



Licence Sciences et Techniques (LST)

## CALCUL SCIENTIFIQUE ET APPLICATIONS

### MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du Diplôme de Licence Sciences et Techniques

**Titre :**

**L'ordonnancement préventive du service de maintenance  
au sein de l'entreprise IMACAB**

**Présenté par :**

- ◆ ZGHIMRI Achraf

**Encadré par :**

- ◆ **Pr.** EL HILALI ALAOUI Ahmed  
(Faculté des sciences et techniques Fès)
- ◆ **Mr.** CHADMI Hicham  
(L'entreprise IMACAB)

**Soutenu Le 11 Juin 2014 devant le jury composé de:**

- **Pr.** EL HILALI ALAOUI Ahmed
- **Pr.** EL KHOUKHI Fatima
- **Pr.** SIDKI Omar

**Année Universitaire 2013 / 2014**

# DÉDICACES

À

## **TOUS LES RESPONSABLES DE LA FST**

Je tiens tout d'abord à présenter mes sincères remerciements à tous les responsables de la **FST DE Fès** qui veillent toujours à nous rendre service et qui font un grand effort pour répondre à nos besoins.

Je saisis également cette occasion pour remercier tous les professeurs pour leurs enseignements et la richesse de leur Collaboration ainsi que pour leurs encouragements dont ils n'ont jamais cessé de déployer au cours de nos études.

Permettez-moi de vous exprimer mon profond respect et ma haute Considération.

# REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer ma profonde gratitude ainsi que mes sincères remerciements à :

Pr. Ahmed EL HILALI ALAOUI mon encadrant de stage qui a malgré les occupations et les responsabilités qu'il assume, a toujours eu le temps pour m'écouter, me conseiller et me fournir la documentation nécessaire durant ma période de stage. Que ce travail soit le modeste témoignage de ma haute considération et de mon profond respect.

M. Hicham CHADMI chef du service de maintenance au sein de la société IMACAB et mon parrain de stage pour sa collaboration, ses conseils pertinents et son soutien tout au long de la période de mon stage. Que vous trouviez ici l'expression de mes profonds respects.

Mes sincères remerciements à M<sup>elle</sup> Fatima EL KHOUKHI, qui n'a pas hésité à me venir en aide durant ma période de stage.

Enfin, un grand remerciement à l'ensemble des personnes qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

## LISTE DES ABRÉVIATIONS

- **BVQI** : *Bureau Veritas Quality International* ;
- **C.N.S.S** : *La Caisse Nationale de Sécurité sociale* ;
- **DTa** : Date au plus tard ;
- **DTo** : Date au plus tôt ;
- **FTo** : Date de fin au plus tôt ;
- **FTa** : Date de fin au plus tôt ;
- **INGELEC** : Industrie Générale d'Électricité ;
- **IMACAB** : Industrie Marocaine des Câbles ;
- **ISO** : Organisation internationale de normalisation ;
- **KV** : Kilovolt ;
- **La PERT** : Program Evaluation and Review Technique:  
Technique d'élaboration et de mise à jour de programme;
- **LCIE** : Laboratoire Central des Industries Électriques ;
- **LPEE** : *Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes* ;
- **MPM** : Méthode de potentiels et antécédents Métra ;
- **P.E** : *Polyéthylène* ;
- **P.V.C** : *Polychlorure de Vinyle* ;

# Sommaire

<b><u>Introduction :</u></b>	7
<b><u>Chapitre 1 : Présentation générale de l'entreprise IMACAB</u></b>	
<b><u>8</u></b>	
<b>I. Historique D'IMACAB</b>	9
<b>II. Fiche signalétique</b>	10
<b>III. Les activités D'IMACAB</b>	11
<b>IV. Organisation D'IMACAB</b>	11
<b>V. Organigramme D'IMACAB</b>	12
<b>VI. Processus de fabrication des câbles</b>	
13	
<b>VI.1. Ames</b>	
14	
<b>VI.2. Le tréfilage</b>	
14	
<b>VI.3. L'écrouissage</b>	
14	
<b>VI.4. Le câblage</b>	
14	
<b>VI.5. L'isolation</b>	
15	
<b>VI.6. Le gainage</b>	
15	
<b>VI.7. L'armure</b>	
15	
<b>VI.8. L'assemblage</b>	
16	
<b>VI.9. Le coronage</b>	
16	
<b>VII. Les différents câbles produits par IMACAB</b>	
16	
<b>VII.1. Câbles domestiques</b>	
16	
<b>VII. 2. Câbles industriels basse-tension</b>	
16	
<b>VII. 3. Câbles aériens basse-tension</b>	
16	
<b>VII. 4. Câbles moyen-tension</b>	
16	
<b><u>Chapitre 2 : Position du problème</u></b>	<b>18</b>
<b>I. Le problème</b>	
19	

19	<b>I.1.</b> L'objectif
19	<b>I.2.</b> Les données
	<b>I.3.</b> Les Contraintes
21	

## **Chapitre 3 : Les éléments fondamentaux**

**22**

	<b>I.</b> Introduction à la maintenance	
23		
	<b>I.1.</b> Définition	
23		
	<b>I.2.</b> Les différentes stratégies de maintenance	
23		
	<b>I.2.1.</b> La maintenance préventive	
23		
	<b>I.2.2.</b> La maintenance corrective	
24		
	<b>I.2.3.</b> La maintenance améliorative	24
	<b>II.</b> Les problèmes d'ordonnancement	
24		
	<b>II.1.</b> Introduction	
24		
	<b>II.2.</b> Données d'un problème d'ordonnancement	
25		
	<b>II.2.1.</b> Tâches	
25		
	<b>II.2.1.1.</b> Liens entre les tâches	
25		
	<b>II.2.2.</b> Ressources	
26		
	<b>II.2.3.</b> Contraintes	
26		
	<b>II.2.4.</b> Fonction objectif (fonction économiques)	
26		
	<b>II.3.</b> Variantes des problèmes d'ordonnancement	
27		
	<b>II.3.1.</b> Ordonnancement de projet	
27		
	<b>II.3.2.</b> Ordonnancement d'ateliers	
28		
	<b>II.3.3.</b> Ordonnancement du personnel	
28		
	<b>II.4.</b> classes des problèmes d'ordonnancement	
29		
	<b>II.4.1.</b> Suivant la nature des données	
30		
	<b>II.4.2.</b> Suivant les tâches	
30		

	<b>I I.4.3. Suivant les machines</b>	
31	<b>I I.5. Résolution des problèmes d'ordonnancement</b>	
31		
	<b>I I.6. Le diagramme de Gantt</b>	
32		
	<b>I I.7. La Méthode PERT</b>	
33		
	<b>Chapitre 4: Résolution du problème</b>	<b>39</b>
	<b>I. Classification des machines</b>	
40		
	<b>II. Affectation tâches/ressources</b>	
41		
	<b>III. Planification des tâches</b>	
	42	
	<b>Conclusion</b>	<b>51</b>
	<b>BIBLIOGRAPHIES</b>	
	52	

## INTRODUCTION :

Dans une entreprise, quelque soit son type et son secteur d'activité, le rôle du service de maintenance est de garantir la plus grande disponibilité des équipements au rendement meilleur ; L'entreprise **IMACAB** n'est pas une exception.

Dans ce travail nous proposons un calendrier de maintenance préventive de cette entreprise dont l'objectif est de maintenir le fonctionnement normal des équipements tout en respectant les contraintes d'horaire du travail des personnels s'occupant de la maintenance.

Dans le premier chapitre, je vais vous présenter l'entreprise **IMACAB** avec ses différentes activités, sa façon d'organisation ainsi que son processus de fabrication des différents câbles qu'elle produit. Et dans mon 2<sup>ème</sup> chapitre j'essayerai de vous mettre sur le contenu du problème, ses contraintes et l'objectif de notre étude qu'on va essayer de le satisfaire après. Pour le 3<sup>ème</sup> chapitre, je donnerai les différents problèmes d'ordonnancement (de projet, d'ateliers....) tout en citant quelques moyens pouvant résoudre ces problèmes. Le 4<sup>ème</sup>

chapitre s'intitule : la résolution du problème où on va classer les machines, puis affecter les ressources aux tâches et enfin on planifiera ces tâches.

Espérant avoir répondu aux objectifs fixés, je vous invite à prendre connaissance de ce rapport.

# CHAPITRE 1 : Présentation générale du Groupe **IMACAB**

## **I. Historique D'IMACAB**

**IMACAB** est née de la volonté du groupe **INGELEC** en **2000**, de créer une unité spécialisée dans la fabrication des câbles électriques et de renforcer ainsi sa présence sur le marché. Le groupe **INGELEC**, est leader arabo-africain de la fabrication d'appareillage électrique basse tension.

**IMACAB** est donc inscrit comme nouvel entrant dans un marché très concurrentiel. Elle est spécialisée dans la fabrication des câbles d'énergie base tension isolée, des câbles torsadés et des câbles nus moyennes, hautes, et très hautes tensions utilisées par l'Office National de l'Électricité (ONE)

En **2004**, **IMACAB** étend sa gamme de produits avec des câbles moyenne tension isolés allant jusqu'à **30KV**.

L'unité de production d'Ahl Loughlam assure à la société une autonomie totale de fabrication, grâce à un équipement en moyens matériels provenant de différents pays européens qui la dotent d'une grande capacité de production. Mais aussi, grâce à un potentiel en ressources humaines compétents. Elle dispose en outre, d'un laboratoire d'essai qui assure le contrôle et l'amélioration continue de la qualité de ses produits.

Les câbles, commercialisés sous la marque **INGELEC**, sont produits conformément aux normes internationales et marocaines en vigueur.

Outre l'unité de production, **IMACAB** dispose d'un magasin de vente auprès duquel ses clients peuvent venir s'approvisionner directement.

**IMACAB** est équipée de :

- Une chaîne de production autonomie.
- Un parc de machines performantes disposant d'une grande capacité de production.
- Un laboratoire d'essais complets.
- Des ressources humaines compétentes.

Tous ces points forts ont permis à **IMACAB** de diversifier son offre et de se positionner dans un marché de plus en plus concurrentiel.

Grâce à un contrôle continu, en interne et en externe par le laboratoire National **LPEE**, de la qualité de ses produits conformément aux normes internationales et marocaines en vigueur.

**IMACAB** a obtenu la certification **iso 9001** version **2000** par le **BVQI EN 2003** et les certificats **Nf** des produits base tension par **LCIE** en **2005**.

La volonté de réussir, de gagner la confiance et la fidélité de sa clientèle encourage chaque jour **IMACAB** à aller de plus en plus loin dans la qualité, la sécurité et l'intervention.

## **II. Fiche signalétique**

- **Date de création** : septembre 2000
- **Effectif** : 300 employés (Mai 2010)
- **Chiffre d'affaire (2005)** : 360 millions de DHS
- **Directeur Général** : Mr R.SEKKAT
- **Forme juridique** : S.A.R.L Au capital de 100 millions de DHS
- **PATENTE** : 33007327

- **C.N.S.S** : 6282214
- **Superficie** : 70 000 m<sup>2</sup> dont 40 000 COUVERTS
- **Adresse** : Bd AHI Loughlam quartier industriel sidi Moumen  
CASABLANCA .
- **Tel** : 0622769450
- **Fax** : 0522769460
- **E-mail** : [imacab@imacab.ma](mailto:imacab@imacab.ma)

### **III .Les activités D'IMACAB**

**IMACAB** réalise les activités suivantes :

- Développement, industrialisation et fabrication des câbles électriques tels que :
  - Les câbles domestiques.
  - Les câbles bas tension.
  - Les câbles moyenne tension.
  - Les câbles aériens isolants (torsades).
  - Les câbles aériens nus.
- Commercialisation de ces câbles électriques sur le marché Marocain et à l'export.  
Sur le marché Marocain, le chiffre d'affaire d'**IMACAB** se répartit entre :
  - Les installateurs.
  - Les grossistes.
  - Les régies de distribution d'énergie électrique.

Les marchés à l'exportation sont essentiellement concentrés sur l'Afrique, La France et L'Algérie via le réseau **INGELEC**. Ils représentent pour son activité environ 25% du chiffre d'affaires global.

#### **IV. Organisation D'IMACAB**

Répartition par catégorie professionnelle			
Effectif			
Cadres supérieurs	Cadre moyens	Agents qualifiés	Opérateurs
10	26	44	220
Pourcentage			
3,33%	8,60%	14,66%	73,33%

Tableau n°1 : Organisation D'IMACAB

Organisation D'IMACAB

#### **V. Organigramme D'IMACAB**

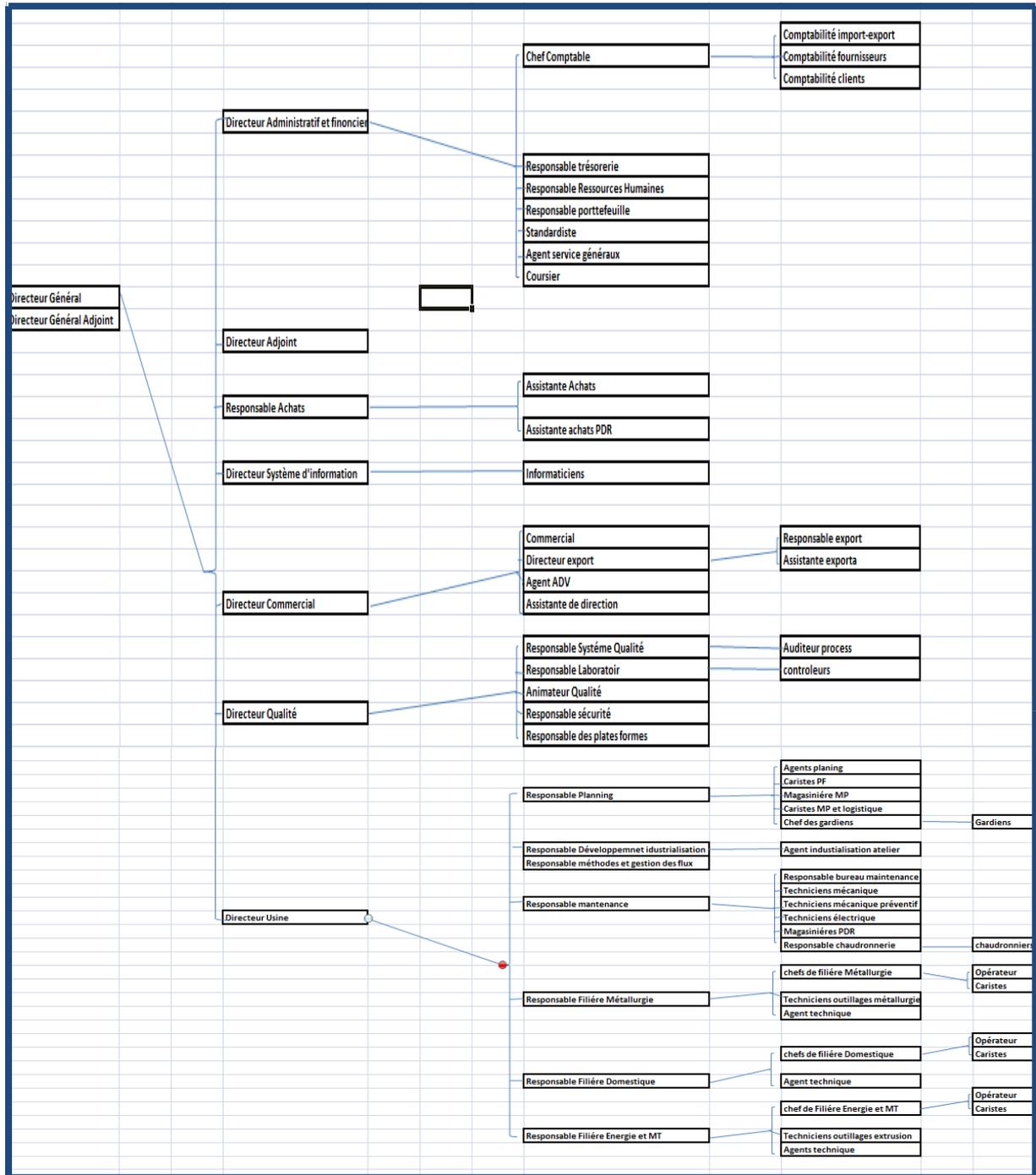


Figure 1: Organigramme D'IMACAB

## VI. Processus de fabrication des câbles

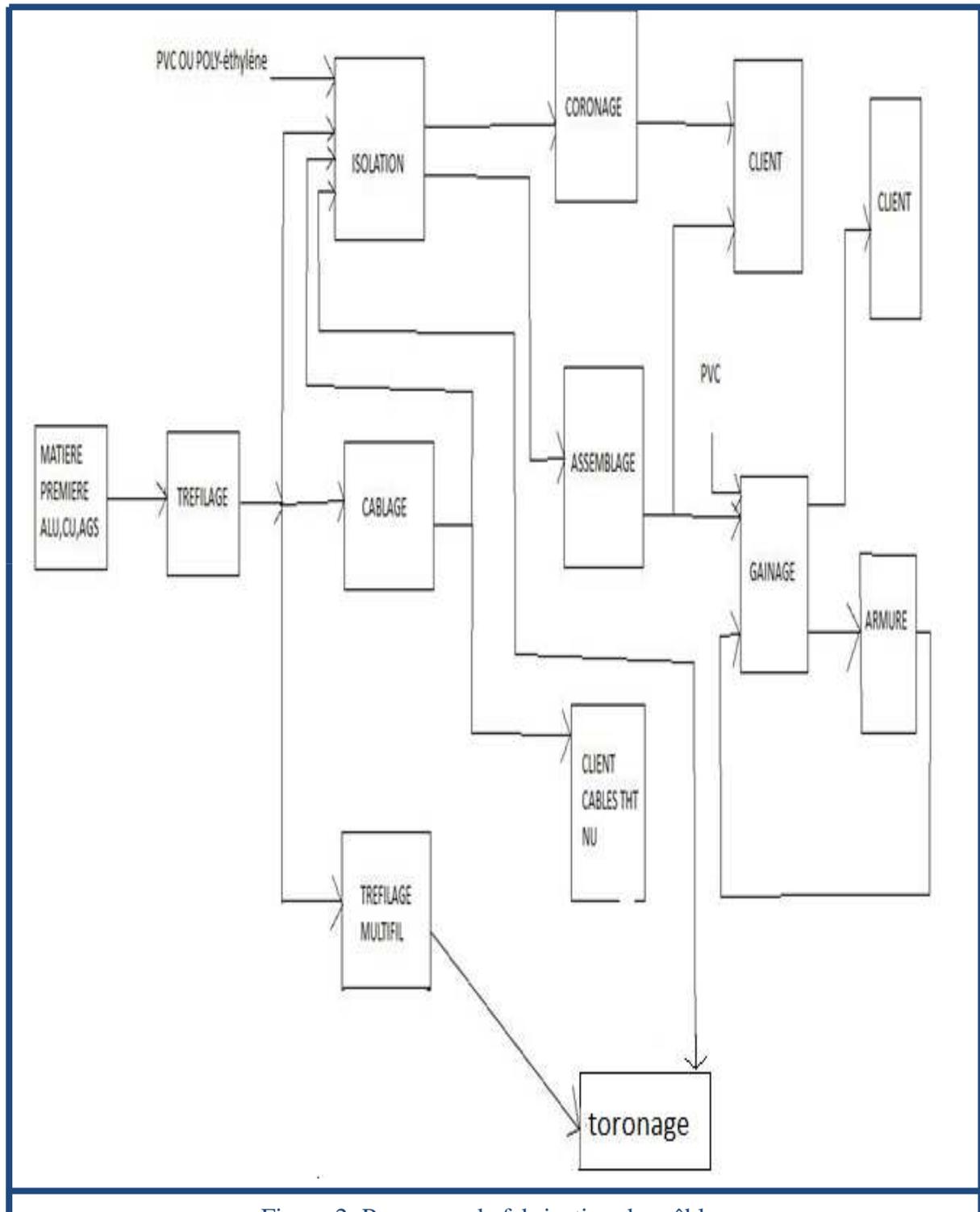


Figure 2: Processus de fabrication des câbles

## VI.1. Ames

Suivant les **Normes** avec lesquelles l'entreprise travaille, les cordes (âmes conductrices) sont composées de plusieurs brins (fils)

Elles reçoivent les matières (Cuivre, Aluminium ou A.G.S) en bottes de Ø 8 à 9 mm qu'il faudra réduire aux Ø pour usage ultérieur en fonction de certaines études. Aussi à chacune des cordes, correspond un nombre de fils réduits à un diamètre donné.

L'opération qui consiste à réduire ces diamètres s'appelle : **TREFILAGE** et la machine qui réalise cette opération est une **TREFILEUSE**.

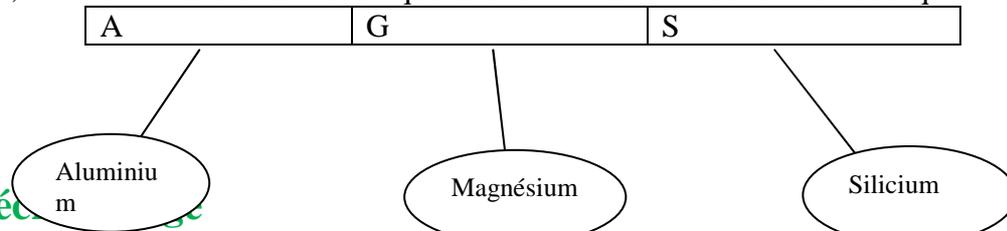
Chaque corde a une composition de Ø et de nombre de brins différents. Le service de **Développement et Industrialisation** mène des études et élabore des fiches techniques pour chaque spécification :

- Composition de la spécification.
- Ø des brins.
- Nombre de brins avec différentes passes.

## VI.2. Tréfilage

Le tréfilage est une opération qui consiste à réduire le diamètre d'un métal tel que le Cuivre, l'Aluminium, l'A.G.S, d'un diamètre A à un diamètre B qui est n fois plus petit.

**A.G.S** est un alliage composée de 95% d'Aluminium et de 5% de (magnésium + silicium). Il acquiert ainsi, une bonne résistance mécanique et une meilleure conductivité électrique.



## VI.3. L'écrouissage

L'écrouissage est important et nécessite un traitement thermique appelé <<recuit>> évitant au fil d'être trop cassant et améliorent sa plasticité.

## VI.4. Le câblage

C'est une opération qui consiste à assembler tous les brins en passes suivant la construction de la corde puisque la section du 95 mm<sup>2</sup> se compose de 1+6+12. Donc, on met :

- 1 brin au centre.
- 6 brins autour et cela s'appelle 1<sup>ère</sup> passe ou 1<sup>ère</sup> couche.
- 12 brins dessus et c'est la 2<sup>ème</sup> passe ou la 2<sup>ème</sup> et dernière couche.

Pour le câblage, il est obligatoire de mettre des guides (filières) pour mener bien cette tâche.

Forme de câblage :

Il existe différentes formes de câblage :

- Câblage NON-RETRAIN.
- Câblage RETRAIN.
- Toronage des cordes souples.
- Câblage des torons pour fabrication des cordes souples supérieures à 16 mm<sup>2</sup>.

## VI.5. L'isolation

**ISOLER** : c'est séparer électriquement un ou plusieurs conducteurs électriques.

L'isolation est une opération qui consiste à envelopper une âme conductrice d'électricité par une matière dite isolante.

- **P.V.C**

- P.E

## VI.6. Le gainage

C'est l'opération qui consiste à poser la matière par extrusion d'un produit (P.V.C) sur le câble.

Il existe différents types de P.V.C pour le gainage (souple, dur et très dur). Mais aussi, différentes variétés de gaines :

- ✓ Bourrage : opération qui consiste à poser la matière sur un câble assemblé afin de le rendre le plus rond possible.
- ✓ GAINÉ 1 : Mise en place d'une matière(PVC) soit sur un câble assemblé ou sur le bourrage avant la pose de l'armure (cas des RVFV).
- ✓ GAINÉ II : Pose d'une gaine en PVC noir sur l'armure.
- ✓ GAINÉ III : Pose d'une gaine sur l'isolant.

## VI.7. L'armure

C'est la pose de deux feuillards superposés de façon disjoints avec un intervalle de 30%.

Les feuillards sont en acier recuit ou galvanisé suivant les utilisations. Ces feuillards sont légèrement induits d'une huile pour ralentir l'oxydation.

## VI.8.L' assemblage

Le principe du processus est de rassembler les câbles isolés en faisceau avec un nombre défini de conducteurs de couleur précise.

## VI.9. Le coronage

Le principe de la mise en couronne est de produire des couronnes de câbles de différents types et dimensions en partant de bobines de différents diamètres contenant de remarquables quantités de câbles.

## VII. Les différents câbles produits par IMACAB

### VII.1.Câbles domestiques

Cette famille comprend

- a) H07V-U.
- b) H07V-R.
- c) H07-K.
- d) H05VV-F.
- e) N05VV-U.

### VII.2.Câbles industriels basse-tension

Cette famille comprend :

- a) U1000 AR2V, U1000 R2V, U1000 AR2VK.
- b) U1000 RVFV, U1000 ARVFV.

### **VII.3. Câbles aériens basse-tension**

Cette famille comprend :

- Câbles aériens de distribution.
- Câbles aériens de branchement.

### **VII.4. Câbles moyen-tension**

**a)** Câbles moyenne tension Unipolaires s22 (CEI 60502-2).

Les section de ces câbles: Du 16 mm<sup>2</sup> au 300 mm<sup>2</sup>.

Les tensions assignées: 6/10 KV\_12/20 KV\_15/25 KV\_18/30 KV.

**b)** Câbles Moyenne Tension Tripolaires torsadés.

Ce sont les mêmes câbles que << les câbles unipolaires Moyenne Tension>> de la norme (CEI 60502-2).

**c)** Câbles Moyenne Tension Unipolaires S23 (Alu ou Cuivre)

**d)** Câbles Moyenne Tension Triphasés Armés

**e)** Câbles Moyenne Tension Unipolaires S26 (Alu ou Cuivre)

**f)** Câbles Moyenne Tension Tripolaires S26 (Alu ou Cuivre)

# CHAPITRE 2 : Position du problème

## I. Le Problème

L'environnement concurrentiel dans lequel évolue les entreprises, les soumettent à des exigences de plus en plus fortes en terme de cout, de délais, et de qualité. Le service de maintenance, par son action, influence sur chacun de ces axes ; Ainsi nous pourrions dire que le service de maintenance intervient dans un contexte très exigeant. L'organisation de ce service doit donc non seulement intégrer les contraintes propres au service, mais aussi prendre en compte celles de l'entreprise et plus précisément le service de production.

### I.1.L'objectif

L'objectif de notre travail est de trouver un ordonnancement du service de maintenance préventive tout en respectant les contraintes liées au problème.

### I.2. Les donnés

	<i>Machines</i>	<i>Durée de la maintenance préventive par intervention</i>	<i>Nombre d'interventions préventives durant le mois</i>
1	M85CU	8H	1
2	M85CU2	8H	1
3	M85AL1	8H	1
4	M85AL2	8H	1
5	M85AL3	8H	1

6	MMH101	8H	1
7	MULTIFILS SAMP 28	8H	1
8	POURTIER	8H	1
9	RL630	8H	1
10	DTO1600	8H	2
11	CORTINOVIS1	8H	2
12	CORTINOVIS2	8H	2
13	CORTINOVIS3	8H	2
14	CORTINOVIS4	8H	2
15	CORTINOVIS5	8H	1
16	CORTINOVIS6	8H	1
17	DTO800	8H	1
18	DTO630 I	8H	1
19	DTO 630 II	8H	1
20	SIOPLAST	8H	1
21	SIOPLAST II	8H	1
22	MONOSIL	8H	1
23	MONOSIL 2	8H	1
24	GAINEUSE	8H	1
25	GAINEUSE 2	8H	1
26	TREOSTER 1	8H	1
27	TREOSTER 2	8H	1
28	TREOSTER 3	8H	1
29	CV LINE	8H	3
30	RL1600	8H	1
31	CDT1250	8H	1
32	DRUM TWISTER	8H	1
33	DRUM TWISTER 2	8H	1
34	SKALTEK	8H	2
35	EFAF	8H	1
36	EFAF 2	8H	1
37	EFAF 3	8H	1

38	SURVIDEUSE LESMO	8H	1
39	SURVIDEUSE NEXT	8H	1
40	SURIDEUSE CAB	8H	1
41	NICOLETTI	8H	1
42	NICOLETTI 2	8H	1
43	ARMEUSE CAB	8H	1
44	ARMEUSE LESMO	8H	1
45	ARMEUSE POURTIER	8H	1
46	FOURS 1	8H	1
47	FOURS 2	8H	1
48	FOURS 3	8H	1
49	CORTINOVIS 6	8H	1

*Tableau n°2 : les données du problème*

### I.3. Les contraintes

On a deux types de contraintes :

- **Contraintes liées au service de maintenance :**

- ✓ Respecter le nombre d'interventions préventives prédéfinis à l'avance par le service.
- ✓ Respecter la durée du travail des intervenants (les techniciens) qui ne dépasse pas 50 heures par semaine.
- ✓ Pour chaque machine, affecter un groupe composé de 4 personnes.

- **Contraintes liées au service de production :**

Il ne faut pas arrêter les machines qui font les même tâches toutes en une même période.

## CHAPITRE 3 :

# Les éléments fondamentaux

## I. Introduction à la maintenance

La maintenance consiste à conserver ou à remettre un bien en état de bon fonctionnement. Dans ce sens, les entreprises font appel aux services de maintenance. Ces services organisent l'activité des ressources humaines et matérielles qui le composent.

### I.1. Définition

Il existe principalement deux grands types d'activités de maintenance : la maintenance préventive, dont l'activité peut être planifiée et la maintenance corrective qui est liée aux pannes non prévisibles.

La maintenance est, après la production, une des fonctions les plus importantes au sein de l'entreprise.

#### Définition : Maintenance

Ensemble de toutes les activités ; les actions d'administration et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinés à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise.

#### Définition : Bien

Tout élément, composant, mécanisme, sous-système, unités fonctionnelles, équipement ou système qui peut être considéré individuellement.

### I.2. Les différentes stratégies de maintenance

Les deux principales stratégies de maintenance sont la maintenance préventive et la maintenance corrective, la différence entre les deux réside dans le fait que la maintenance préventive est réalisée avant l'arrivée de la défaillance tandis que la maintenance corrective s'effectue après.

#### I.2.1. La maintenance préventive

A fin de maintenir en condition opérationnelle les systèmes de production, le concept de durabilité oblige les industriels à améliorer leur niveau global de performance. C'est dans cet objectif que sont développées les stratégies de maintenance préventive.

**Définition :** Maintenance préventive

Maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien.

- La maintenance préventive peut être de trois types : systématique, conditionnelle ou prévisionnelle :
- La maintenance systématique est une maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle de l'état du bien.
- La maintenance conditionnelle est basée sur la surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les fonctions qui en découlent.
- La maintenance prévisionnelle quant à elle correspond à une maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions de paramètres significatifs de la dégradation du bien.

## I.2.2. La maintenance corrective

**Définition :** Maintenance corrective.

Maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise.

La maintenance corrective peut être dite palliative si l'intervention donne lieu à un dépannage et à une répartition provisoire. MAIS elle peut aussi être dite curative si la répartition restitue l'état de fonctionnement nominal.

## I.2.3. La maintenance améliorative

Cette activité s'inscrit dans le cadre d'une démarche de progrès et d'amélioration, c'est l'ensemble des mesures qui, par le biais de l'intervention de maintenance, parviennent à améliorer la sûreté de fonctionnement du bien sans changer sa fonction première.

# II. Les problèmes d'ordonnement

## II.1. Introduction

Ordonner un ensemble de tâches, c'est programmer leur exécution en leur allouant les ressources requises et en fixant leurs dates de début.

Les problèmes d'ordonnement touchent tous les domaines de l'économie :

1. L'informatique (les tâches sont les programmes ; les ressources sont les processus, la mémoire).
2. La construction (suivi de projet).
3. L'industrie (activités des ateliers en gestion de production et problèmes de logistiques).

#### 4. L'administration (emploi du temps).

Dans un problème d'ordonnement interviennent deux notions fondamentales : les tâches et les ressources.

Une ressource est un moyen technique ou humain dont la disponibilité limitée ou non est connue à priori.

Une tâche est un travail élémentaire dont la réalisation nécessite un certain nombre d'unités de temps (sa durée) et d'unités de chaque ressource.

La réalisation d'un problème d'ordonnement doit concilier deux objectifs :

1. L'aspect statique consiste à générer un plan de réalisation des travaux sur la base des données prévisionnelles.
2. L'aspect dynamique consiste à prendre des décisions en temps réel, compte tenu de l'état des ressources et de l'avancement dans le temps des différentes tâches.

## II.2. Données d'un problème d'ordonnement

1. Les tâches et leurs caractéristiques
2. Les contraintes potentielles
3. Les ressources
4. La fonction économique (la fonction objectif).

### II.2.1. Tâches

On note en général  $I = \{1, 2, \dots, n\}$  l'ensemble des tâches et  $p_i$  la durée de la tâche  $i$  si cette durée ne dépend pas des ressources qui lui sont allouées.

En plus de sa durée, une tâche a d'autres caractéristiques :

- $r_i$  date de disponibilité, date avant laquelle la tâche  $i$  ne peut pas commencer.
- $d_i$  date échue, une tâche  $i$  doit être achevée avant sa date échue
- $t_i$  date réelle de début de la tâche  $i$ , date qui sera déterminée uniquement pendant l'ordonnement
- $c_i$  date de fin réelle de la tâche  $i$ , date qui sera elle aussi calculée uniquement pendant l'ordonnement.

#### II.2.1.1. Liens entre les tâches

Les tâches sont souvent liées entre elles par des relations d'antériorité. Si ce n'est pas le cas, on dit qu'elles sont indépendantes. La contrainte d'antériorité la plus générale entre deux tâches  $i$  et  $j$ , appelée contrainte potentielle, s'écrit sous la forme

$$t_j - t_i \geq a_{ij}$$

Quand la tâche  $j$  commence à la fin de la tâche  $i$ , dans ce cas, on dit qu'il y a succession simple.

$$a_{ij} = p_i \quad (p_i \text{ étant la durée de la tâche } i) \\ \forall I = \{1, 2, \dots, n\}, r_i \leq c_i \leq d_i$$

### II.2.2. Ressources

On distingue deux types de ressources pouvant être requises pour les tâches, les ressources renouvelables et les ressources consommables.

Une ressource est renouvelable si après avoir été allouée à une tâche, elle redevient disponible pour les autres (machines, processus, fichiers personnel).

Une ressource est consommable si après avoir été allouée à une tâche, elle n'est plus disponible pour les tâches restant à exécuter (argent, matières premières).

Une ressource qu'elle soit consommable ou renouvelable est disponible qu'à certaines périodes (temps de travail, temps de repos).

### **II.2.3. Contraintes**

les contraintes disjonctives et les contraintes cumulatives :

- Une contrainte disjonctive apparaîtra lorsque deux tâches, devant la même machine, ne pourront pas s'exécuter simultanément.
- Une contrainte cumulative apparaîtra par exemple lorsque trois processeurs sont disponibles pour l'exécution de quatre tâches. On ne pourra exécuter plus de trois de ces tâches en même temps sans que l'on puisse savoir à l'avance laquelle sera retardée.
- Les contraintes de type potentiel : ce sont les contraintes de localisation temporelle (la tâche  $i$  ne doit pas commencer avant telle date ou au contraire doit être achevée avant telle date).
- Les contraintes de successions ou positionnement entre les tâches ou d'antériorité (la date  $j$  ne peut pas commencer avant que la tâche  $i$  ne soit terminée. Ou simplement, parvenue à un certain degré d'achèvement).
- Les contraintes de type disjonctif : elles imposent la disjonction de deux intervalles de temps relatifs par exemple à l'exécution de deux tâches  $i$  et  $j$  qui ne peuvent être réalisées simultanément.
- Les contraintes de type commutatif, concernant l'évolution dans le temps du volume total des moyens humains et matériels consacrés à l'exécution des tâches (en général il est difficile d'en tenir compte).

### **II.2.4. Fonction-objectif (fonction économique)**

Il faut programmer les tâches de façon à optimiser un certain objectif qui sera, suivant les cas :

- La minimisation de la durée totale (critère le plus fréquemment utilisé)
- Le respect des tâches de commandes (dates échues)
- La minimisation d'un coût (coût de production)

D'une manière générale, trois types d'objectifs sont essentiels dans la résolution des problèmes d'ordonnancement :

- L'utilisation efficace des ressources
- Un délai d'exécution des tâches aussi faible que possible
- Le respect des dates d'achèvement prescrites à l'avance

Les variables intervenant le plus souvent dans l'expression de la fonction économique (fonction-objectif) sont :

- La date  $c_i$  de fin d'exécution de la tâche  $i$ ,

- Le retard  $T_i = \max(0, c_i - d_i)$  de la tâche  $i$ ,
- L'indicateur de retard  $U_i$  ( $U_i = 0$  si  $c_i \leq d_i$ ,  $U_i = 1$  sinon)

Les critères usuels sont :

- La durée totale  $c_{\max} = \max(c_i)$ ,
- Le plus grand retard  $T_{\max} = \max T_i$ ,
- Le retard moyen pondéré  $\sum w_i T_i$ ,
- Ou les stocks d'encours  $\sum w_i T_i$ ,

## II. 3. Variantes des problèmes d'ordonnement

Selon la nature des variables et des contraintes mises en jeu, plusieurs variantes des problèmes d'ordonnement sont proposées dans la littérature. On distingue deux grandes familles de problèmes d'ordonnement, les problèmes d'ordonnement de projet et les problèmes d'ateliers.

### I I.3.1. Ordonnement de projet

Il s'agit d'un problème très général qui recouvre un grand nombre de situations d'ordonnement et constitue une très vaste littérature. Les questions les plus fréquentes dans un problème d'ordonnement de projet, concernent la détermination de la durée totale du projet et la mise en évidence des marges temporelles exploitables pour minimiser le coût d'utilisation des ressources. L'ordonnement de projet demeure central en ordonnancement car il permet de présenter des concepts fondamentaux et des algorithmes de base pour le traitement des contraintes temporelles.

La réalisation d'un projet doit amener la satisfaction du client en respectant le cahier des charges, les délais, et les coûts. Ainsi, il devient indispensable de pouvoir bien accomplir deux types principaux de gestion.

- Une gestion technique : Spécification, délais,.....etc.
- Une gestion économique : Coûts, prix de revient,.....etc.

En pratique, la sélection et la conduite de projets posent souvent des problèmes de décision dont les enjeux sont considérables. Au sein d'une grande entreprise, par exemple, dans le secteur aéronautique et spatial, des nombreux projets de recherche et développement apparaissent nécessaires à l'essor, au renforcement du savoir-faire et à la compétitivité de l'entreprise. Cependant, les ressources financières, temporelles et en personnel étant limitées, des choix s'imposent. Il est essentiel que ces choix soient faits sur des bases rationnelles. Quelles sont, à l'heure actuelle, les méthodologies permettant le développement de façon à optimiser des critères économiques et des facteurs de risque? Comment doit-on ensuite conduire un projet innovant jusqu'au succès à travers une série de choix conjoncturels et stratégiques.

### I I.3.2. Ordonnement d'ateliers

Une deuxième famille essentielle de problèmes d'ordonnement, ce sont les problèmes d'ateliers où on doit exploiter au mieux des moyens limités (des machines) pour réaliser un ensemble très varié de produits. La complexité réside alors non pas dans le processus de fabrication, qui est prédéterminé (par exemple sous forme de gammes opératoires), mais plutôt dans la combinatoire qui naît de la prise en compte de la limitation des ressources existantes. Indifféremment des problèmes d'ordonnement prévisionnels, qui prévoient des modalités d'exécution d'un ensemble de tâches par un ensemble de ressources sur un horizon fini ou infini (après avoir effectué des hypothèses préalables sur l'évaluation de la situation du système au cours du temps). On parle

des problèmes d'ordonnement d'ateliers à temps réel, quand il s'agit, d'adapter en permanence les modalités d'exécution d'un ensemble de tâches par un ensemble de ressources à la situation réelle du système considéré.

En plus des problèmes d'ordonnement de projet et d'ateliers, on cite une famille de problèmes d'ordonnements issus du monde pratique, à savoir les problèmes d'ordonnement cycliques. Il s'agit d'organiser les activités de production en cherchant à répéter un cycle de base relativement bien optimisé, illustrant ainsi la notion même d'ordonnement cyclique. Un ordonnement cyclique est ensuite construit par calcul des dates sur la période de référence et répétition cyclique de l'ordonnement ainsi obtenu. Ces problèmes sont très présents dans le milieu industriel.

### **I.1.3.3. Ordonnement du personnel**

Les ressources humaines sont parmi les ressources les plus cruciales et les plus coûteuses pour la majorité des organisations. Par conséquent, il est capital que chaque entreprise élabore une stratégie efficace de planification de ces ressources. Dans cette perspective, un ordonnement efficace du personnel permet de générer des réductions des coûts, d'améliorer la qualité des services ou des produits offerts et de maximiser la satisfaction des employées.

Les problèmes d'ordonnement du personnel sont des cas particuliers du problème d'allocation des ressources. Ils peuvent se présenter selon plusieurs configurations ou modèles en fonction des particularités du milieu organisationnel et de la durée de la période de planification. Généralement, ces problèmes portent sur la détermination du nombre d'employés requis pour répondre à une demande en produits ou en services, sur leurs affectations à des tâches précises le long d'intervalles de temps de durée variable, ou encore sur la détermination du lieu de travail pour chaque employé.

Ainsi définis, les problèmes d'ordonnement du personnel peuvent être observés dans plusieurs types d'entreprises manufacturières ou de services. Ce sont des problèmes récurrents dans des domaines tels que : le transport; la santé ; l'enseignement; la production manufacturière; les centres d'appel; la restauration ou les services de protection et d'urgence.

Dans les travaux recensés, on rencontre trois catégories de problèmes d'ordonnement du personnel : le problème de planification des jours de repos, le problème d'élaboration des quarts de travail et le problème d'élaboration des patrons de travail.

1. Le problème de planification des jours de repos (*Days off scheduling problem*) porte sur l'affectation à chaque employé d'un ensemble de jours de repos au cours de la période de planification, tout en respectant les normes de travail en vigueur et en satisfaisant la demande.
2. Le problème de planification des quarts de travail (*Shift scheduling problem*) porte sur la conception des horaires quotidiens du personnel. Il s'agit d'élaborer des quarts de travail auxquels seront affectés les employés. Un quart de travail a généralement une durée de 8 à 9 heures, réparties en plusieurs intervalles de temps de 15 à 30 minutes appelés « intervalles de planification ». L'élaboration des quarts de travail consiste à définir les horaires de début et de fin de chaque quart ainsi que le nombre et la durée des pauses de travail de manière à satisfaire la demande en personnel pour chaque intervalle de planification.
3. Le problème de planification de patrons de travail (*Tour scheduling problem*) est la combinaison des deux problèmes ci-dessus. Il est qualifié de problème général d'ordonnement du personnel. Ce problème consiste en une définition, à la fois, des quarts de travail et des jours de repos à affecter à chaque employé le long de la période de planification qui a souvent une durée d'une semaine.

## II.4. Classes des problèmes d'ordonnancement

Le résultat d'un ordonnancement est un calendrier précis des tâches à réaliser. Il se décompose en trois grandeurs fondamentales :

- i. L'affectation qui consiste à attribuer les ressources nécessaires à une tâche.
- ii. Le séquençement qui précise l'ordre de passage des tâches sur chaque ressource.
- iii. Le datage qui donne pour chaque tâche une date de début et une date de fin.

### II.4.1. Suivant la nature des données

On peut distinguer deux catégories de problèmes d'ordonnancement. En fonction de la nature des données associées au problème étudié, à savoir :

- Problème statique ou déterministes : Si les tâches à ordonner sur un horizon de planification ainsi que l'état initial de composantes du problème sont connus a priori.
- Problèmes dynamiques ou stochastiques : Si les décisions sont à prendre au cours de la production, et toutes les tâches à réaliser ne sont pas connues à l'avance. Ces problèmes sont généralement abordés avec prise en compte des interactions entre les différents niveaux décisionnels, des aspects aléatoires et dynamiques. Ce qui induit à des systèmes d'ordonnancement dynamique qui requièrent des informations relatives à l'état des flux logistiques pour pouvoir prendre des décisions.

Ainsi les différentes classes de problèmes d'ordonnancement, nous spécifions deux cas de figures selon le type des données mises en œuvre. S'il s'agit de données connus à l'avance, nous distinguons le cas statique, dans le cas contraire, c'est le cas dynamique.

Selon le type des décisions effectuées, nous spécifions aussi les deux cas suivants :

- L'ordonnancement prédictif : Consiste à prévoir un certain nombre de décisions en fonction des données prévisionnelles et du modèle traité.
- L'ordonnancement réactif : consiste à prévoir un certain nombre de décisions en fonction de l'état courant du système et de sa position par rapport au modèle réel.

### II.4.2. Suivant les tâches

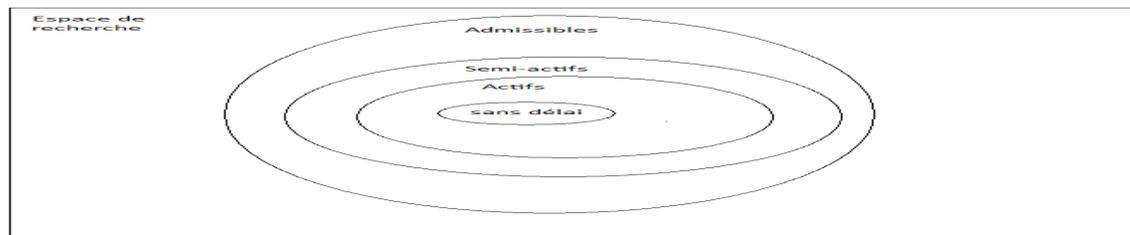
Pour résoudre un problème d'ordonnancement, on peut distinguer en général, deux stratégies :

1. Une stratégie visant l'optimalité des solutions par rapport à un ou plusieurs critères.
2. Une stratégie visant l'admissibilité des solutions vis-à-vis des contraintes du problème.

En fonction des décisions sur les tâches, il existe trois types de solution (dites aussi <<ordonnancement>>), pour un problème d'ordonnancement :

- Ordonnancement actif : Si aucune tâche ne peut être exécutée plus tôt, sans violer de contrainte ou causer le retard d'une autre tâche.
- Ordonnancement semi-actif ou calé à gauche : Si aucune tâche ne peut être exécutée plus tôt, sans changer l'ordre d'exécution sur les ressources ou violer de contrainte. En d'autres termes, il est impossible d'avancer une opération sans modifier la séquence des opérations sur les ressources : chaque opération est calée, soit sur l'opération qui la précède dans sa gamme, soit sur l'opération qui la précède sur la machine.

- Ordonnement sans délai ou sans retard : Si à tout instant, les ressources ne sont pas présentes en quantité suffisante pour pouvoir commencer une tâche disponible et exécutée plus tard dans l'ordonnement. Autrement dit, si aucune opération n'est mise en attente, alors qu'une machine est disponible pour l'exécuter.



Relation d'inclusion entre les classes d'ordonnement

Figure n°3: La relation d'inclusion entre les classes d'ordonnement

### II.4.3. Suivant les machines

Une classification des problèmes d'ordonnement d'ateliers, peut s'opérer selon le nombre de machines et les ordres imposés par leurs gammes de fabrication qui dépendent de la nature de l'atelier. Un atelier se définit donc, par le nombre de machines qu'il contient et par son type.

Pour l'environnement machine, on trouve deux modèles de problèmes d'ordonnement, qui sont les plus courants dans la littérature :

- Le modèle à machine unique qui est le plus simple : Dans ce type de problème, une seule ressource disjonctive est disponible. Malgré son apparente simplicité, la plupart des problèmes à une machine sont NP-difficiles.

- Le modèle des machines multiples qui figurent en deux types principaux :

- i. Les machines parallèles : Dans ce cas de figure, les machines disposent des mêmes propriétés et peuvent être soit identique quand elles possèdent les mêmes vitesses de traitement, soit uniformes quand leurs performances sont proportionnelles ou des machines non reliées quand elles diffèrent.

- ii. Les machines spécialisées : Dans ce cas de figure, les machines sont spécialistes en l'exécution de certaines tâches spécifiques.

La modélisation d'un problème d'ordonnement passe donc, par la spécification des tâches et leurs caractéristiques, des ressources et des critères à optimiser.

## II.5. Résolution des problèmes d'ordonnement

Les méthodes de résolution des problèmes d'ordonnement puisent dans toutes les techniques de l'optimisation combinatoire (programmation mathématique, programmation dynamique, procédure par séparation et évaluation, théorie des graphes)

Ces méthodes garantissent en général l'optimisation de la solution fournie. Mais les algorithmes dont la complexité n'est pas polynomiale ne pouvant pas être utilisés pour des problèmes de grande taille, d'où la nécessité de construire des méthodes de résolution approchée, efficaces pour ces problèmes souvent NP-difficiles.

L'analyse d'un problème particulier permet d'obtenir des propriétés sur la structure des solutions optimales, propriétés à partir desquelles on peut ou bien caractériser les solutions optimales ou bien réduire l'espace des solutions à l'explorer (notion de sous-ensemble dominant qui contient au moins une solution optimale).

## II.6. Le diagramme de Gantt

### Principe

Ce type de diagramme a été mis au point par un américain Henry Gantt.

On représente au sein d'un tableau, en **ligne les différentes tâches** et en **colonne les unités de temps** (exprimées en mois, semaines, jours, heures...)

La durée d'exécution d'une tâche est matérialisée par un trait au sein du diagramme.

### Réalisation

Les différentes étapes de réalisation d'un diagramme de Gantt son les suivantes :

**Première étape** : On détermine les différentes tâches (ou opérations) à réaliser et leur durée.

**Deuxième étape** : on définit les relations d'antériorité entre tâches.

**Troisième étape** : on représente d'abord les tâches n'ayant aucune antériorité, puis les tâches dont les tâches antérieures ont déjà été représentées, et ainsi de suite...

**Quatrième étape** : on représente par un trait parallèle en pointillé à la tâche planifiée la progression réelle du travail

Exemple :

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
A	■	■	■	■																				
B					■	■																		
C							■	■	■	■	■	■	■	■	■	■								
D							■	■	■	■														
E																	■	■	■					
F																				■	■			
G																					■	■	■	
H																							■	■

Tableau n°3 : Le diagramme de Gantt

Remarque :

- Chaque colonne représente une unité de temps.
- Les durées d'exécution prévues des taches sont représentées par trait épais (10 unités de temps pour c)
- Les contraintes de succession se lisent immédiatement
  - ✓ La taches B et C succèdent à la tache A.
  - ✓ D succèdent à B.

## II.7. La Méthode PERT

La résolution d'un projet se caractérise par une succession des tâches auxquelles s'attachent certaines contraintes de :

- temps (délais à respecter pour l'exécution des tâches)
- antériorité (certaines tâches doivent être exécutées avant d'autres)
- simultanéité (certaines tâches peuvent être réalisées en même temps)

Pour présenter ces problèmes d'ordonnancement, on peut utiliser le diagramme de GANTT, mais aussi le réseau PERT. PERT est une méthode de planification qui part du principe de filiation ou de l'indépendance des tâches et qui vise à rationaliser l'exécution d'un projet complexe sous forme d'un réseau de tâches. Cette méthode permet de calculer le meilleur temps de réalisation d'un projet et d'identifier les tâches critiques, c'est-à-

dire les tâches qui ne doivent souffrir d'aucun retard sous peine de retarder l'ensemble du projet.

C'est un diagramme plus proche de l'organigramme qui fournit la présentation visuelle des tâches reliées entre elles.

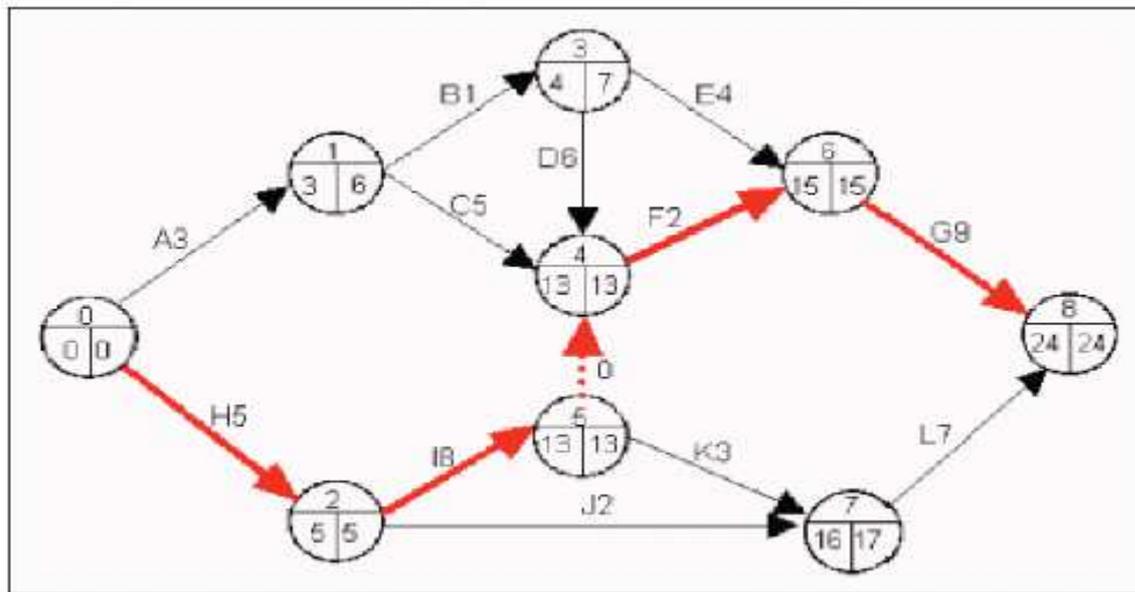


Figure n°4: Représentation graphique du réseau de PERT

### Comment élaborer un réseau PERT?

Les méthodes de calcul du réseau PERT tiennent compte de l'ordonnancement au plus tôt, de l'ordonnancement au plus tard, des marges libres et des marges totales de chaque tâche d'un projet. Le calcul a pour but de trouver le chemin critique, lequel relie l'ensemble des tâches consécutives de même marge totale minimale ou nulle.

Pour élaborer le réseau PERT, il faut suivre les étapes suivantes:

- Faire l'inventaire des données de base sur les tâches;
- Tracer le réseau PERT;
- Calculer les dates hâtives et tardives d'exécution des tâches;
- Calculer les marges temporelles (marges libres et marges totales);
- Déterminer le chemin critique du projet.

### Faire l'inventaire des données de base

1) **Établir la liste des tâches** : Cette étape consiste à donner la liste exhaustive des tâches à exécuter (organigramme des tâches)

- Pour une première planification indicative, il faudrait probablement le décomposer en quelques dizaines de tâches. Pour établir une planification d'exécution détaillée, il faudrait sans doute pousser l'analyse au niveau de plusieurs centaines de tâches selon la complexité et l'envergure du projet.
- Pour définir correctement les tâches, certaines conditions sont à observer:
  - Une tâche décrit une action ou un événement, à entreprendre ou à subir. Son libellé doit être clair et précis. Un livrable (extrait) devrait y être associé.
  - Une tâche doit avoir des limites chronologiques bien définies. Pour cela, il faut deux critères : un commencement et une fin → quels événements concrets (livrable: document, matériel...) constituent son début et sa fin?
  - Une tâche doit être associée à un responsable acceptant et assumant la responsabilité de l'exécution.

## 2) Déterminer la durée des tâches.

- Choisir des durées confortables.
- L'estimation globale : l'allocation de temps pour la réalisation de la tâche en se basant sur son expérience. Les risques d'erreur sont grands et la précision  $\pm 20\%$ .
- L'estimation détaillée consiste en découper la tâche et à estimer un temps pour chacune des coupes pour allouer une durée à la tâche plus grande précision à l'estimation.
- Considérer les activités de durée nulle = jalons aussi nommés étapes clés du projet.

## 3) Déterminer les conditions d'antériorité (interdépendance: tâches successives, simultanées ou convergentes) des tâches, en répondant aux questions suivantes:

- Quelles tâches doivent être terminées immédiatement avant qu'une autre ne commence?
- Quelles tâches doivent suivre une tâche déterminée?
- Quelles tâches peuvent se dérouler simultanément?
- Quelles tâches doivent se terminer simultanément?
- Quelles tâches aboutissent à une même étape?

## 4) Codifier les tâches pour faciliter la construction du réseau.

Par exemple, une codification faisant apparaître domaine et nature de la tâche est très appropriée et/ou son numéro.

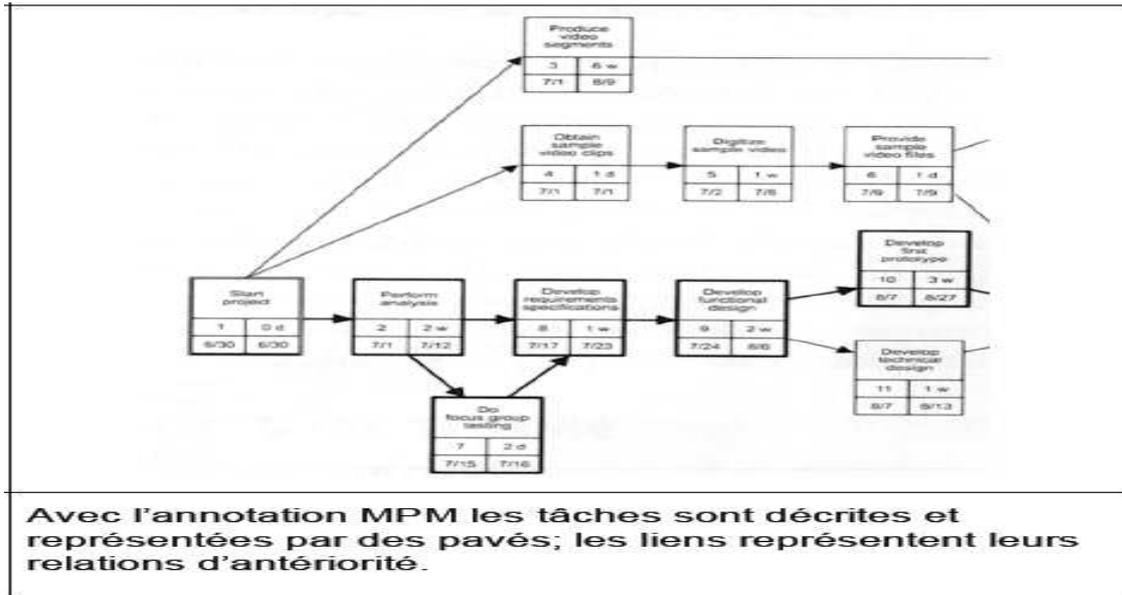
On obtient ainsi le tableau suivant:

Tâches	Antécédents	Durée
A	/	3
B	A	1
C	A	5
D	B	6
E	B	4
F	C-I-D	2
G	E-F	9
H	/	5
I	H	8
J	H	2
K	I	3
L	K-J	7
Fin du projet	G-L	0

Tableau n°4 : tableau des tâches

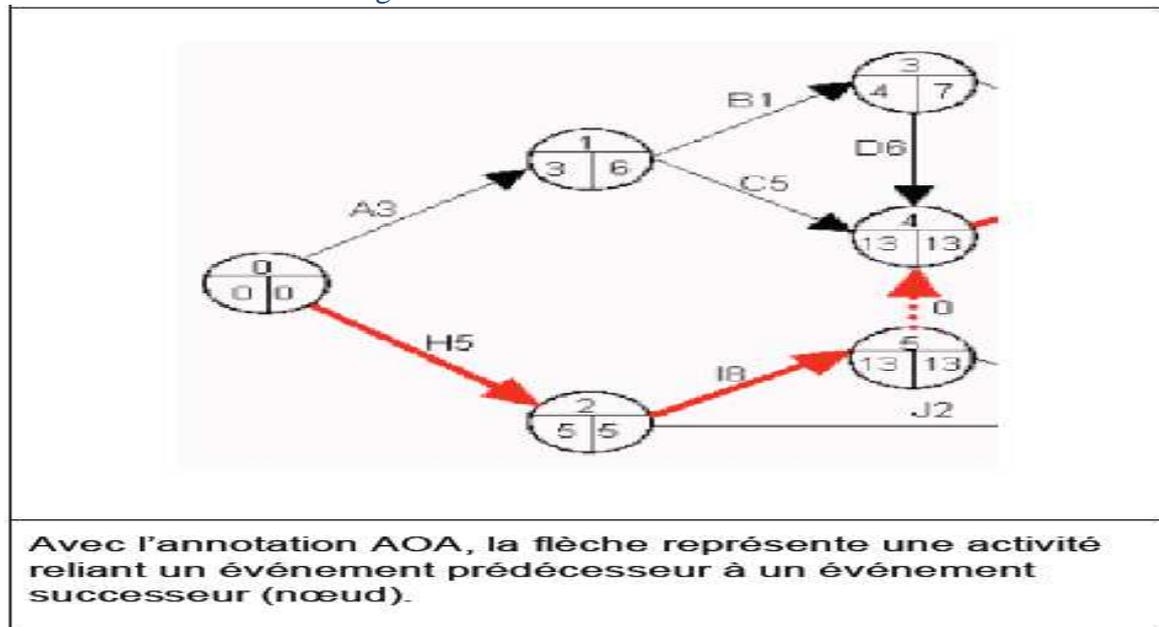
## Tracer le réseau PERT

Le réseau PERT peut être représenté visuellement selon 2 méthodes: la notation AOA (Activity On the Arrow) ou MPM (Méthode de Potentiels et antécédents Métra).



Avec l'annotation MPM les tâches sont décrites et représentées par des pavés; les liens représentent leurs relations d'antériorité.

Figure n°5: PERT avec annotation MPM



Avec l'annotation AOA, la flèche représente une activité reliant un événement prédécesseur à un événement successeur (nœud).

Figure n°6: PERT avec annotation AOA

Dans le texte qui suit, nous utiliserons la notation MPM. L'utilisation de cette méthode de notation s'appuie généralement sur les conventions suivantes:

- Une tâche est représentée par un rectangle dénommé pavé MPM.
- Le pavé MPM est généralement divisé en 5 parties et contient les informations suivantes :

Nom de la tâche	
Code	Durée
FTo	FTa

- le nom de la tâche;
- son code ou numéro;
- sa durée en heures/jours/semaines/mois;
- sa date de fin au plus tôt (FTo);
- et, sa date de fin au plus tard (FTa).
- Les contraintes d'ordonnancement sont définies par des flèches aussi nommées «liens».

**Calculer les dates hâtives et tardives d'exécution des tâches**

Pour calculer les dates d'exécution des tâches, il faut procéder en deux temps:

- calculer les dates au plus tôt (dates hâtives)
- calculer les dates au plus tard (dates tardives)

### 1) Calculer les dates au plus tôt (Dto)

- Il s'agit ici de calculer à quelles dates, au plus tôt, peuvent être réalisées les différentes tâches du projet.
- À partir de la tâche de début, calculer de la gauche vers la droite (calcul dit «aller») les dates au plus tôt de début (Dto) et de fin (Fto) de chaque tâche en partant de zéro (ou de la date de début du projet). Ce calcul donne un délai de réalisation du projet.
- Technique de calcul
  - La date de fin au plus tôt = la durée de la tâche + sa date de début au plus tôt.
  - la date de début au plus tôt d'une tâche = la plus grande des dates de fin au plus tôt des tâches qui la précèdent.

### 2) Calculer les dates au plus tard (Dta)

- Il s'agit ici de calculer à quelles dates, au plus tard, peuvent être complétées les différentes tâches du projet sans remettre en cause la date de fin du projet. Ce calcul prend comme hypothèse que le délai de réalisation du projet obtenu par le calcul aller est acceptable.
- À partir de la fin, Il s'agit donc d'effectuer sur le réseau, le calcul dit «retour» (de droite vers gauche) pour déterminer les dates au plus tard de début (Dta) et de fin (Fta) de chaque tâche.
- Technique de calcul
  - Date de fin au plus tard d'une tâche = la plus petite des dates de début au plus tard des tâches qui lui succèdent.
  - Date de début au plus tard = la durée de la tâche - sa date de fin au plus tard. Avec les calculs précédents, nous avons déterminé quatre dates pour chaque tâche : DTo, FTo, DTa et FTa.

Il est à noter que le modèle peut être simplifié avec seulement 2 dates : FTo et FTa puisque le DTo d'une tâche = le FTo de la tâche qui la précède. Dans le même ordre d'idée, le DTa d'une tâche = le FTa de la tâche qui la précède.

## Calculer les marges temporelles

Chaque tâche a une durée maximum disponible = Fin tard (FTa) - Début tôt (DTo).

Une tâche est critique si elle utilise cette durée maximum disponible, car elle n'a aucune marge temporelle pour absorber un éventuel retard.

On associera donc à chaque tâche les marges qu'elle a sur les chemins qu'elle compose.

On distingue 2 types de marge:

### 1) La marge libre:

- La marge libre correspond à la plage de temps ou délai dans laquelle peut se déplacer librement la tâche sans retarder aucune autre tâche subséquente, i.e. sans modifier aucune des dates de début au plus tôt (Dto) des tâches immédiatement postérieures.
- Intérêt de la marge libre : l'exécution des activités relève souvent de responsabilités différentes donc la marge libre représente la latitude dont dispose le responsable d'une activité pour ne pas affecter le plan de travail des autres responsables.
- Technique de calcul
  - La plus petite des Dto des tâches immédiatement suivantes MOINS (-) la Fto de la tâche considérée.
- La marge libre d'une activité est toujours inférieure ou égale à la marge totale.

### 2) La marge totale:

- La marge totale représente la plage de temps maximum (ou délai maximum) dans laquelle peut se déplacer la tâche sans modifier la date de fin du projet.

- Technique de calcul
- la Fta MOINS (-) la Fto de la tâche considérée.
- Les tâches ayant une marge totale égale à zéro (ou la plus petite marge totale) sont considérées critiques.

Il est à noter que c'est une aberration de construire, à l'étape de la planification du projet, un réseau avec des marges négatives     marge négative = retard.

Cependant, en cours de déroulement, des retards peuvent amener à calculer une date de fin au plus tôt supérieure à la date de fin au plus tard fixée au début du projet.

Dans ce cas, des marges négatives apparaissent, elles sont une aide au pilotage du projet.

### **Déterminer le chemin critique**

Le chemin critique fait apparaître sur le réseau le chemin qui, formé par la succession de certaines tâches, nous donne le temps le plus long. On l'appelle critique, car tout retard pris sur l'une de ces tâches de ce chemin entraîne du retard dans l'achèvement du projet.

- C'est la chaîne de tâches partant du début et aboutissant à la fin telle que toutes les tâches soient critiques.
- C'est le chemin le plus long entre le début et la fin, il y en a toujours au moins un. Mais il est également possible d'avoir plusieurs chemins critiques.
- L'addition de toutes les durées des tâches situées sur le chemin critique donne le délai de réalisation du projet.
- La surveillance des activités du chemin critique conditionne la tenue de la planification.
- La réduction du délai de réalisation d'un projet implique une action sur les activités du chemin critique (affinage de l'enchaînement des tâches ou réduction des durées).

# **CHAPITRE 4 :** **Résolution du problème**

Le but de ce chapitre est de trouver une solution pour notre problème. Pour cela on va procéder de la façon suivante :

Dans la première étape, on va classer les machines suivant leurs tâches; cette étape va jouer un rôle très important dans la résolution de notre problème car elle constitue une base pour l'affectation des ressources à des tâches précises.

La deuxième étape consiste à affecter des tâches (qui représentent l'intervention préventive sur une machine  $i$ ) à des ressources  $E_j$ .

Pour la troisième étape on va s'intéresser à la planification des tâches. Dans cette étape on va utiliser Gantt Project qui nous servira à la planification de ces tâches.

## I. Classification des machines

Dans cette étape on va classer les machines suivant leurs tâches, on va les regrouper dans le tableau suivant :

	LES TACHES	CLASSMENT DES MACHINES SELON LEURS TACHES
G1	TREFILAGE	M85CU+M85CU2
G2	TREFILAGE	M85AL1+M85AL2+M85AL3
G3	TREFILAGE	MMH101+MULTIFILS SAMP 28
G4	CABLAGE	POURTIER+CORTINOVIS 4
G5	CABLAGE	RL630+DTO 1600 +CORTINOVIS (1-2-3-5)
G6	CABLAGE	DTO 800+DTO 630 I+DTO 630 II
G7	ISOLATION	SIOPLAST I +SIOPLAST II
G8	ISOLATION	MONOSIL + MONOSIL 2+TREOSTER1
G9	GAINAGE	GAINEUSE +GAINEUSE 2
G10	ASSEMBLAGE	DRUM TWISTER +DRUM TWISTER 2+ CORTINOVIS 6
G11	COURONNAGE	SKALTEK + EFAF2
G12	COURONNAGE	EFAF 1+EFAF 3
G13	ASSEMBLAGE	RL 1600
G14	ASSEMBLAGE	CDT 1250
G15	ISOLATION	CV LINE
G16	SURVIDAGE	NICOLETTI 1+NICOLETTI 2+SURVIDEUSE LESMO
G17	SURVIDAGE	SURVIDEUSE NEXT +SURVIDEUSE CAB
G18	ARMURE	ARMEUSE CAB + ARMEUSE LESMO + ARMEUSE POURTIER
G19	ARMURE	FOUR 1-2-3
G20	GAINAGE	TREOSTER 2 +TREOSTER 3

Tableau n°5 : classement des machines

Le but de la classification des machines c'est que les machines du même groupe ne doivent pas s'arrêter pendant la même période. Pour le tableau précédent on a trouvé quelques machines qui font les même tâches mais pas pour les même produits. Par exemple, les machines qui se trouvent aux groupes G1 et G2 font le tréfilage mais c'est pas pour le même produit.

## II : Affectation tâches/ressources

Dans cette étape on va essayer d'affecter nos tâches qui représentent l'intervention sur une machine  $M_i$  à des ressources qui sont représentées par le groupe de techniciens donc on va procéder de la façon suivante :

1) On va déterminer le nombre des groupes  $E_j$  nécessaire pour la réalisation de notre ordonnancement.

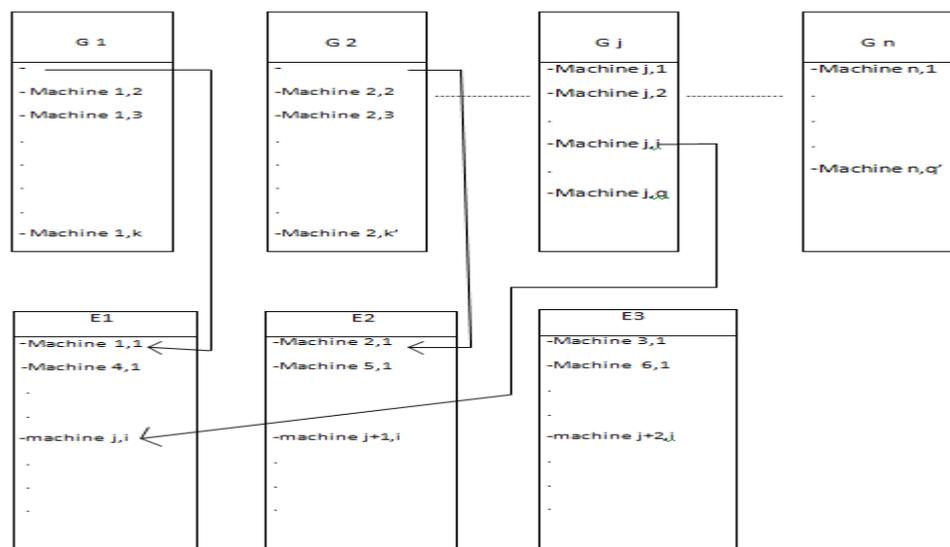
$$\text{Le nombre des groupes} = \frac{\sum(\text{le nombre d'heures de maintenance de chaque machine par mois})}{\text{Le nombre d'heures de travail du technicien par mois}}$$

Sachant que le technicien travaille 200 heures par mois.

Donc le nombre des groupes =  $(8*43+5*2*8+3*8)/200 \cong 3$ . De cela on a besoin de 3 groupes  $E_j$ .

2) L'affectation se fait de la manière suivante :

- ✓ Au début, si on a une machine qui nécessite  $k$  interventions préventives il faut l'écrire dans son groupe  $k$  fois.
- ✓ Il faut regrouper les  $G_i$  d'une manière décroissante selon le nombre des machines.
- ✓ On associe pour chaque groupe  $E_j$  une machine du groupe  $G_i$  d'une manière cyclique comme nous voyons dans le schéma suivant :



### Résultats :

	E1	E2	E3
M1	RL 630	M85 AL1	CORTINOVIS 4

M2	DTO 800	MONOSIL	DRUM TWESTER
M3	SKALTEK	NICOLTI 1	ARMUSE CAB
M4	FOUR 1	CV LINE	MMH 101
M5	M85 CU	SIOPLAST I	GAINEUSE
M6	EFAF 1	SURVIDEUSE NEXT	RL 1600
M7	TREOSTER2	CDT 1250	DTO 1600
M8	M85 AL2	PORTIER	DTO 630 I
M9	MONOSIL2	DRUM TWISTER2	EFAF 2
M10	NICOLTTI 2	ARMEUSE LESMO	FOUR 2
M11	CV LINE	MULTIFILS SAMP 28	M85 CU2
M12	SIOPLAST II	GAINEUSE 2	EFAF 3
M13	SURVIDEUSE CAB	TREOSTER 3	CORTINOVIS 1
M14	M85 AL3	CORTINOVIS 4	DTO 630 II
M15	TREOSTER 1	CORTINOVIS 6	SKALTEK
M16	SURVIDEUSE LESMO	ARMEUSE POURTIER	FOUR 3
M17	CV LINE	CORTINOVIS 2	CORTINOVIS 3
M18	CORTINOVIS 5	DTO 1600	CORTINOVIS 1
M19	CORTINOVIS 2	CORTINOVIS 3	CORTINOVIS 5

Tableau n°6 : L'affectation des ressources à des tâches

Les résultats présentés dans le tableau représente les différentes taches affectées a un groupe de techniciens par exemple si on prend le groupe E1; à ce groupe là ; on affecte les machines RL 630 jusqu'à CORTINOVIS 2, la notation Mi signifie que les machines de ce groupe doivent subir la maintenance préventive à la même période.

Maintenant on va passer à la dernière étape qui consiste à organiser dans le temps la réalisation des tâches.

### III. planification des tâches

Avant de planifier toutes les machines on va s'intéresser au sous problème suivant :

Les machines CV LINE, CDT 1250, RL 1600 sont des machines critiques, si on arrête une de ces machines on risque d'empêcher la fabrication de certains produits. Donc notre objectif est de trouver le jour du mois dont la production est la plus basse.

Pour cela, nous allons faire une petite étude statistique afin de trouver ce jour là pour chaque machine.

**Cas du CV LINE :**

On représente dans le tableau suivant la production journalière pour quelques mois de l'année 2013 :

	Janvier	Février	mars	Avril	Mai	Juillet	Août	sept	Oct	Nov	Déc	MJP
1	0	20910	20910	12300	14470	18590	12690	0	20865	6810	14845	13795
2	4780	25050	25050	11900	11335	9008	16960	5370	24710	3115	17650	14301
3	18000	7516	7516	20400	5135	8118	17760	15425	17180	0	16310	13298
4	17445	0	0	81870	9000	2970	16430	16710	0	0	16960	16964
5	14870	3100	3100	12440	18080	7510	17860	17690	0	0	20290	13280
6	23033	10420	10420	14060	15540	14330	4080	20735	0	7010	15344	14503
7	25470	14670	14670	20530	18040	20015	0	18625	0	12170	3060	13821
8	22970	14630	14630	14420	3435	16900	0	19760	15620	13390	0	14063
9	15400	14880	12980	21765	18885	16935	0	8870	17160	8930	0	12751
10	18080	14925	15520	26000	16330	13810	0	0	15180	6380	0	11104
11	17230	16465	21300	18940	17800	200	0	17190	18320	0	0	12631
12	17970	18660	19870	13160	16376	16830	0	10500	10012	0	2700	12656
13	20465	17785	24470	15552	2730	15030	0	16710	14650	0	14936	14438
14	24280	16700	21480	16826	16820	22835	0	17321	0	0	15880	16946
15	16834	13510	21850	20120	17820	20020	0	17250	0	0	12310	15696
16	17756	18650	21980	16748	17656	17368	2500	16540	0	0	15660	16139
17	14160	17970	19160	0	18885	22310	15500	16540	0	0	17350	13737
18	16370	16890	14140	15540	16330	20356	26905	13785	0	0	14840	15365
19	16590	21020	17480	16110	17800	21665	18910	12760	0	13425	15270	16884
20	18350	20600	17355	18600	16376	19657	19595	7100	0	3520	15060	15459
21	17490	20550	16540	11140	2730	15490	15235	6000	3060	14660	14840	13858
22	16370	20290	18524	6015	16820	7170	23860	7000	21530	15577	15200	17143
23	12595	24425	17445	2110	17820	2600	19660	7040	13858	16380	14995	15078
24	13620	25580	18944	13610	17656	20330	15610	19675	12770	17725	14750	20118
25	0	21950	13745	20090	30810	15360	16190	16200	15190	17160	14755	18145
26	0	19526	14515	15000	18030	14840	13450	19980	15110	15430	14400	16028
27	5080	17120	13570	16170	19700	16025	11400	16755	10990	660	3080	13055
28	13565	20820	20050	14100	18190	13530	12380	18740	13970	17230	14410	17698
29	18755		16800	4120	11960	17550	15880	22080	6120	16805	14220	
30	5000		16000	6750	20685	18370	16750	23510	0	15695	16520	
31	17840		16500		15910	15850	10660		0		17980	

Tableau n°7 : la production journalière en mètre De la machine CV LINE

La dernière colonne **MJP** représente la moyenne générale de la production durant un jour. Maintenant on va présenter la moyenne de production journalière dans la figure suivant :

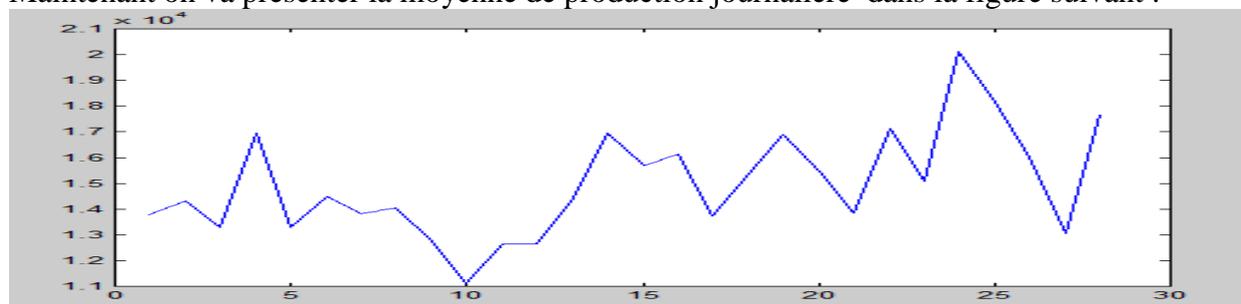


Figure n°7: la moyenne de la production journalière de la machine CV line

Puisque la machine CV LINE a besoin de trois interventions préventives durant un mois donc on a besoin de trois jours de maintenance.

Nous remarquons que la production atteint son minimum aux jours 10, 11, et 12 de chaque mois. Pour cela, il faut planifier la maintenance à ces jours la.

Maintenant on va passer au cas de la machine CDT 1250 :

### Cas de CDT 1250 :

On va représenter dans le tableau suivant la production journalière en mètre de la machine CDT 1250 de quelques mois de l'année 2013 et on va aussi présenter la moyenne de production journalière en mètre.

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	sept	Oct.	Nov.	Déc.	MJP
1	197000	130000	95000	314500	230000	32000	181000	172000	0	240000	72000	160000	182350
2	200200	82000	192000	259000	169500	311000	222000	283500	48000	280000	124500	168800	234050
3	300000	119000	87000	132000	185000	305000	239000	230500	70000	215600	123700	152500	215930
4	203000	67000	266000	236000	135000	202000	226000	137000	164000	159000	164500	231000	219050
5	200000	78000	216000	108000	169000	101000	55000	162000	155000	63000	226000	226000	175900
6	0	159500	239000	98000	184500	172000	138000	76000	162000	118000	185000	76000	160800
7	177000	223000	168000	262500	94000	76000	215500	0	141000	77400	72000	279900	178630
8	160700	109000	306000	339000	213400	251300	145400	0	327000	233500	167000	211000	246330
9	152000	156000	205000	200200	70500	248900	88000	0	40000	96900	216000	132000	160550
10	102000	0	297000	185000	98000	296000	211500	0	120000	172700	246000	0	172820
11	0	0	108000	172000	105000	276600	206400	0	214000	223500	85000	16000	140650
12	0	81000	320000	162000	321000	225000	237500	0	263000	254000	0	163000	202650
13	0	152000	110000	157500	186500	169000	61100	0	360000	108000	183000	137000	162410
14	0	132000	219000	212500	123500	269000	93800	0	238000	14000	83000	143000	152780
15	140000	166000	203000	127500	177000	256000	117100	48000	196000	64000	217500	231000	194310
16	133000	167000	185000	196500	169000	65300	0	57000	0	37000	81000	146000	123680
17	142000	149400	152000	197000	123000	117000	383000	52000	77500	37000	222000	268000	191990
18	189000	239000	264000	199000	177000	2000	155000	133000	62500	280000	189600	200000	209010
19	285000	230000	348000	162500	169000	0	174000	171000	231400	145000	170000	227000	231290
20	232000	84000	200000	152900	252000	144500	100500	227000	139600	126000	106500	204000	196900
21	141000	0	334000	255400	70000	152000	199000	134000	76000	239000	122000	266500	198890
22	20000	42000	290000	245000	242000	152000	156000	0	84000	195300	0	226500	165280
23	182000	0	237000	220000	136000	139000	228000	111400	170000	82800	164000	117500	178770
24	284010	58000	143000	202100	67000	138000	146000	145000	22500	110000	97000	112000	152461
25	246016	184400	283000	390000	163000	133000	257000	168000	83000	0	0	181000	208841
26	119000	266000	249000	287500	273000	150000	71000	62000	254000	0	0	182200	191370
27	141000	272000	352000	50000	312000	171000	164000	356	214000	0	67000	159300	190265
28	17000	147000	282002	171500	217000	172000	139000	296000	214600	0	303000	212000	217110
29	35000		198000	155000	299000	0	258000	270000	175600	0	7800	124500	
30	55000		322000	314000	185000	65400	120000	197000	199000	103000	133524	99000	
31	20000		213000		184000		202400	36000		111000		110000	

Tableau n° 8: la production journalière en mètre De la machine CDT 1250

La machine CDT 1250 nécessite une intervention préventive par mois, pour trouver le jour où la production atteint le minimum, on va présenter la moyenne journalière de production dans la figure suivante :

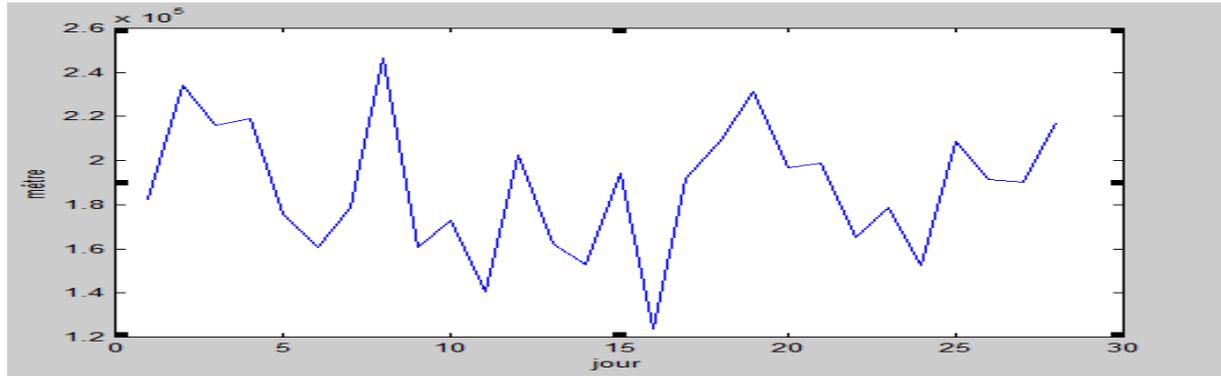


Figure n° 8: la moyenne de la production journalière de la machine CDT 1250

Nous remarquons que la production atteint le minimum au jour 16, donc pour chaque mois de l'année il faut planifier la maintenance de la machine CDT 1250 à ce jour là.

**Cas du RL 1600 :**

Dans le tableau suivant nous allons présenter la production journalière de la machine RL 1600 en mètre ainsi que la moyenne de production journalière :

	Janvier	Février	mars	Avril	Mai	Juin	Oct.	Nov.	Déc.	MJP
1	26815	21000	20910	0	48745	35800	15000	17850	32500	22521
2	18099	34157	25050	2800	41277	35640	19060	8400	22100	20708
3	23624	22295	7516	16522	34550	20500	37000	0	27718	19024
4	23716	30340	0	50054	35000	10400	21000	13500	26400	23707
5	25770	45920	3100	42679	35497	16800	58762	12000	8500	26133
6	30233	41851	10420	25709	51492	16844	44300	44760	14000	29418
7	30807	33072	14670	24084	39563	48000	27663	57252	36485	31492
8	46431	26903	14630	43543	17688	34228	28507	37946	18925	29719
9	42775	18400	12980	31232	20700	47350	26270	48972	40000	30500
10	59000	53401	15520	45603	29600	34100	13400	38884	38652	33144
11	39000	41263	21300	28862	33000	11652	11000	27601	31859	23609
12	19000	32138	19870	34680	28649	20000	29000	19500	26682	22121
13	18628	34135	24470	33119	52000	57396	34351	31410	21130	31860
14	28507	27583	21480	31797	47595	36000	9389	14185	29030	25934
15	32900	32116	21850	31645	63195	27714	10052	21224	24627	26699
16	17362	33645	21980	12091	42300	33100	0	30177	21440	22192
17	7215	28200	19160	49860	40900	49400	0	23500	26494	25927
18	17007	33624	14140	52000	34800	37625	11961	34109	31212	28891
19	27277	27142	17480	29800	19434	35000	31500	29852	23000	26634
20	21900	42203	17355	26070	36000	27000	34600	27581	15336	27826
21	11951	38414	16540	38750	27804	45889	31884	27000	35586	29764
22	54783	29032	18524	28195	36400	34995	23900	36000	13100	30380
23	39586	35760	17445	43112	44000	34000	32468	40050	12084	34164
24	38732	41863	18944	31535	37475	14000	34610	0	32268	28531
25	0	36227	13745	43740	36269	41000	49000	23500	25118	32229
26	21065	29380	14515	38098	27111	28444	22082	34109	24172	28316
27	32500	24500	13570	31903	29724	30505	32185	29852	18000	26756
28	15451	30252	20050	36227	32000	28500	39000	27581	29950	27929
29	44807		16800	39768	34900	27000	24130	27000	28343	
30	19982		16000	36934	39400	21830	24955	36000	31633	
31	37805		16500		32136	35800	28500		23929	

Tableau n° 9 : la production journalière en mètre De la machine RL 1600

Maintenant on va chercher le jour où la production est minimale :

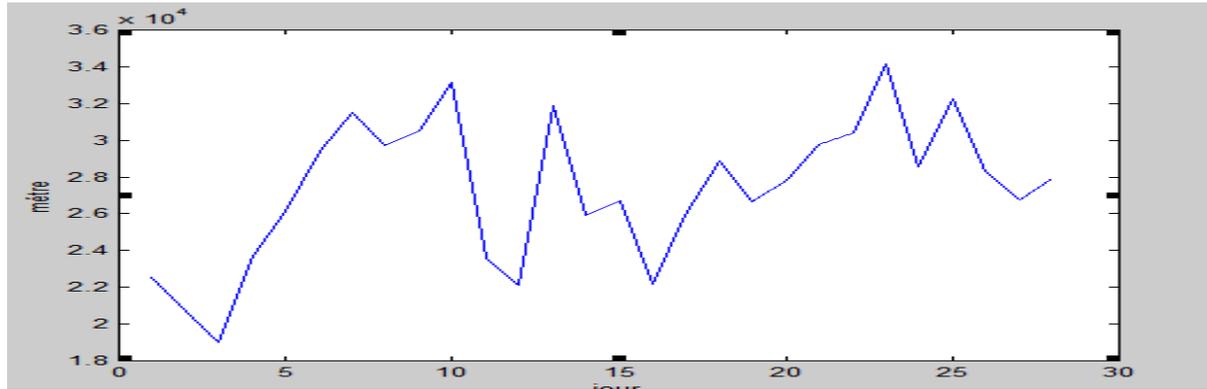


Figure n° 9 : la moyenne de la production journalière en mètre de la machine RL 1600  
 La figure montre que la production atteint le minimum au jour 3, pour cela on va planifier la maintenance préventive de cette machine à ce jour la.

On a trouvé précédemment le tableau n°6 qu'on va l'utiliser pour la création du diagramme de Gantt qu'on va l'utiliser aussi pour construire notre planning pour l'année 2015.

Avons de planifier ces tâches on donnera une présentation du logiciel GanttProject qu'on a utilisé pour planifier nos tâches.

**GanttProject** : permet la planification d'un projet à travers la réalisation d'un diagramme de Gantt. L'outil permet de créer des diagrammes de Gantt, des diagrammes de ressources et des réseaux PERT. Il convient de noter qu'en l'état actuel le logiciel ne permet pas de concevoir des tâches durant moins d'une journée.

Voici la liste des fonctionnalités principales du projet :

- liens multiples de précédences entre les tâches (prédécesseurs/successeurs) ;
- visualisation du chemin critique ;
- compatibilité avec Microsoft Project ;
- gestion des jours fériés et des vacances pour les ressources ;
- sauvegarde d'états du projet et comparaison ;
- support de plus de 20 langues.

Maintenant on va s'intéresser à la planification des tâches pour l'année 2015 :

**Mois 1/2015** : Dans cet exemple on a planifié M1 qui est composé de (RL630, M85AL1, CORTINOVIS4) au premier jour du mois janvier.

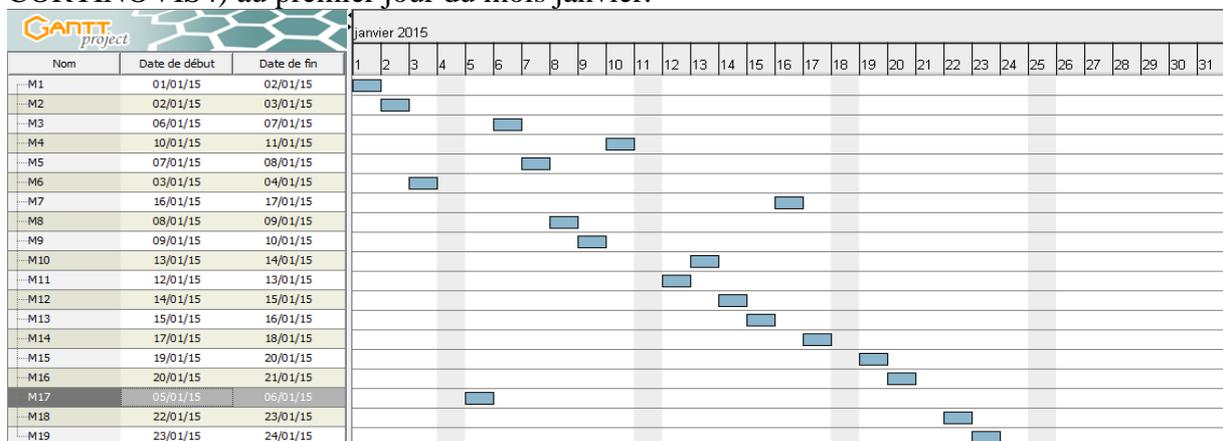


Figure n° 10:diagramme de Gantt pour le mois 1 /2015

Mois 2/2015 :

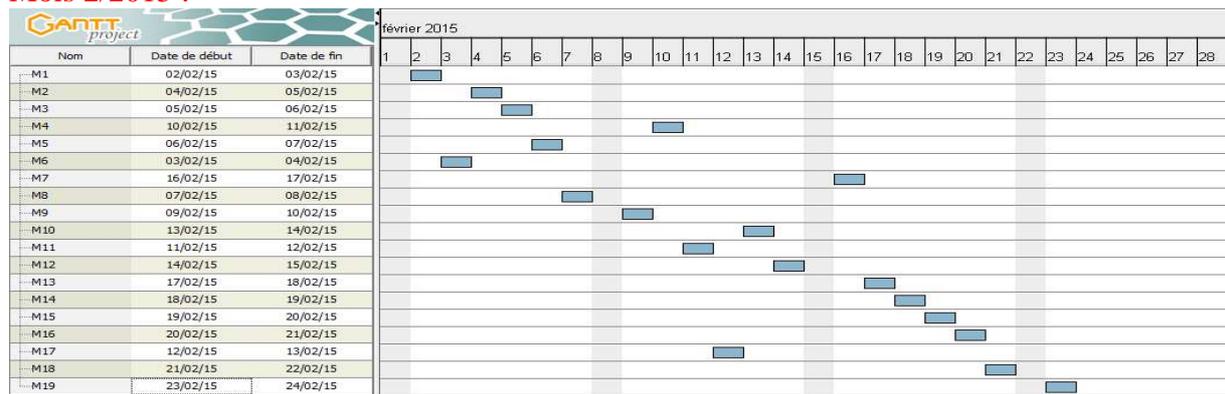


Figure n° 11:diagramme de Gantt pour le mois 2 /2015

Mois 3/2015 :

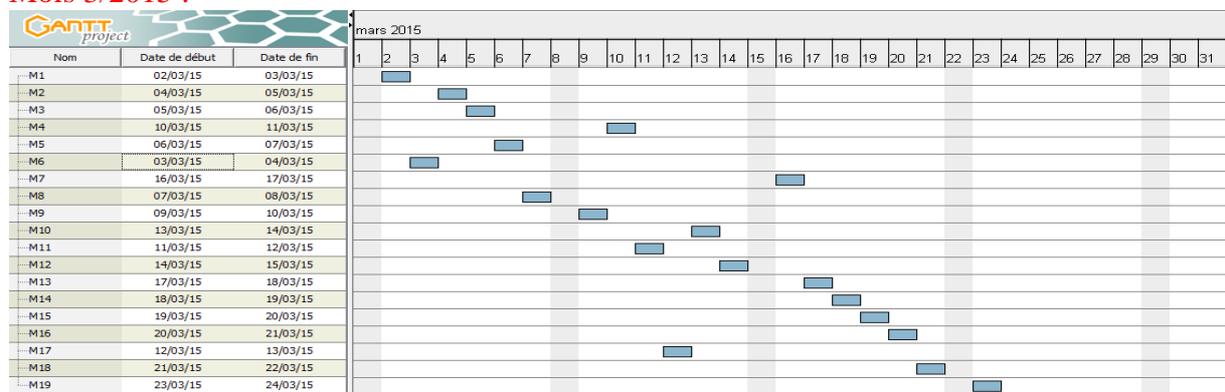


Figure n° 12:diagramme de Gantt pour le mois 3 /2015

Mois 4/2015 :

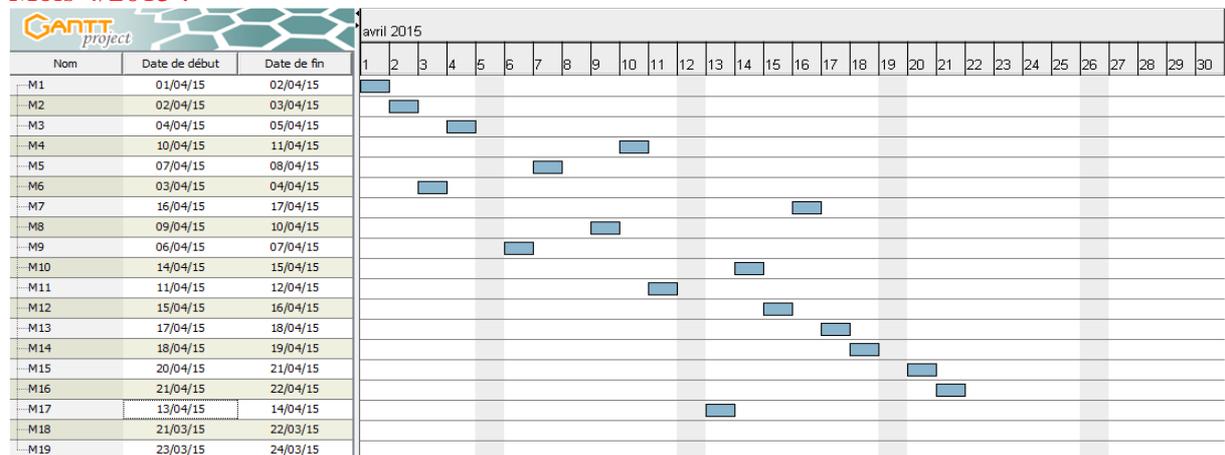


Figure n° 13:diagramme de Gantt pour le mois 4 /2015

Mois 5/2015 :

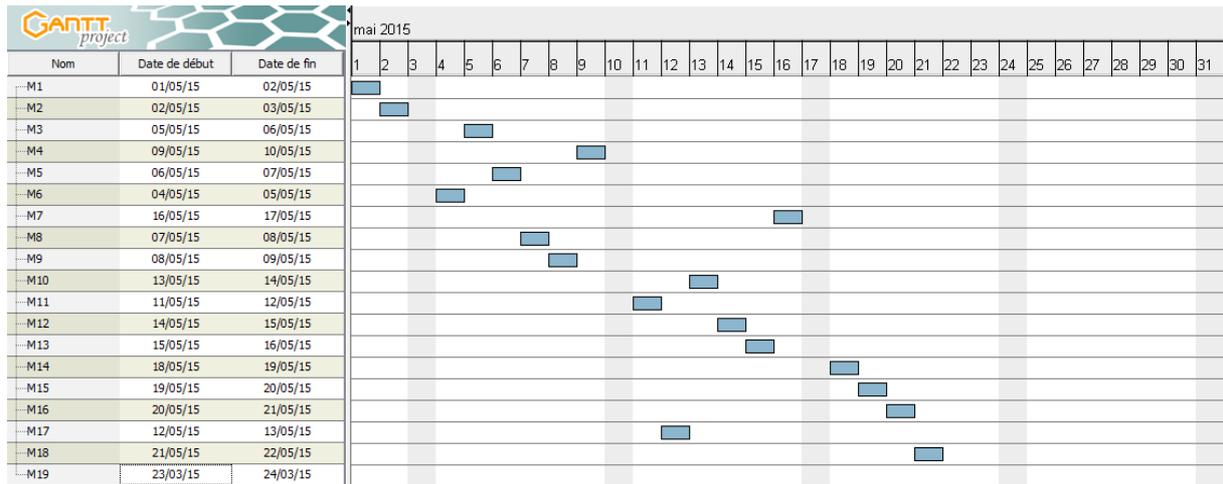


Figure n° 14:diagramme de Gantt pour le mois 5 /2015

Mois 6/2015 :

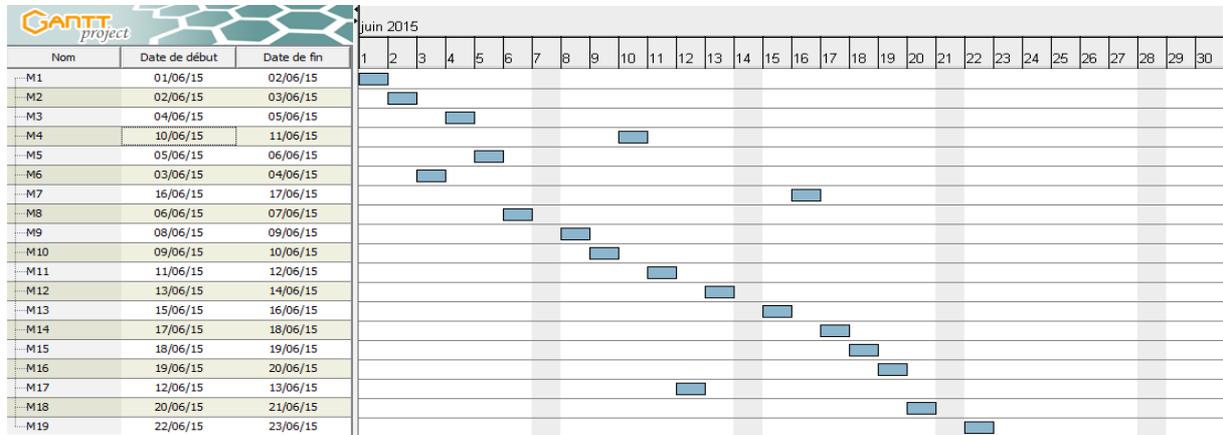


Figure n° 15:diagramme de Gantt pour le mois 6 /2015

Mois 7/2015 :

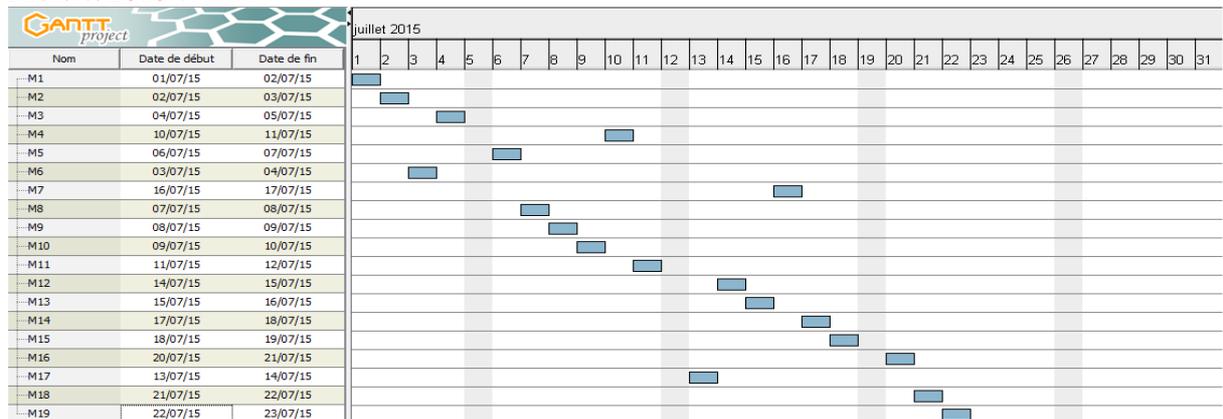


Figure n° 16:diagramme de Gantt pour le mois 7 /2015

Mois 8/2015 :

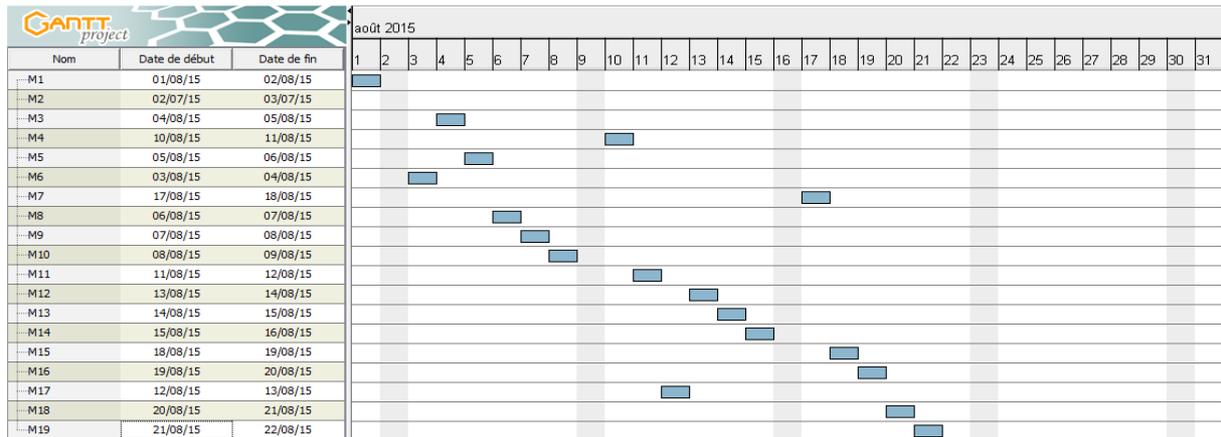


Figure n° 17:diagramme de Gantt pour le mois 8 /2015

Mois 9/2015 :

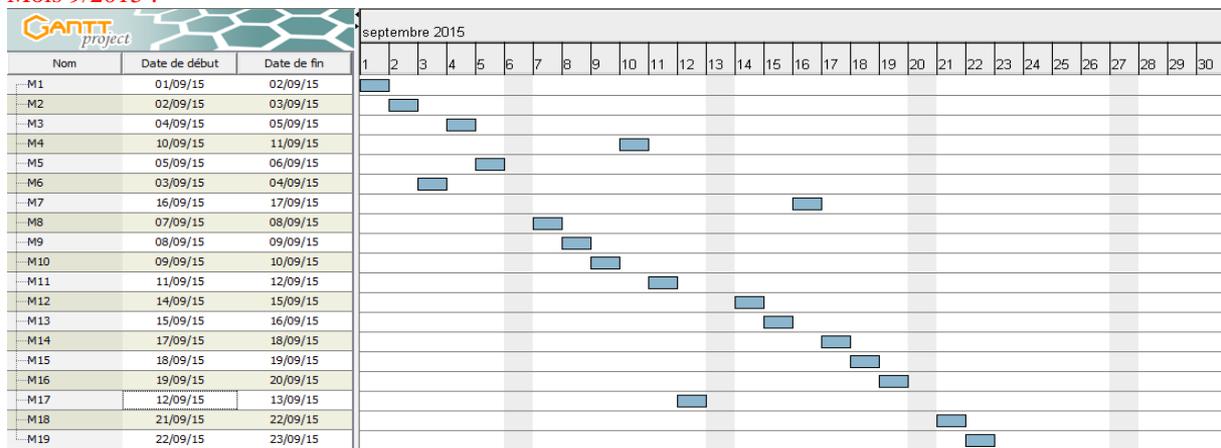


Figure n° 18:diagramme de Gantt pour le mois 9 /2015

Mois 10/2015 :

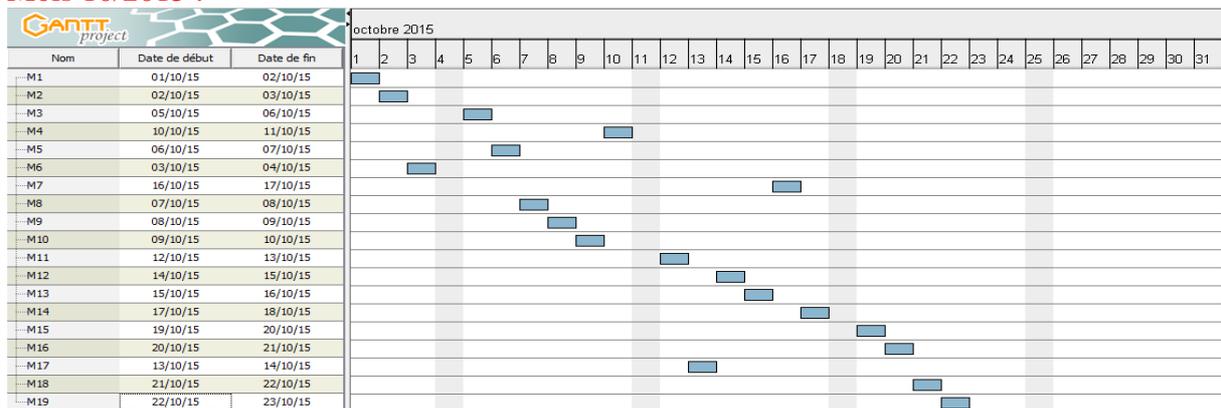


Figure n° 19:diagramme de Gantt pour le mois 10/2015

## Mois 11/2015 :

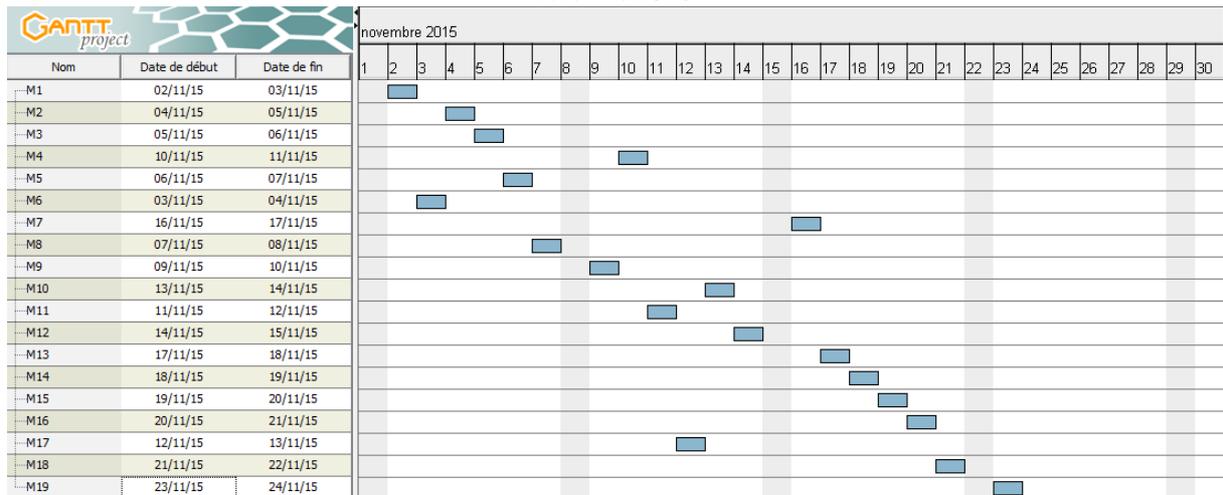


Figure n° 20:diagramme de Gantt pour le mois 11 /2015

## Mois 12/2015 :

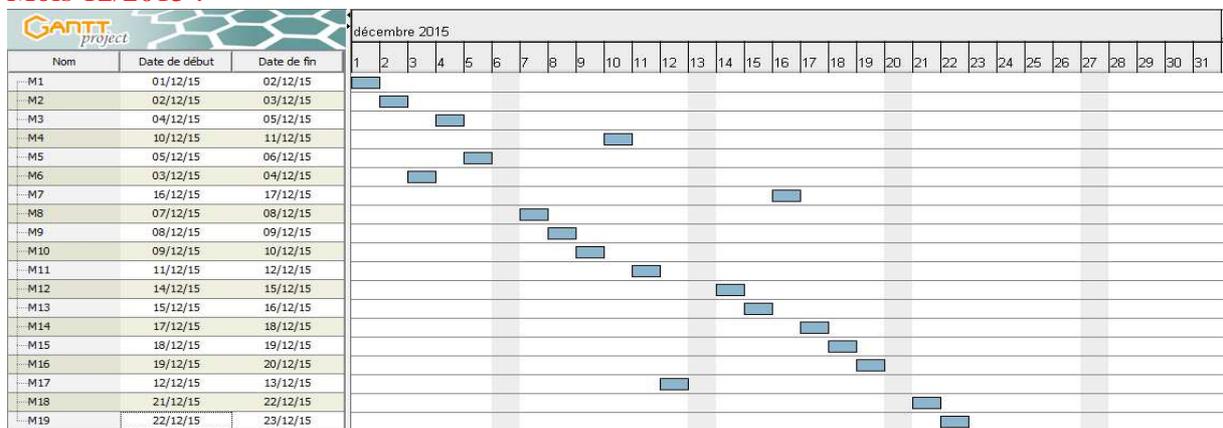


Figure n° 21:diagramme de Gantt pour le mois 12 /2015

## CONCLUSION :

Dans le cadre de ma formation et de la préparation de ma **licence en calcul scientifique & applications** j'ai effectué un stage d'une durée de 2 mois dans le milieu industriel.

Ce stage m'a permis non seulement de mettre en œuvre les connaissances acquises au profit de l'entreprise, mais encore de découvrir une entreprise, ses problèmes et de tester mes capacités d'adaptation et de communication.

Ce rapport présente dans un premier temps, le groupe **INGELEC**, la société **IMACAB** et puis un rapport d'activité décrivant le programme de mon stage.

En effet, en plus de l'enrichissement professionnel lié au stage proprement dit, la vie quotidienne au sein de l'entreprise m'a également permis d'acquérir un enrichissement tant sur le plan culturel que social.

Enfin, je tiens à exprimer ma reconnaissance et ma profonde gratitude à tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce travail.

## **BIBLIOGRAPHIE :**

- [1] A. EL HILALI ALAOUI, F. EL KHOUKHI et G. BENCHEIKH : Initiation à la Recherche Opérationnelle, Edition Post – Modernité, 2009.
- [2] A. ABOUSSALIM, M. MEDIOUNI: Algorithme d'aides à la décision pour Optimiser l'Ordonnancement des tâches de maintenance en temps-réel, inria-00493379, 2008.
- [3] F. EL KHOUKHI : Métaheuristiques hybrides pour résoudre des problèmes d'ordonnancement de type Job Shop, Thèse de Doctorat de l'Université Sidi Mohammed Ben Abdellah Fès Maroc et de l'Université du Havre France, 2009.
- [4] M. François : Contribution à l'ordonnancement des activités de maintenance sous contrainte de compétence : une approche dynamique, proactive et multicritère, Thèse de Doctorat de l'Université de Franche Comté, 2007.
- [5] M. SABAR : une approche à base d'agents pour la planification et l'ordonnancement en temps réel de personnel dans un contexte de chaîne d'assemblage flexible, Thèse de Doctorat de la Faculté des études supérieures de l'Université Laval, 2008.
- [6] N. MOUHOUB : Algorithmes de construction de graphes dans les problèmes d'ordonnancement de projet, Thèse de Doctorat de l'Université Ferhat Abbas Algérie, 2011.

## **WEBOGRAPHIE :**

[www.planete-stg.com](http://www.planete-stg.com)  
<http://fr.wikipedia.org/wiki/GanttProject>  
<http://www.imacab.ma/site/d/home.xhtml>  
<http://www.ingelec.ma>  
<http://www.imacab.ma/site/d/sectList.xhtml>

## **Annexe 1**

### **Liste des tableaux**

*Tableau n°1* : Organisation D'IMACAB.

*Tableau n°2* : les données du problème.

*Tableau n°3* : Le diagramme de Gantt.

*Tableau n°4* : tableau des tâches.

*Tableau n°5* : classement des machines.

*Tableau n°6* : L'affectation des ressources à des tâches.

*Tableau n°7* : la production journalière en mètre De la machine CV LINE.

Tableau n° 8: la production journalière en mètre De la machine CDT 1250.

Tableau n° 9 : la production journalière en mètre De la machine RL 1600.

## **Annexe 2**

### **Liste des figures**

Figure 1: Organigramme D'IMACAB.

Figure 2: Processus de fabrication des câbles.

Figure n°3: La relation d'inclusion entre les classes d'ordonnement.

Figure n°4: Représentation graphique du réseau de PERT.

Figure n°5: PERT avec annotation MPM.

Figure n°6: PERT avec annotation AOA.

Figure n°7: la moyenne de la production journalière de la machine CV line.

Figure n° 8: la moyenne de la production journalière de la machine CDT 1250.

Figure n° 9 : la moyenne de la production journalière en mètre de la machine RL 1600.

Figure n° 10:diagramme de Gantt pour le mois 1 /2015.

Figure n° 11:diagramme de Gantt pour le mois 2 /2015.

Figure n° 12:diagramme de Gantt pour le mois 3 /2015.

Figure n° 13:diagramme de Gantt pour le mois 4 /2015.

Figure n° 14:diagramme de Gantt pour le mois 5 /2015.

Figure n° 15:diagramme de Gantt pour le mois 6 /2015.

Figure n° 16:diagramme de Gantt pour le mois 7 /2015.

Figure n° 17:diagramme de Gantt pour le mois 8 /2015.

Figure n° 18:diagramme de Gantt pour le mois 9 /2015.

Figure n° 19:diagramme de Gantt pour le mois 10/2015.

Figure n° 20:diagramme de Gantt pour le mois 11 /2015.

Figure n° 21:diagramme de Gantt pour le mois 12 /2015.