordre de service } k \text{ est affecté au poste à quai } i, \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (\text{III.3})$$

- **Hypothèses :**

Chaque ordre de service sera affecté vers un seul poste à quai.

- **Modélisation du problème :**

**La fonction objectif :**

$$F = \min \sum_{i \in B} \sum_{j \in V} \sum_{k \in O} (H_{jk} + (S_i - A_j)) X_{ijk}$$

**Les constraints :**

$$1. \sum_{i \in B} \sum_{k \in O} X_{ijk} = 1, \quad \forall j \in V.$$

Assure que chaque navire sera servi sur un seul poste à quai.

$$2. \sum_{j \in V} X_{ijk} = 1, \quad \forall i \in B, k \in O.$$

Assure que chaque poste à quai ne peut accueillir qu'un seul navire à la fois.

$$3. S_i \geq A_j, \quad \forall i \in B, j \in V.$$

Assure que les navires doivent arriver avant le début du plan de planification.

$$4. (L_i^* - L_j)X_{ijk} \geq 0, \quad \forall i \in B, j \in V, k \in O.$$

Assure que la longueur de chaque navire j ne dépasse pas la longueur de quai i.

$$5. (T_i^* - T_j)X_{ijk} \geq 0, \quad \forall i \in B, j \in V, k \in O.$$

Assure que Le tirant d'eau de chaque navire j ne dépasse pas la profondeur d'eau du quai i.

$$6. \sum_{i \in B} \sum_{k \in O} Q_{ik} \leq Q$$

Assure que le nombre des ordres de service supérieur ou égale au nombre des ordres de service affecter à des postes à quais.

$$7. X_{ijk} \in \{0, 1\}, \quad \forall i \in B, j \in V, k \in O.$$

Donne les valeurs que prend la variable de décision.

**Le modèle sera(PLNE) :**

$$F = \min \sum_{i \in B} \sum_{j \in V} \sum_{k \in O} (H_{jk} + (S_i - A_j))X_{ijk}$$

S.c	$\sum_{i \in B} \sum_{k \in O} X_{ijk} = 1, \quad \forall j \in V.$ $\sum_{j \in V} X_{ijk} = 1, \quad \forall i \in B, k \in O.$ $S_i \geq A_j, \quad \forall i \in B, j \in V.$ $(L_i^* - L_j)X_{ijk} \geq 0, \quad \forall i \in B, j \in V, k \in O.$ $(T_i^* - T_j)X_{ijk} \geq 0, \quad \forall i \in B, j \in V, k \in O.$ $\sum_{i \in B} \sum_{k \in O} Q_{ik} \leq Q$ $X_{ijk} \in \{0, 1\}, \quad \forall i \in B, j \in V, k \in O.$
-----	--

### Exemple :

Dans le cadre de présentation de modèle du problème traité, on essaye de proposer un petit exemple avec des données (fictives) afin de trouver le modèle mathématique.

Dans cet exemple, on suppose qu'il s'agit de :

- 03 postes à quais disponible.
- 04 navires en rade.
- 05 ordres de service.
- **Les paramètres des postes à quai :**

Poste à quai	Longueur (ml)	Profondeur d'eau(m)
01	290	08
02	530	12
03	750	10

TABLE III.1 : Paramètres des postes à quai

- **Les paramètres des navires :**

Navire	longueur	Tirent d'eau	$(S_i - A_j)(h)$
01	130	03	30
02	250	07	24
03	390	08	46
04	410	12	37

TABLE III.2 : Paramètres des navires

- **Les paramètres des ordres de service :**

Navire	Ordre de service	durée de traitement (h)
01	Ordre 1	48
	Ordre 2	78
02	Ordre 3	42
03	Ordre 2	24.5
	Ordre 3	60
04	Ordre 4	35
	Ordre 1	41

TABLE III.3 : Paramètre sur les ordres de service

• **Le modèle mathématique correspondant :**

$$F = \min(78X_{111} + 108X_{112} + 78X_{211} + 108X_{212} + 78X_{311} + 108X_{312} + 66X_{123} + 108X_{223} + 66X_{323} + 70.5X_{132} + 106X_{133} + 70.5X_{232} + 106X_{233} + 70.5X_{332} + 106X_{333} + 72X_{144} + 78X_{141} + 72X_{244} + 78X_{241} + 72X_{344} + 78X_{341})$$

$$\text{S.c } \left\{ \begin{array}{l} X_{111} + X_{112} + X_{211} + X_{212} + X_{311} + X_{312} = 1 \\ X_{123} + X_{223} + X_{323} = 1 \\ X_{132} + X_{133} + X_{232} + X_{233} + X_{332} + X_{333} = 1 \\ X_{141} + X_{144} + X_{241} + X_{244} + X_{341} + X_{344} = 1 \\ X_{111} + X_{141} + X_{112} + X_{132} + X_{123} + X_{133} + X_{144} = 1 \\ X_{211} + X_{241} + X_{212} + X_{232} + X_{223} + X_{233} + X_{244} = 1 \\ X_{311} + X_{341} + X_{312} + X_{332} + X_{323} + X_{333} + X_{344} = 1 \\ Q_{11} + Q_{15} + Q_{23} + Q_{32} + Q_{33} + Q_{44} + Q_{41} \leq Q \\ 30 \geq 0, 24 \geq 0, 46 \geq 0, 37 \geq 0 \\ (QL_i - L_j)X_{ijk} \geq 0 \quad \forall i \in B, j \in V, k \in O. \\ (QT_i - T_j)X_{ijk} \geq 0 \quad \forall i \in B, j \in V, k \in O. \\ X_{ijk} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in B, j \in V, k \in O. \\ Q_{jk} \in \{0, 1\} \quad \forall j \in V, k \in O. \end{array} \right.$$

---

---

# CHAPITRE IV

---

## APPLICATION

### Sommaire

---

IV.1 Choix et présentation du logiciel . . . . .	41
IV.2 Liste des escales . . . . .	44
IV.3 Application du modèle . . . . .	45
IV.4 Les résultats obtenus . . . . .	47
IV.5 Interprétation des résultats . . . . .	48

---

### Introduction

Dans le chapitre précédent, nous avons modélisés notre problème de BAP par un modèle qui est un programme linéaire en nombre entier. Pour cela, dans ce chapitre nous avons choisi le CPLEX pour faire la résolution de ce modèle.

## IV.1 Choix et présentation du logiciel

:

### IV.1.1 Qu'est ce que CPLEX ?

**CPLEX** est un outil informatique d'optimisation et de programmation mathématique commercialisé par IBM (*International Business Machines Corporation*) depuis son acquisition de l'entreprise française ILOG en 2009. Son nom fait référence au langage C et à l'algorithme du simplexe.

### IV.1.2 Composantes du CPLEX :

On peut utiliser CPLEX sous différentes manières :

- Mode interactif,

- Cplex Callable Library (bibliothèque en langage C) : utilise les matrices pour représenter un problème.
- Ilog Concert Technology : utilise les objets et les méthodes pour représenter un problème avec les langages de programmation C++, Java...
- Avec un langage de modélisation comme OPL.

### IV.1.3 Choix du langage

L'outil informatique utilisé dans la recherche de la solution du problème étudié est le solveur CPLEX. Nous avons choisi l'utilisation de langage OPL.

**Définition IV.1.1.** OPL signifie Optimization Programming Language. Il s'agit d'un langage informatique permettant de spécifier des problèmes d'optimisation, qui peuvent être ensuite passés à un solveur pour résolution. Le fait qu'OPL soit un langage de modélisation implique qu'il n'a pas vocation à être exécuté (comme du C, du Java ou du Python par exemple). En revanche, il permet d'écrire des problèmes d'optimisation dans une syntaxe abstraite que les solveurs peuvent exploiter.

L'interface utilisée pour écrire des problèmes d'optimisation en OPL est l'IBM Ilog CPLEX Optimisation Studio. Il s'agit d'un Environnement de Développement Intégré (IDE) utilisant la plate-forme Eclipse. CPLEX Studio (qui a porté précédemment d'autres noms, dont Ilog OPL Studio) permet de créer des fichiers selon le langage OPL. Ces fichiers permettent d'exprimer des problèmes :

- D'optimisation linéaire continue.
- D'optimisation linéaire en nombres entiers ou mixtes.
- De programmation par contraintes.

On notera qu'il ne permet pas d'exprimer de problèmes de programmation non-linéaire.

Pour résoudre les problèmes de programmation mathématique (PL et PLNE), CPLEX Studio fait appel au solveur linéaire CPLEX.

#### IV.1.3.1 Structure d'un projet OPL :

Un projet OPL est constitué de 4 types de fichiers :

- Un fichier projet (.project).
- Un ou plusieurs fichiers de modèles (.mod).
- Un ou plusieurs fichiers facultatifs de données (.dat).
- Un ou plusieurs fichiers facultatifs de paramètres (.ops).
- Un ou plusieurs fichiers de configuration d'exécution (.oplproject).

Les sections suivantes présentent ces différents fichiers dans l'ordre ci-dessus.

**Le fichier projet :**

Le fichier .project permet d'afficher la racine d'un projet dans CPLEX Studio.

**Les fichiers modèle :**

Les fichiers modèle (.mod) sont le cœur d'OPL. C'est dans un fichier modèle qu'on indique les constantes, les variables de décision, les contraintes et la fonction objectif d'un problème d'optimisation.

**Les fichiers de données :**

Lorsqu'on définit un problème d'optimisation dans un fichier modèle, il est souvent préférable de déclarer les constantes du problème mais de ne pas en préciser la valeur en utilisant le symbole '...' Ce symbole indique que la valeur de ces constantes sera fournie dans un fichier de données.

Les fichiers des données permettent également de connecter les entrées et les sorties de l'opération d'optimisation à des sources externes de données (feuilles Excel ou bases de données SQL par exemple).

**Les fichiers de paramètres :**

Ces fichiers .ops permettent de paramétrer le solveur d'optimisation (ou de contraintes). Ils permettent notamment de gérer la stratégie de parcours de la recherche arborescente en PLNE, les heuristiques utilisées, les méthodes de construction de coupes, etc...

**Les fichiers de configuration d'exécution :**

Un fichier de configuration d'exécution indique précisément « ce qu'il faut faire » dans une exécution donnée d'un solveur. Il précise donc quel modèle utiliser, avec quel fichier de données (si nécessaire) et quel jeu de paramètres (si nécessaire).

**Les résultats d'optimisation :**

Une fois un problème spécifié grâce aux fichiers présentés ci-dessus, il est possible d'exécuter le solveur en lui précisant quel fichier de configuration d'exécution utiliser. Pour cela il existe un bouton dans la barre des raccourcis ou, pour ne pas se tromper de configuration d'exécution dans le cas où il y en a plusieurs, il est possible de faire un clic droit sur la configuration d'exécution choisie et de demander l'exécution.

L'interface affiche alors les résultats au fur et à mesure de l'exécution, notamment dans les onglets du bas de la fenêtre, indiquant la solution une fois qu'elle est trouvée (si elle est trouvée), les statistiques d'optimisation, etc. Il est également possible d'explorer les valeurs des variables de décision optimisées dans le « problem browser » sur le côté gauche de la fenêtre.

## IV.2 Liste des escales

Navires	Post	Marchandise	$L_j$ (ml)	$T_j$ (m)	$C_{ij}$ (j)	Attente rade(J)
Unison MEDAL	17	Blé	180	10	12	1
MISSISSISSI BORG	14	Bois Rouge	134.5	7	6	0
LARGO	15	Divers	90.82	6	3	04
WILD ROSE	24	Sucre	189.8	11	3	03.1
CHODZIEZ	12	Lot divers	147.38	8	1	02
STIDIA	18	Lot divers	119.85	7	3	05
LADY GLORIA	16	Rond à béton	107.75	7	3	0
PRINCEJOY	08	Rond à béton	109.57	6	03	04.4
NAVIOS ARMONIA	21	Mais	189.9	0	09	0
SEA PROSECT	13	Bois	109	8	03	02
FORTI NATOS	11	Rond à béton	100.73	7	04	04
LOPESTAR	12	Divers	122.42	6	06	5.2
ELMA	17	Blé	168.7	10	03	07
NBP VOYAGER	12	Ciment	106.97	7	04	02.3
FAS DAMMAM	14	Divers	131.34	7	04	03
TAURUSTO	15	Maïs	189.99	11	03	0
BELOCEAN	15	Soja	189.99	10	03	06
LARGO	12	Divers	90.82	7	04	1.6
ELMA	17	Blé	168.7	11	04	03
LADY GLORIA	11	Rond à béton	107.75	9	5	2.4

TABLE IV.1 : Liste des escales

Nous avons présenté dans cette table une liste des escales avec :

- $C_{ij}$  : il représente le temps de séjour de navire j dans le poste à quai i.
- $L_j$  : est le longueur du navire j.
- $T_j$  : est le tirant d'eau de navire j.

**Commentaires :**

Le temps d'attente excessif en rade pour les navires dans la saison hivernale est causé par les problèmes climatiques qui font interrompre le service pour une période. Par conséquent, avant de mettre ce genre navires à quai il faut attendre plus d'une semaine.

**IV.3 Application du modèle**

Après la présentation des différentes catégories de données, on a eu recours au logiciel CPLEX Studio dans le but de coder le modèle mathématique et présenter une solution du problème.

Les différents fichiers sont présentés dans l'annexe A, et pour résoudre ce modèle on doit suivre les étapes si-dessous :

**Étape 1 :**

- On crée un projet OPL : Aller à : Fichier → Nouveau → Projet OPL

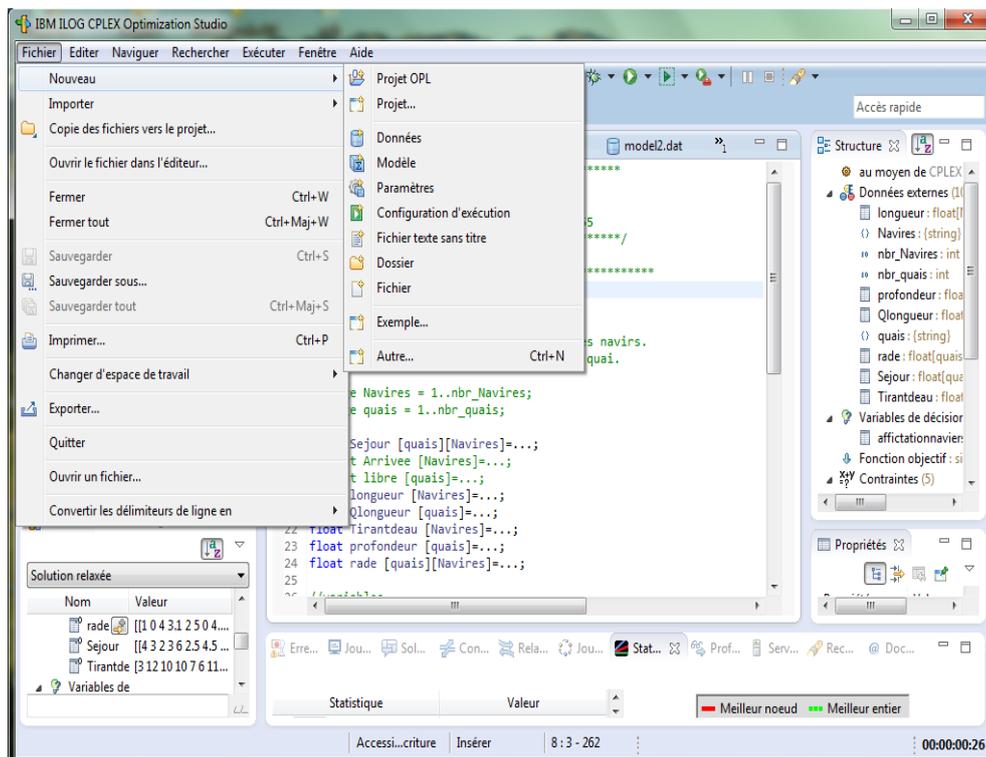


FIGURE IV.1 : Schéma de modèle

- La fenêtre suivante apparaisse :

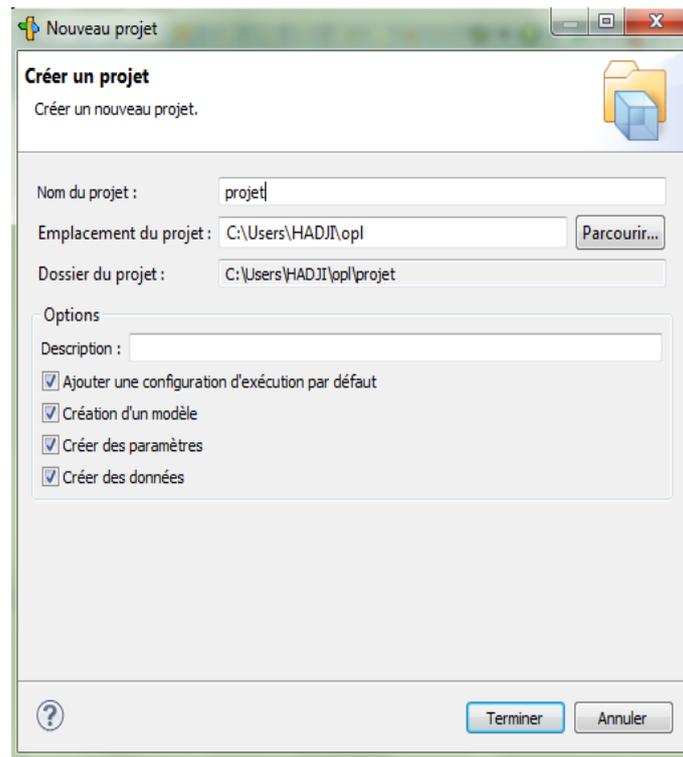


FIGURE IV.2 : Fenêtre des options du modèle

- Nous insérons le nom de projet, et on coche les options qui nous intéresse.

### Étape 2 :

- On a fait insérer les constantes, les variables de décision, les contraintes et la fonction objectif de notre problème d'optimisation en fichier (.mod).
- Dans le fichier (.dat), on fournit les valeurs des constantes déclaré en fichier (.mod) qui sont suivis par le symbole ' ... ' .

### Étape 3 :

Dans cette étape on fait exécuter notre modèle de la manière suivante : Configuration d'exécution → Exécuter → Configuration d'exécution par défaut. Ou on clique sur le bouton d'exécution.



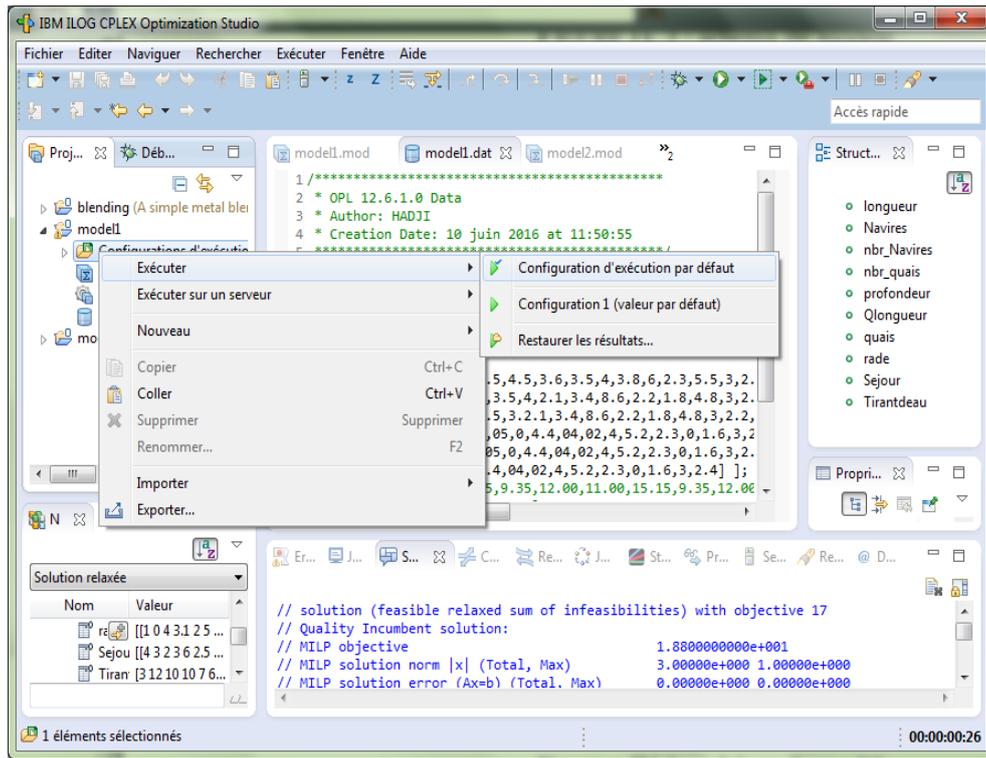


FIGURE IV.3 : Schéma d'exécution du modèle

## IV.4 Les résultats obtenus

La solution obtenue avec le solveur CPLEX , nous a permis d'avoir plusieurs informations ou mesure de l'exécution sur le problème en question comme les statistiques d'optimisation.

On effectuer plusieurs instances pour bien comprendre la variation de la valeur de la fonction objectif.

**Instance 1 :** nous avons résolue le PLNE avec CPLEX solveur et avec un nombre des navires entrant dans le plan de trois jours égale à 20, et un nombre des quais disponibles égale à 3, on obtient le résultat d'affectation optimale mentionné dans la matrice suivant :

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Ainsi la valeur de la fonction objectif en appliquant le modèle est donné comme suit :

- la valeur de la fonction objectif = 17 jours

**Instance 2 :** Après on applique notre modèle avec un autre scénario, dans ce cas nous avons le nombre de navires entrants dans le plan est 25 navires, et le nombre des postes à quai disponible égale 5.

- la valeur optimale de la fonction objectif obtenue par CPLEX est 20 jours.
- la matrice d'affectation optimale des navires à des postes à quais est :

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

**Instance 3 :** Dans ce instance nous considérons le nombre de navires entrants dans un plan de 3 jours est 30 navires, et le nombre des postes est 5 postes à quai disponible.

- la valeur optimale de la fonction objectif obtenue est 25 jours.
- la matrice d'affectation optimale des navires à des postes à quais est :

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

## IV.5 Interprétation des résultats

: L'application du modèle montre que à chaque fois on augmente le nombre des navires par rapport au nombre des postes à quais, nous avons une augmentation dans la valeur de la fonction objectif. Donc nous pouvons conclure que les résultats d'affectation des navires entrants obtenus par le système sont très satisfaisantes.

Pour une bonne gestion dans les ports, on augmente le nombre des quais et les profondeurs d'eau des quais, pour permettre à l'amarrage des navires de grand tirant d'eau.

---

# CONCLUSION GÉNÉRALE

Les exploitants des ports cherchent une politique d'ordonnancement des postes à quai qui permet de réduire le délai de séjour de navires au port, d'augmenter le trafic et la compétitivité portuaires et conduit à une hausse des revenus, tout en maintenant la satisfaction des clients.

L'objectif de cette étude est de chercher à affecter, de façon optimale, l'accostage des navires entrants dans un port en optimisant leurs temps de séjour au port.

La première étape de notre étude on présente l'entreprise portuaire de Bejaia et on discute sur l'optimisation des principales méthodes d'optimisation utilisées dans la littérature est donnée.

La deuxième étape est une proposition de deux modèles d'aide à la décision. Le premier pour faire une affectation optimale des navires au poste à quai en minimisant leur temps de séjour au port, le deuxième modèle de « Navire-Quai-Service » on a ajouté au premier modèle l'affectation des ordres de services qui représentent les équipement de manutention pour avoir un temps minimal de navire au quai. Enfin on donne des résultats de premier modèle sur le CPLEX.

## **Perspectives**

Notre étude concernant l'affectation des ordres de services au quai reste préliminaire et partielle, nous aimerons bien de développer cette étude.

Nous avons également abordé, dans ce mémoire certains problèmes auxquels les opérateurs portuaires sont confrontés lorsqu'il s'agit de l'affectation des navires sur les quais. Ce domaine de recherche est vaste et nous aimerions conclure en indiquant un certain nombre de perspectives de recherches futures :

- Créer une application logicielle qui met en œuvre les modèles proposés.
- Ajouter les contraintes dynamiques aux modèles proposés.
- L'application des modèles proposés sur les autres types de quais (port pétrolier, terminale à conteneur ...).

---

# BIBLIOGRAPHIE

- [1] Zeinebou ZOUBEIR , *Vers un système d'aide à la décision pour l'allocation des postes à quai dans un terminal à conteneurs* , thés doctorat de l'université du havre , (2014).
- [2] HEMMAK Allaoua , *Resolution D'un Problème D'ordonnement Sur une Machine Avec Date Echue Commune Par la Programmation Dynamique et la Relaxation Lagrangienne* ,memoire magister de l'université du Mohamed Bodiaf\* de M'sila ,(2007)
- [3] BOUDHAR Mourad ,*Ordonnement Sur Machines À Traitement Par Batch Sous Contrantes De comptabilité de Tâches : Complexité et Approches Algorithmiques*, thés doctorat de l'université du USTHB , (2004).
- [4] Sidi Mohamed Douiri , *Cours des Méthodes de Résolution Exactes Heuristiques et Métaheuristiques* , article du l'université Mohammed V, Faculté des Sciences de Rabat Laboratoire de Recherche Mathématiques,Informatique et Applications ,
- [5] Marino WIDMER , *Les Metaheuristiques : Des Outils Performants Pour Les Problemes Industriels*, article de l'Université de Fribourg Département d'informatique , (2001)
- [6] Vincent Gardeux , *Conception d'Heuristiques d'Optimisation Pour les Problèmes de Grande Dimension : Application à l'Analyse de Données de Puces à ADN* , thèse de doctorat spécialité informatique , univercité de Paris-Est Créteil , (2011)
- [7] ARIBI Ramzi,BENKADDOUR Halima, *Méta-heuristiques parallèles Pour la Résolution des Problèmes Difficiles*, Mémoire Master Acadimique Spécialité :Informatique fondamental ,univercité kasdi merbah ouargla,(2013).
- [8] LIU YINAN, *Application des Algorithmes Génétiques au Problème du Voyageur de Commerce*,Rapport de Mémoire master I ,univercité du havre ,(2005/2006).
- [9] Amira Gherboudj , *Méthodes de Résolution de Problèmes Difficiles Académiques*, thèse de doctorat spécialité informatique , Université de Constantine2 ,(2012-2013).

- 
- [10] Jin-Kao Hao, Philippe Galinier. *Métaheuristiques Pour l'Optimisation Combinatoire et l'Affectation Sous Contraintes*. article de l'Université d'Angers, 2 bd Lavoisier ,(1999).
- [11] isabelle DEVARENNE , *Étude en Recherche Locale Adaptative Pour L'Optimisation Combinator* , thèse de doctorat spécialité informatique , univercité de Technologie belfort-Montbéliard et de l'Université de franche comté,(2007)
- [12] K.BRAHMI , *Optimisation Dans Les Réseaux* , cours Master 2 de madilisation mathématique et evaluation des performance des réseaux , univercité de bejaia (2015/2016)
- [13] Poirier C., Reiter S.E. *La Supply Chain Optimiser la chaîne logistique et le réseau inter-entreprises*, Edition Dunod, (2001).
- [14] Kearney A.T. *Management approach to Supply Chain integration*.Rapport aux membres de l'équipe de recherche A.T, Kearney. (1994).
- [15] Benaissa M. *Intégration de la supervision dans la chaîne logistique : application a l'entreprise manufacturière*. Thèse de doctorat en Génie Informatique Automatique de l'université du havre, (2006).
- [16] Omessaad H. *Contribution Au Développement de Méthodes d'Optimisation Stochastiques Application à la Conception des Dispositifs Electrotechniques*, Thèse de Doctorat, Université De Lille France (2003).
- [17] Souhil MOUASSA, *Optimisation de l'écoulement de Puissance Par une Méthode Métaheuristique (Technique des Abeilles) en Présence d'une Source Renouvelable (éolienne) et des Dispositifs FACTS*,Thèse de Doctorat,mémoire de Magister En Electrotechnique,Univercité ferhat abbas setif - (Algirie),(2012).
- [18] MAHDI SAMIR, *Optimisation Multiobjectif Par Un Nouveau Schéma De Coopération Méta/Exacte*,Mémoire de Magister Spécialité : Intelligence Artificielle et Génie Logiciels,Université Mentouri de Constantine-(Algirie).
- [19] Ilhem Boussaid, *Perfectionnement de Métaheuristiques Pour l'Optimisation Continue*,université des science et de Technologie HOUARI BOUMEDIENE,Spécialité Informatique,(2013).
- [20] B.yassina,H.kahina, *Optimisation de Plan d'Affectation des équipes Au Niveau de BMT*,mémoire master en recherche opérationnelle,université de béjaia,(2013/2014).

---

# ANNAXE A

**Le code de notre modèle :**  
dans un fichier (.mod)

```

    /*****
* OPL 12.6.1.0 Model
* Author : HADJI
* Creation Date : 10 juin 2016 at 11 :50 :55
*****/
// notre modèle est le suivant
// *****/
//string Navires = ...;
//string quais = ...;

int nbr Navires = ...; //est le nombre des navirs.
int nbr quais = ...; //est le nombredes quai.
range Navires = 1..nbr Navires;
range quais = 1..nbr quais;
float Sejour [quais][Navires]=...;
//float Arrivee [Navires]=...;
//float libre [quais]=...;
float longueur [Navires]=...;
float Qlongueur [quais]=...;
float Tirantdeau [Navires]=...;
float profondeur [quais]=...;
float rade [quais][Navires]=...;
//variables
dvar boolean affectationnaviers[quais][Navires]; // notre variable de décision
//objective
minimize
sum(i in quais , j in Navires) (Sejour[i][j] + /*libre[i]-Arrivee[j]*/rade[i][j])* affectation-
naviers[i][j];
//contrant
subject to
ct1 :
```

```
forall (j in Navires)
sum (i in quais) affictationnaviers[i][j]==1 ;
ct2 :
forall (i in quais)
sum (j in Navires) affictationnaviers[i][j]==1 ;
ct3 :
forall (i in quais,j in Navires)
( Qlongueur[i]-longueur [j])*affictationnaviers[i][j] >= 0 ;
ct4 :
forall (i in quais,j in Navires)
( profondeur [i]- Tirantdeau[j])*affictationnaviers[i][j] >= 0 ;
ct5 :
forall (i in quais,j in Navires)
/* libre [i]-Arrivee [j]*/rade[i][j]>=0 ;
```

**Les donnée de notre cas :**  
dans un fichier (.dat)

```

/*****
* OPL 12.6.1.0 Data
* Author : HADJI
* Creation Date : 10 juin 2016 at 11 :50 :55
*****/

    nbr Navires =20;
    nbr quais =3;
    Sejour = [[4, 3, 2, 3, 6, 2.5, 4.5, 3.6, 3.5, 4, 3.8, 6, 2.3, 5.5, 3, 2.1, 3.4, 8.6, 2.2, 1.8],
    [2.9, 4.5, 3.6, 3.5, 4, 2.1, 3.4, 8.6, 2.2, 1.8, 4.8, 3, 2.2, 3.5, 6, 3.8, 6, 2.3, 5.5, 3.0],
    , [3.8, 6, 2.3, 5.5, 3.2.1, 3.4, 8.6, 2.2, 1.8, 4.8, 3, 2.2, 3.5, 6.0, 2.9, 4.5, 3.6, 3.5, 4.0]];

    rade =[[1, 0, 04, 3.1, 02, 05, 0, 4.4, 04, 02, 4, 5.2, 2.3, 0, 1.6, 3, 2.4],
    [1, 0, 04, 3.1, 02, 05, 0, 4.4, 04, 02, 4, 5.2, 2.3, 0, 1.6, 3, 2.4],
    [1, 0, 04, 3.1, 02, 05, 0, 4.4, 04, 02, 4, 5.2, 2.3, 0, 1.6, 3, 2.4]];
    //Arrivee = [8.00, 10.25, 9.35, 12.00, 11.00, 15.15, 9.35, 12.00, 8.00, 10.25, 9.35, 12.00,
    11.00, 10.38, 9.45, 15.15, 9.35, 12.00, 8.00, 10.25];

    //libre = [13.30, 15.15, 14.20];

    longueur = [390, 130, 410, 180, 134.5, 90.82, 189.8, 147.38, 119.85, 107.75, 109.57, 189.9,
    106.8, 100.73, 122.42, 168.7, 106.97, 131.34, 189.99, 189.99];

    Qlongueur = [290, 530, 750];

    Tirantdeau = [03, 12, 10, 10, 7, 6, 11, 8, 7, 7, 6, 0, 8, 7, 6, 10, 7, 7, 11, 10];

    profondeur = [08, 12, 10];

```

## Résumé

*L'objectif de cette étude est de chercher à affecter, de façon optimale, les navires entrants dans un port aux postes à quai en optimisant leurs temps de séjour.*

*La première étude est sur l'entreprise portuaire de Bejaia, toutes ces caractéristiques physiques et économiques, et sur la chaîne logistique portuaire.*

*La deuxième étude est sur les méthodes d'optimisation de la recherche opérationnelle. Après nous proposons deux modèles d'aide à la décision pour le problème d'allocation des postes à quai dans un port, le premier modèle est résolu par le solveur CPLEX, et le deuxième reste préliminaire et partiel pour des études à l'avenir.*

**Mots clés :** *optimisation, affectation, méthode exacte, méthode approchée.*

---

## Abstract

*The objective of this study is to seek, of optimally way, the ships incomings in a port with berths to optimizing their residence time.*

*The first study is on the entreprise of Bejaia port, all these physical and economic characteristics, and port logistics chain.*

*The second study is the optimization of operational research methods. After we propose two models to help decision for the problem of allocation of berths in port; the first model is solved by the CPLEX solver and the second preliminary and partial remains for study in the future.*

**Key words :** *optimization, allocation, accurate method, approximate method .*