

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

**MÉMOIRE PRÉSENTÉ À
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES**

**COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN GÉNIE INDUSTRIEL
(CONCENTRATION EN PRODUCTIQUE)**

**PAR
MARIE-FRANCE LORTIE**

**ÉQUILIBRAGE DE CHAÎNE D'ASSEMBLAGE
ÉTUDE DE CAS DANS L'INDUSTRIE AÉRONAUTIQUE**

DÉCEMBRE 2007

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

RÉSUMÉ

L'équilibrage de chaîne de montage tient sa source des années 1930 avec l'arrivée de l'industrie automobile. En constante évolution, ce mode de fabrication a étendu son horizon à plusieurs types de produits en plus d'intégrer un grand nombre de contraintes manufacturières dans le but de simuler la réalité des entreprises. Ce travail de recherche comporte deux objectifs. Le premier a pour but d'effectuer la recension des écrits sur le sujet des méthodes de résolution de l'équilibrage des lignes d'assemblage. Ensuite, ce travail tente d'établir le gain que peut représenter l'utilisation des procédures mathématiques en comparaison à l'élaboration intuitive d'une chaîne d'assemblage. Une étude réalisée dans les années 1970 démontre que seulement 5 % des entreprises interviewées utilisaient des méthodes publiées. Il s'agit donc aussi du cas de « Les Industries Aéronautiques Symphony » qui ne fait pas exception à la règle et qui sera à l'étude. Ainsi, la cueillette de données a permis de soumettre la configuration de la ligne d'assemblage actuelle et d'en mesurer la performance avec l'utilisation d'heuristiques. Les procédures choisies proviennent de Tonge (Candidat le plus grand), Kilbridge et Wester (Règle des colonnes), Helgeson et Bernie (Poids positionnel) et d'Arcus (COMSOAL). Les tests effectués ont démontré que l'heuristique du poids positionnel présente des résultats supérieurs pour le taux d'efficacité, pour l'homogénéité de la distribution des tâches entre les postes et de la distribution des compétences requises pour les réaliser. D'ailleurs, l'ajout de contraintes de compétences et l'utilisation des sous assemblage ne permettent pas d'obtenir de meilleurs résultats étant donné que le nouveau modèle restreint l'horizon de solution puisque les taux d'efficacité sont inférieurs à ceux obtenus précédemment.

REMERCIEMENTS

J'aimerais remercier chaleureusement mes professeurs Georges Abdul-Nour et Jocelyn Drolet pour l'opportunité de réaliser cette étape importante de mon cheminement académique. Un merci particulier au personnel de l'Institut de Recherche sur les PME particulièrement à M. Pierre-André Julien et M. Richard Lachance pour leurs encouragements et leurs soutiens dans ce cheminement.

Finalement, j'aimerais formuler mes sincères remerciements à la direction ainsi qu'aux employés de Les Industries Aéronautiques Symphony de m'avoir accordé leur confiance dans la réalisation de ce projet et de m'avoir permis de recueillir la précieuse information pour la réalisation de ce projet.

Ce projet n'aurait pu se concrétiser sans l'appui financier de la chaire de recherche Bell pour des PME de *classe mondiale*.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	i
REMERCIEMENTS.....	ii
TABLE DES MATIÈRES	iii
LISTE DES TABLEAUX	vi
LISTE DES FIGURES	vii
LISTE DES ABRÉVIATIONS ET SYMBOLES	viii
INTRODUCTION.....	1
Chapitre 1 Conceptualisation du problème de recherche	3
1.1 <i>La problématique.....</i>	3
1.2 <i>But de l'étude.....</i>	4
1.3 <i>Objectifs de l'étude.....</i>	4
1.4 <i>Questions de recherche.....</i>	5
1.5 <i>Hypothèses de recherche.....</i>	6
Chapitre 2 État des connaissances	7
2.1 <i>Ce qu'est l'équilibrage de ligne d'assemblage.....</i>	7
2.1.1 <i>Quelques définitions.....</i>	8
2.2 <i>Caractéristiques de bases</i>	12
2.2.1 <i>Caractéristique du modèle de chaîne d'assemblage</i>	13
2.2.2 <i>Caractéristiques d'incrémentations.....</i>	15
2.2.3 <i>Caractéristique des temps élémentaires</i>	16
2.3 <i>Contraintes manufacturières</i>	17
2.3.1 <i>Disponibilité des ressources (équipements, humaines)</i>	17
2.3.2 <i>Assignation des tâches (zone, compatibilité).....</i>	18
2.3.3 <i>Aménagement de l'usine</i>	18

Chapitre 3	L'équilibrage de ligne d'assemblage pour un modèle simple.....	20
3.1	<i>Le problème simple d'équilibrage de ligne d'assemblage.....</i>	<i>20</i>
3.1.1	SALBP-F.....	21
3.1.2	SALBP-1.....	23
3.1.3	SALBP-2.....	26
3.1.4	SALBP-E.....	28
3.2	<i>Indicateurs de performance.....</i>	<i>29</i>
3.2.1	Mesure de la complexité d'un problème d'équilibrage.....	29
3.2.2	Mesure de la qualité de l'équilibrage.....	31
3.3	<i>Procédures de résolution du SALBP.....</i>	<i>32</i>
3.3.1	Modèles simples à variables déterministes.....	35
3.3.2	Modèles simples à variables stochastiques.....	38
3.3.3	Modèles mixtes/multiples à variables déterministes.....	39
3.4	<i>Choix des heuristiques.....</i>	<i>41</i>
3.4.1	Formulation du candidat le plus grand.....	41
3.4.2	Formulation du poids positionnel.....	42
3.4.3	Formulation de Kilbridge et Wester.....	43
3.4.4	Formulation de COMSOAL.....	45
Chapitre 4	Modélisation	47
4.1	<i>Description de la situation actuelle.....</i>	<i>47</i>
4.2	<i>Configuration de la ligne d'assemblage actuelle</i>	<i>48</i>
4.3	<i>Méthodologie.....</i>	<i>51</i>
4.4	<i>Élaboration du diagramme de préséance.....</i>	<i>52</i>
4.5	<i>Définition de la base de données</i>	<i>54</i>
4.6	<i>Description des essais effectués.....</i>	<i>57</i>
Chapitre 5	Description et analyse des résultats	61
5.1	<i>Test 1 : Comparaison du modèle de base avec la situation actuelle</i>	<i>61</i>
5.2	<i>Test 2 : Optimisation du temps de cycle actuel.....</i>	<i>65</i>
5.3	<i>Test 3 : Réduction du modèle de base par l'utilisation de sous assemblage</i>	<i>68</i>

5.4	<i>Test 4 : Optimisation du temps de cycle du modèle réduit</i>	70
5.4.1	<i>Ligne parallèle d'alimentation pour la fabrication des sous assemblages</i>	72
5.5	<i>Test 5 : Réduction du modèle de base par le regroupement des compétences</i>	73
5.6	<i>Test 6 : Utilisation d'un modèle réduit et regroupé selon les compétences.....</i>	76
5.7	<i>Test 7 : Projection future pour l'augmentation du taux de production</i>	78
Chapitre 6	Discussion des résultats	82
6.1	<i>Comparaison et choix de la meilleure heuristique</i>	82
6.2	<i>Comparaison et choix de la meilleure solution</i>	83
CONCLUSION ET PERSPECTIVES		87
BIBLIOGRAPHIE		89
ANNEXE 1 : Liste des éléments de travail (modèle de base)		A-1
ANNEXE 2 : Représentation graphique de la base de données		A-2
ANNEXE 3 : Exemple d'un cahier des charges (modèle sans contraintes).....		A-3
ANNEXE 4 : Solution du modèle regroupé (24 nœuds).....		A-4
ANNEXE 5 : Diagramme de préséance du modèle réduit regroupé (15 nœuds).....		A-5

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Catégorie de problèmes SALBP	21
Tableau 2 : Résumé des principales heuristiques pour le modèle simple déterministe	36
Tableau 3 : Description des postes de travail de la situation actuelle	50
Tableau 4 : Modèle regroupé selon contraintes de compétence et de zonage	58
Tableau 5 : Description sommaire des tests effectués	60
Tableau 6 : Équilibrage pour le modèle de base avec $T_c=85$ hrs	62
Tableau 7 : Nombre d'éléments de travail par poste pour le test 1	63
Tableau 8 : Nombre de groupes de classe nécessaire par poste	64
Tableau 9 : Optimisation du temps de cycle du modèle de base avec $m = 7$	66
Tableau 10 : Nombre d'éléments de travail par poste pour le test 2	67
Tableau 11 : Répartition des compétences pour le test 2	67
Tableau 12 : Équilibrage pour le modèle réduit avec $T_c=85$ h	69
Tableau 13 : Nombre de tâches par postes de travail pour le test 3	69
Tableau 14 : Répartition des compétences pour le test 3	69
Tableau 15 : Optimisation du modèle réduit avec $m = 6$	71
Tableau 16 : Nombre de tâches par postes de travail pour le test 4	72
Tableau 17 : Répartition des compétences pour le test 4	72
Tableau 18 : Équilibrage pour le modèle regroupé avec $T_c=95, 5$ h	75
Tableau 19 : Nombre de tâches par postes de travail pour le test 5	75
Tableau 20 : Répartition des compétences pour le test 5	76
Tableau 21 : Équilibrage pour le modèle réduit regroupé avec $T_c=95, 5$ h	77
Tableau 22 : Nombre de postes projetés pour un temps de cycle de 15 heures	79
Tableau 23 : Comparaison des résultats	83

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Caractéristiques de base d'une ligne d'assemblage	12
Figure 2 : Représentation de type de ligne	13
Figure 3 : Arborescence des méthodes de résolutions du SALBP	35
Figure 4 : Morphologie d'un avion de tourisme	53
Figure 5 : Diagramme de préséance de la solution à 15 nœuds	77

LISTE DES ABRÉVIATIONS ET SYMBOLES

A	Ensemble des liens de préséance pour un élément de travail
B_k	Ensemble des éléments de travail potentiellement assignable à un poste
c	Temps de cycle
D	Délai d'attente entre le temps de réalisation et le temps de cycle
Eff	Taux d'efficacité de la ligne
E_j	Poste au plus tôt pour l'élément j
IAS	Les Industries Aéronautiques Symphony inc.
F_j^*	Ensemble formé des successeurs immédiats à l'élément j
LB_n	Limite inférieure pour le cas SALBP-1
LC_n	Limite inférieure pour le cas SALBP-2
L_j	Poste au plus tard pour l'élément j
m	Nombre de postes de travail $\{1, \dots, k\}$
n	Nombre d'éléments de travail $\{1, \dots, j\}$
O.S.	Mesure de performance « Order Strenght »
P_j^*	Ensemble formé des prédécesseurs immédiats à l'élément j
SALBP	Simple assembly line balancing problem
SALBP-1	Type 1 du SALBP où la variable dépendante est le nombre de postes
SALBP-2	Type 2 du SALBP où la variable dépendante est le temps de cycle
SALBP-E	Résolution du problème en fonction de l'efficacité de la ligne d'assemblage
SALBP-F	Résolution du problème en fonction de la faisabilité

Sl_j	Intervalle des postes au plus tôt et au tard pour l'élément j
S_k	Ensemble des éléments de travail assignés au poste k
$S_{\max}$	Poste ayant le plus long temps de réalisation
$t(S_k)$	Somme des temps des éléments de travail faisant partie du poste k
T_{inactif}	Taux d'inactivité d'un poste de travail
t_j	Temps de réalisation d'un élément de travail
$t_{\max}$	Élément de travail ayant le plus long temps de réalisation
$t_{\min}$	Élément de travail ayant le plus petit temps de réalisation
t_{sum}	Somme de tous les temps élémentaires du problème $= \sum_{j=1}^N t_j$
UB_n	Limite supérieure associée au problème SALBP-1
UC_n	Limite supérieure associée au problème SALBP-2
V	Ensemble des éléments de travail $\{1, \dots, n\}$
W.R.	Mesure de performance « West Ratio »

INTRODUCTION

Le grand défi du nouveau millénaire est certainement l'augmentation de la productivité. Avec l'émergence des pays asiatiques, l'industrie nord-américaine est menacée de toute part. Le concept de fabrication en ligne d'assemblage tient sa source de l'industrie américaine de l'automobile et s'applique maintenant aussi aux domaines de l'alimentation, de l'informatique et plus généralement aux transports. Ainsi, c'est en divisant les tâches et en multipliant les postes de travail à la chaîne qu'une cadence de production peut être donnée. Afin de maintenir cette cadence, le problème de l'équilibrage de la ligne d'assemblage prend sa source. Pour chaque poste de travail, la tâche se doit d'être équivalant aux postes en amont et en aval pour assurer un travail régulier et donc une production constante. Depuis près de cinquante ans, des chercheurs et mathématiciens tentent de trouver différentes méthodes afin d'équilibrer le travail à chacun des postes et de tendre vers une solution optimale qui minimise les temps perdus accumulés au fil de la chaîne d'assemblage.

Différentes approches seront donc abordées afin de trouver la meilleure solution plausible à un problème industriel. Ainsi, l'approche classique avec l'utilisation des liens de préséance sert de base à l'étude, mais aussi une approche de type modulaire qui a pour effet de faciliter l'assemblage et d'augmenter la fiabilité. Généralement, l'utilisation des lignes d'assemblage se retrouve dans la production de masse, mais s'applique aussi très bien au cas présent où la qualité, la productivité, la standardisation du travail et la haute spécialisation du personnel sont des paramètres importants dans la construction du produit.

Du fait que cette recherche s'applique à une étude de cas spécifique, les principaux utilisateurs seront bien entendu l'entreprise Les Industries Aéronautiques Symphony. De plus, il est possible que ce travail permette à d'autres entreprises en démarrage d'utiliser ce même modèle ou du moins d'y trouver des pistes de solutions à leurs problématiques. Par ailleurs, cette recherche contribuera à la communauté universitaire puisqu'elle pourra enrichir la revue littéraire sur ce sujet.

Dans le cadre de ce travail de recherche, ce dernier est composé de six chapitres. Le premier chapitre expose la conceptualisation du problème de recherche. Tandis que le deuxième chapitre fait la recension des écrits au sujet des caractéristiques générales de chaîne de montage, le troisième chapitre élabore sur les méthodes de résolution de problème et des indicateurs de performance. Le chapitre 4 expose la modélisation de l'étude de cas tant pour les contraintes au modèle que pour la méthodologie utilisée dans ce travail de recherche. Le chapitre 5, quant à lui, fait état des résultats obtenus lors des tests effectués sur les modèles et le chapitre 6 discute de la validité de ces résultats. Enfin, ce travail se conclut avec des recommandations à l'entreprise et les perspectives futures dans ce domaine de recherche.

CHAPITRE 1 CONCEPTUALISATION DU PROBLÈME DE

RECHERCHE

1.1 La problématique

Le sujet de ce travail de recherche porte sur l'équilibrage de ligne d'assemblage en faisant appel à une étude de cas du domaine de l'aéronautique. Les Industries Aéronautiques Symphony (IAS) est une jeune entreprise de la région de Trois-Rivières qui fabrique des petits avions biplaces principalement dédiés aux écoles de pilotage ou à une clientèle privée. Afin de répondre à la demande, l'entreprise doit améliorer sa productivité en augmentant la cadence de production de l'usine. Le type d'assemblage se fait déjà selon un modèle de ligne d'assemblage réparti dans l'usine en position de travail et divisée en poste de travail. Actuellement, le délai de fabrication d'un avion est d'environ dix (10) jours. L'objectif ultime visé par la compagnie serait un délai de fabrication de deux (2) jours. Il s'agit donc d'obtenir 80 % d'amélioration par rapport à la situation actuelle. Cependant, les dirigeants sont conscients qu'une telle amélioration nécessiterait des investissements importants et ont évalué qu'une amélioration de 50 % du temps de cycle actuel serait une première étape à franchir.

À partir de la prémisse que l'équilibrage actuel de la chaîne de montage a été réalisé manuellement et en fonction des connaissances des personnes clés de l'entreprise, ceci crée l'opportunité de réaliser ce travail de recherche afin de comparer la performance du système actuel avec l'utilisation d'une méthode dite reconnue. Ceci aura aussi pour effet la proposition d'une nouvelle répartition des tâches et d'un nouveau standard de production.

1.2 But de l'étude

Le but de ce travail de recherche permettra à IAS d'améliorer sa productivité et donc sa compétitivité par rapport à la concurrence dans un domaine de pointe qu'est la construction aéronautique. En suggérant un modèle amélioré d'équilibrage de la chaîne de montage actuelle, la compagnie sera en mesure d'établir une cadence de production appropriée à la demande en optimisant le nombre de postes de travail.

Les entreprises qui utilisent la chaîne d'assemblage comme moyen de production doivent faire face à l'augmentation de la flexibilité de production et la réduction des gaspillages. Ainsi, l'utilisation d'une méthode d'équilibrage de ligne d'assemblage leur permettra de fixer des objectifs afin de réduire les temps de cycles et de simuler les différentes possibilités qu'aura l'ajout d'options ou de composants sur le produit déjà en marché. Cette recherche permettra aussi de constater l'importance de l'utilisation d'une méthode d'équilibrage par opposition à l'élaboration intuitive d'une ligne d'assemblage. De plus, ce qui motive la résolution d'une telle problématique est la taille de ce problème puisque jusqu'à maintenant, il est toujours rare de retrouver dans la littérature des exemples industriels d'une aussi grande dimension et donc aussi complexes.

1.3 Objectifs de l'étude

Les objectifs intermédiaires permettant l'atteinte du but principal sont les suivants :

- Établir le diagramme de préséance des activités d'assemblage du modèle SA160A;
- Évaluer l'efficacité de la ligne d'assemblage actuelle;
- Proposer une séquence d'assemblage améliorée avec le nombre de postes de travail ainsi que le temps de cycle optimal;

1.4 Questions de recherche

Question principale :

Quelle serait la séquence d'assemblage optimale pour Les Industries Aéronautiques Symphony permettant une amélioration de l'efficacité de la ligne d'assemblage d'au moins 50 % par rapport à la situation actuelle?

Question subséquente N°1 : Comment réalise-t-on les étapes préliminaires à un équilibrage et quelles sont les informations nécessaires à cette opération.

Question subséquente N°2 : Quelles sont les différences ou similitudes entre le taux d'efficacité de la situation actuelle et les résultats obtenus d'une méthode éprouvée?

Question subséquente N°3 : Quel serait le nombre de postes de travail optimal répondant aux contraintes de l'entreprise afin de respecter la cadence de travail actuelle?

Question subséquente N°4 : Quelles devraient être les modifications à apporter à la situation actuelle de l'entreprise afin de permettre l'implantation de la solution retenue?

1.5 Hypothèses de recherche

Hypothèse 1 : L'utilisation d'un modèle théorique (heuristique ou algorithme) va permettre d'améliorer la situation actuelle de l'équilibrage de la ligne d'assemblage de l'entreprise IAS.

Hypothèse 2 : L'ajout de contraintes au modèle de base impose des limites dans la recherche de la solution optimale. Dans certains cas, les contraintes peuvent même détériorer la situation actuelle.

CHAPITRE 2 ÉTAT DES CONNAISSANCES

Ce chapitre a pour objectif de présenter les différents concepts entourant l'équilibrage de ligne d'assemblage à travers la recension des écrits sur le sujet. Ainsi, la première partie consiste à définir ce qu'est une ligne d'assemblage ainsi que sa formulation mathématique. La seconde partie présente les différentes méthodes de résolution des problèmes d'équilibrage. Enfin, la troisième partie porte une attention particulière sur le choix des méthodes qui serviront à l'étude de cas détaillée dans le troisième chapitre.

2.1 Ce qu'est l'équilibrage de ligne d'assemblage

Grandement utilisée dans la production de masse, la ligne d'assemblage tient sa source des industries Ford au début du 19^e siècle. Depuis ce temps, ce sujet a été couvert par bon nombre de chercheurs sous différents aspects, dont l'ordonnancement des modèles, la planification de tâches, mais aussi du point de vue des coûts ou des profits réalisés selon ce type d'aménagement manufacturier. D'un point de vue mathématique, le problème de l'équilibrage de ligne d'assemblage en est un de type NP-complet puisqu'il existe $m!$ séquences d'opérations possible (Baybars, 1986). Il s'agit aussi de programmation linéaire en nombre entier dont plusieurs chercheurs ont essayé et essaie toujours d'arriver à une méthode donnant une solution optimale au problème posé. Comme l'ont souligné (Bhattacharjee et Sahu, 1988) dans leur article, Salveson en 1955, a été le premier auteur à publier une formulation mathématique en nombre entier permettant l'équilibrage d'une ligne d'assemblage. Les auteurs (Becker et Scholl, 2006) dans leur ouvrage définissent le modèle classique selon les points suivants :

- Production de masse d'un produit unique et homogène;
- Procédé de fabrication unique;
- Ligne cadencée avec un temps de cycle fixe;
- Temps élémentaires déterministes;
- Aucune contrainte manufacturière sauf celles de préséance;
- Aménagement des postes de travail en ligne;
- Tous les postes de travail sont équipés en fonction des machines et des besoins des employés;
- L'objectif est de maximiser l'efficacité de la ligne.

Un aménagement en ligne d'assemblage revêt les qualités suivantes malgré la formulation simpliste du modèle de base par rapport à la réalité des opérations manufacturières, soit :

- Production de grandes quantités de produits standardisés à coût minimum;
- Efficacité du flux de production à l'intérieur de l'usine;
- Requièrent des employés peu spécialisés et rapidités de l'apprentissage des tâches répétitives;
- Augmentation de la productivité;
- Moins d'accumulation de travail en-cours;
- Décentralisation des postes d'inspection dans le but de réduire les déplacements.

2.1.1 Quelques définitions

Ces quelques définitions constituent une base de travail pour cette recherche et il s'avère important pour le lecteur de bien saisir l'esprit dans lequel ces mots seront utilisés.

Élément de travail : (Kanawaty, 1996) Toute partie distincte d'un travail donné, choisie parce qu'elle se prête à l'observation, à la mesure et à l'analyse. L'élément de travail est considéré comme indivisible puisqu'il est la plus petite portion de travail

à accomplir sans créer de travail supplémentaire. On définit par $n = \{1, 2, \dots, j\}$ le nombre d'éléments de travail contenu dans un problème d'équilibrage et par t_j la durée en unité de temps de cet élément. De même, $V = \{1, \dots, n\}$ représente l'ensemble de tous les éléments de travail. Par ailleurs, la notation $t_{sum} = \sum_j t_j$ représente la somme de tous les éléments de travail et donc le temps total maximal pour faire l'assemblage d'un produit.

Tâche : Regroupement d'éléments de travail permettant de constituer un poste de travail. Ainsi, le terme S_k est utilisé pour représenter l'ensemble des éléments de travail assigné au poste m et $t(S_k)$ est la valeur en unité de temps pour cet élément.

Poste de travail : Segment de la ligne d'assemblage où un ensemble d'éléments de travail sont réalisés. Un poste de travail est caractérisé par ses dimensions, ses outils et ses machines ainsi qu'aux types de tâches qui lui sont assignés. De façon traditionnelle, le travail est accompli manuellement avec l'utilisation d'outils simples ou semi-automatisés. De plus, un élément de travail ne peut être divisé entre deux postes sans créer de conflits. La notation $m = \{1, 2, \dots, k\}$ sera utilisée pour désigner le nombre de postes de travail. Lors de la formulation mathématique du problème d'équilibrage, pour chacun des éléments de travail, le calcul de l'assignation au plus tôt et au plus tard $\{E_j, L_j\}$ à un poste de travail permet de restreindre le nombre de postes auquel ces éléments peuvent être assignés. Les équations 1 et 2 définissent ces termes.

$$E_j = \left\lceil \frac{t_j + \sum_{h \in P_j^*} t_h}{c} \right\rceil \quad \text{pour } j=1, \dots, n \quad \text{Éq. 1}$$

Où P_j^* est l'ensemble formé des prédécesseurs immédiats à l'élément j et l'indice h représente un élément de travail présent dans l'ensemble P_j^* . Le dénominateur c indique le temps de cycle.

$$L_j = m + 1 - \left\lceil \frac{t_j + \sum_{h \in F_j^*} t_h}{c} \right\rceil \quad \text{pour } j=1, \dots, n \quad \text{Éq. 2}$$

Où F_j^* est l'ensemble formé des successeurs immédiats à l'élément j .

Subséquentement pour chacun des éléments, un couple $SI_j = [E_j, L_j]$ forme l'intervalle des postes où l'élément doit être assigné. De cet intervalle, la notation B_k représente l'ensemble des éléments potentiellement assignable au poste k .

Temps de cycle : Il représente l'intervalle de temps où une unité du produit est fabriqué à un poste de travail. Le temps de cycle (c) ne peut pas être inférieur au temps de l'élément de travail le plus long ($t_{\max}$). De plus, une des contraintes permettant un équilibrage de la ligne d'assemblage stipule que le temps de cycle doit toujours être supérieur ou égal à la somme des temps des éléments d'un poste. L'équation 3 de la page suivante montre cette inégalité.

$$c \geq \sum_{j \in B_k} t_j \quad \text{Éq. 3}$$

Contrainte de préséance : En raison des restrictions technologiques au produit, certains éléments de travail doivent être accomplis avant d'autres. On représente généralement ces contraintes au moyen d'un diagramme orienté et dont les flèches entre chaque nœud définissent les liens de préséance. Mathématiquement, l'équation 4 représente A comme l'ensemble des liens de préséance pour un élément de travail particulier et ses successeurs immédiats.

$$A = \{(i, j) \mid i \in V \text{ et } j \in F_j^*\} \quad \text{Éq. 4}$$

Où V est l'ensemble des éléments de travail et F_j^* est l'ensemble des successeurs de l'élément j .

Ligne d'assemblage : Consiste en un ensemble de postes de travail relié entre eux par un mécanisme de transport (généralement un convoyeur) et une spécification détaillée sur la circulation du produit d'un poste à un autre. Malgré la connotation graphique évidente du terme ligne d'assemblage, plusieurs types d'aménagement sont possibles tels qu'un aménagement en U ou en S.

Équilibrage de ligne : On dit d'une chaîne de montage qu'elle est équilibrée, mais non maximisée lorsque tous les postes de travail répondent aux critères suivants; soit que chacun des éléments de travail est assigné à un poste de travail, que les

contraintes de préséance sont respectées et que le temps de travail de chacun des postes est inférieur ou égal au temps de cycle.

2.2 Caractéristiques de bases

La prémisse d'un problème d'équilibrage de la ligne d'assemblage est le besoin pour un produit d'être fabriqué selon ce modèle manufacturier. La figure 1 présente les caractéristiques préliminaires d'une chaîne de montage permettant de choisir dans une prochaine étape une méthode de résolution. Cette section a pour objectif de faire la description de chacune de ces caractéristiques.

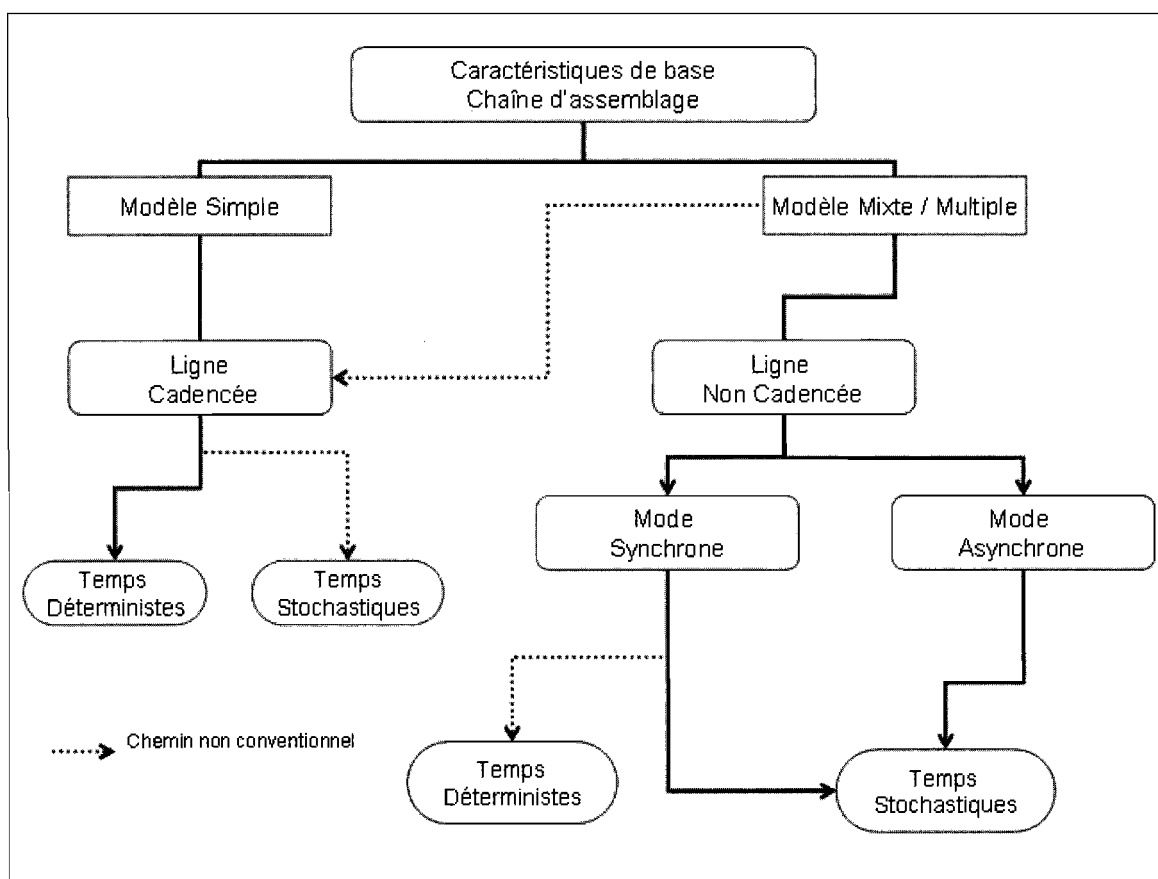


Figure 1: Caractéristiques de base d'une ligne d'assemblage

2.2.1 Caractéristique du modèle de chaîne d'assemblage

Le modèle de chaîne d'assemblage d'un produit unique est le plus simple et le plus couramment employé dans l'industrie. Cependant, depuis environ deux décennies, les lignes d'assemblage ont vu l'apparition de la diversification des produits. Une ligne d'assemblage peut alors être conçue pour assembler plusieurs types de produits en lot ou de façon aléatoire comme le présente la figure 2 suivante. Ce sont les différentes options disponibles qui transforment un produit de base sur une ligne d'assemblage ou même ce peut être des produits complètement différents pourvus qu'ils partagent tous le même procédé de fabrication.

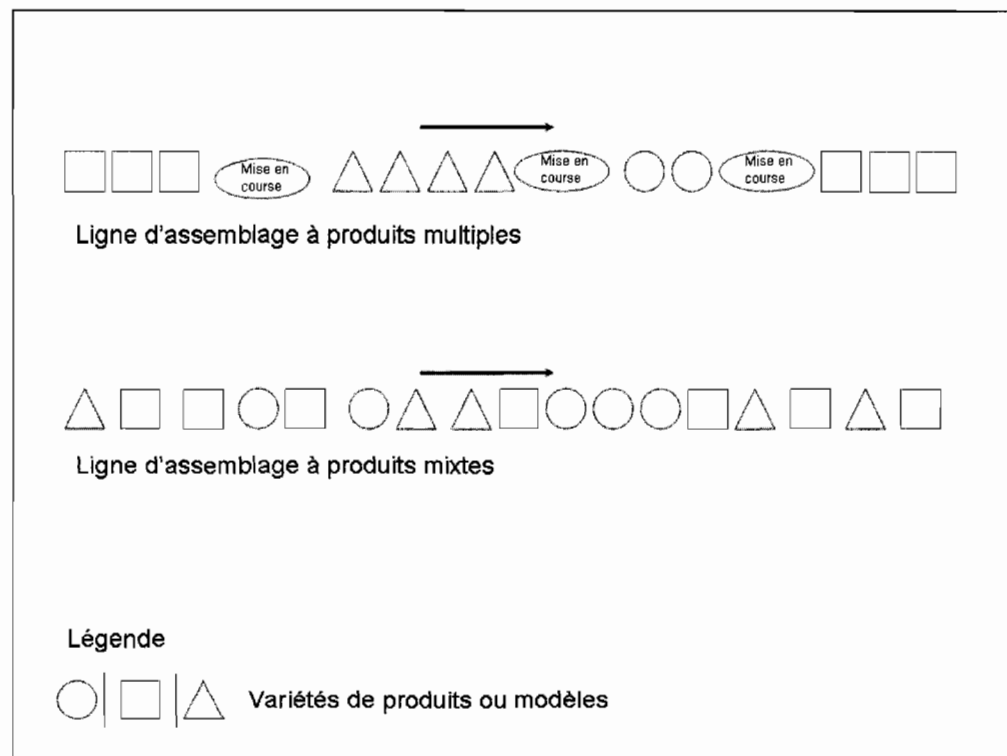


Figure 2 : Représentation de type de ligne

Dans le cas d'une chaîne d'assemblage à produits multiples, il est important de souligner la nécessité d'établir un ordonnancement selon les modèles afin de faciliter la gestion des lots de production. La raison étant que la mixité des produits implique étroitement deux problèmes soit celle de l'équilibrage et aussi celle de l'ordonnancement des modèles. De plus, les gammes d'assemblage jouent un rôle primordial afin de déterminer les temps d'assemblage et les liens de préséance qui influenceront l'ordonnancement afin de minimiser les temps de réglage entre les changements de modèles. Par ailleurs, il est important de considérer la variation et l'étendue des tâches à réaliser dans le cas des assemblages manuels. Une grande variation entre les modèles et les lots occasionne une sous spécialisation du personnel et nécessite de plus grands coûts d'apprentissage. Tout comme la fabrication par modèle mixte, ce problème détient un horizon à court terme difficile à synchroniser avec l'horizon long terme de la configuration de la ligne d'assemblage, (Boysen et al., 2006b).

Il existe cependant une différence entre les lignes à modèles mixtes et les lignes multiples produits. Ainsi, la production par modèle mixte implique que tous les modèles peuvent être assemblés sans aucun ordre déterminé puisque les temps de réglage sont réduits à tel point qu'ils peuvent être ignorés. La difficulté dans l'opération de ce type de ligne réside dans l'écart entre les temps élémentaires de chacun des modèles produits. C'est pourquoi un certain ordonnancement doit quand même avoir lieu afin de compenser pour la différence de temps d'assemblage entre les différents modèles. Il s'agit aussi, dans ce cas d'un problème d'équilibrage avec un horizon de planification à court terme. En regardant de plus près les diagrammes

de préséance des modèles, ces derniers doivent être complémentaires et joint par le regroupement des tâches similaires qui dans un second temps pourront être assignées aux mêmes postes de travail afin de rassembler les types de ressources. D'ailleurs, tout comme le cas précédent, il est justifié d'indiquer que la logistique nécessaire au bon fonctionnement de ce moyen de production est un élément clé et implique un haut taux de complexité.

2.2.2 *Caractéristiques d'incrémentations*

La seconde caractéristique d'une ligne d'assemblage est son mode incrémental. Le système d'incrémentation de la chaîne se fait traditionnellement en fonction d'une cadence déterminée par le temps de cycle. Ce dernier est le même pour tous les postes et contraint la quantité d'opérations pouvant être attribuées à chacun des postes, mais offre en revanche le contrôle du mouvement des produits. Une ligne d'assemblage cadencée possède un taux de production fixe.

Il existe deux modes incrémentaux dans le cas d'une ligne d'assemblage non cadencée soit le mode synchrone et le mode asynchrone. Une ligne d'assemblage non cadencée asynchrone s'observe si la tâche d'un poste est complétée et que le produit passe au poste de travail suivant sans prendre en considération le temps de cycle de la chaîne. Ainsi, la ligne ne possède pas de taux de production fixe, mais devient dépendante du taux de réalisation des éléments de travail à chacun des postes de travail. L'utilisation d'une ligne d'assemblage non cadencée asynchrone se justifie lorsque les temps d'opérations possèdent une certaine variabilité. La ligne

asynchrone nécessite aussi le calcul d'un niveau de stock entre les postes de travail pour ajuster la cadence de production entre les postes et minimiser les arrêts causés par un manque de pièces entre chacun des transferts de produit. Une ligne d'assemblage synchrone s'apparente grandement aux lignes d'assemblage traditionnelles dans le cas où les temps élémentaires sont fixes. Dans le cas où la durée des éléments de travail est variable, une ligne non cadencée synchrone doit attendre que le poste le plus lent ait terminé avant de procéder au travail de la nouvelle pièce. Par contre, si le travail est exécuté plus rapidement pour tous les postes, la ligne n'est pas contrainte par le temps de cycle et peut donc avancer. Ceci augmente le taux de production total contrairement à une ligne cadencée. (Boysen et al., 2006b)

2.2.3 *Caractéristique des temps élémentaires*

Il est important à ce point de faire une différenciation entre des temps dits déterministes et stochastiques. Ceci est donc la troisième caractéristique définissant une ligne d'assemblage. L'hypothèse la plus souvent retenue est celle dont les temps élémentaires ont une valeur fixe, soit déterministe. Il n'y a donc pas ou peu de variation entre les cycles de travail. Cependant, puisqu'une ligne d'assemblage fait appel au travail humain, la variation des temps élémentaires pour l'assemblage doit être considérée en raison des facteurs humains d'habiletés, de la motivation et de l'apprentissage. Dans ce dernier cas, on parle de temps stochastiques. L'observation de ces variations détermine une distribution de probabilité qui permet lors d'une simulation le calcul du temps de cycle, du taux de production et finalement de la quantité de stocks en cours entre les postes de travail de la ligne.

2.3 Contraintes manufacturières

Malgré l'origine du problème d'équilibrage de ligne d'assemblage, les premières méthodes de résolutions ont fait abstraction des contraintes manufacturières afin de réduire le modèle mathématique à sa plus simple expression. Cependant, depuis plusieurs années, les chercheurs observent un retour progressif vers la formulation avec contraintes afin de produire une solution directement réalisable et adaptée à la situation de l'entreprise. Certains auteurs, dont (Becker et Scholl, 2006), identifient des contraintes comme étant directement reliées à la tâche ou au poste de travail. Par contre l'ajout de contraintes supplémentaires au modèle et donc de variables de décision dans la formulation mathématique, vient inmanquablement restreindre l'horizon d'optimalité de la solution.

2.3.1 *Disponibilité des ressources (équipements, humaines)*

L'hypothèse du modèle de base stipule que tous les postes de travail possèdent l'ensemble des outils et toutes les machines nécessaires à la réalisation de la tâche. Ceux-ci sont d'ailleurs disponibles en tout temps. Cependant pour des raisons souvent économiques, une entreprise doit partager ses ressources. Ceci crée alors une contrainte advenant que deux ou plusieurs personnes doivent utiliser la même ressource (outil ou équipement) au même moment. Il se peut d'ailleurs que certains modèles doivent utiliser un procédé de fabrication différent dans le cas d'une ligne d'assemblage à produit multiple. Ceci vient ajouter une contrainte sur le choix du procédé donc modifier les ressources, les temps d'opération et les équipements. Dans le même ordre d'idée, la qualification ou le statut de chacune des ressources humaines disponibles peuvent représenter des contraintes supplémentaires. Par

exemple, certains employés ne possèdent pas les qualifications requises à l'exécution de certaines tâches.

2.3.2 Assignment des tâches (zone, compatibilité)

Cette catégorie de contraintes fait référence à l'assignation des tâches. La contrainte de zonage fait référence à l'assignation d'un ou de plusieurs éléments de travail dans une zone particulière de l'usine puisque celle-ci possède des caractéristiques particulières. Par exemple, une partie de l'usine peut être consacrée à un centre de peinture, il va de soi que toutes les tâches reliées à la peinture doivent être assignées dans cette zone. Par ailleurs, la contrainte de compatibilité fait référence au jumelage de certains éléments de travail dans un même poste, car ils requièrent un outil spécialisé. Par opposition à cette dernière, la contrainte d'incompatibilité demande que deux ou plusieurs éléments de travail ne soient pas réalisés au même poste de travail. Par exemple, un élément de travail nécessitant de la soudure ne peut se retrouver dans le même poste que l'élément de travail qui requiert la manipulation de produits inflammables pour des raisons évidentes de sécurité. Ces deux éléments sont donc incompatibles.

2.3.3 Aménagement de l'usine

L'aménagement de la ligne d'assemblage peut aussi être considéré comme une contrainte à ajouter à la modélisation du système. Ainsi, une ligne d'assemblage peut être en forme de U ou en ligne droite. Il est important d'examiner les déplacements des employés d'un côté ou de l'autre de la ligne mais aussi

latéralement sur le même côté surtout dans les cas où il existe des tâches spécialement dédiées au côté gauche ou au côté droit de la ligne. De plus, un aménagement en forme de U permet de maximiser l'utilisation du personnel puisque celui-ci est partagé entre plusieurs postes de travail à l'intérieur du U.

En conséquence, le développement de nouveaux modèles de ligne d'assemblage fait état de l'évolution de ce mode de fabrication. Les nombreuses caractéristiques permettent de concevoir une ligne d'assemblage offrant la flexibilité nécessaire pour satisfaire aux particularités des demandes des clients. Si par le passé une chaîne de montage était dédiée à un seul produit avec un grand volume de production, maintenant ce même mode de fabrication permet la production de plusieurs modèles en petite quantité et s'adapte aux variations du travail humain.

CHAPITRE 3 L'ÉQUILIBRAGE DE LIGNE D'ASSEMBLAGE POUR

UN MODÈLE SIMPLE

L'objectif de cette section est de décrire les différentes appellations du problème simple d'équilibrage de ligne d'assemblage. Une partie de ce chapitre est aussi consacrée aux indicateurs de performance utilisés pour l'évaluation de l'efficacité de la ligne d'assemblage. Ensuite, une recension des écrits fait le survol des différentes procédures de résolution du problème d'équilibrage et enfin la dernière partie de ce chapitre présente les formulations mathématiques des procédures utilisées pour la résolution du cas industriel présenté au chapitre 4.

3.1 Le problème simple d'équilibrage de ligne d'assemblage

Le problème simple d'équilibrage de ligne d'assemblage nommé SALBP (Simple Assembly Line Balancing Problem) se divise entre quatre formulations selon deux paramètres, soit le temps de cycle et le nombre de postes de travail. Le tableau 1 de la page suivante résume la situation selon ces deux variables de base. Étant sous forme d'un programme linéaire, les fonctions objectives visant à minimiser l'une des deux variables peuvent aussi être combinées à différents objectifs. Il est alors possible d'avoir une solution visant la réduction des coûts ou l'homogénéité entre la durée de chacun des postes de travail. (Scholl et Becker, 2006).

Tableau 1 : Catégorie de problèmes SALBP

Nombre de postes de travail (m)	Temps de cycle (c)	
	Connu	Minimiser
Connue	SALBP-F	SALBP-2
Minimiser	SALBP-1	SALBP-E

Les hypothèses suivantes sont prises en considération lors de la modélisation des problèmes SALBP (Baybars, 1986). L'article présenté par Rekiek, Dolgui, Delchambre et Bratcu en 2002 mentionne que Bowman en 1960 a été le premier à identifier la seconde hypothèse en changeant la formulation du programme linéaire en une formulation binaire.

1. Tous les paramètres sont connus avec certitude;
2. Un élément de travail ne peut être divisé entre deux postes;
3. Les éléments de travail ne peuvent être assignés de façon aléatoire en raison des contraintes de préséance;
4. Toutes les tâches doivent être assignées à un poste;
5. Le temps élémentaire d'une tâche est indépendant du poste auquel il est assigné;
6. Le temps élémentaire d'une tâche est additif dans un poste puisqu'il n'y a pas de parallélisme entre les postes ou les tâches;
7. La somme des tâches dans un poste ne peut dépasser le temps de cycle.

3.1.1 SALBP-F

L'appellation SALBP-F est au sens strict un problème de faisabilité ou de décision. Ce type de problème se caractérise par la forme de sa solution, c'est-à-dire que seule la réponse oui ou non est possible. La formulation de SALBP-F est dépourvue de fonction objective de même que la relation de variable dépendante et indépendante avec (m) et (c) n'existe pas. Ceux-ci sont des paramètres connus. Il faut donc savoir s'il existe des sous-ensembles possibles (S_k) pour l'ensemble des

éléments de travail (V) (Scholl, 1999). En incluant les contraintes de préséance et l'intervalle au plus tôt et au plus tard $SI_j = [E_j, L_j]$ de chacun des éléments, les postes de travail auxquels un élément de travail est assignable sont donc limités. La principale utilisation de ce modèle demeure dans les cas où une ligne d'assemblage est déjà existante, mais dont les caractéristiques ont changé à travers le temps.

3.1.1.1 Formulation mathématique de base

Selon l'ouvrage de Scholl (1999), le SALBP-F est un modèle de programmation en nombre entier formulé d'abord par Salveson en 1955. Par la suite, Bowman en 1960, a proposé deux nouvelles formulations dont la première contient des variables en nombre entier et la seconde expression est sous forme binaire ce qui certifie qu'un élément de travail est assigné à un seul et unique poste de travail. Plusieurs modèles sont proposés dans l'ouvrage de Scholl (1999) et l'équation 5 présente la fonction objective proposée par Patterson et Albracht en 1975. Selon Scholl, ce modèle est simplifié par l'utilisation d'une fonction binaire sur le nombre de contraintes et de variables.

$$X_{jk} = \begin{cases} 1 & \text{si la tâche } j \text{ est assignée au poste } k \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad \text{pour } j=1 \dots n \text{ et } k \in SI_j \quad \text{Éq. 5}$$

Les contraintes suivantes décrivent l'équilibrage pour un binôme (m, c) et confirment que s'il existe une solution faisable et plausible, la réponse au problème SALBP-F est positive. Dans le cas contraire, aucune solution n'est possible pour le binôme donné. L'équation 6 est la condition binaire à la

formulation du programme linéaire joint avec l'équation 7 qui s'assure que tous les éléments de travail sont assignés. Les contraintes de préséance de même que la contrainte sur le temps de cycle sont respectées grâce aux équations 8 et 9.

$$X_{jk} \in \{0,1\} \text{ pour } j=1,\dots,n \text{ et } k \in SI_j \quad \text{Éq. 6}$$

$$\sum_{k \in SI_j} X_{jk} = 1 \quad \text{pour } j=1,\dots,n \quad \text{Éq. 7}$$

$$\sum_{k \in SI_h} k \cdot X_{hk} \leq \sum_{k \in SI_j} k \cdot X_{jk} \quad \text{pour } (h,j) \in A \text{ et } L_h \geq E_j \quad \text{Éq. 8}$$

$$\sum_{j \in B_k} t_j \cdot X_{jk} \leq C \quad \text{pour } k=1,\dots,m \quad \text{Éq. 9}$$

3.1.2 SALBP-1

Les problèmes de la catégorie SALBP-1 proviennent de la modification de la formulation SALBP-F et consistent à minimiser le nombre de postes de travail (m) étant donné que le temps de cycle (c) est connu. Il y a donc transfert de l'état de paramètre connu à celui d'une variable dépendante pour (m). Il s'agit par ailleurs du problème le plus connu et pour ainsi dire le plus documenté de la littérature. Plusieurs auteurs ont proposé une formulation en programmation linéaire et même en programmation en nombre entier. De plus, il existe pour cette catégorie un très grand nombre d'heuristiques qui ont été développées au cours des cinq dernières décennies. Les travaux les plus souvent cités sont ceux de (Arcus, 1966; Hoffmann, 1963; Kilbridge et Wester, 1961; Tonge, 1965). Par ailleurs, la catégorie SALBP-1

est une réduction du problème de partition puisque ce problème est de type NP-complet (Hackman et al., 1989). Les caractéristiques principales du modèle SALBP-F qui ont été explicitées à la section précédente servent de base à la formulation mathématique du SALBP-1. Avec ces caractéristiques, la fonction objective présentée à l'équation 10 est de minimiser le nombre de postes de travail.

$$\text{Minimiser } F_1(x) = \sum_{k \in SI_n} k * x_{nk} \quad \text{Éq. 10}$$

où $F_1(x)$ représente le nombre de poste (m)

3.1.2.1 Limites inférieures et supérieures sur la variable (m)

L'utilité de calculer des limites inférieures et supérieures pour un problème est de concentrer dans une région donnée la recherche d'une solution optimale. Les limites inférieures permettent d'abord de réduire la taille du problème tout en restant indépendantes des solutions. La littérature propose jusqu'à sept expressions de limites inférieures pour le problème SALBP-1 et trois expressions de limites supérieures. C'est donc à titre d'exemple que sont démontrés les calculs de ces limites.

Des limites inférieures, la plus évidente provient de l'inégalité $m \bullet c \geq T_{sum}$ où la somme des temps élémentaires est toujours inférieure au temps total de travail sur la ligne. La limite inférieure présentée dans l'équation 11 s'appelle le nombre théorique de postes de travail où $p_j = \frac{t_j}{c}$ est l'égalité qui

transforme le temps élémentaire en une fraction du temps alloué au poste de travail.

$$LB_1 = \left\lceil \frac{T_{sum}}{c} \right\rceil = \left\lceil \sum_{j=1}^n p_j \right\rceil \quad \text{Éq. 11}$$

L'utilisation des limites supérieures dans la résolution de problème de type 1 permet de réduire le nombre de contraintes et de variables selon le modèle de formulation choisi. De plus, la limite supérieure peut aussi servir de valeur initiale dans une procédure de résolution puisque le but est de minimiser le nombre de postes de travail. D'une façon bien évidente, la limite supérieure la plus simple résulte du nombre exact d'éléments de travail que contient le problème avec $UB_1 = n$. Ceci répond donc au problème de faisabilité où $c = t_{max}$. Chaque poste possède alors un seul élément de travail ce qui par contre diminue grandement le taux d'efficacité de la ligne d'assemblage. Dans l'article de (Hackman et al., 1989), les auteurs ont démontré que dans au moins une des solutions optimales avec m postes, la charge des premiers $m-1$ postes sont maximales. C'est-à-dire que la charge d'un poste $k < m$ ne peut être améliorée même en déplaçant un élément vers un autre poste après k comme le démontre l'équation 12.

$$UB_2 = \left\lceil \frac{(t_{sum} - 1)}{(c + 1 - t_{max})} \right\rceil + 1 \quad \text{Éq. 12}$$

La limite UB_2 est vraie seulement si elle répond à la condition maximale des premiers postes $m-1$ avec $t(S_k) + t_{max} > c$ ou l'équivalent $t(S_k) \geq c + 1 - t_{max}$ pour $k=1, \dots, m-1$.

3.1.3 SALBP-2

Les problèmes SALBP-2 ou plus couramment nommé type 2 sont utilisés dans les situations où une entreprise tente de maximiser l'utilisation de ces ressources en conservant son aménagement et donc le nombre de postes de travail déjà en place. La nécessité de minimiser le temps de cycle influence le temps total de passage et devient donc une variable de décision importante dans le cas où les coûts de main-d'œuvre sont fixes et très élevés. Le courant de la recherche sur la minimisation du temps de cycle démontre que l'approche préconise une méthode itérative pour résoudre les problèmes de type 2 à partir du problème de type 1 (Ugurdag et al., 1997). De même, la littérature ne présente pas de méthodes directes, d'heuristiques ou d'algorithmes, pour résoudre les problèmes de ce type. Le type 2 du SALBP s'apparente au problème de planification de tâches sur des machines parallèles dont le but est aussi de minimiser le temps de fabrication en omettant les contraintes de préséance (Scholl, 1999).

En programmation linéaire, l'appellation duale se pose lorsque les termes de la fonction objective d'un problème deviennent les contraintes d'un autre et que ces contraintes deviennent les termes de la fonction objective. Ainsi, la formulation du problème SALBP-2 est le miroir de la formulation du problème SALBP-1. Par la formulation générale du problème SALBP-F (voir les équations 6 à 9) et l'identification de limites inférieures et supérieures sur la variable dépendante c ceci permet d'établir le modèle de programmation linéaire du SALBP-2. L'équation 13

présente simplement la fonction objective où celle-ci cherche à maximiser le temps total pour chacun des postes tout en minimisant le nombre de postes de travail en tenant compte des éléments potentiellement assignables donnés par l'ensemble $B_k(c)$ défini précédemment aux équations 1 et 2.

$$\text{Minimiser } F_1(x) = \max \left\{ \sum_{j \in B_k(c)} t_j * x_{jk} \mid k = 1, \dots, m \right\} \quad \text{Éq. 13}$$

3.1.3.1 Limites inférieures et supérieures sur la variable c

Puisqu'il s'agit aussi d'un problème NP-complet, seules les limites inférieures peuvent définir l'horizon de solution. Cependant comme dans le cas du type 1, les limites supérieures, quoique théoriques peuvent donner des valeurs initiales à une solution de départ. Par analogie au type 1, la plus simple des limites inférieures provient de la condition de faisabilité du problème et de la condition d'indivisibilité des éléments de travail. Cependant, cette dernière condition ne s'applique pas toujours à tous les problèmes industriels. L'équation 14 montre le calcul d'une limite inférieure. Par ailleurs, la littérature présente plusieurs autres formes de calcul pour cette limite afin de l'adapter aux caractéristiques spécifiques du problème.

$$LC_1 = \max \left\{ t_{\max}, \left\lceil \frac{t_{\max}}{m} \right\rceil \right\} \quad \text{Éq. 14}$$

Comme il a été mentionné au début de cette section, les limites supérieures du SALBP-2 ne sont que théoriques puisque la résolution de ce type de problème ne considère pas les contraintes du diagramme de préséance.

L'équation 15 fait état des deux possibilités de limites supérieures afin de donner une valeur initiale à la solution de départ (Hackman et al., 1989; Scholl et Voß, 1997).

$$UC = \max \left\{ t_{\max}, \left\{ \begin{array}{l} \left\lfloor \frac{2 * (\sum t_j - 1)}{m} \right\rfloor \text{ si } m \text{ est pair} \\ \left\lfloor \frac{2 * \sum t_j}{(m+1)} \right\rfloor \text{ si } m \text{ est impair} \end{array} \right. \right\} \quad \text{Éq. 15}$$

3.1.4 SALBP-E

En complément aux problèmes d'équilibrage de ligne d'assemblage défini ci-haut, il faut non seulement obtenir une réponse satisfaisante à la fonction objective, mais il faut aussi maximiser l'efficacité de la ligne. On nomme ce type de problème comme étant le type 3 des problèmes d'équilibrage de ligne d'assemblage. C'est-à-dire qu'il faut décroître, le total de temps perdu occasionné par la fixation du temps de cycle à chacun des postes de travail. Présenté sous la forme d'indice de performance, le taux d'inactivité est le complément mathématique de l'efficacité de la ligne d'assemblage. L'équation 16 à la page suivante montre cette égalité. D'ailleurs, un problème surgit lors de la résolution du type 2 qui a été très peu exploré par les chercheurs des dernières décennies. La problématique n'est pas entièrement résolue lorsque la réponse est un temps de cycle minimal et un nombre de postes de travail optimal, mais il faut évaluer la distribution des éléments de travail afin d'éviter un niveau de difficulté en dent-de-scie. Dans l'article publié par (Ugurdag et al.,

1997), ce dernier mentionne que Gehrlein et Patterson en 1978 ont éludé la question en suggérant l'utilisation de l'index de lissage avec l'heuristique de Hoffman.

$$Eff = 1 - T_{inactif} = \frac{T_{sum}}{m * c} \quad \text{Éq. 16}$$

3.2 Indicateurs de performance

Même si dans la littérature il existe de nombreux problèmes théoriques qui possèdent une solution optimale, il en demeure que dans les cas industriels il n'est pas certain qu'une telle solution soit réalisable. C'est pourquoi certains indicateurs de performance ont été développés afin de pouvoir discriminer les meilleures solutions plausibles. (Erel et Sarin, 1998) ainsi que (Scholl, 1999) en font mention dans leurs ouvrages. Il est possible de les classer selon deux types soient les indices de complexité du problème et ceux servant à déterminer la performance de la solution.

3.2.1 *Mesure de la complexité d'un problème d'équilibrage*

Avant de procéder à l'équilibrage de la ligne d'assemblage, le diagramme de préséance et le nombre d'éléments de travail doivent être déterminés. Une première évaluation de la situation est nécessaire afin de déterminer si la solution peut être optimale ou simplement réalisable. Pour ce faire, la mesure de la force des relations de préséance et le ratio de West (Scholl, 1999) sont deux indices permettant d'évaluer la complexité d'un problème donné.

Premièrement, la mesure de la force des relations de préséance permet de déterminer la complexité d'un problème. Cet indice, présenté à l'équation 17, tient compte du nombre de relations de préséance. Il est donc futile de conclure que plus un problème possède de lien de préséance plus il sera complexe. On nomme cette mesure en anglais « order strength » (OS). Cependant, il faut noter que cette mesure est à titre indicatif seulement et que la valeur OS tend vers 0 lorsque la formulation mathématique est sous forme de programmation linéaire binaire. De même, dans le cas où il existe seulement deux éléments de travail et un seul lien de préséance, la limite tend vers 1.

$$OS = \frac{2 * (\text{nombre de relations de préséances})}{n(n-1)} \quad \text{Éq. 17}$$

L'équation 18 montre le ratio de West (WR) introduit par Dar-El en 1973 et repris dans l'ouvrage de Scholl (1999) est une autre mesure qui permet de déterminer la complexité d'un problème d'équilibrage de ligne d'assemblage. Ce ratio dépend du nombre de postes de travail (m) sur la ligne puisqu'il indique le nombre moyen de d'éléments de travail pouvant être assigné par poste. Ainsi, plus la valeur du WR est basse, plus le problème est complexe. Dans le cas de SALBP-1, ce ratio ne peut être vraiment révélateur puisque ce type de problème a comme objectif de déterminer le nombre de postes de travail optimal. Cependant, ce ratio peut être utilisé avec une valeur de limite inférieure, aussi discutée dans une prochaine section.

$$WR = \frac{n}{m} \quad \text{Éq. 18}$$

3.2.2 Mesure de la qualité de l'équilibrage

À un second niveau, lors de l'obtention d'une solution plausible, plusieurs indicateurs de performances peuvent être utilisés pour valider la qualité de l'ordonnancement des éléments de travail. Un équilibrage parfait se trouve lorsque la somme de tous les éléments de travail d'un poste est égale au temps de cycle donné. Il n'y a donc pas de temps inactifs. Dans le cas contraire, la qualification de l'équilibrage passe par la mesure du délai et par le calcul de l'efficacité de la ligne d'assemblage. L'équation 19 montre que le délai d'attente D entre chaque poste de travail est la différence entre le temps de cycle c donné et la somme des temps des éléments de travail effectués au poste de travail.

$$D = c - \sum_{j=1}^n t_j \quad \text{Éq. 19}$$

où $\sum_{j=1}^n t_j$ est la somme des temps des éléments de travail

De même, la sommation de tous les délais occasionnés (T_{sum}) sur la ligne donne le taux d'inactivité (Kilbridge et Wester, 1961). Ce dernier indicateur est d'ailleurs un complément au calcul de l'efficacité de la ligne d'assemblage. Ainsi, une solution doit tendre le plus possible vers 0 afin de minimiser la perte de temps créée par les retards entre le temps de cycle et la somme des temps élémentaires. Le taux d'inactivité de la ligne, exprimé en pourcentage, se formule selon l'équation 20.

$$T_{inactivité} = \left[1 - \frac{T_{sum}}{m \cdot c} \right] \times 100\% \quad \text{Éq. 20}$$

Par ailleurs, l'index de lissage est un indicateur de l'homogénéité de la répartition du temps d'opération dans chacun des postes de travail (Hoffmann, 1963). Donc, plus la valeur de cet indicateur devient faible plus la solution présente une certaine uniformité pour l'ensemble des postes de travail. Dans l'équation 21, l'indice S_{max} est introduit par le temps de cycle maximal de tous les postes de travail et selon la méthode d'équilibrage utilisée, il se peut que la valeur de S_{max} diffère du temps de cycle déterminé.

$$\text{Index de Lissage} = \sqrt{\sum_{k=1}^m (S_{max} - t(S_k))^2} \quad \text{Éq. 21}$$

Même s'il n'est pas possible d'affirmer qu'il existe un lien entre le taux d'efficacité et l'index de lissage, si les deux indicateurs présentent de bons résultats, il se peut que la solution s'approche de l'optimale. Par ailleurs, l'écart type de la somme des temps des éléments de travail affectée à chaque poste est aussi un bon indicateur de l'homogénéité entre les postes de travail et est souvent utilisé dans la littérature.

3.3 Procédures de résolution du SALBP

Après avoir fait état des différentes catégories de formulation du problème d'équilibrage de ligne d'assemblage ainsi que des indices de mesure de la performance de la solution, la

littérature propose une panoplie de moyens pour les résoudre. Ce travail de recherche se concentre principalement sur les deux plus grandes catégories communément appelées type 1 et type 2 du SALBP.

À travers le temps, plusieurs auteurs ont entrepris des revues de la littérature existante et il est possible de classer leurs articles soumis selon trois catégories. Ainsi, des auteurs comme (Baybars, 1986; Bhattacharjee et Sahu, 1987; Erel et Sarin, 1998) ont divisé les méthodes selon le type de données et le nombre de produits sur la ligne. Par la suite, certains auteurs ont choisi de faire une revue de la littérature en fonction de la méthode de résolution, soit une heuristique ou une méthode exacte. Dans ce dernier cas, on retrouve les articles de (Boysen et al., ; Rekiek et al., 2002; Scholl et Voß, 1997). Enfin, (Hackman et al., 1989; Ponnambalam et al., 1999), ont procédé à l'expérimentation et à la comparaison entre les différentes procédures. Un fait intéressant porte sur le choix des heuristiques comparées, qui malgré près de dix années d'intervalle entre la publication de ces deux derniers articles, les procédures choisies sont les mêmes et donc viennent appuyer leur grande reconnaissance dans la littérature en général. Cette section propose donc de faire un survol des procédures de résolutions du SALBP sous une forme similaire à la première catégorie tant pour les problèmes de type 1 et de type 2. Par la suite, une section présentera le modèle général de construction des schèmes de procédure qu'elles soient des méthodes exactes ou des heuristiques.

Par ailleurs, l'évolution de l'informatique depuis les vingt dernières années, permet de résoudre des problèmes de grandes dimensions de même que de s'approcher d'une solution optimale globale en développant des outils de plus en plus complexes de résolution de programmation linéaire. Ainsi tends la recherche dans ce domaine; trouver un algorithme

performant pouvant résoudre un problème combinatoire de grande dimension dans un temps de processeur informatique relativement court. Car, avec la méthode par branchement (branch et bound) qui réduit le recensement des solutions possibles et le fait que les problèmes d'équilibrage de ligne d'assemblage sont NP-complet, plus ceux-ci possèdent de variables plus ils comportent une infinité de solutions qu'il faut par la suite évaluer.

Comme il a été explicité dans la section précédente, la plupart des recherches dans ce domaine ont été dédiées à la résolution du modèle classique. Ainsi, jusqu'aux années 1980, la recherche était limitée par la performance des systèmes informatiques. Depuis les années 1990, il y a eu un renouveau dans l'avancement des algorithmes puisqu'à présent, l'informatique ne représente plus vraiment un obstacle à la résolution de problèmes complexes. La période de 1954 à 1962, seulement 15 % de la recherche était dédiée aux modèles servant à l'équilibrage de ligne mixte ou à multiples produits (Bhattacharjee et Sahu, 1987). De plus, c'est à partir de 1965 qu'il y eut plus d'accent sur le développement de procédure dont les variables sont stochastiques. D'autant plus que la recherche ne tente plus d'obtenir un modèle dont la solution est optimale, mais bien des heuristiques dont la solution s'approche de l'optimale afin de mieux l'adapter à une problématique industrielle.

En examinant les différents types d'équilibrage possible ainsi que leurs méthodes de résolution, la figure 3 présente deux arborescences selon leurs catégories de problèmes, soit les modèles simples ou les modèles multiples et mixtes (Erel et Sarin, 1998).

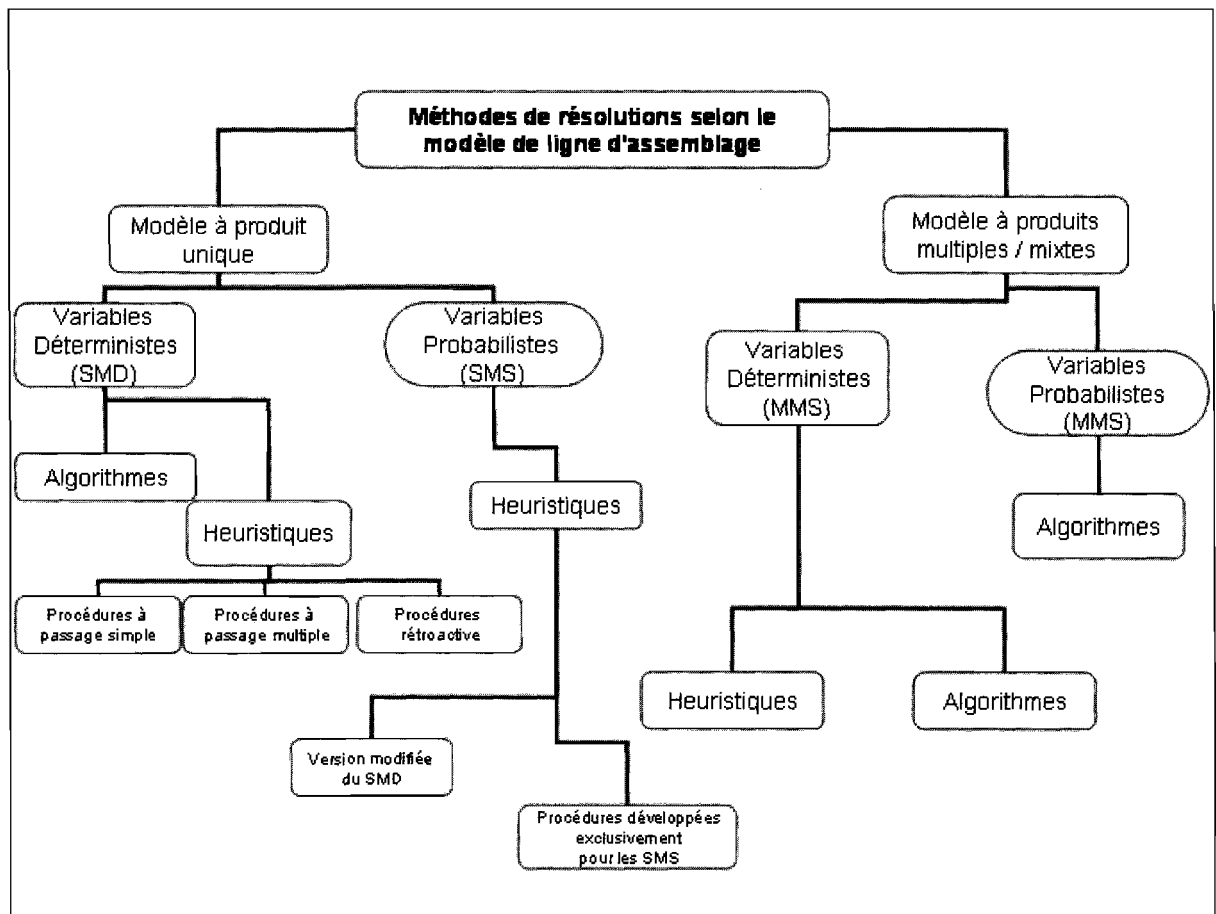


Figure 3 : Arborescence des méthodes de résolutions du SALBP

3.3.1 Modèles simples à variables déterministes

Le modèle simple à variables déterministes (SMD) est défini comme étant une série d'éléments de travail. Chacun de ces éléments étant caractérisés par un temps de réalisation fixe et des relations de préséance entre les éléments. Les méthodes de résolutions de ce type de problème peuvent être des algorithmes qui tendent à trouver la solution optimale ou bien des heuristiques qui contribuent à réduire le modèle afin de trouver une solution faisable, mais qui ne garantissent pas l'optimale.

3.3.1.1 Méthodes heuristiques

On définit une méthode heuristique comme une procédure qui réduit la zone de recherche de solution d'un problème (Tonge, 1965). La littérature jusqu'à ce jour a produit un grand nombre de procédures. Celles-ci peuvent aussi être classifiées selon trois types, soit les procédures à passage simple, les procédures à passages multiples et les procédures à passages rétroactifs. Dans le cas des procédures à passages multiples, elles choisissent la meilleure solution parmi les procédures à passage simple. Les procédures rétroactives tentent d'améliorer une solution ou un poste de travail par une méthode itérative. Le tableau 2 présente quelques exemples d'heuristiques selon leur classification.

Tableau 2 : Résumé des principales heuristiques pour le modèle simple déterministe

Type d'heuristique	Nom	Auteur (s)/année de publication
Procédures à passage simple	Poids positionnel	Helgeson et Bernie (1961)
	Technique de regroupement par colonne	Kilbridge et Wester (1961)
	Candidat le plus grand	Moodie et Young (1965)
	Nombre de successeurs	Tonge (1965)
Procédures à passages multiples	Choix multiples d'heuristique	Tonge (1965)
	COMSOAL	Arcus (1966) / Buxey (1978)
	NULISP	Schofield (1979)
	Immediate update first-fit (IUFF)	Hackman, Magazine, Wee (1989)
	Rank-and-Assign	Hackman, Magazine, Wee (1989)
Procédures à passages rétroactifs	Matrice triangulaire de préséance	Hoffman (1963)
	Méthode de 2-phases	Moodie et Young (1965)
	MALB	Dar-El (1973)
	Priorisation bidirectionnelle	Scholl et Voß (1996)
	Recherche Tabu	Scholl et Voß (1996)

3.3.1.2 Méthodes exactes

L'approche par les méthodes exactes consiste principalement à résoudre un modèle de programmation en nombre entier. Le travail de (Baybars, 1986), montre que la recherche utilise souvent des procédures d'énumération telles que les procédures par branchement aussi considérées comme des méthodes de recherche exhaustives ou l'utilisation de la programmation dynamique. Ceci a abouti à environ deux douzaines de méthodes exactes recensées dans le travail de (Scholl et Becker, 2006).

Les premiers essais de la programmation en nombre entier ont été réalisés par Thangavelu et Shety en 1971 qui ont résolu un programme binaire avec l'application de l'algorithme additif de Balas aussi présenté par Geoffrion en 1967. (Erel et Sarin, 1998) Ce travail était principalement dédié à résoudre les problèmes de type 1. Souvent, les méthodes exactes trouvent une première solution faisable à partir d'une heuristique et tentent par la suite dans le cadre d'une deuxième phase de trouver la solution optimale. À partir des travaux de Geoffrion, Patterson et Albracht (1975) ont introduit le concept de poste au plus tôt et poste au plus tard permettant de réduire l'horizon de faisabilité en réduisant le nombre de variables et en utilisant une limite inférieure pour trouver le nombre minimal de postes de travail requis. De même, le travail de Talbot et Patterson en 1984 permet d'évaluer systématiquement toutes les combinaisons d'éléments et contrairement à la procédure précédente, l'utilisation de nombres entiers permet de réduire considérablement le nombre de variables à évaluer par rapport aux variables binaires.

Plus récemment, la revue de la littérature de (Becker et Scholl, 2006) fait un survol des dernières méthodes développées depuis le travail de Baybars en 1986. Des plus connus, Wee et Magazine ont développé en 1989 une méthode par branchement selon l'approche du sac à dos (bin packing). De même que Nourie et Venta en 1987 la méthode OPTPACK, et Scholl et Klein la méthode SALOME, Johnson en 1988 a développé la méthode FABLE. Plus tard, en 1992, Hoffmann a développé la méthode EUREKA. La recherche dans ce domaine consiste donc à trouver des méthodes de réduction de la formulation afin d'alléger la problématique. La méthode de réduction de (Fleszar et Hindi, 2003) considère trois approches soit, l'ajout de contraintes de préséance, l'augmentation des temps élémentaires dans certains cas particuliers ou bien le regroupement d'éléments jusqu'au niveau du temps de cycle.

3.3.2 *Modèles simples à variables stochastiques*

Le travail en chaîne d'assemblage fait le plus souvent référence au travail manuel. Ce dernier possède une certaine variabilité et est alors défini par une distribution probabiliste du temps associé à chaque élément de travail. Ainsi, le modèle stochastique (SMS) se rapproche plus facilement de la réalité sur un plancher de production contrairement à l'hypothèse générale selon laquelle les temps élémentaires sont constants et fixes. Pour ce modèle particulier, la fonction objective se mesure selon certains indicateurs de performances en considérant qu'un certain pourcentage des tâches est réalisé avant de passer au poste de travail suivant.

Les méthodes de résolution pour ce type de problème s'avèrent être des versions modifiées du modèle à variables déterministes (Single model deterministic, SMD) avec l'introduction de la variable coût de production. Ainsi, une première formulation consiste à minimiser le coût de production sachant que le temps au poste j doit être plus petit ou égal au temps de cycle multiplié par une variable binaire. La seconde formulation fait appel à la probabilité de compléter une certaine quantité d'éléments de travail à un poste avant de passer au poste suivant. Cette deuxième formulation requiert cependant une procédure spécifique tandis que la première peut être résolue avec une procédure de type SMD. En référence dans l'article de Bhattacharjee et Sahu (1987), Freeman en 1968 décrit un modèle général qui cherche à résoudre le problème en fonction de décisions liées à la configuration de la ligne telle que l'allocation de certaines tâches à des postes spécifiques, la quantité d'inventaires en-cours et la décision de mettre des éléments ou des postes en parallèle. L'heuristique de Freeman permet donc de trouver des valeurs pour les trois décisions et minimise le coût de production unitaire.

L'utilisation de la simulation d'un modèle permet aussi de résoudre les problèmes d'ordre stochastiques. On retrouve entre autres la méthode de recuit simulé de Suresh et Sahu (1994) et l'utilisation de la simulation de Monte Carlo. La même approche s'applique aussi pour la résolution du modèle multiple produits.

3.3.3 *Modèles mixtes/multiples à variables déterministes*

Comme il a été décrit dans une section précédente, une ligne d'assemblage fabriquant plusieurs modèles d'un même produit est une situation particulière. Les

contraintes de préséance, mais plus significativement les temps totaux requis pour faire l'assemblage deviennent différents d'un modèle à un autre. L'ordonnement des modèles et la détermination de la taille des lots sont des éléments critiques pour une production optimisée (Bhattacharjee et Sahu, 1987). Ainsi, plus la modélisation de la ligne d'assemblage se complexifie, plus il faut introduire immanquablement des variables supplémentaires tels les coûts des changements de modèles, de la localisation d'équipements et le coût de l'apprentissage. Ainsi, l'équilibrage de ligne mixte ou multiple avec des variables déterministes (multi/mixte model deterministic, MMD) se transforme en un objectif de minimisation des coûts généraux.

De ce fait, Buxey en 1973 suggère que le nombre de postes de travail et la localisation des composantes doivent être le plus stable possible. Les tâches communes à plus d'un modèle doivent d'ailleurs être allouées au même poste et idéalement au même employé dans le but d'équilibrer la manipulation à l'intérieur du même temps de cycle et de minimiser le temps d'attente imparté. D'ailleurs, le travail de Thomopoulos (1967) fait remarquer qu'il n'est pas toujours pratique de tenter d'équilibrer chacun des modèles de façon individuelle.

Kilbridge et Wester en 1962 sont parmi les premiers chercheurs à mentionner la version MMD des problèmes d'équilibrage dans lesquels, deux ou plusieurs produits d'une même gamme peuvent être assemblés simultanément ou en lot (Erel et Sarin, 1998). Ce type de problématique se retrouve souvent dans les industries de grande taille comme l'industrie automobile. Pour résoudre ce type de problème, l'utilisation d'algorithmes de recherche de la solution optimale est parfois nécessaire. Ce type de

problème comporte un grand nombre de variables et de contraintes, si bien qu'au début de l'ère informatique, le temps CPU de résolution trop long rejetait ce genre de procédure. Maintenant que cette limite ne pose plus de problèmes, la tendance se poursuit activement dans ce domaine d'étude. Gokcen et Erel, en 1997, ont présenté une formulation du problème en programmation dynamique binaire. Cependant, des heuristiques ont été publiées depuis 1966 afin de résoudre ce type de problème. Pour la plupart, celles-ci sont des versions plus complexes des heuristiques du modèle simple par l'introduction de variables provenant des contraintes manufacturières. Ainsi, Tomopoulos a modifié la procédure de Kilbridge et Wester en 1967, de même que Berger et al (1992) ont présenté une procédure par branchement provenant du travail de Hackman et al (1989).

3.4 Choix des heuristiques

Cette section fait état des heuristiques choisies pour effectuer l'équilibrage des postes de travail du problème soumis. Il est donc d'usage dans les procédures heuristiques que de simples règles se trouvent à la base d'une procédure heuristique avec une hiérarchie complexe afin de déterminer laquelle de ces règles devient la plus appropriée pour résoudre une situation particulière (Tonge, 1965).

3.4.1 Formulation du candidat le plus grand

Le nom de l'heuristique résume bien le but de la procédure. Il s'agit d'une heuristique à passage simple dont le critère de sélection est l'élément de travail ayant la durée la plus longue qui est assignée au premier poste disponible. Lorsque la somme des

éléments de travail devient supérieure au temps de cycle, un second poste de travail est créé.

La procédure se décrit comme suit :

1. Mettre la liste des éléments de travail en ordre décroissant selon la durée.
2. Assigner au premier poste l'élément de travail ayant la plus longue durée et respectant les contraintes de préséance.
3. Assigner un deuxième élément de travail au poste en respectant les contraintes de préséance et la condition $\sum_{j=1 \in m_i}^n t_{ij} \leq t_c$ sinon, créer un nouveau poste de travail $m + 1$.
4. Reprendre les étapes 2 et 3 pour tous les postes $m + 1$ jusqu'à ce que $j = n$.

3.4.2 Formulation du poids positionnel

La méthode proposée par Helgeson et Bernie (1961) permet de faire un tri selon un poids attribué à chacun des éléments de travail en fonction de l'élément possédant la plus longue suite de tâches se succédant. Le poids positionnel se calcul en effectuant la somme de toutes les autres durées affectées aux successeurs de l'élément choisi. Ceci a donc pour effet d'orienter la priorité de travail vers les éléments les plus critiques du problème et qui ont un effet direct sur le temps de passage total. Par la suite, l'attribution de chaque tâche se fait en fonction de l'élément ayant le poids positionnel le plus important et respectant les conditions de base nommées précédemment.

La procédure se décrit comme suit :

1. Effectuer le calcul du poids positionnel de chacune des tâches
2. Mettre la liste en ordre décroissante du poids positionnel
3. Assigner au premier poste l'élément de travail ayant le poids positionnel le plus élevé et respectant les contraintes de préséance.
4. Assigner un deuxième élément de travail au poste en respectant les contraintes de préséance et la condition $\sum_{j=1 \in m_i}^n t_{ij} \leq t_c$ sinon, créer un nouveau poste de travail $m + 1$.
5. Reprendre les étapes 2 à 4 pour tous les postes $m + 1$ jusqu'à ce que $j=n$.

3.4.3 Formulation de Kilbridge et Wester

Cette procédure utilise pour critère de sélection le nombre de l'ensemble des prédécesseurs de chacun des éléments de travail (Kilbridge et Wester, 1961). Avec un arrangement en colonne représentant le nombre de prédécesseurs, il est possible d'identifier quels seront les éléments à affecter aux postes de travail tout en respectant les conditions de base. Un poste est créé à partir de la liste d'éléments dans une colonne jusqu'à ce que le temps de cycle soit atteint. L'affectation des éléments peut se faire sur une ou plusieurs colonnes et une colonne peut contenir plus d'un poste si la somme de l'ensemble des éléments de celle-ci est supérieure au temps de cycle. Advenant qu'un élément possède plus d'une branche de prédécesseurs (arbre de préséance complexe), cet élément est assigné à la colonne

représentant la plus longue chaîne de prédécesseurs. Cependant, l'élément possédant une chaîne de prédécesseur plus courte, mais faisant partie de la chaîne complexe peut être assigné à l'une ou l'autre des colonnes disponibles de son élément successeur.

La procédure se décrit comme suit :

1. Calculer pour chacun des éléments de travail son nombre de prédécesseurs suivant chacune des branches du diagramme de préséance. Conserver le nombre le plus élevé puisqu'il correspond au plus grand nombre de prédécesseurs pour cet élément.
2. Attribuer un numéro de colonne à chaque élément de travail en fonction du nombre conservé à l'étape 1. Le numéro de colonne correspond au plus grand nombre de prédécesseurs.
3. Trier et regrouper tous les éléments selon leur numéro de colonne.
4. Mettre en ordre croissant de numéro d'élément la liste des éléments de travail de chacune des colonnes.
5. Assigner au premier poste les éléments de la première colonne qui respecte les contraintes de préséance et la condition $\sum_{j \in m_i}^n t_{ij} \leq t_c$ sinon, créer un nouveau poste de travail $m + 1$.
6. Continuer l'affectation des éléments aux postes pour chacune des colonnes.

3.4.4 Formulation de COMSOAL

L'heuristique COMSOAL (Computer Method for Sequencing Operations for Assembly Lines), proposé par (Arcus, 1966), est un programme mathématique conçu pour résoudre le SALBP. Elle génère un certain nombre de solutions et en retient la meilleure. Cette procédure se décrit comme une méthode itérative donc appartenant à la catégorie des heuristiques à passages multiples. Le but de cette procédure est de proposer la meilleure solution dont l'élément de départ est sélectionné aléatoirement à partir d'une liste d'éléments candidats. Le critère de sélection de cette heuristique est le nombre de prédécesseurs.

La procédure pour cette heuristique est la suivante :

1. Construire une liste A montrant tous les éléments avec le nombre total de prédécesseurs immédiats.
2. Construire une liste B montrant tous les éléments de la liste A n'ayant aucun prédécesseur immédiat.
3. De cette liste, sélectionner aléatoirement un élément et l'affecter à un poste de travail, tout en respectant la contrainte de temps de cycle.
4. Éliminer des deux listes, l'élément sélectionné et faire la mise à jour des listes.
5. Reprendre les étapes 3 et 4 jusqu'à ce que tous les éléments soient affectés à un poste de travail.
6. Conserver la solution originale. Reprendre les étapes 1 à 5 selon le nombre d'itérations souhaité et comparer les solutions afin de garder la meilleure.

Ce chapitre avait pour but de relater l'historique ainsi que les différentes méthodes de résolution du problème simple d'équilibrage de ligne d'assemblage. Il existe dans la littérature passée, mais aussi encore dans le développement actuel un engouement vis-à-vis la création de procédures exactes permettant de résoudre le plus grand nombre de variables. Ces algorithmes deviennent de plus en plus adaptés aux contraintes manufacturières dans le but de rendre la solution théorique le plus près possible d'une situation réalisable. La suite logique de ce chapitre était donc de présenter les heuristiques qui seront utilisées dans le cadre de cette étude. Quatre procédures ont été sélectionnées et explicitées dans ce chapitre. Le chapitre suivant se concentre sur la modélisation de la problématique spécifique au problème de recherche.

CHAPITRE 4 MODÉLISATION

Ce chapitre se consacre à l'établissement des paramètres pour réaliser l'étude du cas de l'entreprise « Les Industries Aéronautiques Symphony », ci-après nommé IAS. La description de l'entreprise, de la situation actuelle et de la configuration de la ligne d'assemblage devient les prémisses de ce travail de recherche.

4.1 Description de la situation actuelle

Cette recherche utilise le cas d'une entreprise œuvrant dans le domaine de l'aéronautique qui désire améliorer sa productivité en augmentant la cadence de production de son usine. L'entreprise a fait l'acquisition de ses actifs à partir d'une entreprise allemande qui tentait de s'établir au Québec. À prime à bord, IAS a dû investir dans la certification de ces appareils auprès des autorités Canadienne et Américaine de transport aérien, car ce type d'appareil était destiné à une commercialisation de type « faites-le vous-même » et comportait de nombreuses restrictions tant pour les zones aériennes que pour la vente commerciale. La gamme d'assemblage n'était donc pas complètement terminée au moment de l'étude puisque l'entreprise utilisait le principe d'ingénierie inversé afin d'établir les opérations d'assemblage à partir des appareils déjà construits ou en cours de fabrication. Il y avait alors beaucoup de variabilité dans les gammes et dans les durées d'assemblage. Ayant divisé chacune des grandes sections de l'appareil en station de travail, des postes d'assemblage ont été créés. Toutes les pièces majeures, mis à part les ailes, sont sous-traitées en fabrication et traitement et IAS effectue seulement les opérations d'assemblage et de peinture générale à l'usine de Trois-Rivières. Au moment d'écrire ce rapport,

l'entreprise était aux prises avec des difficultés financières importantes qui compromettaient sérieusement son avenir. Cependant, le travail effectué ici n'est pas vain puisqu'advenant une reprise des opérations, le modèle pourra être validé en situation réelle.

Les principales limitations concernant ce travail proviennent de l'entreprise qui a soumis le projet et qui désire garder confidentielles les informations pertinentes à l'assemblage du produit. L'étude de cas se limitera d'ailleurs au modèle SA160A sans options ajoutées. La certification de l'appareil n'étant pas encore complétée et puisqu'il s'agit d'une entreprise en démarrage du secteur de l'aéronautique, les gammes d'assemblage ne sont pas encore définitives ce qui crée une variabilité dans les temps requis pour l'assemblage des pièces.

De plus, cette étude se limite seulement à la chaîne d'assemblage du cas spécifique ainsi qu'aux méthodes d'équilibrage de ligne d'assemblage déjà publiées. Les facteurs influençant la ligne d'assemblage (délais, quantité, fournisseurs, apprentissage) ne seront pas considérés comme des contraintes quantifiables sur le modèle, mais pourront faire partie des recommandations pour l'amélioration du modèle.

4.2 Configuration de la ligne d'assemblage actuelle

Ainsi, la forme de fabrication choisie est celle d'une ligne d'assemblage. La ligne comporte six stations de travail composées au total de huit postes de travail. Cet aménagement a été réalisé à partir des connaissances des personnes clés de l'entreprise. Avec les ressources en place, le délai de fabrication d'un avion est d'un peu plus de dix jours, soit 85 heures par postes de travail. L'objectif est un délai de fabrication de deux jours soit de 15 heures. Il s'agit donc d'obtenir plus de 80 % d'amélioration par rapport à la situation actuelle.

Le cas présenté en est un complexe. Le modèle présente 586 éléments de travail dont la durée varie entre 0,01 heure (36 secondes) jusqu'à 80 heures. Il serait possible de décomposer en élément de travail des éléments dont les durées sont supérieures à 5 minutes, mais pour les besoins de l'analyse et afin de garder le minimum de contraintes sur le modèle, les durées d'origine ont été conservées. Le temps total de fabrication est de 556,52 heures. Il est aussi possible d'affirmer qu'il existe au moins autant de relations de préséance que d'éléments de travail. Il s'agit donc d'un problème de grande taille et dont la difficulté principale réside dans l'élaboration des liens de préséance entre les éléments de travail.

La contrainte de compétence est définie dans l'entreprise selon différentes spécialités nécessitant des connaissances particulières. On retrouve donc des électriciens, des spécialistes de la construction aéronautique, des peintres et des personnes spécialisées en composite ainsi que des inspecteurs détenteurs de cartes de compétence. De plus, une zone spécialement aménagée pour les opérations de peinture et de composite ajoute une contrainte de zonage dans l'élaboration de l'aménagement physique, mais aussi réduit la flexibilité résultant des procédures heuristiques choisies. Il est possible, comme il sera démontré plus loin, de déterminer des sous assemblages à partir de plusieurs éléments de travail. Cependant, ils ne sont pas considérés comme des contraintes majeures puisque l'entreprise les intègre directement aux opérations sur la ligne d'assemblage principale.

Tableau 3 : Description des postes de travail de la situation actuelle

Poste	Description de la tâche	Spécialité	Temps total de travail (heures)
1	Assemblage mécanique et électrique (station 2)	Assembleurs mécaniques/techniciens électriques	84,52
2	Assemblage des parties du fuselage/composite et peinture général (station 3)	Assembleur en Composite et peintre	180,02
3	Assemblage du train d'atterrissage (station 4)	Assembleurs mécaniques	46,84
4	Assemblage du moteur et pare-feu (station 5)	Assembleurs mécaniques	29,51
5	Assemblage des ailes et surfaces volantes (station 6)	Assembleurs mécaniques	97,49
6	Assemblage du tableau de bord et connexion des composantes électroniques (station 7)	Techniciens électriques	53,48
7	Finition intérieure et extérieure (station 8)	Assembleurs mécaniques	58,30
8	Inspection et test avant 1 ^{er} vol (station 9)	Inspecteurs	11,00
Total			561,16

La situation illustrée présente un temps total d'assemblage de 561,16 heures comparativement au modèle utilisé de 556,52 heures. La principale raison de cette différence est le retrait de certains éléments d'inspection qui reviennent systématiquement à la fin de chaque section d'assemblage de la situation actuelle et qui occasionnent des contraintes supplémentaires entre les liens de préséance. Par ailleurs, la tâche d'installation des harnais électriques requiert environ 80 heures et pourrait représenter un goulot dans l'assemblage. L'hypothèse retenue pour passer outre cette contrainte et aussi permettre une amélioration est d'augmenter le nombre de techniciens électriques pouvant réaliser cette tâche et par le fait même utiliser autant de postes en parallèle pour rétablir le taux de sortie de l'appareil.

4.3 Méthodologie

Afin de réaliser cette étude, la méthodologie préconisée est celle de la cueillette de données in situ. En préliminaires à l'analyse, il aura fallu procéder à l'élaboration du diagramme de préséance au complet de l'appareil puisque ce dernier n'avait pas été fait.

Ainsi, la cueillette de données s'est échelonnée sur près de trois mois. Une liste des opérations a été fournie à chacun des employés travaillant aux postes d'assemblage. Il leur a été demandé d'évaluer le temps requis pour chacune des opérations en plus d'identifier le prédécesseur immédiat. Ensuite le prédécesseur réel, c'est-à-dire l'opération reliée au système assemblé, a été identifié pour les besoins du diagramme de préséance théorique. Il y a donc eu certaines opérations qui sont des prédécesseurs théoriques, mais décimées dans plusieurs postes de travail. Puisque l'entreprise était dans une position financière précaire, les durées n'ont été que brièvement révisées. La méthodologie standard demande un peu plus de vérification et une banque de données établie sur une longue période de temps. Cependant, cela n'a pu être respecté et les résultats seront sujets à une plus une grande variabilité.

Enfin, les données seront soumises à des tests provenant de la création d'une base de données incluant les quatre heuristiques définies dans le chapitre précédent. La description des tests sera présentée plus loin dans ce chapitre.

4.4 Élaboration du diagramme de préséance

La première étape avant de bâtir le diagramme de préséance est d'établir la liste des opérations d'assemblage donc des éléments de travail. Plus cette liste d'opérations sera précise plus il y aura de la flexibilité dans le flux d'assemblage, car il sera possible d'identifier plus facilement les véritables liens de préséance entre ces éléments. Ainsi, la collecte de donnée préliminaire a révélé que la liste des opérations regroupe en tâche plusieurs éléments de travail¹ et les opérateurs doivent se référer aux dessins techniques afin d'assembler correctement les pièces sur l'appareil.

De ce fait, il est primordial pour l'entreprise d'établir une gamme d'assemblage pour ledit appareil. Les informations nécessaires à cette gamme sont la réduction des opérations générales en opérations élémentaires comportant un temps d'assemblage, la description des outils nécessaires ainsi que les pièces requises à la réalisation de la tâche. De l'information supplémentaire peut aussi être ajoutée tel que la référence au dessin technique de même que des procédures spécialisées selon le type de montage.

Par la suite, il faut déterminer les liens de préséance entre chacune des opérations. Il est plus utile pour les besoins d'un grand assemblage d'utiliser aussi un diagramme fonctionnel de l'appareil afin d'associer les opérations d'assemblage aux différents systèmes de l'appareil tel que le système de train d'atterrissage, le système des surfaces volantes ou celui du pare-feu. De plus, le regroupement en diagramme fonctionnel et par le fait même

¹ Puisqu'un élément de travail est par définition indivisible, le terme tâche élémentaire sera dorénavant utilisé pour identifier le regroupement de plusieurs éléments de travail dans une même opération.

en structure modulaire comporte l'avantage de faciliter l'assemblage, mais surtout la structure de test afin d'augmenter la fiabilité d'un module et donc de l'ensemble de l'appareil. Il est aussi plus facile par la suite d'ajouter ou de retirer des options lors de la configuration demandée par les différents clients de l'entreprise. La figure 4 est une représentation générale des différentes parties d'un appareil dans le but d'aider à la compréhension des termes utilisés dans les tableaux d'analyse.

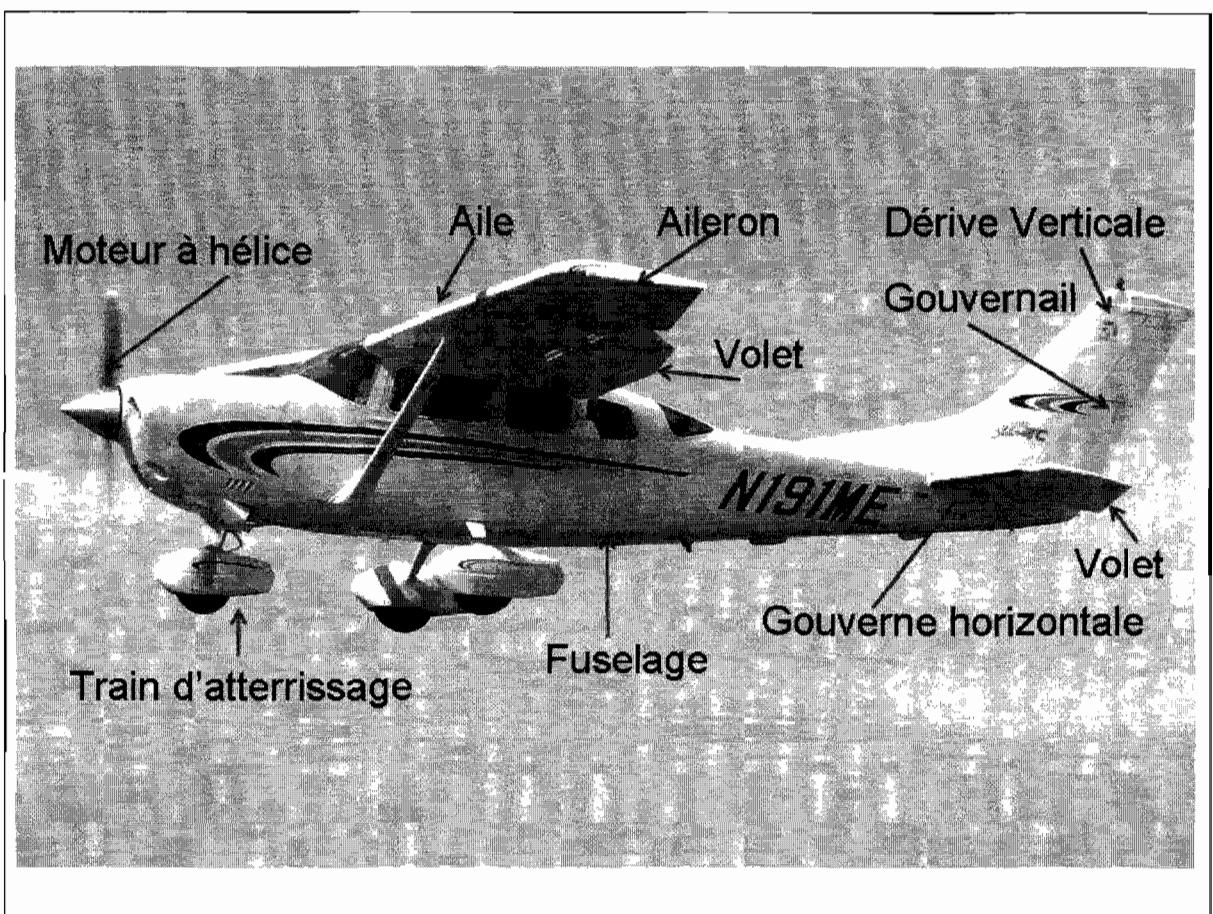


Figure 4 : Morphologie d'un avion de tourisme (Tiré de <http://fr.wikipedia.org>)

Comme il a été mentionné auparavant, la difficulté de ce travail réside donc dans l'élaboration du diagramme de préséance. L'erreur la plus fréquente est l'attribution d'un lien de préséance redondant. Ainsi, il a été possible d'identifier des étapes charnières dans l'assemblage. D'abord, tout le montage mécanique et électrique de base doit être complété avant l'installation du fuselage qui contraint les mouvements et l'atteinte de la structure à l'intérieur de l'appareil. Par la suite, l'ajustement du moteur et l'installation du pare-feu doivent être complétés avant la peinture du fuselage pour éviter les égratignures lors de ces opérations délicates. De même, il va de soi que tout le montage électronique et l'ajustement des surfaces volantes vont être complétés et inspectés avant le recouvrement de la finition intérieure. C'est donc en quelques lignes les étapes charnières, permettant d'éviter les redondances de liens, peu importe la méthode de résolution choisie. Puisque la procédure heuristique ne peut discriminer et comprendre la logique intrinsèque entre les tâches, l'utilisation d'un nœud charnière permettait aussi d'éviter l'attribution de tâches créant un conflit d'assemblage. En annexe 1 se trouve la liste complète de tous les éléments de travail du modèle de base.

4.5 Définition de la base de données

Avec l'aide d'un étudiant en informatique au collégial, une base de données a été constituée afin d'aider à la résolution du problème. En plus des éléments de travail et de leurs durées respectives, il est possible d'identifier des sous assemblages, des zones de travail et d'assigner des compétences selon la tâche. Ceci aura très certainement un effet sur les résultats puisqu'il s'agit de contraintes supplémentaires au modèle original. La base contient plusieurs tables servant à définir les paramètres de chacune des tâches élémentaires et des tables complémentaires afin de stocker l'information résultant des calculs des heuristiques.

La base de données est constituée de tables reliées tant à la gestion du personnel que des équipements et des tâches d'assemblage. L'annexe 2 présente le diagramme relationnel de cette base de données. L'objectif de cette base de données est non seulement d'établir un équilibrage de la ligne d'assemblage, mais aussi de fournir aux employés de production la liste des tâches devant être accomplies à leur poste de travail. De plus, en augmentant la base d'informations reliées à la production telles que les outils, la liste de pièces, de même que la référence au dessin technique, cela a pour effet de réduire le temps requis à la recherche d'information.

En premier lieu, la base de données prévoit la gestion des produits de l'entreprise. Pour le projet, un seul produit est pris en considération même s'il existe deux produits actuellement offerts sur le marché. De plus, il est aussi possible d'inclure des options aux différents modèles. Tout élément pouvant être ajouté au modèle de base peut être considéré comme une option. Par exemple, un parachute de secours, le pilote automatique ou même un élément remplacé par un autre de qualité supérieure tel que le choix des écrans de contrôles informatiques plutôt que des cadrans analogiques deviennent des options.

La base contient aussi une table pour l'information générale sur les employés et une table nommée classe, concernant la compétence requise. Il devient important dans les cas où la disponibilité d'employé qualifié est restreinte de créer des ensembles de compétence. Ainsi pour une tâche donnée, celle-ci peut être effectuée par une personne possédant plus d'une compétence. Par exemple, l'action de peinture doit être effectuée par un peintre, mais l'action de sablage peut être effectuée par une personne qui occupe un poste en composite ou par un peintre. Ceci permet donc de mieux distribuer les ressources humaines pour une meilleure flexibilité et d'offrir une plus grande variété d'activité pour les employés.

Pour ce qui est de l'assemblage du produit, la base de données se complexifie étant donné que les éléments de travail contiennent plusieurs paramètres. Ainsi, les zones de travail sont définies, par exemple la zone pour l'assemblage des ailes ou celle des tâches reliées aux activités électroniques et avioniques, la zone de peinture et d'assemblage composite. Par la suite, il est possible de définir dans une table nommée ressources, les outils nécessaires à la réalisation d'une tâche particulière telle que les numéros des gabarits ou le numéro du foret de la perceuse. Le principe se répète aussi pour une table nommée pièces, où la liste de pièces nécessaire à l'assemblage est associée à une tâche particulière. De même, il est d'autant plus important d'associer la bonne compétence à la tâche. Advenant le cas où une option est choisie lors de la commande, il faut aussi associer les tâches élémentaires supplémentaires en lien avec cette option et pouvoir les inclure au diagramme d'assemblage du produit. Ceci vient donc établir les différentes tables nécessaires au support des données de base.

Comme il a été présenté dans les paragraphes précédents, toutes ces informations doivent avoir un lien lors de la constitution des postes de travail. Ainsi, la base de données est aussi constituée de plusieurs tables permettant de créer ces liens. On nomme couplage, les tables servant entre autres à l'association des liens de préséance, des ressources matérielles et humaines aux tâches.

Finalement, la base de données doit aussi faire la gestion des résultats provenant de la programmation des heuristiques. Pour aider au visionnement des résultats, les tables ont été transformées en rapport. Il est possible de consulter l'information sous différentes formes. Soit la liste des résultats provenant des tests, il existe aussi un diagramme en forme de pointe de tarte pour la répartition des temps d'assemblage pour chacun des résultats

ainsi qu'un rapport permettant d'identifier quelles sont les tâches associées à chacun des postes de travail pour un résultat donné. C'est donc à partir de cette base de données plutôt complexe que les différents tests pour l'équilibrage de la ligne d'assemblage du produit SA-160 ont été réalisés.

4.6 Description des essais effectués

Les essais effectués en premier lieu servent à déterminer comment les heuristiques choisies répondent à la taille du problème complet. Ainsi, selon le mode de résolution SALBP-1, le temps de cycle d'origine, soit 85 heures, a été appliqué au modèle sans aucune contrainte. Par la suite, en fonction de ces résultats, l'utilisation de la méthode SALBP-2 a été appliquée afin d'optimiser le temps de cycle et de comparer l'efficacité entre les différentes solutions proposées.

Toujours dans le but d'optimiser l'efficacité de la chaîne de montage actuelle, la même méthodologie qu'expliquée précédemment a été appliquée pour un modèle réduit. Dans un premier temps, la réduction passe par la suppression des éléments de travail possiblement traitable comme un sous assemblage. Par exemple, le support à batterie comporte plusieurs petits morceaux qui sont assemblés sur une table de travail adjacente à la position de l'appareil. Le temps d'assemblage de cette pièce est d'un peu plus de trente minutes. En considérant que le travail directement appliqué à l'appareil est à valeur ajoutée, celui de l'assemblage du support est à non valeur ajoutée puisqu'il peut se réaliser dans une cellule de travail en retrait de la chaîne d'assemblage ou même être approvisionné à partir d'un fournisseur externe. Le fait de préparer d'avance ou en juste à temps les modules en sous assemblage permet de réduire le temps total de la chaîne de montage donc le chemin

critique du projet en entier. Le modèle réduit passe donc à 487 nœuds et le temps total d'assemblage est de 480,92 heures. En déterminant un nouveau nombre de postes de travail et un nouveau temps de cycle optimisé, la fabrication des sous assemblages sera en phase avec les nouveaux paramètres de la ligne.

En troisième lieu, la réduction du modèle de base sera considérée en tenant compte des contraintes de compétence et des restrictions de zonage. Ceci a pour effet de regrouper en grandes opérations tous les éléments de travail complémentaires à une section de l'avion tout en considérant la contrainte de compétence. Ceci a donc pour effet de réduire considérablement la taille du problème à vingt-quatre nœuds. Le tableau 4 est donc le résultat de ce regroupement en opérations charnières.

Tableau 4 : Modèle regroupé selon contraintes de compétence et de zonage

Numéro de l'élément	Description de l'élément	Code Compétence	Temps requis (heures)	Prédécesseurs
1	Assemblage mécanique/1-136	MECG	64,00	
2	Passer le filage électrique et autre harnais/137-141	ELEC	24,63	1
3	Préparation de l'assemblage du fuselage/142-177	PREP	26,41	2
4	Découpe de pièces en composite/178-246	COMPO	61,58	3
5	Préparation et pré peinture (peinture misc.)/247-271	PAINT	95,50	4
6	Installation des antennes/283-304	ELEC	6,80	5
7	Compléter l'électrique/345-405	ELEC	41,58	6
8	Assemblage du train d'atterrissage/272-282	MECG	14,25	5
9	Installation du pare-feu et du moteur/305-340	MECG	54,51	8
10	Peinturer fuselage/406	PAINT	5,00	7;9
11	Aligner fuselage/407-409	MECS	4,00	10
12	Assembler aile Gauche /438-460	MECS	9,51	
13	Installer aile gauche/461-481	MECS	18,65	11;12

Tableau 4 (suite) : Modèle regroupé selon contraintes de compétence et de zonage

Numéro de l'élément	Description de l'élément	Code Compétence ²	Temps requis (heures)	Prédécesseurs
14	Assembler aile droite/482-504	MECS	9,80	
15	Installer aile droite/505-524	MECS	18,15	11;14
16	Ajustement des Ailes/525-536	MECS	15,75	13;15
17	Installer queue de l'avion (rudder, horizontal stab, vertical stab)/410-437	MECS	34,68	11
18	Installer hélice, nez et inspection système de freinage/537-543	MECG	4,75	16
19	Intérieurs 1/560-566	FINIT	3,20	18
20	Intérieurs 2/544-554	FINIT	8,00	18
21	Assemblage des portes/555-559	FINIT	5,40	18
22	Intérieurs 3/567-576	FINIT	11,30	18
23	Installer jambe de roues et autre recouvrements/577-582	FINIT	4,10	18
24	Tests avant 1er vol/583-586	INSP	15,00	17,19;20;21;22;23

Finalement, la dernière partie des tests consiste à établir le nombre de postes de travail requis pour permettre à l'entreprise de fabriquer l'appareil selon un temps de cycle de 15 heures. Étant donné les contraintes actuelles sur les compétences et le zonage en cours dans l'entreprise, l'utilisation du modèle de base entraîne des solutions faisables en théorie, mais non réalisables concrètement. C'est pourquoi un nouveau modèle regroupé, celui-ci comprenant 15 nœuds est utilisé dans le but d'éviter des incohérences dans l'assemblage. De plus, l'utilisation de l'approche par cellule de travail sera considérée dans ce dernier test. Le tableau 5 fait le résumé des tests qui seront analysés dans le prochain chapitre.

² Code

Compétence

MECG

Mécanique générale

MECS

Mécanique spécialisée

ELEC

Électrique

PREP

Préparation composite et peinture

Code

Compétence

COMPO

Composite

PAINT

Peintre

FINIT

Finition

INSP

Inspection

Tableau 5 : Description sommaire des tests effectués

Numéro du test	Nom	Description	Nombre d'éléments
Test 1	Modèle de base	Comparaison du modèle de base sans aucune contrainte avec la situation présentement en cours dans l'entreprise selon SALBP-1	586
Test 2	Optimisation du test 1	Optimisation du temps de cycle trouvé au test 1 afin d'améliorer l'efficacité de la ligne selon SALBP-2	586
Test 3	Modèle réduit	Réduction du modèle de base par le retrait des sous assemblages de la ligne d'assemblage principale selon SALBP-1	468
Test 4	Optimisation du test 3	Optimisation du temps de cycle trouvé au test 3 afin d'améliorer l'efficacité de la ligne selon SALBP-2	468
Test 5	Modèle de base regroupé	Réduction du modèle de base à un modèle qui regroupe toutes les compétences associées à une tâche	24
Test 6	Modèle réduit regroupé	Réduction du modèle réduit en un modèle qui regroupe les éléments selon les contraintes de compétences, de zonage et qui retire les sous assemblages de la ligne principale.	15
Test 7	Projection future	Utilisation du modèle réduit regroupé en cellules manufacturières pour un temps de cycle de 15 heures.	15

Ce chapitre avait donc pour but de présenter la situation actuelle de l'entreprise IAS pour des fins de modélisation. Les contraintes sur la fonction objective à minimiser sont celles de compétences et de zonage en plus des contraintes normales de préséance. Pour faire suite à la description des tests utilisés pour minimiser le temps de passage total pour la fabrication de l'appareil avionique, le chapitre suivant fait état des résultats obtenus.

CHAPITRE 5 DESCRIPTION ET ANALYSE DES RÉSULTATS

5.1 Test 1 : Comparaison du modèle de base avec la situation actuelle

Ce premier test a pour objectif de déterminer si le nombre de postes de travail donné par les heuristiques correspond à l'aménagement actuel dans l'usine. Ceci dans le but de faire la comparaison entre une méthode intuitive et une méthode mathématique. Le modèle de base ne prend en considération que les liens de préséance. Le temps de cycle est fixé à 85 heures avec un cas de 586 éléments de travail. Le tableau 6 présente les résultats pour les quatre heuristiques choisies. La dernière colonne du tableau montre la répartition des tâches en cours. L'usine possède huit postes de travail qui ne sont pas équilibrés comme le montre la somme des temps élémentaires de la colonne de droite. Le goulot se situe au poste 2 qui consiste au département de peinture et composite.

Cependant, l'absence de contraintes dans le modèle permet d'établir l'équilibrage à sept postes de travail. Le taux d'efficacité de la ligne augmente à 93,53 % contrairement à l'efficacité théorique de 43,15 %. De même, l'écart type est de 13,89 heures entre les postes de travail. Ceci est considérable étant donné que la situation actuelle montre une distribution des tâches qui est non uniforme. Le temps d'inactivité de la ligne est réduit de 822,04 heures à 38,48 heures, et ce, malgré le fait que le deuxième poste de travail de la situation actuelle dépasse le temps de cycle. Il est donc possible d'affirmer que le temps d'inactivité serait encore plus élevé si cette donnée n'était pas considérée. Les résultats complets pour ce test se retrouvent à l'annexe 3.

Tableau 6 : Équilibrage pour le modèle de base avec $T_c=85$ hrs

POSTES	Candidat le plus Grand	Kilbridge et Wester	Poids Positionnel	COMSOAL i50	Cas Réel Entreprise
1	84,99	85,00	84,96	84,98	144,04
2	85,00	84,99	85,00	84,84	180,02
3	84,66	84,91	85,00	84,33	46,84
4	84,88	84,98	84,90	84,82	29,51
5	84,83	84,78	84,70	84,89	97,49
6	84,16	84,59	84,88	84,66	53,48
7	48,00	47,27	47,08	48,00	58,30
8	--	--	--	--	11,00
Moyenne	79,50	79,50	79,50	79,50	77,99
Écart type	13,89	14,21	14,30	13,89	58,47
Moyenne ajustée³	84,87	84,93	84,91	84,77	--
Écart type ajusté	0,14	0,09	0,13	0,25	--
Taux d'efficacité	93,53 %	93,53 %	93,53 %	93,53 %	43,15 %
Temps d'inactivité	38,48	38,48	38,48	38,48	822,04

Du côté des heuristiques choisies, chacune des procédures de résolutions offre des solutions comparables. L'écart type ajusté de l'heuristique de Kilbridge et Wester (1961) présente un meilleur résultat et donc indique une distribution des tâches plus égale entre les postes. Cependant, ce test utilise un modèle de base sans contraintes manufacturières contrairement à l'équilibrage actuel et ne peut donc pas représenter la réalité.

Les tableaux suivants font état des caractéristiques à considérer advenant l'implantation d'une solution comme celles présentées au tableau 6. Ainsi, le tableau 7 montre la répartition du nombre de tâches à chacun des postes. Il est important de considérer que dans un problème de cette dimension et dont le temps de cycle est long, le nombre de tâches exécutées pour une personne à un poste de travail devient important dans sa courbe

³ Le calcul de la moyenne ajustée et de l'écart type ajusté se fait en ne considérant pas le dernier poste de travail afin de déterminer la moyenne et l'écart type réelle de la chaîne d'assemblage.

d'apprentissage. En moyenne, il y a donc près de 83 tâches à exécuter par poste de travail. Le poste le plus important sur la chaîne d'assemblage en terme de durée totale est le premier poste qui comporte d'ailleurs tout l'assemblage mécanique. Encore une fois, la solution offerte par l'heuristique du poids positionnel semble avoir une distribution plus uniforme des tâches.

Tableau 7 : Nombre d'éléments de travail par poste pour le test 1

POSTES	Candidat le plus Grand	Kilbridge et Wester	Poids Positionnel	COMSOAL i50
1	160	154	144	154
2	80	94	89	81
3	64	58	77	72
4	80	72	81	76
5	88	75	87	87
6	70	89	71	72
7	44	44	37	44
Moyenne	83,71	83,71	83,71	83,71
Écart type	36,56	35,42	31,81	33,84

De plus, le tableau 8 démontre la variabilité des compétences nécessaires à chacun des postes. La distribution des éléments aux postes de travail requiert plus de six compétences en moyenne. Il s'avère donc difficile pour un employé de détenir autant de compétences et c'est pourquoi il faut trouver des moyens de réduire l'impact d'autant de compétences sur une chaîne de montage ou bien utiliser un modèle mathématique qui permet de tenir compte de telles contraintes.

Tableau 8 : Nombre de groupes de classe nécessaire par poste

POSTES	Candidat le Plus grand	Kilbridge et Wester	Poids Positionnel	COMSOAL i50
1	6	5	8	6
2	8	8	7	8
3	5	6	6	6
4	8	6	6	7
5	6	5	5	6
6	7	7	7	7
7	3	5	6	3
Moyenne	6,1	6,0	6,4	6,1
Écart type	1,8	1,2	1,0	1,6

Ainsi, avec un temps de cycle de départ de 85 heures, la répartition actuelle des éléments à chacun des postes démontre une grande variabilité selon les résultats de l'écart type. Intuitivement, la séparation en huit postes de travail s'avère une bonne estimation puisque les résultats d'équilibrage avec l'utilisation des heuristiques donnent aussi sept postes de travail. Cependant, on remarque que le deuxième poste de travail de la situation actuelle dépasse le temps cycle et indique le goulot de la ligne. Ceci peut alors expliquer le nombre d'avions en cours d'assemblage dans l'usine au moment de la prise de données. De plus, le dernier poste n'est pas totalement efficace avec seulement 11 heures de tâches à effectuer. Par contre, cela est occasionné fréquemment même avec l'utilisation d'un modèle mathématique puisque le mode de résolution tente de remplir en premier les postes en amont et le dernier poste est constitué des tâches restantes.

Ainsi, les quatre heuristiques utilisées donnent un taux d'efficacité de 93,53 %, ce qui représente plus de 50,38 % d'écart avec la situation actuelle. En fonction des résultats obtenus, l'heuristique de Kilbridge et Wester est la plus performante des quatre avec un écart type ajusté de seulement 0,09 et une moyenne de temps de 84,93 heures, soit une

efficacité moyenne de 99.97 % par poste si l'on ne considère pas le dernier poste de la chaîne. La contrepartie d'une telle performance est l'augmentation des possibilités d'arrêts sur la chaîne étant donné que les temps requis d'assemblage sont des données provenant de valeurs estimées moyennes.

5.2 Test 2 : Optimisation du temps de cycle actuel

La suite logique de cette section est de déterminer le temps de cycle optimal suivant un nombre de postes de travail déterminé. En considérant que le nombre de postes de travail obtenus avec la résolution du problème SALBP-1 de la section précédente est optimal, soit sept postes de travail, la question posée se transforme à savoir quel est le temps de cycle optimal. La littérature fait état que la principale procédure de résolution du problème SALBP-2 est de passer par la résolution de façon itérative d'une méthode heuristique de type SALBP-1. C'est donc par cette méthode et avec l'utilisation des mêmes heuristiques que précédemment que le temps de cycle optimal pour un nombre de postes de travail fixe est déterminé.

Ainsi, comme le montre le tableau 9 de la page suivante, la solution de l'heuristique du poids positionnel est la plus performante. Le temps de cycle optimal est passé de 85 heures à 79,59 heures, soit 6,4 % d'amélioration et l'efficacité de la ligne est presque parfaite avec 99,9 %. Avec un tel taux d'efficacité, il est d'autant plus important de bien maîtriser les tâches à exécuter afin d'éviter les arrêts sur la ligne d'assemblage. De plus, en ayant fixé le nombre de postes de travail, cela assure que chacun va être occupé à son maximum contrairement à la solution de type 1 dont le dernier poste n'était que partiellement complet.

Tableau 9 : Optimisation du temps de cycle du modèle de base avec $m = 7$

POSTES	Candidat le plus grand	Kilbridge et Wester	Poids Positionnel
1	80,18	79,90	79,59
2	78,81	79,09	79,56
3	80,16	78,9	79,55
4	80,50	79,9	79,49
5	79,49	79,55	79,56
6	79,83	79,42	79,55
7	78,00	79,75	79,22
Moyenne	79,57	79,50	79,50
Écart type	0,82	0,3889	0,12829
Moyenne ajustée	79,57	79,50	79,50
Écart type ajusté	0,89	0,39	0,13
Taux d'efficacité	99,20 %	99,50 %	99,90 %
Temps d'inactivité	4,90	2,80	0,70
Temps de cycle optimal	80,50	79,90	79,59

Comme précédemment, il est tout de même important de regarder la distribution du nombre de tâches et du nombre de compétences requises pour les employés dans l'implantation de la solution. La page suivante montre au tableau 10 combien il y a de tâches par poste de travail et le tableau 11 montre la distribution des compétences parmi les postes de travail.

Tableau 10 : Nombre d'éléments de travail par poste pour le test 2

POSTES	Candidat le plus grand	Kilbridge et Wester	Poids Positionnel
1	143	151	136
2	80	72	89
3	77	73	65
4	66	65	86
5	83	73	76
6	69	80	68
7	68	72	66
Moyenne	83,71	83,71	83,71
Écart type	26,93	29,99	24,96

Tableau 11 : Répartition des compétences pour le test 2

POSTES	Candidat le plus grand	Kilbridge et Wester	Poids Positionnel
1	5	5	9
2	8	8	7
3	4	5	6
4	8	6	5
5	5	7	6
6	7	6	7
7	6	7	6
Moyenne	6,1	6,3	6,6
Écart type	1,6	1,1	1,3

Les résultats montrés aux tableaux 10 et 11 sont tous très comparables entre eux, mais encore une fois, les résultats de l'heuristique du poids positionnel s'avèrent être supérieurs. On trouve une moyenne de près de 84 tâches par postes de travail et plus de six compétences nécessaires à la réalisation de ces activités, tout comme la solution précédente.

5.3 Test 3 : Réduction du modèle de base par l'utilisation de sous assemblage

Afin d'alléger rapidement la charge de travail de la chaîne de montage actuelle, il est possible de regrouper un certain nombre de tâches en sous assemblage. Ainsi, on observe les principes généraux de production à valeur ajoutée. Toutes les tâches réalisées sur la chaîne de montage ajoutent de la valeur directement au produit. On réduit donc le cas à 468 tâches et la durée totale de fabrication de l'avion se trouve diminuée à 460,14 heures. C'est donc une amélioration de 22 % par rapport au temps de fabrication originale. Les tableaux 12 à 14 présentent les résultats de l'équilibrage en conservant le temps de cycle original soit 85 heures.

Malgré le fait que le taux d'efficacité de la ligne soit diminué par rapport à la situation précédente, on remarque qu'il serait possible de réaliser la chaîne en ne considérant que 6 postes de travail. Il faut cependant considérer l'ajout d'un poste supplémentaire permettant le montage des sous assemblages. Cette solution s'avère donc comparable à la situation précédente.

Tableau 12 : Équilibrage pour le modèle réduit avec $T_c=85$ h

POSTES	Candidat le Plus grand	Kilbridge et Wester	Poids Positionnel	COMSOAL i50
1	84,64	84,64	84,64	84,64
2	84,91	84,91	84,91	84,91
3	84,42	84,85	84,61	84,81
4	84,47	84,85	84,94	84,99
5	83,48	84,73	84,82	84,57
6	59,00	56,94	57,00	57,00
Moyenne	80,15	80,15	80,15	80,15
Écart type	10,37	11,37	11,34	11,34
Moyenne ajustée	80,15	80,15	80,15	80,15
Écart type ajusté	10,37	11,37	11,34	11,34
Taux d'efficacité	94,30 %	94,30 %	94,30 %	94,30 %
Temps d'inactivité	29,08	29,08	29,08	29,08

Tableau 13 : Nombre de tâches par postes de travail pour le test 3

POSTES	Candidat le Plus Grand	Kilbridge et Wester	Poids Positionnel	COMSOAL i50
1	117	117	117	117
2	87	84	84	88
3	74	65	86	66
4	85	76	79	94
5	69	97	79	68
6	55	48	42	54
Moyenne	81,17	81,17	81,17	81,17
Écart type	21,06	24,21	23,91	22,96

Tableau 14 : Répartition des compétences pour le test 3

POSTES	Candidat le Plus Grand	Kilbridge et Wester	Poids Positionnel	COMSOAL i50
1	7	7	7	7
2	5	5	5	5
3	7	5	6	7
4	6	7	6	6
5	6	7	7	6
6	6	5	4	6
Moyenne	6,2	6,0	5,8	6,2
Écart type	0,8	1,1	1,2	0,8

En observant les résultats donnés par les quatre heuristiques, celles-ci offrent des solutions comparables. Pour ce qui est de l'équilibrage et de l'écart type entre les postes, l'heuristique du candidat le plus grand semble donner le meilleur résultat. D'ailleurs, la distribution du nombre de tâches moyennes par poste de travail est aussi similaire d'une solution à une autre avec une moyenne de 81 tâches. Par contre, la distribution des tâches en fonction des compétences est meilleure dans la solution de l'heuristique du poids positionnel avec une moyenne de 5,8 compétences par poste de travail.

5.4 Test 4 : Optimisation du temps de cycle du modèle réduit

Tout comme le test précédent, l'objectif de l'utilisation de la méthodologie de résolution de l'équilibrage de ligne d'assemblage de type 2 est de fixer le nombre de postes de travail afin de maximiser le temps de cycle. Ainsi, avec six postes de travail pour le modèle réduit, le temps de cycle optimal varie entre 80,53 heures et 80,91 heures et le taux d'efficacité est supérieur à 99 %. Le tableau 15 montre les solutions selon trois heuristiques. Il a été impossible avec la base de données de résoudre selon l'heuristique COMSOAL pour des raisons de programmation informatique.

Tableau 15 : Optimisation du modèle réduit avec $m = 6$

POSTES	Candidat le Plus Grand	Kilbridge et Wester	Poids Positionnel
1	79,64	79,64	79,64
2	80,91	80,91	79,91
3	80,55	80,85	80,53
4	80,34	79,68	80,36
5	80,48	80,92	80,50
6	79,00	78,92	79,98
Moyenne	80,15	80,15	80,15
Écart type	0,70216	0,85491	0,36264
Moyenne ajustée	80,15	80,15	80,15
Écart type ajusté	0,70	0,85	0,36
Taux d'efficacité	99,10 %	99,10 %	99,50 %
Temps d'inactivité	4,80	4,80	2,40
Temps de cycle optimal	80,91	80,92	80,53

Du point de vue des résultats des trois heuristiques, la solution du poids positionnel est supérieure aux autres. Le temps d'inactivité pour la ligne est de 2,4 heures et le temps de cycle est le plus bas des trois solutions. Les tableaux 16 et 17 montrent aussi la distribution des tâches et des compétences. Quoique très semblable, la solution du poids positionnel est aussi avantageuse.

Tableau 16 : Nombre de tâches par postes de travail pour le test 4

POSTES	Candidat le Plus Grand	Kilbridge et Wester	Poids Positionnel
1	111	111	111
2	88	88	87
3	64	58	71
4	90	76	82
5	65	80	71
6	69	74	65
Moyenne	81,17	81,17	81,17
Écart type	18,54	17,62	16,69

Tableau 17 : Répartition des compétences pour le test 4

POSTES	Candidat le Plus Grand	Kilbridge et Wester	Poids Positionnel
1	6	6	6
2	5	5	5
3	7	5	6
4	5	7	5
5	6	6	7
6	6	7	6
Moyenne	5,8	6,0	5,8
Écart type	0,8	0,9	0,8

5.4.1 Ligne parallèle d'alimentation pour la fabrication des sous assemblages

Il est vrai que le fait de retirer de la ligne d'assemblage principale des modules servant à créer des sous assemblage permet de réduire d'un poste le nombre de postes de travail requis pour la fabrication de l'appareil. Seulement, les sous assemblages doivent aussi être assemblés au préalable et il faut donc s'assurer qu'ils possèdent un espace dans l'atelier.

Dans le but de synchroniser la ligne d'assemblage principale avec la ligne dédiée aux sous assemblages, il faut utiliser la méthode de résolution du SALBP-2. Le

temps de cycle est fixé à celui de la ligne principale, mais advenant que l'efficacité soit très inférieure, il est aussi possible de diminuer le temps de cycle et ainsi fabriquer une certaine quantité d'inventaires. Cependant, cette option s'avère moins intéressante étant donné que cela aura un effet direct sur l'augmentation des coûts généraux de produits en cours tout en créant un mouvement de main d'œuvre si un arrêt de la ligne survient.

Ainsi, le temps total pour faire l'assemblage des modules retirés de la ligne principale est de 72,63 heures. Avec un temps de cycle fixé à 85 heures, un seul poste d'assemblage est requis, et ce, tant et aussi longtemps que le temps de cycle n'atteindra pas cette limite inférieure. Pareillement à la solution optimisée où le temps de cycle devient 80,5 heures, un seul poste est encore requis pour la fabrication des sous assemblages.

5.5 Test 5 : Réduction du modèle de base par le regroupement des compétences

Sans pour autant revenir à la situation initiale, l'étude des tâches et la nécessité de passer par certaines tâches charnières comme il a été décrit plus haut ont permis de regrouper des éléments de travail selon les compétences requises et ainsi diminuer l'effet des contraintes. Dans le cas présent, les contraintes de compétences étaient aussi intimement liées aux contraintes de zonage. Le meilleur exemple est le regroupement des tâches nécessitant la zone de peinture et donc le besoin d'un peintre pour effectuer la tâche. De plus, l'utilisation de cette méthode de regroupement permet de réduire la complexité du problème en résolvant un modèle à 24 nœuds et seulement 30 liens de préséance.

Ainsi, chacun des postes de travail créé avec cet équilibrage pourra être traité comme une cellule manufacturière autonome pouvant contenir plusieurs postes de travail. Ceci vient donc rejoindre un peu plus les principes de juste à temps et donne aussi beaucoup plus de flexibilité à la chaîne de montage lors des ajouts ou des retraits d'option sur le modèle d'appareil. Cependant, le temps de cycle de base doit être augmenté de plus de 10 heures étant donné que le regroupement de toutes les tâches de peinture équivaut à 95,50 heures. Ceci crée donc une limite inférieure à la solution de base. Par contre, l'avantage de ce modèle réside dans l'accomplissement de la tâche des harnais, où dans les autres tests, il fallait quadrupler la capacité. Dans ce cas, il est possible d'utiliser un seul électricien pour effectuer la tâche d'une durée de 80 heures.

Les tableaux 18 à 20 montrent les résultats pour trois des quatre heuristiques. Les trois solutions sont à peu près identiques ce qui démontre l'orientation du diagramme de préséance et donc du peu de possibilités à optimiser ce dernier. Cela confirme donc la deuxième hypothèse stipulant que le nombre de contraintes vient restreindre l'horizon d'optimalité de la solution. Les éléments de travail ainsi qu'un diagramme de préséances sont montrés à l'annexe 4 de ce document.

Tableau 18 : Équilibrage pour le modèle regroupé avec $T_c=95$, 5 h

POSTES	Candidat le plus Grand	Poids Positionnel	COMSOAL i50
1	79,81	79,81	79,81
2	88,13	88,13	88,13
3	87,99	87,99	87,99
4	95,50	95,50	95,50
5	75,56	75,56	75,56
6	85,26	87,38	85,26
7	89,30	87,18	89,30
8	15,00	15,00	15,00
Moyenne	77,07	77,07	77,07
Écart type	25,80	25,78	25,80
Moyenne ajustée	85,40	85,40	85,40
Écart type ajusté	7,81	7,81	7,81
Taux d'efficacité	80,70 %	80,70 %	80,70 %
Temps d'inactivité	147,45	147,45	147,45

Tableau 19 : Nombre de tâches par postes de travail pour le test 5

POSTES	Candidat le plus Grand	Poids Positionnel	COMSOAL i50
1	3	3	3
2	1	1	1
3	2	2	2
4	1	1	1
5	3	3	3
6	4	5	4
7	9	8	9
8	1	1	1
Moyenne	3,00	3,00	3,00
Écart type	2,67	2,45	2,67

Tableau 20 : Répartition des compétences pour le test 5

POSTES	Candidat le plus Grand	Poids Positionnel	COMSOAL i50
1	1	1	1
2	1	1	1
3	2	2	2
4	1	1	1
5	2	2	2
6	3	3	3
7	3	2	3
8	1	1	1
Moyenne	1,8	1,7	1,8
Écart type	0,9	0,8	0,9

5.6 Test 6 : Utilisation d'un modèle réduit et regroupé selon les compétences

Selon une suite logique, les sections précédentes ont démontré que l'utilisation de sous assemblage et du regroupement par compétence permet d'obtenir de meilleurs résultats en terme d'efficacité de ligne. Le fait d'établir des liens entre différentes composantes ou sous-assemblage dans le but de former un produit complexe. (Abdullah et al., 2003). En combinant ces deux méthodes au modèle de base, le tableau 21 présente les résultats obtenus en mode SALBP-1. Il faut cependant noter que les sous assemblages pouvant être retiré de la ligne sont ceux associés à l'assemblage mécanique, au composite et à l'assemblage des ailes de l'avion. Les sous assemblages nécessitant de la peinture doivent rester, car ils requièrent l'utilisation de cette zone de travail et aussi du personnel qualifié pour faire ces opérations. Ainsi, comme présenté en annexe 5, le modèle général passe aussi de 24 à 15 nœuds dans le but de regrouper encore plus les compétences. Des 586 tâches de base, on en retrouve 80 formant le groupe de sous assemblage et incluant l'assemblage hors ligne des ailes de l'avion comptant pour près de 19 heures de travail. La ligne passe donc à un total d'assemblage de 581,92 heures.

Tableau 21 : Équilibrage pour le modèle réduit regroupé avec $T_c=95,5$ h

POSTES	Candidat le plus Grand	Kilbridge et Wester	Poids Positionnel	COMSOAL i50
1	45,18	45,18	45,18	45,18
2	88,13	88,13	88,13	88,13
3	87,99	87,99	87,99	87,99
4	95,50	95,50	95,50	95,50
5	67,63	67,63	67,63	67,63
6	93,19	93,19	93,19	93,19
7	89,30	89,30	89,30	89,30
8	15,00	15,00	15,00	15,00
Moyenne	72,74	72,74	72,74	72,74
Écart type	28,78	28,78	28,78	28,78
Moyenne ajustée	72,74	72,74	72,74	72,74
Écart type ajusté	28,78	28,78	28,78	28,78
Taux d'efficacité	76,17 %	76,17 %	76,17 %	76,17 %
Temps d'inactivité	182,08	182,08	182,08	182,08

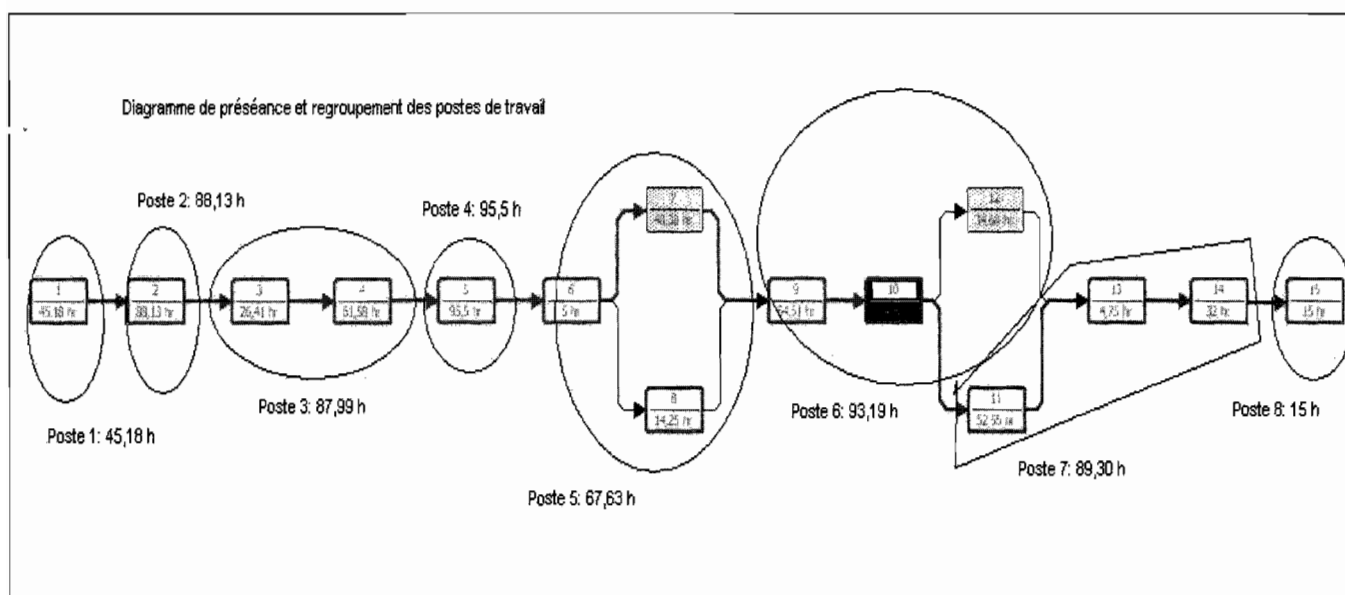


Figure 5 : Diagramme de préséance de la solution à 15 nœuds

5.7 Test 7 : Projection future pour l'augmentation du taux de production

Comme il a été présenté au début du chapitre, les commandes d'appareils étaient nombreuses et les dirigeants voulaient augmenter leur capacité de production. Pour ce faire, la ligne d'assemblage doit donc changer de cadence et un réaménagement des postes de travail doit avoir lieu. La question qui se pose alors est, de combien l'entreprise doit augmenter le nombre de postes de travail afin d'augmenter la cadence à 15 heures par unité? La situation idéale serait que les employés deviennent polyvalents pour tous les types de tâches, mais les contraintes actuelles démontrent qu'il est mieux de regrouper selon les compétences malgré la perte d'efficacité générale.

La liste des tâches élémentaires du modèle réduit à 24 nœuds (tableau 4) impose une limite inférieure sur le temps de cycle à 95 heures. Pour améliorer la situation, une possibilité serait de doubler la capacité du centre de peinture ainsi la limite inférieure passe à 60 heures. À partir de cette nouvelle limite, l'introduction de postes en parallèle demanderait de quadrupler le nombre de postes sur ligne et ferait donc chuter le taux d'efficacité général. Puisque le modèle réduit inclut le regroupement de plusieurs tâches élémentaires, l'approche choisie pour obtenir un temps de cycle de 15 heures est l'utilisation de poste cellule de fabrication avec le modèle à 15 nœuds comme montré à la figure 5. Par exemple, l'assemblage mécanique représenté par le premier nœud du modèle obtient un temps d'assemblage de 45,18 heures et regroupe 90 tâches élémentaires. Il est donc possible d'envisager de créer une cellule de travail dont le temps de cycle est de 15 heures. Enfin, la sommation de l'ensemble des postes de travail créé pour chacun des nœuds du modèle réduit regroupé formera une ligne d'assemblage dont le temps de cycle est de 15 heures et dont l'efficacité sera maximisée. Les résultats sont présentés dans le tableau 22.

Tableau 22 : Nombre de postes projetés pour un temps de cycle de 15 heures

POSTES	Nœud #1	Nœud #2	Nœud #3	Nœud #4	Nœuds #5 et #6	Nœud #7	Nœud #8	Nœud #9	Nœud #10	Nœud #11	Nœud #12	Nœud #13	Nœud #14	Nœud #15	Nœud #16	Totaux
1	14,99	3,50	14,58	14,83	15,00	14,39	14,25	15,00	4,00	14,82	13,18	4,75	14,90	15,00	14,99	
2	15,00	15	11,83	14,83	15,00	14,56		15,00		13,98	15,00		14,90		14,99	
3	14,69	4,63		14,83	15,00	14,08		14,01		14,50	6,50		2,20		4,65	
4	0,50			15,00	15,00	5,35		10,50		9,25						
5				2,09	15,00											
6					15,00											
7					10,50											
Moyenne	11,30	7,71	13,21	12,32	13,63	12,10	14,25	13,63	4,00	13,14	11,56	4,75	10,67	15,00	11,54	
Écart type	7,19810	6,33856	1,94454	5,71698	1,70084	4,50106	--	2,13659	--	2,61468	4,47558	--	7,33235	--	5,96980	
Taux d'efficacité	75,30 %	51,40 %	88,03 %	82,11 %	95,71 %	80,63 %	95,00 %	90,85 %	26,67 %	87,58 %	77,07 %	31,67 %	71,11 %	100,00 %	76,96 %	79,93 %
Temps d'inactivité	14,82	21,87	3,59	13,42	4,50	11,62	0,75	5,49	11,00	7,45	10,32	10,25	13,00	—	10,37	138,45
Temps de cycle optimal	15,00	15,00	14,58	15,00	15,00	14,56	14,25	15,00	4,00	14,82	15,00	4,75	14,90	15,00	14,99	
Nombre d'employés	4	3	2	5	7	4	1	4	1	4	3	1	3	1	3	46
Compétence requise	MECG	ELEC	PREP	COMPO	PAINT	ELEC	MECG	MECG	MECG	MECS	MECS	MECG	FINIT	INSP	MECG	

Légende :

MECG Mécanicien généraliste

MECS Mécanicien spécialisé

ELEC Électricien

FINIT Employé spécialisé à la finition

COMPO Employé spécialisé en plastique composite

PAINT Employé spécialisé en peinture

PREP Employé de préparation peinture et composite

INSP Inspecteur avionique

À titre d'exemple pour aider à la compréhension du tableau 22, le nœud #9 représente l'assemblage du pare-feu et du moteur sur l'appareil. Ce nœud rassemble donc les 36 tâches élémentaires nécessitant un mécanicien généraliste. Le temps de travail requis est de 54,51 heures. L'équilibrage donne un résultat de quatre postes de travail donc il y a assignation de quatre employés pour effectuer toutes les tâches selon un modèle de cellule de fabrication. Le taux d'efficacité pour ce nœud est de 90,85 % et il y a un temps inactif de 5,49 heures occasionné par le dernier poste. Les deux premiers postes de ce nœud sont équilibrés au temps de cycle tandis que le dernier poste ne contient que 10,5 heures de travail.

Avec un temps de cycle fixé à 15 heures, le nombre de postes de travail et donc d'employés incluant la ligne parallèle pour la fabrication des sous assemblages est de 46 et le taux d'efficacité de la ligne est de 79,93 %. Le temps d'inactivité est de 138,45 heures. Cet équilibrage est donc une solution faisable puisqu'il s'agit d'augmenter le nombre d'employé et de postes de travail sans augmenter le nombre d'avions en cours. Il faudrait donc prévoir une augmentation dans les coûts variables de main-d'œuvre, mais l'augmentation du taux de production en comparaison avec la situation actuelle devient grandement améliorée en raison de la diminution du temps de cycle.

En observant de plus près ces résultats, il serait aussi possible de réduire le nombre d'employés à 43 en effectuant certaines combinaisons entre les postes. De cette façon, le dernier poste du nœud⁴ #9 avec le poste du nœud #10 et pareillement pour les nœuds #12 et #13 requiert les mêmes compétences. La sommation des temps de travail ne dépasse

⁴ Dans le cas présenté, le terme station est employé pour indiquer un ensemble de postes de travail et non comme une traduction libre du terme employé en anglais.

pas le temps de cycle fixé. Il y a donc réduction de deux employés pour ces postes. Par ailleurs, dans le cas du nœud #2, le premier et le dernier poste ne sont pas complet et ces tâches pourraient être effectuées par la même personne en considérant un aménagement de la cellule en forme de U. Globalement, ceci aurait pour effet de faire augmenter de plus de 5 % le taux d'efficacité total de la ligne le faisant passer à 85,51 %. Cependant, il faut se questionner sur la nécessité d'effectuer un si grand changement par rapport à la cadence et optant au départ de repousser les délais de livraison chez les clients et voir si le niveau de vente d'appareil se maintient.

CHAPITRE 6 DISCUSSION DES RÉSULTATS

Ce chapitre se compose des deux principales sections provenant des objectifs décrits dans le cadre conceptuel de cette recherche. Tout d'abord, le premier point présente les conclusions sur le choix de l'heuristique la plus performante parmi tous les tests effectués. Par la suite, le deuxième point présente les conclusions sur le choix du meilleur modèle pour effectuer l'équilibrage de la ligne d'assemblage.

6.1 Comparaison et choix de la meilleure heuristique

À la lumière des résultats obtenus, il est possible d'affirmer que les quatre heuristiques offrent des solutions comparables. Cependant, l'heuristique du poids positionnel permet un équilibrage de la chaîne de montage plus homogène lorsqu'il y a comparaison entre les valeurs d'écart type de chacune des solutions. Il s'agit donc du chemin critique du diagramme de préséance qui est valorisé contrairement aux autres heuristiques qui valorisent le nombre de prédécesseurs ou la valeur des temps élémentaires. C'est donc dire que le diagramme de préséance suit une direction déterminée en fonction des opérations charnières de l'assemblage.

Cela ne s'avère pas une avancée dans la matière mise à part le fait qu'il s'agit ici d'une étude de cas et non de problèmes théoriques résolus (Ponnambalam et al., 1999) comme il est mentionné dans plusieurs articles. Par ailleurs, la logique de réduction de modèle (Fleszar et Hindi, 2003) conclut que l'application de cette technique ne permettait pas d'améliorer significativement une solution, mais allégeait la difficulté des calculs comme celui entre

autres de la limite inférieure. La technique de réduction de modèle permettait aussi une meilleure validation de la solution, ce qui a été observé dans la résolution du modèle choisi.

6.2 Comparaison et choix de la meilleure solution

Il y a eu sept tests différents qui ont pour but d'améliorer la situation actuelle ou du moins permettre la comparaison avec l'équilibrage actuel de la chaîne de montage. Les tests 1,3 et 5 se sont déroulés avec comme variable fixe le temps de cycle et dont le but était de minimiser le nombre de postes de travail selon le modèle choisi. Les tests 2,4 et 6 avaient pour but d'optimiser les résultats des tests précédant en utilisant l'approche SALBP-2 avec le nombre de postes de travail comme variable fixe et le temps de cycle comme variable dépendante. Le tableau 23 présente les résultats des meilleures solutions en fonction du modèle choisi.

Tableau 23 : Comparaison des résultats

POSTES	Modèle sans contraintes	Modèle sans contraintes optimisées (T2)	Modèle réduit	Modèle réduit optimisé (T2)
Heuristiques	Poids Positionnel	Poids Positionnel	Candidat le plus grand	Poids Positionnel
1	84,96	79,59	84,64	79,64
2	85,00	79,56	84,91	79,91
3	85,00	79,55	84,42	80,53
4	84,90	79,49	84,47	80,36
5	84,70	79,56	83,48	80,50
6	84,88	79,55	59,00	79,98
7	47,08	79,22		
Moyenne	79,50	79,50	80,15	80,15
Écart type	14,30	0,13	10,37	0,36
Moyenne ajustée	84,91	79,50	80,15	80,15
Écart type ajusté	0,13	0,13	10,37	0,36
Taux d'efficacité	93,53 %	99,90 %	94,30 %	99,50 %
Temps d'inactivité	38,48	0,70	29,08	2,40

En observant les mesures de performance calculée pour chacun des tests, la solution du modèle sans contraintes optimisées est celle qui possède le meilleur taux d'efficacité et le temps d'inactivité le plus court. Son temps de cycle optimisé à 79,59 heures est inférieur au temps de cycle de base de 85 heures. Cependant, en situation réelle, il est très difficile pour une entreprise de maintenir un taux d'efficacité aussi élevé. En considérant cette solution comme étant l'optimale, il faut aussi faire les hypothèses que la fiabilité des équipements, du design et de l'acquisition des compétences requises par les employés possède aussi ce taux de performance.

En deuxième phase de ce travail de recherche, le cas de la situation future comprenant un temps de cycle de 15 heures avec 46 postes de travail est réalisable à la condition que l'entreprise possède la superficie du bâtiment nécessaire. C'est ce que démontre le test 7. Les résultats, peu importe l'heuristique choisie, présentent les mêmes solutions et les mêmes taux dans les mesures de performance. Le taux d'efficacité de 76,17 % est plus réaliste pour un milieu industriel. Puisqu'il s'agit d'une ébauche de ligne d'assemblage pour ce modèle, il est important de comprendre et de voir les effets sur l'équilibrage. Cela souligne aussi l'importance de mettre plus d'effort dans l'élaboration des préséances entre les tâches afin d'éviter une solution orientée et donc limitée mathématiquement.

En retour sur la conceptualisation du problème de recherche, les hypothèses stipulées s'avèrent exactes. L'hypothèse de recherche #1 voulait que l'utilisation d'un modèle théorique améliore l'efficacité de la ligne d'assemblage actuellement en place. Les tests effectués sont donc le reflet de cette conclusion. L'hypothèse 2 prédisait cependant que les contraintes pouvaient détériorer la situation actuelle. Dans ce cas, la situation actuelle prévalait avec les contraintes donc l'ajout de ces dernières ont eu un effet que sur les

modèles théoriques présentés. Pour contourner ces limites, il aura fallu utiliser des modèles réduits et regroupés selon les compétences. Un meilleur taux d'efficacité a pu être observé en raison de la diminution du nombre d'éléments de travail et de l'utilisation des sous assemblages.

Finalement, les résultats permettent de conclure que la meilleure séquence d'assemblage pouvant améliorer la situation actuelle est la solution proposée par l'utilisation du modèle réduit optimisé, soit la quatrième colonne du tableau 23, en utilisant l'heuristique du poids positionnel. Cette solution ne permet pas d'améliorer de 50 % le temps de cycle de la situation actuelle comme il était demandé dans la question principale de recherche, mais cette solution montre une meilleure homogénéité dans la durée des postes de travail ce qui évite les discontinuités entre les postes.

En réponse aux questions subséquentes de recherche, le nombre optimal de postes de travail serait de six si l'entreprise conserve ces locaux actuels de fabrication. Il faut cependant ajouter à ces six postes de l'espace pour créer des modules d'assemblages pour les composantes en sous assemblage à l'extérieure de la ligne principale de fabrication. Il y aurait donc lieu de maximiser l'utilisation du plancher de production. La principale similitude entre les résultats obtenus et la situation actuelle demeure le nombre de postes de travail. Cependant, les différences sont nombreuses en considérant la répartition des éléments de travail dans les postes et l'utilisation des modules sous assemblés qui ont un effet appréciable sur le taux d'efficacité.

Enfin, l'entreprise tirerait un avantage certain en établissant un diagramme de préséance en fonction des différents systèmes de l'appareil, en identifiant les sous assemblages pouvant

être retiré de la ligne principale, en établissant les durées de montage des éléments et en identifiant toutes les contraintes nécessaires avant d'affecter une tâche à un poste. Ces modifications devront par ailleurs être effectuées afin de garantir une implantation harmonieuse de la solution choisie tant au niveau du flux de production que pour les employés qui auront à composer avec l'apprentissage de cette nouvelle méthode de travail.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La première constatation de ce travail de recherche a permis de découvrir l'ampleur des travaux réalisés et les perspectives de développement qu'offre ce domaine de recherche. La modélisation des nombreuses contraintes industrielles ainsi que l'introduction de la variable de coûts semblent demeurer les principales orientations des chercheurs afin de se rapprocher non pas d'une solution optimale, mais bien d'une solution réalisable en contexte réel.

En lien avec les objectifs de cette recherche, les sept tests effectués sur le cas de IAS ont permis de constater d'une part que l'utilisation d'une procédure mathématique donne de meilleurs résultats en terme de taux d'efficacité de la ligne et pour la répartition des tâches que la version intuitive de la configuration de la ligne d'assemblage actuelle. Aussi, l'utilisation de la méthode heuristique du poids positionnel offre les meilleurs résultats en comparaison avec les autres procédures utilisées. Par ailleurs, la réduction du modèle de base en fonction des contraintes de compétence et du retrait des sous assemblage de la ligne principale oriente la solution vers une solution unique et donc non optimale, mais plus plausible en situation réelle.

Finalement, les recommandations suivant ce travail de recherche portent sur deux aspects. Le premier étant au préalable la construction du diagramme de préséance complet de l'avion en réalisant à prime à bord les gammes de fabrication de l'appareil. Au moment de la cueillette de données, toutes ces informations n'étaient pas disponibles et l'utilisation de nombreuses hypothèses a dû être considérée. L'élaboration des gammes de fabrication

passé aussi par l'établissement de temps standard. La durée importante du temps de cycle indique qu'il existe beaucoup d'instabilité dans la durée des tâches élémentaires. C'est aussi pourquoi il s'agit de tâches et non d'éléments de travail indivisibles et que le temps est plutôt stochastique que déterministe. En second lieu, la conception modulaire ou en sous assemblage devrait être favorisée dans le but de réduire le temps d'assemblage sur la ligne principale. Les modules déjà assemblés agissant comme des pièces complètes et fournisseurs à la ligne d'assemblage de l'appareil et non comme des composantes augmentant le nombre de tâches à réaliser. Ceci permet d'ailleurs de concentrer l'acquisition de compétences pour les employés et de conserver les compétences spécifiques à l'assemblage de l'appareil sur la ligne principale. Par ailleurs, la conception de l'appareil sous forme modulaire a un impact non négligeable sur l'amélioration de la fiabilité des composantes et des tolérances de fabrication tout en offrant la possibilité d'intégrer plusieurs options sans trop affecter l'assemblage général de l'appareil.

En conclusion, il serait très intéressant d'évaluer le même cas avec l'utilisation de procédures plus complètes et en intégrant le plus de variables manufacturières reflétant les contraintes de l'industrie. Il s'agirait ici de l'utilisation de métaheuristique ou de procédures d'algorithmes génétiques. De même, l'approche de l'équilibrage de ligne sous forme de gestion de projet mérite d'être étudiée étant donné la durée du temps de cycle de base qui dépasse les 85 heures.

BIBLIOGRAPHIE

- Abdullah, T. A., Popplewell, K., et Page, C. J. (2003). A review of the support tools for the process of assembly method selection and assembly planning. *International Journal of Production Research*, 41(11), 2391 - 2410.
- Arcus, A. L. (1966). COMSOAL, a computer methode of sequencing operations for assembly lines. *The International Journal of Production Research*, 4(4), 259-277.
- Baybars, I. (1986). A survey of exact algorithms for the simple assembly line balancing problem. *Management Science*, 32(8), 909-932.
- Becker, C., et Scholl, A. (2006). A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing. *European Journal of Operational Research*, 168(3), 694-715.
- Bhattacharjee, T. K., et Sahu, S. (1987). A Critique of Some Current Assembly Line Balancing Techniques. *International Journal of Operations & Production Management*, 7(6), 32-43.
- Bhattacharjee, T. K., et Sahu, S. (1988). A Heuristic Approach to General Assembly Line Balancing. *International Journal of Operations & Production Management*, 8(6), 67-77.
- Boysen, N., Fliedner, M., et Scholl, A. (2006a). Assembly line balancing: Which model to use when? (pp. 24): Friedrich-Schiller-Universität.
- Boysen, N., Fliedner, M., et Scholl, A. (2006b). A classification of assembly line balancing problems (pp. 32): Friedrich-Schiller-Universität Jena.
- Erel, E., et Sarin, S. C. (1998). A survey of the assembly line balancing procedures. *Production Planning & Control*, 9(5), 414-434.
- Fleszar, K., et Hindi, K. S. (2003). An enumerative heuristic and reduction methods for the assembly line balancing problem. *European Journal of Operational Research*, 145(3), 606.
- Hackman, S. T., Magazine, M. J., et Wee, T. S. (1989). Fast, effective algorithms for simple assembly line balancing problems. *Operations Research*, 37(6), 916.
- Hoffmann, T. R. (1963). Assembly line balancing with a precedence matrix. *Management science*, 9(4), 551-562.
- Kanawaty, G. (Ed.). (1996). *Introduction à l'étude du travail* (Troisième édition française ed.). Genève: Organisation International du Travail.
- Kilbridge, M., et Wester, L. (1961). The Balance Delay Problem. *Management Science*, 8(1), 69-84.

Ponnambalam, S. G., Aravindan, P., et Mogileeswar Naidu, G. (1999). A Comparative Evaluation of Assembly Line Balancing Heuristics. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 15(8), 577-586.

Rekiek, B., De Lit, P., et Delchambre, A. (2002). Hybrid assembly line design and user's preferences. *International Journal of Production Research*, 40(5), 1095-1111.

Scholl, A. (1999). *Balancing and sequencing of assembly lines*, 2nd edition (Second edition ed.): Physica-Verlag.

Scholl, A., et Becker, C. (2006). State-of-the-art exact and heuristic solution procedures for simple assembly line balancing. *European Journal of Operational Research*, 168(3), 666-693.

Scholl, A., et Voß, S. (1997). Simple assembly line balancing—Heuristic approaches. *Journal of Heuristics*, 2(3), 217-244.

Tonge, F. M. (1965). Assembly Line Balancing Using Probabilistic Combinations of Heuristics. *Management Science*, 11(7), 727-735.

Ugurdag, H. F., Rachamadugu, R., et Papachristou, C. A. (1997). Designing paced assembly lines with fixed number of stations. *European Journal of Operational Research*, 102(3), 488-501.

ANNEXE 1 : Liste des éléments de travail (modèle de base)

Numéro Éléments	Description	Groupe de classe	Temps	Prédécesseurs	Sous- Assemblage	Produit
1	Mettre la cage sur support 000-HFS-001-A-R0 et 000-HFS-002-A-R0	MECG	0,130			SA160
2	Mettre la cage au niveau selon SAI-MPS-6070 REV.A	MECS	0,130	1		SA160
3	Get bearing and bracket	MSUB	0,030		BKT01	SA160
4	Insert bearing on bracket with loctite	MSUB	0,030	3	BKT01	SA160
5	Fit of bracket assy	MECG	0,030	2;4		SA160
6	2.6.1 Fit mounting plate for horizontal stab	MECS	1,000	5		SA160
7	2.6.1 Fit horizontal stab	MECS	1,000	6		SA160
8	Adapt & fit Horizontal stab fairing on H. Stab LH+ RH	MECS	1,000	7		SA160
9	2.6.7a Assemble temporally the elevator on the horizontal stabilizer	MECS	0,500	7		SA160
10	2.6.7 Adapt & fit elevator fairing	MSUB	2,000	9	VOR01	SA160
11	2.6.3 Fit vertical stabilizer et rudder	MECS	2,000	7		SA160
12	2.6.5d Adapt & fit rudder tip fairing	MSUB	2,000	11	VOR01	SA160
13	6.1.13b Install and Secure the emergency stops in front	MECS	1,000	11		SA160
14	Get VOR antenna and rudder	MSUB	0,030	7	VOR01	SA160
15	Limer et percer trou	MSUB	1,000	14	VOR01	SA160
16	Install VOR antenna on rudder	MSUB	0,500	15;12	VOR01	SA160
17	2.6.5b Adapt & fit VOR antenna fairing cover	MSUB	2,000	16	VOR02	SA160
18	2.6.8 Inspection - Ship parts & ctrl surfaces to paint	MSUB	0,250	10;8;13;17	VOR02	SA160
19	2.1.3 Ream bell crank trim 0.250"	MECG	0,080	1		SA160
20	2.1.4 Ream middle roll 0.250"	MECG	0,080	1		SA160
21	2.1.4a Ream front roll 0.3125"	MECG	0,080	1		SA160
22	2.1.9 Ream aileron pulleys 0.250"	MECG	0,080	1		SA160
23	Install ailerons bushing C00-01000-024	MECG	0,030	22		SA160
24	2.1.11a Ream bushings for wing 8 holes 0.625"	MECG	0,160	1		SA160
25	2.1.11b Install and press 6 bushings for wing	MECG	0,160	24		SA160
26	2.1.1 Ream nose landing gear 0.750" (NLG)	MECG	0,160	1		SA160
27	2.1.10 Ream nose landing gear - damper 0.375"	MECG	0,080	1		SA160
28	2.5.13 Install nose gear damper	MECG	1,000	27		SA160
29	2.1.12 Install nose landing gear sperical bearing	MECG	0,030	27		SA160
30	2.1.2 Ream main landing gear mounting plate 0.250" (MLG)	MECG	0,080	1		SA160
31	2.1.5 Ream blocks MLG 0.250"	MECG	0,080	1		SA160
32	2.1.8 Ream main landing gear outside 0.375"	MECG	0,080	1		SA160
33	2.5.15 / 2.5.17 Adapt LH + RH MLG leg at cage	MECG	2,000	30;31;32		SA160
34	Remove nuts, bolts from wheel and separate in half	MSUB	0,030		WHEEL	SA160
35	Install tube in tire then inflate lightly to allow tube to sit properly in the tire	MSUB	0,030	34	WHEEL	SA160
36	Align valve with red dot on tire	MSUB	0,030	35	WHEEL	SA160
37	Positionning wheel halves on tire, install bolts, nuts and washers the torque to 90 inch-pounds	MSUB	0,030	36	WHEEL	SA160
38	Inflate to 36 PSI	MSUB	0,030	37	WHEEL	SA160
39	Identify parts Assign P/N and W/O to parts	MSUB	0,030	38	WHEEL	SA160
40	Ship to store with supporting documentation	MSUB	0,030	39	WHEEL	SA160
41	Install wheel assembly on MLG	MSUB	0,030	40;33	MLEG	SA160
42	Final inspect - TRAVELLER FOR FINAL INSTALL	INSP	0,030	41	MLEG	SA160
43	2.2.1 Make countersink for rivet anchor 2.2.1a/b/c/d/e	MECG	0,250	1		SA160
44	2.2.1a Rivet anchor nut fuselage boards	MECG	0,250	43		SA160
45	2.2.1b Rivet anchor nut flap indicator	MECG	0,250	43		SA160
46	2.2.1c Rivet anchor nut feeder tank	MECG	0,250	43		SA160
47	2.2.1e Rivet anchor nut parking brake	MECG	0,500	43		SA160
48	2.2.1d Rivet anchor nut cargo box angles	MECG	0,250	43		SA160
49	2.8.3 Install cargo box angles	MECG	1,000	48		SA160
50	2.14.2 Install breaker box with grnd cables 344-00011-01 + 280-00085-01	MSUB	1,000	49	BBOX	SA160
51	2.9.1k Install grnd cables (280-00085-01) breaker box Final	MSUB	0,150	50	BBOX	SA160
52	2.14.3 Install flood box	MSUB	1,000	49	FBOX	SA160
53	2.14.1 Install switch box	MSUB	1,000	49	SBOX	SA160
54	7.1.10 Install: - Switch Box face plate	MECG	0,250	53		SA160
55	7.1.8 Install: - Flood Box face plate	MECG	0,250	52		SA160
56	7.1.6 Install: - Breaker Box. Face plate	MECG	1,000	51		SA160
57	7.1.7 Connect: - Breaker Box Connector (BB-A). PP31-10. PP36-10. PP37-10. PP38-10. PP40-06.	ELEC	3,000	56		SA160
58	7.1.9 Connect: - Flood Box Connector (FB-A)	ELEC	0,250	55		SA160
59	7.1.11 Connect - Switch Box Connector (SB-A)	ELEC	0,250	54		SA160
60	Inspect	INSP	0,500	57;58;59		SA160
61	2.9.1 Buffer emplacement des ground cables	MECG	0,250	1		SA160

Numéro Éléments	Description	Groupe de classe	Temps	Prédécesseurs	Sous- Assemblage	Produit
62	2.9.1i Install grnd cables (273-00050-01) bell crank Final	MECG	0,150	61		SA160
63	2.9.1f Install grnd cables (340-00510-01) Final	MECG	0,150	61		SA160
64	2.9.1h Install grnd cables (240-00510-01) Final	MECG	0,150	61		SA160
65	2.9.1e Install grnd cables (270-00055-01) with tiewrap Final	MECG	0,150	61		SA160
66	2.9.1m Install grnd cables (257-00011-01) Final	MECG	0,150	61		SA160
67	2.9.1l Install grnd cables door lock(231-00005-01 et 520-00055-01) G/D Temp	MECG	0,150	61		SA160
68	2.9.1b Install grnd cables (520-00075-01) G/D Final door & cage	MECG	0,150	61		SA160
69	2.9.1d Install grnd cables (243-00355-01) G/D Final	MECG	0,150	61		SA160
70	2.9.1g Install grnd cables (240-00655-01) with tiewrap Final	MECG	0,150	61		SA160
71	2.9.3 Install TAS ground cable 344-00012-01 + 344-00011-01 (option)	MECG	0,150	61		SA160
72	2.8.2 Install feeder tank	MECG	3,000	46		SA160
73	2.8.1 Install & fit left & right bleeder tank	MECG	1,500	61;72		SA160
74	2.8.4 Install fuel/vent lines between feeder & bleeder	MECG	2,000	72;73		SA160
75	2.8.4b Install ground cable (280-00056-01)	MECG	0,150	74		SA160
76	2.9.1c Install ground cables (280-00075-01) feeder tank aft	MECG	0,150	74;75		SA160
77	2.9.1j Install ground cables (280-00055-01)	MECG	0,150	74;76		SA160
78	2.1.7 Ream belts 3 bushings 0.3125"	MECG	0,080	1		SA160
79	2.1.6 Ream seat absorber mounting plate 0.250"	MECG	0,080	78		SA160
80	2.5.12 Seat belt tooling	MECG	0,050	78;79		SA160
81	2.11.1 Install static line + pitot line (fuselage)	MECG	1,000	74		SA160
82	2.5.7 Inst suprt plates, elevator control, springsgs, bellcrank & pushrod	MECG	0,500	19		SA160
83	2.5.9 Install electrical trim	MECG	0,500	19		SA160
84	2.5.9 Install bellcrank trim	MECG	0,500	19		SA160
85	2.5.9 Install bracket stop assy	MECG	1,000	19		SA160
86	2.5.9 (4.3.3) Install elevator trim controls cables	MECG	1,000	82		SA160
87	2.12.1 Install elevator control cables	MECG	1,000	86		SA160
88	4.3.1 Rudder controls cables	MECG	1,000	87		SA160
89	2.4.1 Install AFT pulleys	MECG	1,500	88;20;21		SA160
90	2.3.3 Fit control pulleys middle	MECG	0,500	89		SA160
91	Install stop bar with spacer on cage as per drawing	MECG	0,030	90		SA160
92	Install bushing on yoke assy with loctite & press	MSUB	0,030		MCTRL	SA160
93	Install bushing on pivot bracket with loctite & press	MSUB	0,030		MCTRL	SA160
94	Assemble pivot bracket & yoke assy with grease	MSUB	0,030	92;93	MCTRL	SA160
95	Install 270-01350-01 on yoke assy	MSUB	0,030	94	MCTRL	SA160
96	Install tie rod with clevis fork as per drawing	MSUB	0,030		MCTRL	SA160
97	Install tie rod assy on yoke assy	MSUB	0,030	95;96	MCTRL	SA160
98	Install cable assy on pivot bracket assy	MSUB	0,030	95	MCTRL	SA160
99	Install cable assy with stop bar assy	MSUB	0,030	98;91	MCTRL	SA160
100	Install bearing block aft with forward as per drawing. Do a small countersink on blocks before installation	MSUB	0,030		MCTRL	SA160
101	Complete assembly of main control final	MSUB	0,030	97;99;100	MCTRL	SA160
102	2.9.1a Install grnd cables (270-00050-01) Sub main control	MECG	0,080	101		SA160
103	2.3.1 Install main control Final	MECG	0,750	102		SA160
104	2.3.3 Fit control pulleys forward	MECG	2,500	103		SA160
105	2.3.2 Fit control stick	MECG	2,000	104		SA160
106	2.5.10 et 2.5.11 Install ailerons pulleys and cables	MECG	0,500	103		SA160
107	Install bushing on pivot bracket as per drawing 272-01800	MSUB	0,080		FPAD	SA160
108	Rivet foot pad on pivot bracket as per drawing	MSUB	0,170	107	FPAD	SA160
109	Transfert foot pad to paint shop	MSUB	1,000	108	FPAD	SA160
110	Paint foot pad assy	PAINT	0,250	109	FPAD	SA160
111	install foot pad on rudder pedal with bushing	MSUB	2,000	110	PEDAL	SA160
112	Install pedal bushing	MECG	0,030	1		SA160
113	2.5.3 Install rudder fwd springs	MECG	0,250	112		SA160
114	2.5.4 Install rudder pedals final and fasten rudder cables	MECG	1,000	113		SA160
115	2.5.5 Install brake cylinders	MECG	0,500	114;47		SA160
116	2.5.6 Install brake tubes system ; Not final	MECG	0,500	115		SA160
117	Obtenir pièces pour battery tray et maintenir en position avec clamp (voir dessin)	MSUB	0,080		BTRAY	SA160
118	Drill & Cleco the plate as per drawing	MSUB	0,080	117	BTRAY	SA160
119	Remove parts, ream & clean holes	MSUB	0,080	118	BTRAY	SA160

Número Éléments	Description	Groupe de classe	Temps	Prédécesseurs	Sous- Assemblage	Produit
120	Rivet side wall on plate as per drawing	MSUB	0,020	119	BTRAY	SA160
121	Return to store with supporting documentation	MSUB	0,080	120	BTRAY	SA160
122	Inspection SUB battery tray	INSP	0,170	121	BTRAY	SA160
123	Buffer emplacement des vis pour 2.9.4/5/6/7/8	MECG	0,250	1		SA160
124	2.9.4 Install main battery tray sub	MECG	0,080	122;123		SA160
125	2.9.5 Install external power	MECG	0,150	123		SA160
126	2.9.6 Install relay board	MECG	0,150	123		SA160
127	2.9.7 Install strobe power pack	MECG	0,150	123		SA160
128	2.9.8 Install ELT-200 mounting plate	MECG	0,150	123;89		SA160
129	2.9.2 Install auto-pilot ground cable (option)	MECG	0,150	61;105		SA160
130	2.10.1 Install auto-pilot pitch servo bracket (option)	MECG	0,500	129		SA160
131	2.9.13 Install vacuum pump filter	MECG	0,080	1		SA160
				44;45;46;47;62;63;64;65;66;67;68;69;70;71;75;76;77;80;116;124;125;126;127;128;111;81;60;23;25;26;2		
132	Inspect	INSP	0,500	8;29;131;130;18		SA160
133	2.7.1 Adapt & fit baggage compartment floorboards	MECG	0,500	132		SA160
134	2.7.2 Adapt & fit floorboards left + right of cockpit	MECG	0,500	133		SA160
135	2.7.3 Inspection - Ship parts to store	INSP	0,250	134		SA160
136	Mettre cage sur jig BBQ	TOUS	0,500	106;83;84;85;135		SA160
137	2.9.10 Install wiring harnesses (4 employés / 80 hrs réels)	4ELEC	20,000	136		SA160
138	2.9.9 Connect & insulate power cable	ELEC	1,500	137		SA160
139	2.9.11 Connect ext power master relay elec contacts	ELEC	1,500	137		SA160
140	2.9.12 Connect strobe power pack	ELEC	1,500	137		SA160
141	2.14.0 Final Inspect and verify F.O.D	INSP	0,130	139;140;138		SA160
142	Step 10 Initial setup	PREP	0,330	141		SA160
143	Step 20 Cage preparation	PREP	1,000	142		SA160
144	Step 30 Fuselage shell installation	PREP	0,250	143		SA160
145	Step 30a1 Surface setup (bottom) set gap & install cleco	PREP	0,250	144		SA160
146	Step 30b1 Surface setup (top) rotate cage, set gap & install cleco	PREP	0,250	145		SA160
147	Step 30a2 Surface setup (bottom) rotate cage, drill holes & install cleco	PREP	0,250	146		SA160
148	Step 30b2 Surface setup (top) rotate cage, drill holes & install cleco	PREP	0,250	147		SA160
149	Step 30c Surface setup	PREP	0,250	148		SA160
150	Step 40 Resin and layers setup	PREP	0,500	149		SA160
151	Step 40a Layer first application (bottom)	PREP	1,000	150		SA160
152	Step 40b Layer first application (top)	PREP	0,750	151		SA160
153	Step 40c & 40d Layer first application finishing (top & bottom) + Curing time 8h	PREP	1,000	152		SA160
154	Step 50a Surface setup	PREP	1,750	153		SA160
155	Step 50b Inside resin and layers preparation	COMPO	0,500	154		SA160
156	Step 50c Inside layers application	COMPO	1,250	155		SA160
157	Step 60a Vacuum bag preparation	PREP	0,500	156		SA160
158	Step 60b Resin and layers setup (top & bottom)	COMPO	0,500	157		SA160
159	Step 60c Layer application	COMPO	0,500	158		SA160
160	Step 60d Vacuum bag setup	PREP	0,500	159		SA160
161	Step 60e Top surface - Layer application	COMPO	0,500	160		SA160
162	Step 60e & 60f Top surface - Vacuum bag setup + curing time 8h	PREP	0,500	161		SA160
163	Step 70a Cage setup (change jig for jig 000-HMS-001-A/F-R0)	TOUS	0,750	162		SA160
164	Step 70b Fuselage shell positionning	PREP	1,250	163		SA160
165	Step 70c Fuselage shell fastener installation	PREP	2,500	164		SA160
166	Step 80a Top deck preparation	PREP	1,000	165		SA160
167	Step 80b Top deck positionning	PREP	0,750	166		SA160
168	Step 80c Top deck bonding	COMPO	1,500	167		SA160
169	Step 80e Top deck wing root inside layer application	COMPO	1,500	168		SA160
170	Step 80f & 80g Top deck leading edge finshing + curing time 10h	COMPO	0,500	169		SA160
171	Step 80d Top deck fastener installation	COMPO	0,500	170		SA160

Numéro Éléments	Description	Groupe de classe	Temps	Prédécesseurs	Sous- Assemblage	Produit
172	Step 80h & 80i Rear joint layer application preparation + curing time 8 h	COMPO	1,500	171		SA160
173	Step 90a & 90b Front fuselage shell first layer	COMPO	0,330	172		SA160
174	Step 90c & 90d Front fuselage shell second layers application + curing time 8h	COMPO	0,250	173		SA160
175	Step 100 & 100a Firewall bracket + curing time 8h	COMPO	1,000	174		SA160
176	Step 100b Firewall bracket rivet installation	COMPO	0,250	175		SA160
177	3.1.2 Inspection	INSP	0,250	176		SA160
178	3.4.4 Cut out vertical stab cut out	COMPO	0,500	177		SA160
179	3.4.3 Cut out horizontal stab cut out	COMPO	0,330	177		SA160
180	3.4.15 Cut out access panels for horz rudder control (do not install nut plates)	COMPO	0,250	177		SA160
181	3.2.6 Adapt and install horizontal stabilizers tail strikes fairing (laminare on)	COMPO	3,000	179;180		SA160
182	3.4.7 Cut out rudder base fairing	COMPO	0,250	178		SA160
183	3.3.1a Adapt and fit left top deck - Windows	COMPO	0,500	177		SA160
184	3.3.1b Install left top deck windows	COMPO	0,500	183		SA160
185	3.3.2a Adapt and fit right top deck - Windows	COMPO	0,500	177		SA160
186	3.3.2 b Install right top deck windows	COMPO	0,500	185		SA160
187	3.3.5 Adapt and fit front windshield	COMPO	4,000	177		SA160
188	3.4.8 Cut out L/H wing root spar and control cables	COMPO	0,750	177		SA160
189	3.4.9 Cut out R/H wing root spar and control cables	COMPO	0,750	177		SA160
190	3.4.10 Cut out COM 1, COM 2 & T.A.S. top deck (optional) antennas	COMPO	0,250	177		SA160
191	3.4.5 Cut out left foot step	COMPO	0,500	177		SA160
192	3.4.6 Cut out right foot step	COMPO	0,500	177		SA160
193	3.4.11 Cut out T.A.S. bottom shell (optional)	COMPO	0,030	190		SA160
194	3.4.14 Cut out firewall and seal	COMPO	0,500	187		SA160
195	3.6.4 Drill pitot and static drain valve holes	COMPO	0,250	177		SA160
196	3.6.5 Drill static port hole	COMPO	0,250	195		SA160
197	4.5.1 Install static ports on fuselage RH + LH	MECG	1,000	196		SA160
198	4.5.2 Install drain valves for static line and for pitot line and tubing to dash	MECG	4,000	197		SA160
199	5.9 Install tie-down rear hook	MECG	0,500	177		SA160
200	3.4.12 Cut out marker beacon	COMPO	0,030	193		SA160
201	3.4.13 Cut out ELT	COMPO	0,030	200		SA160
202	3.4.16 Cut out pull eye	COMPO	0,250	194		SA160
203	3.5.1 Adapt fairing for seat absorbers	COMPO	0,330	202		SA160
204	3.5.2 Bound reinforcements for seat absorber covers	COMPO	0,330	203		SA160
205	3.5.3 Strut fairing LH fuselage	COMPO	0,500	188		SA160
206	3.5.4 Bound reinforcements for strut fairing LH fuselage Strut	COMPO	0,500	205		SA160
207	3.5.5 Strut fairing RH fuselage	COMPO	0,500	189		SA160
208	3.5.6 Bound reinforcements for strut fairing RH fuselage Strut	COMPO	0,500	207		SA160
209	3.6.1 Install tail under body drainage & laminate	COMPO	1,000	177		SA160
210	3.6.2.a Drill, adapt and install drain collector (laminare on)	COMPO	0,250	209		SA160
211	3.6.2.b Drill and seal drainage holes tail and under cockpit	COMPO	0,250	210		SA160
212	3.6.3 Drill battery drainage holes	COMPO	0,250	211		SA160
213	3.7.5 Fit baggage compartment bulkhead	COMPO	1,000	177		SA160
214	3.7.6 Adapt and fit baggage compartment pulleys covers	COMPO	0,250	213		SA160
215	3.7.4 Fit baggage compartment roof cover	COMPO	1,000	214		SA160
216	3.7.8 Adapt and fit seat covers pan, left and right sides	COMPO	1,000	204		SA160
217	3.7.7 Adapt and fit panels for side walls	COMPO	1,000	216;215		SA160
218	3.7.10 Adapt and fit roof column B left and right	COMPO	2,000	206;208		SA160
219	3.7.11 Adapt and fit connection parts for columns A-B	COMPO	1,000	218		SA160
220	3.7.9 Adapt and fit roof column A left and right covers	COMPO	1,000	219		SA160
221	3.7.12 Adapt and fit flight compartment roof cover	COMPO	1,000	220		SA160
222	3.7.13 Adapt and fit rack access panel	COMPO	1,000	221		SA160
223	3.7.3 Fit baggage compartment cargo box	COMPO	2,000	222;217		SA160
224	3.7.1 Fit middle console forward	COMPO	1,000	217		SA160
225	3.7.2 Fit middle console rear	COMPO	2,000	217		SA160
226	3.3.3 Adapt and fit left windows of baggage compartment	COMPO	1,000	223		SA160
227	3.3.4 Adapt and fit right windows of baggage compartment	COMPO	1,000	223		SA160

Numéro Éléments	Description	Groupe de classe	Temps	Prédécesseurs	Sous- Assemblage	Produit
				191;192;184;186; 212;224;225;226; 227;201;198;199;		
228	3.3.6 Inspection	INSP	0,250	182;181		SA160
229	Paint Baggage door	PAINT	3,000	228		SA160
230	3.7.14 Install door strap for doors at the cage	COMPO	0,250	177		SA160
231	3.7.15 Adapt and fit door cover	COMPO	3,000	230		SA160
232	Paint Doors LH & RH	PAINT	6,000	231	DOOR	SA160
233	Adapt, fit & install window on door as per drawing	COMPO	1,000	232	DOOR	SA160
234	Assembly of springs group as per drawing	COMPO	1,000	233	DOOR	SA160
235	Assembly of locking group as per drawing	COMPO	1,000	234	DOOR	SA160
236	Assembly of latching mechanism as per drawing	COMPO	1,000	235	DOOR	SA160
237	Mount LH & RH doors on fuselage	COMPO	2,000	236		SA160
	3.2.1/3.2.2 Adapt and fit LH & RH door hinges, adapt door					
238	& install fitting shell attach	COMPO	3,000	237		SA160
239	3.2.3 Adapt and fit baggage compartment door & lock	COMPO	3,000	229		SA160
240	3.2.4 Adapt and install left fresh air nozzle (laminate)	COMPO	1,000	238		SA160
241	3.2.5 Adapt and install right fresh air nozzle (laminate)	COMPO	1,000	238		SA160
242	Enveler jig 530-APT-002-A-R0	TOUS	0,750	240;241		SA160
243	3.2.7 Inspection	INSP	0,250	242;239		SA160
244	3.4.1 Drill LH and RH rear spar holes and caution tool	MECG	0,250	243		SA160
245	3.4.2 Drill LH and RH main gear holes	MECG	0,250	244		SA160
246	Inspect final station 3 - Composite Assy	INSP	1,000	245		SA160
247	Préparation et masquage	PREP	7,500	246		SA160
248	Sablage	PREP	4,000	247		SA160
249	Application du polysurfacier + curing time 3h	PREP	0,500	248		SA160
250	Sablage	PREP	1,000	249		SA160
	Appliquer l'apprêt au fuselage as per SAI-MPS-3020A +					
251	curing time 45 min	PAINT	0,750	250		SA160
252	Sablage	PREP	4,000	251		SA160
253	Préparation et masquage	PREP	0,500	252		SA160
254	3.9.1 Rivet nut plates for tail cone fairing and adapt	COMPO	0,500	253		SA160
255	3.9.2 Rivet nut plates for rudder base fairing	COMPO	0,500	253		SA160
256	3.9.3 Rivet nut plates for inspection cover	COMPO	0,500	253		SA160
257	3.9.4 Install final fuselage fastener	COMPO	1,000	253		SA160
258	Appliquer l'apprêt +curing time 3h	PAINT	0,500	257		SA160
	Appliquer le fire retardant as per SAI-MPS-3040 + curing					
259	time 24h	PAINT	0,500	258		SA160
260	3.9.5 Verify F.O.D	TOUS	0,250	259		SA160
261	3.10 Final inspection For pre paint	INSP	0,250	254;255;260;256		SA160
262	Paint cover hrz stab	PAINT	1,500	246		SA160
263	Paint VOR antenna cover	PAINT	1,000	246		SA160
264	Paint Horizontal stab	PAINT	3,000	246		SA160
265	Paint Horizontal stab. Tip fairing LH+RH	PAINT	1,500	246		SA160
266	Paint Elevator assy	PAINT	3,000	246		SA160
267	Paint Elevator trim assy	PAINT	1,000	246		SA160
268	Paint Elevator fairing LH+RH	PAINT	1,000	246		SA160
269	Paint Rudder tip fairing	PAINT	1,500	246		SA160
270	Paint Vertical stab	PAINT	3,000	246		SA160
271	Paint Rudder	PAINT	3,000	246		SA160
	Install Rudder Assy and Rudder fairing on Vertical Stab					
272	Assy	MECS	1,000	269;270;271;263		SA160
273	Transfer aircraft from jigs to cranes	MECG	0,750	261		SA160
274	4.1.5 Install nose landing gear at cage & secure	MECG	1,000	273		SA160
275	4.2.1 Install left MLG brake system tubing	MECG	1,500	274		SA160
276	4.2.2 Install right MLG brake system tubing	MECG	1,500	274		SA160
277	4.1.1 Install left MLG leg at cage & secure	MECG	1,000	275;42		SA160
278	4.1.3 Install right MLG leg at cage & secure	MECG	1,000	276;42		SA160
279	4.3.1 Adapt MLG left wheel pants	MECG	2,000	277		SA160
280	4.3.1 Adapt MLG right wheel pants	MECG	2,000	278		SA160
281	4.3.2 Adapt NLG wheel pant	MECG	2,000	274		SA160
282	Remove aircraft from cranes	MECG	0,500	281;279;280		SA160
283	7.3.1 Install:- Transponder antenna	ELEC	0,300	261		SA160
284	7.3.2 Connect - Antenna Cable	ELEC	0,300	283		SA160
285	7.3.3 Connect: - Transponder antenna ground	ELEC	0,300	284		SA160
286	7.3.4 Install: - ELT antenna and connect the antenna cable.	ELEC	0,300	261		SA160
287	7.3.5 Connect: - Antenna Cable	ELEC	0,300	286		SA160
288	7.3.6 Connect: - ELT antenna ground	ELEC	0,300	287		SA160

Numéro Éléments	Description	Groupe de classe	Temps	Prédécesseurs	Sous- Assemblage	Produit
289	7.3.7 Install: - GPS I / COM I / XM antenna	ELEC	0,300	288		SA160
290	7.3.8 Connect: - Appropriate antenna cables: GPS I. COM I and XM	ELEC	0,300	289		SA160
291	7.3.9 Connect: - GPS I / COM I / XM antenna ground	ELEC	0,300	290		SA160
292	7.3.10 Install: - GPS II / COM II / ORBCOM antenna	ELEC	0,300	261		SA160
293	7.3.11 Connect: - Appropriate antenna cables; GPS II and COM II	ELEC	0,300	292		SA160
294	7.3.12 Connect: - GPS II / COM II / ORBCOM ground	ELEC	0,300	293		SA160
295	7.3.13 Install: - TAS Top antenna	ELEC	0,300	261		SA160
296	7.3.14 Connect: - Antenna Cable to the TAS Top antenna (J1. J3)	ELEC	0,300	295		SA160
297	7.3.15 Connect: - TAS Top antenna ground	ELEC	0,300	296		SA160
298	7.3.16 Install: - TAS Bottom antenna	ELEC	0,300	261		SA160
299	7.3.17 Connect: - Antenna Cable to the TAS Bottom antenna (J2. J4)	ELEC	0,300	298		SA160
300	7.3.18 Connect: - TAS Bottom antenna ground	ELEC	0,300	299		SA160
301	7.3.19 Install: - Marker antenna	ELEC	0,300	300		SA160
302	7.3.20 Connect: - Antenna Cable	ELEC	0,300	301		SA160
303	7.3.21 Connect: - Marker antenna ground	ELEC	0,300	302		SA160
304	Inspection	ELEC	0,500	285;291;294;297; 300;303		SA160
305	4.4.1 Adapt and install firewall and NLG shield	MECG	7,500	282		SA160
306	4.4.2 et 4.4.4 Rivet firewall and shield, provisionally fasten and seal outside contour w/ fireproof sealing	MECG	7,500	305		SA160
307	7.5.1 Install: - Panel braces (4 items)	MECG	0,500	306		SA160
308	7.5.2 Install: Instrument Panel Mount with the grounds (2)	MECG	0,500	307		SA160
309	4.4.3 Install cooling guide plate (ramp) & sheet for cowling	MECG	1,000	308		SA160
310	4.4.5 Install deriving sheet metal for drainage drilling (fuselage lower side)	MECG	4,000	309		SA160
311	4.2.3a Install middle console, button dash control, shut off valve and primer pump	MECG	4,000	310		SA160
312	4.2.3b Connect tubing to firewall (shut off valve and primer pump)	MECG	0,500	311		SA160
313	5.4.1 Install fuel shut off valve	MECG	0,500	312		SA160
314	5.4.2 Install primer pump mechanism	MECG	0,130	312		SA160
315	5.4.3 Install primer lines	MECG	0,380	314		SA160
316	5.8 Install and safety device control sticks (LH + RH)	MECG	0,250	315		SA160
317	5.3.1 Install fuel fitting on firewall and connect electrical pump fitting on firewall	MECG	0,500	313		SA160
318	5.4.4 Install fuel lines from valve to firewall	MECG	0,500	317		SA160
319	5.4.5 Install fuel lines (drain valve - shut off valve)	MECG	0,500	318		SA160
320	5.4.6 Install fuel drain valves & fuel line from feeder tank to drain valve	MECG	1,000	319		SA160
321	5.4.9 Install cabin heat boxes and carb. heat control	MECG	1,500	320		SA160
322	5.5.1 Install engine mounts (motor) at the cage	MECG	1,000	321;316		SA160
323	5.5.2 Align motor and motor mounts	MECG	2,000	322		SA160
324	5.5.3 Connect fuel drainage lines (filter and main pump)	MECG	0,250	323		SA160
325	5.5.4 Connect oil hoses (engine + oil cooler)	MECG	0,250	324		SA160
326	5.5.5 Air hose for oil cooler	MECG	0,250	322		SA160
327	5.10 Install engine control cable	MECG	1,500	326		SA160
328	5.2.1 Install cooling/heating switch boxes to the firewall	MECG	2,000	327		SA160
329	5.2.2 Install controls for heating	MECG	1,000	328		SA160
330	5.2.3 Install pneumatic transducer (manifold pressure transducer)	MECG	1,500	329		SA160
331	5.2.4 Install oil press X-ducer (IFR seulement)	MECG	0,250	330;325		SA160
332	5.2.5 Install fuel press X-ducer (IFR seulement)	MECG	0,250	331		SA160
333	5.2.6 Install vacuum system regulator	MECG	0,500	332		SA160
334	5.11 Inspection	INSP	0,500	333		SA160
335	5.6.1 Adapt and fit cowling	MECG	4,250	334		SA160
336	5.6.2 Drill and countersink the holes for the camlocs (cowling and fuselage)	MECG	2,000	335		SA160
337	5.6.3 Rivet the nut plates for the camlocs	MECG	2,000	336		SA160
338	5.7.1 Adapt covers of the seat pans	MECG	2,000	311		SA160
339	5.7.2 Adapt covers of the center console left + right sides and heater hose	MECG	2,000	338		SA160
340	6.8 Final Inspection	INSP	0,250	337;339		SA160
341	Paint Upper Cowling	PAINT	3,000	340		SA160

Numéro Éléments	Description	Groupe de classe	Temps	Prédécesseurs	Sous- Assemblage	Produit
342	Apply Fire Retardant to Upper Cowling	PAINT	3,000	341		SA160
343	Paint Lower Cowling	PAINT	3,000	340		SA160
344	Apply Fire Retardant to Lower cowling	PAINT	3,000	343		SA160
345	7.1.1 Install: - Electrical Board	ELEC	0,750	304		SA160
346	7.1.2 Connect: - CPL2XPDR to the TAS coupler on the antenna side; TAS/Coupler antenna cable to the BNC TCAD end of the TAS coupler; the electrical Board ground; the VOR antenna cable to the VOR end of the diplexer; PP42-06 . PP41-06. DAU05-20 and DAU04-20	ELEC	1,000	345		SA160
347	7.1.3 Install: - Electrical Panel	ELEC	0,500	346		SA160
348	7.1.4 Install: - Electronic Equipment Rack	ELEC	1,000	347		SA160
349	7.1.5 Connect: - The Antenna Coupler cable to the coupler; the antenna cables corresponding to J1. J2. J3 and J4 on the TAS processor; the antenna cable to the XM Receiver ; on DC50 the cables to J1. J3 Datalink and J5 and the Turn Coordinator connector	ELEC	3,000	348		SA160
350	7.4.1 Install: - DAU system wiring through firewall	ELEC	0,670	349		SA160
351	7.4.2 Install: - Alt wire PP41-06 & PR04-20 through firewall	ELEC	0,670	350		SA160
352	7.4.3 Install: - EX05-22 and EX06-22N through firewall	ELEC	0,670	351		SA160
353	7.4.4 Connect: - Engine wire to sensors (EGT. CHT. Fuel Flow. RPM. Man Press. Oil Press. Oil Temp and AMP)	ELEC	0,670	352		SA160
354	7.4.5 Connect: - PP41-06 and capacitor output to the alternator; PR04-20 to alternator field (F1. F2. GND)	ELEC	0,670	353		SA160
355	7.4.6 Connect: - EX05-22 and EX06-22N at pressure switch	ELEC	0,670	354		SA160
356	7.4.7 Install: - LA03-20. LA06-20N & QB03-18 through firewall	ELEC	0,670	355		SA160
357	7.4.8 Install: - Starter wire PP04-04 through firewall	ELEC	0,670	356		SA160
358	7.4.9 Install: - JB06-22 & JB07-22 through firewall	ELEC	0,670	357		SA160
359	7.4.10 Connect: - S26-A with LA03-20 & LA06-20N	ELEC	0,670	358		SA160
360	7.4.11 Connect: - Fuel pump	ELEC	0,670	359		SA160
361	7.4.12 Connect: - PP04-04 at starter	ELEC	0,670	360		SA160
362	7.4.13 Connect: - JB06-22 & JB07-22 to magnetos(MAGL. MAGR GND)	ELEC	0,670	361		SA160
363	7.4.14 Secure: - Alt & Starter Wire at engine with clamp	ELEC	0,670	362		SA160
364	7.4.15 Seal: Firewall holes	ELEC	0,670	363		SA160
365	8.1.1 Seal outside contour of fireshield in firewall	COMPO	0,500	364		SA160
366	7.5.3 Install: - Instrument panel to cage	ELEC	1,000	365		SA160
367	7.5.4 Attach: - Panel brace to instrument panel	ELEC	1,000	366		SA160
368	7.6.1 Connect: - Plugs S3. S7. S1. S49. PHL. 94VN. DAU47B-20 and 2VN.	ELEC	0,670	367		SA160
369	7.6.2 Connect: - CG08-18. CG11-18. CG25-22. CG28-22. HG06-16N. HG23-16. LC08-20N and 2VN on the electrical panel	ELEC	0,670	368		SA160
370	7.6.3 Connect: - MKR Antenna cable union to the instrument panel	ELEC	0,670	369		SA160
371	7.6.4 Connect: - Pitot and static line union to the instrument panel	ELEC	0,670	370		SA160
372	7.6.5 Install: - Vacuum hoses and connect to attitude gyro and suction gauge	ELEC	0,670	371		SA160
373	7.6.6 Connect: - Antenna cables to radio(GPS I. GPS II. COM I. COM II)	ELEC	0,670	372		SA160
374	7.6.7 Install and connect: - VOR/GS antenna cable from diplexer to GNS 430 (NAV.GS)	ELEC	0,670	373		SA160
375	7.6.8 Install and Connect: - Antenna Cable from the transponder to the TAS coupler	ELEC	0,670	374		SA160
376	7.6.9 Connect: - Plugs S25. S4. PHR. 95VN. IP. S24. DAU06B-20. 3PR and instrument panel ground strap.	ELEC	0,670	375		SA160
377	7.6.10 Connect: - PP42-06 from shunt to Panel Bus (Breaker 50 Amp) and PR05-20 at Panel Bus	ELEC	0,670	376		SA160
378	7.6.11 Install: - Light for middle console	ELEC	0,670	377		SA160
379	7.6.12 Connect: - 18RZ and 19RZ(PTT) to stick control	ELEC	0,670	378		SA160
380	7.6.13 Install: - Air hoses Blower to GTX 327/ GTX 330. GNS 430. GNC 420. S-TEC 55X	ELEC	0,670	379		SA160
381	7.6.14 Fix: - Alternate/Static line to the cage	ELEC	0,670	380		SA160

Numéro Éléments	Description	Groupe de classe	Temps	Prédécesseurs	Sous-Assemblage	Produit
382	7.6.15 Connect: - MFD antenna cable (MF20-400) to the MFD	ELEC	0,670	381		SA160
383	7.6.16 Connect: - PP36-10 to the Main/Batt I Bus Tie. (Breaker 35 Amp)	ELEC	0,670	382		SA160
384	7.6.17 Connect: - PP37-10 to the Batt II Bus Tie (Breaker 35 Amp)	ELEC	0,670	383		SA160
385	7.6.18 Connect: - PP38-10 to the Secondary Bus Tie (Breaker 35 Amp)	ELEC	0,670	384		SA160
386	7.7.1 Install: - Feeder tank and fuel line ground	ELEC	0,080	385		SA160
387	7.7.2 Install: - Brake line ground	ELEC	0,080	386		SA160
388	7.8.1 Ensure that all switches are at OFF position and all breakers pulled	ELEC	0,100	387		SA160
389	7.8.2 Install: - BATT I	ELEC	0,160	388		SA160
390	7.8.3 Connect: - BATT I wires	ELEC	0,100	389		SA160
391	7.8.4 Install: - BATT II	ELEC	0,250	390		SA160
392	7.8.5 Connect: - BATT II wires	ELEC	0,100	391		SA160
393	7.9.1 Perform: - The connectors S19-a and S22-a for the strobe/position lights	ELEC	0,500	392		SA160
394	7.9.2 Install: - Strobe/position lights on wingtips (RH + LH sides) & install Static Discharger	ELEC	0,500	387;393		SA160
395	7.9.3 Install and Connect: - Landing lights (on cowling) and wiring harness	ELEC	0,500	394		SA160
396	7.10.1 Perform the Ground Test Protocol: System Functional Check	ELEC	1,500	385;395		SA160
397	7.10.2 Perform the Avionic System Initialization Protocol	ELEC	1,500	396		SA160
398	7.10.3 Perform the Avionic Instruments Verification Protocol	ELEC	2,000	397		SA160
399	7.10.4 Perform the Fuel System Leak and MFD Fuel Calibration Protocol	ELEC	1,500	398		SA160
400	7.11.1 Install and Connect: - ELT. Antenna Cable and ELT Remote Switch	ELEC	0,250	399		SA160
401	7.12.1 Connect: - 11CG-A and 11CG-a and secure wires with ty-raps	ELEC	0,100	400		SA160
402	8.12.1 Install ELT-200	ELEC	0,500	401		SA160
403	Install Cowling on engine	MECG	0,250	344;402;342		SA160
404	7.12.3 Inspection	INSP	0,500	403		SA160
405	7.13 Final Inspection	INSP	0,250	404		SA160
406	Paint fuselage + curing time 24h	PAINT	5,000	405		SA160
407	6.6.1 Do the final bead on rear and top windows LH + RH	MECS	1,000	406		SA160
408	6.7.1 Install deriving sheet metal for drainage drilling (fuselage lower side)	MECS	2,000	406		SA160
409	6.2.1 Align: - Fuselage according to Sta. 1 adjusting protocol	MECS	1,000	408;272;268;267;		SA160
410	6.1.1 Install:- Vertical Stabilizer onto cage, secure	MECS	1,000	266;265;264;262		SA160
411	6.1.2 Install and Secure: Rudder and Fin (together) + ground cable	MECS	1,000	410		SA160
412	6.4.1 Adapt: Fairing vertical stabilizer	COMPO	2,000	411		SA160
413	6.4.2 Adapt: Fairing rudder base and retainers installation	COMPO	2,000	412		SA160
414	7.3.22 Connect and install: - VOR antenna wire (rudder + fuselage)	MECS	0,300	413		SA160
415	7.3.23 Seal: - Antennas	MECS	0,300	414		SA160
416	Paint Rudder base fairing	PAINT	1,500	413		SA160
417	Paint elevator retainers	PAINT	1,500	412		SA160
418	Paint Vertical Stab fairing	PAINT	1,500	412		SA160
419	Install rubber strip on tail strakes	COMPO	0,500	415		SA160
420	Install rudder base fairing & retainers and vert. stab fairing to fuselage	MECS	2,000	416;417;418;419		SA160
421	6.1.13 Install and Secure:- The control cables and spring to the Rudder	MECS	1,000	411		SA160
422	6.1.3 Install: Horizontal stabilizer+elevator assy Bolt and secure (Don't forget Control Surface Static Moment as per MPS-6100)	MECS	1,000	421		SA160
423	6.1.10 Fasten:- Trim control cables to the elevator stop bracket assy and secure	MECS	1,000	422		SA160
424	6.1.11 Install: - Trim cables at elevator trim tab	MECS	1,000	423		SA160

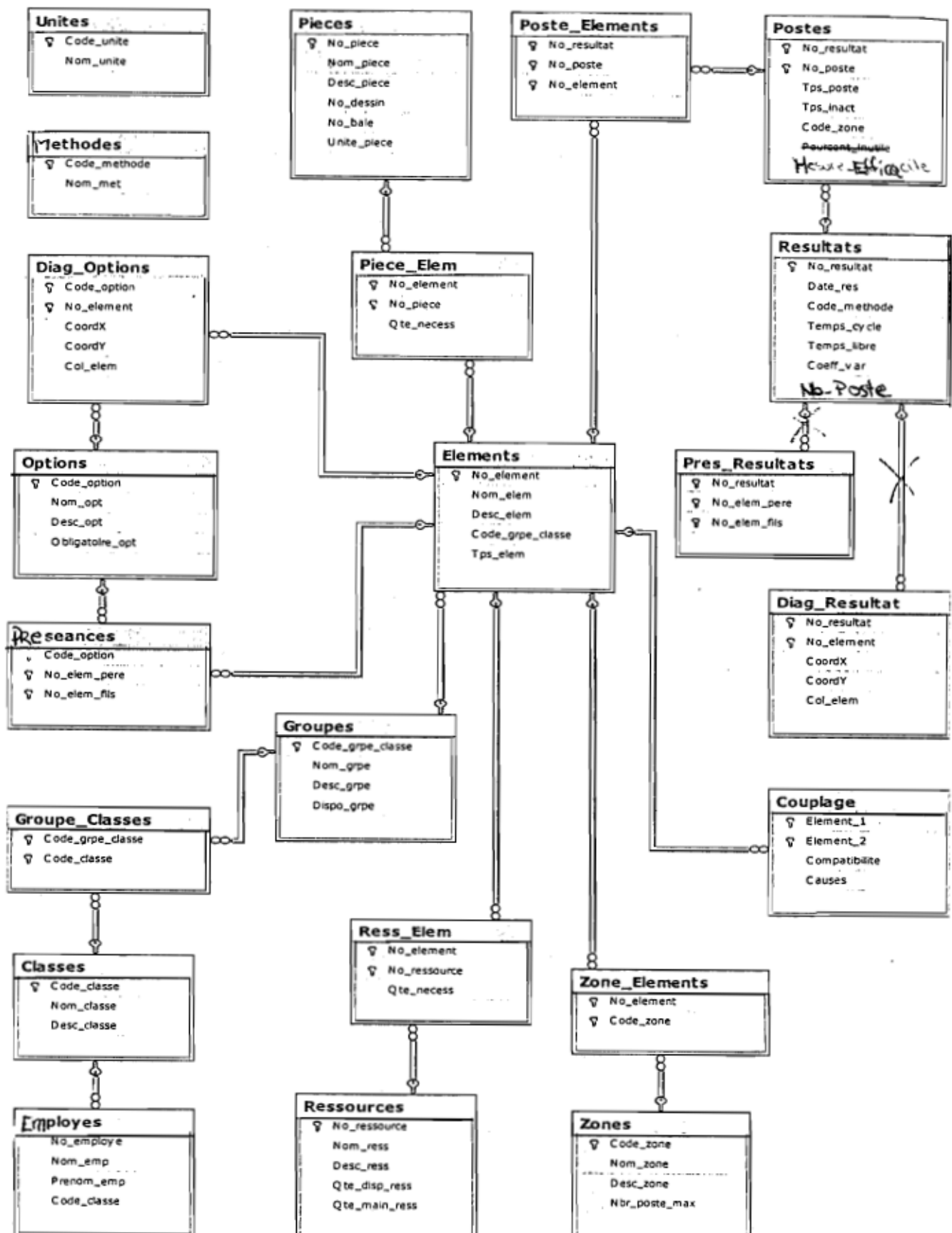
Numéro Éléments	Description	Groupe de classe	Temps	Prédécesseurs	Sous- Assemblage	Produit
425	6.1.4 Attach: Elevator Push rod	MECS	0,080	424		SA160
426	6.1.6 Adjust Control cable tension (HR + control sticks in neutral position)	MECS	1,000	425		SA160
427	6.1.7 Lock HR Cable with clips & secure	MECS	1,000	426		SA160
428	8.8.1 Install rudder fairing (stabilizer + fuselage)	FINIT	2,000	420		SA160
429	8.8.2 Install Elevator base fairing	FINIT	2,000	427		SA160
430	8.8.3 Install VOR antenna fairing	FINIT	1,000	429		SA160
431	8.8.4 Install rudder fairing	FINIT	2,000	419;430		SA160
432	8.8.5 Inspection cover for horizontal stabilizer controls	FINIT	1,000	431		SA160
433	8.8.7 Install tail cone fairings	FINIT	2,000	428		SA160
434	8.8.11 Install horizontal stab. (L&R sides)	MECS	2,000	422		SA160
435	8.8.12 Install elevator tip fairing (L&R sides)	FINIT	2,000	429		SA160
436	6.8.1 Install auto-pilot roll (optional)	MECS	5,000	409		SA160
437	inspection	INSP	0,500	432;433;434;436; 435;407		SA160
438	Paint Vortex generator	PAINT	0,500		LWING	SA160
439	Paint LH Wing	PAINT	3,000		LWING	SA160
440	Get Left wing from paintshop	MECS	0,030	439	LWING	SA160
441	6.5.2d Install: - Vent lines at wing-tank	MECS	0,250	440	LWING	SA160
442	6.5.1b Install Fuel lines at wing-tank	MECS	0,250	440	LWING	SA160
443	6.10.1 Install Vortex generator to wing	MECS	1,000	440;438	LWING	SA160
444	Paint Flap LH	PAINT	3,000		LFLAP	SA160
445	Get flap from paint shop	MECS	0,100	444	LFLAP	SA160
446	Do bounding on flap bracket	MECS	0,160	445	LFLAP	SA160
447	Assemble push rod selon dessin avec washer et stop nut. Ne pas serrer	MECS	0,160		LF-PR	SA160
448	6.3.21 Set length of push rod	MECS	0,160	447	LF-PR	SA160
449	6.3.6 Install push rods to the flap & ground cable	MECS	0,500	446;448	LFLAP	SA160
450	6.9.1 Install static discharger to flap	MECS	0,500	445	LFLAP	SA160
451	6.3.5 Adapt, Install and Secure flap to wing	MECS	1,000	440;449;450	LFLAP	SA160
452	Paint Aileron LH	PAINT	3,000		LAILE	SA160
453	Get aileron from paintshop	MECS	0,080	452	LAILE	SA160
454	Assemble push rod selon dessin avec washer et stop nut. Ne pas serrer	MECS	0,160		LA-PR	SA160
455	6.3.32 Set length of Aileron push rods	MECS	1,000	454	LA-PR	SA160
456	6.3.12 Install push rod with aileron & Assy ground cable	MECS	1,000	455;453	LAILE	SA160
457	6.9.1 Install static discharger to wing	MECS	1,000	456	LAILE	SA160
458	Do bounding on wing bracket before attaching aileron	MECS	0,160	457	LAILE	SA160
459	6.3.11 Adapt, Install and Secure aileron to wing	MECS	1,000	440;458	LAILE	SA160
460	6.4.3 Fit wing tip	MECS	1,000	451;459	LWING	SA160
461	6.2.2 Adjust Wing hinge to cage and the wing to the fuselage (adjustment angle, V-position & sweep)	MECS	0,750	460;409		SA160
462	6.2.4 Bore drag hinge (adjustment angles 1°+/-0.15°)	MECS	0,500	461		SA160
463	6.2.24a Install: Rubber strip to the fuselage at wing position	MECS	0,160	461		SA160
464	6.2.8 Install and Secure Wing & wing hinge	MECS	0,500	441;442;443;462; 463;409		SA160
465	6.2.24b Install Rubber strip between wings and fuselage	MECS	3,000	464		SA160
466	6.5.1b Connect Fuel lines to air bleeder	MECS	0,330	464		SA160
467	6.5.2b Connect Vent lines to Tee fitting	MECS	0,330	464		SA160
468	Paint Strut fairing fwd LH	PAINT	1,500			SA160
469	Paint Strut fairing aft LH	PAINT	1,500			SA160
470	Paint Wing strut LH	PAINT	1,500			SA160
471	6.2.7 Adapt Upper Strut Wing fairing	MECS	1,000	464;468;469		SA160
472	6.2.5 Adapt Strut to Wing and Fuselage	MECS	2,000	464;470		SA160
473	6.2.6 Pull Through Supply lines for pitot and wires in strut	MECS	0,080	471		SA160
474	Install pitot line from strut to fuselage	MECS	0,500	473		SA160
475	6.2.9 Install and Secure strut at Wing and fuselage	MECS	1,000	471;472		SA160
476	8.8.9 Install left wing strut fairing (wing/fuselage)	FINIT	1,000	475		SA160
477	6.2.20 Adjust: - Pulleys and spacers to upper pulley blocks	MECS	1,000	474;465;466;467; 476		SA160
478	6.2.22 Connect: - Cable aileron and flaps through pulley block. Give tension to cable	MECS	0,500	477		SA160
479	6.2.21 Adjust and Install: - Upper pulley blocks to the cage	MECS	2,000	478		SA160
480	6.2.23 Adapt: - Pulley block pins left & right and install	MECS	3,000	479		SA160
481	6.3.3 Secure pulley blocks.	MECS	1,000	480		SA160
482	Paint Vortex generator	PAINT	0,500		RWING	SA160

Numéro Éléments	Description	Groupe de classe	Temps	Prédécesseurs	Sous- Assemblage	Produit
483	Paint RH Wing	PAINT	3,000		RWING	SA160
484	Get Right Wing from paintshop	MECS	0,100	483	RWING	SA160
485	6.5.2d Install: - Vent lines at wing-tank	MECS	0,250	484	RWING	SA160
486	6.5.1b Install Fuel lines at wing-tank	MECS	0,250	484	RWING	SA160
487	6.10.1 Install Vortex generator to wing	MECS	1,000	484;482	RWING	SA160
488	Paint Flap RH	PAINT	3,000		RFLAP	SA160
489	Get Flap from paintshop	MECS	0,100	488	RFLAP	SA160
490	Do bounding on flap bracket	MECS	0,160	489	RFLAP	SA160
	Assemble push rod selon dessin avec washer et stop nut.					
491	Ne pas serrer	MECS	0,160		RF-PR	SA160
492	6.3.21 Set length of push rod	MECS	0,160	491	RF-PR	SA160
493	6.3.6 Install push rods to the flap & ground cable	MECS	0,500	490;492	RFLAP	SA160
494	6.9.1 Install static discharger to flap	MECS	0,500	489	RFLAP	SA160
495	6.3.5 Adapt, Install and Secure flap to wing	MECS	1,000	484;493;494	RFLAP	SA160
496	Paint Aileron RH	PAINT	3,000		RAILE	SA160
497	Get Aileron FROM PAINTSHOP	MECS	0,300	496	RAILE	SA160
	Assemble push rod selon dessin avec washer et stop nut.					
498	Ne pas serrer	MECS	0,160		RA-PR	SA160
499	6.3.32 Set length of Aileron push rods	MECS	1,000	498	RA-PR	SA160
500	6.3.12 Install push rod with aileron & Assy ground cable	MECS	1,000	497;499	RAILE	SA160
501	6.9.1 Install static discharger to wing	MECS	1,000	500	RAILE	SA160
502	Resurfacier l'attache du ground cable sur l'aile (bounding)	MECS	0,160	501	RAILE	SA160
503	6.3.11 Adapt, Install and Secure aileron to wing	MECS	1,000	484;502	RAILE	SA160
504	6.4.3 Fit wing tip	MECS	1,000	495;503	RWING	SA160
	6.2.2 Adjust Wing hinge to cage and the wing to the fuselage (adjustment angle, V-position & sweep)	MECS	0,750	504;409		SA160
505	6.2.4 Bore drag hinge (adjustment angles 1°+/-0.15°)	MECS	0,500	505		SA160
	6.2.24a Install: Rubber strip to the fuselage at wing position	MECS	0,160	505		SA160
				485;486;487;506;		
508	6.2.8 Install and Secure Wing & wing hinge	MECS	0,500	507;409		SA160
509	6.2.24b Install Rubber strip between wings and fuselage	MECS	3,000	508		SA160
510	6.5.1b Connect Fuel lines to air bleeder	MECS	0,330	508		SA160
511	6.5.2b Connect Vent lines to Tee fitting	MECS	0,330	508		SA160
512	Paint Strut fairing fwd RH	PAINT	1,500			SA160
513	Paint Strut fairing aft RH	PAINT	1,500			SA160
514	Paint Wing strut RH	PAINT	1,500			SA160
515	6.2.16 Adapt Upper Strut Wing fairing	MECS	1,000	508;512;513		SA160
516	6.2.14 Adapt Strut to Wing and Fuselage	MECS	2,000	508;514		SA160
517	6.2.15 Pull Through Supply lines wires in strut	MECS	0,080	515		SA160
518	6.2.17 Install and Secure strut at Wing and fuselage	MECS	1,000	515;516		SA160
519	8.8.10 Install right wing strut fairing (wing/ fuselage)	FINIT	1,000	518		SA160
				517;509;510;511;		
520	6.2.20 Adjust: - Pulleys and spacers to upper pulley blocks	MECS	1,000	519		SA160
	6.2.22 / 6.3.17 Connect: - Cable aileron and flaps through pulley block. Give tension to cable	MECS	0,500	520		SA160
522	6.2.21 Adjust and Install: - Upper pulley blocks to the cage	MECS	2,000	521		SA160
523	6.2.23 Adapt: - Pulley block pins left & right and install	MECS	3,000	522		SA160
524	6.3.3 Secure pulley blocks.	MECS	1,000	523		SA160
525	6.2.3 Inspection wing	INSP	0,250	481;524		SA160
	7.2.1 Connect: - The plugs S-11 & S-18 from the wing-strut for the supply lines (left + right sides) - On each side. insert the connector into the strut. apply shrink tubing protection on the wire and fix the wires with ty-rap - Pitot tubing raccord	ELEC	0,250	525		SA160
527	6.3.18/20 Flap Adjustment as per SAI-MPS-6100 step 70	MECS	2,000	526		SA160
528	6.3.26/27/28 Aileron Adjustment as per SAI-MPS-6100 step 30	MECS	2,000	527		SA160
529	6.3.29 Set: - Aileron with push rods on neutral RH+LH sides	MECS	2,000	528		SA160
530	6.3.30 Set: - Controls stick on neutral - Cable tension	MECS	1,000	529		SA160
531	6.3.31 Secure: - Aileron cables with clips	MECS	1,000	530		SA160
532	Rudder rigging as per SAI-MPS-6100 step 40	MECS	2,000	531		SA160
533	Elevator rigging as per SAI-MPS-6100 step 50	MECS	2,000	532		SA160
534	Trim tab actuator rigging as per SAI-MPS-6100 step 60	MECS	2,000	533		SA160
535	6.3.36 Control of cable tension	MECS	1,000	534		SA160

Numéro Éléments	Description	Groupe de classe	Temps	Prédécesseurs	Sous- Assemblage	Produit
536	6.1.8 Double Inspection	MECS	0,250	535		SA160
537	8.2.1 Check exhaust clearance (muffler- 2" below fuselage)	MECS	0,500	536		SA160
538	8.3.1 Fill brake system	MECG	0,250	537		SA160
539	8.3.2 inspection of brake and fuel lines	INSP	0,500	538		SA160
540	8.4.1 Install propeller	MECS	0,500	539		SA160
541	8.6.1 Completion of cowling after spraying	PAINT	1,000	540		SA160
542	8.6.2 Connect carb. Heat control cable	ELEC	1,000	541		SA160
543	8.7.1 Inspection protocol	INSP	1,000	542		SA160
544	8.9.1 Install instrument panel cover + heating hoses	FINIT	1,000	543		SA160
545	8.9.2 Install protective strip for the instrument panel	FINIT	1,000	544		SA160
546	8.5.2 Install interior of middle console (left & right sides) (9+10) and heating hose	FINIT	0,800	545		SA160
547	8.5.3 Install interior panel - floorboard (07+08)	FINIT	0,800	546		SA160
548	8.5.7 Install floorbord (24 + 25)	FINIT	1,000	547		SA160
549	8.10.7 Install floorboards cockpit (24+25) (L&R sides)	FINIT	0,800	548		SA160
550	8.5.5 Install seats (L & R sides)	FINIT	0,500	549		SA160
551	8.5.6 Install seat belts (L & R sides)	FINIT	0,500	550		SA160
552	8.5.1 Install interior of seat cover (11+12)	FINIT	0,800	551		SA160
553	8.5.4 Install seat covers (left & right sides (13+14)	FINIT	0,500	552		SA160
554	8.10.6 Install: cover rudder pedals (22+23) (L&R sides)	FINIT	0,300	553		SA160
555	8.5.9 Install rubbers on doors (L&R sides)	FINIT	0,800	543		SA160
556	8.5.10 Install left door	FINIT	0,300	555		SA160
557	8.5.11 Install right door	FINIT	0,300	555		SA160
558	8.8.6 Install Access door fairings	FINIT	2,000	557;556		SA160
559	8.10.18 Install door covers R&L sides	FINIT	2,000	558		SA160
560	8.5.12 Install sealing rubbers for baggage door	FINIT	0,300	543		SA160
561	8.5.13 Install baggage door and locks	FINIT	0,500	560		SA160
562	8.10.8 Install floorboards baggage compartment (L&R + center)	FINIT	1,000	561		SA160
563	8.10.1 Install baggage compartment (41)	FINIT	0,300	562		SA160
564	8.10.2 Install cover roof of baggage compartment (16)	FINIT	0,300	563		SA160
565	8.10.3 Install bulkhead baggage compartment center	FINIT	0,500	564		SA160
566	8.10.4 Install pulley cover baggage compartment (17)	FINIT	0,300	565		SA160
567	8.8.13 Install wing tip fairing (L&R sides)	FINIT	1,000	543		SA160
568	8.9.3 Install cover roof for test flight	FINIT	1,000	543		SA160
569	8.10.10 Install cover A-roof (01+2) (L&R sides)	FINIT	1,000	568		SA160
570	8.10.11 Install cover B-roof (05+06) (L&R sides)	FINIT	1,000	568		SA160
571	8.10.12 Install cover A-B-roof column LH sides	FINIT	1,000	569;570		SA160
572	8.10.13 Install cover A-B-roof column RH sides	FINIT	1,000	569;570		SA160
573	8.10.14 Install fresh air nozzle	FINIT	0,500	570		SA160
574	8.10.17 Install middle console rear part	FINIT	2,000	573		SA160
575	8.10.16 Install carpets FWD and Rear	FINIT	0,800	574		SA160
576	8.10.19 Install R&L cockpit carpets	FINIT	2,000	575		SA160
577	8.11.1 Install wheel fairing LH side (main gear)	MECG	1,000	543		SA160
578	8.11.2 Install wheel fairing RH side (main gear)	MECG	1,000	577		SA160
579	8.11.3 Install nose wheel fairing (nose gear)	MECG	1,000	578		SA160
580	8.13.1 Drill hole 1/16" for level line of static port	MECG	0,600	543		SA160
581	8.10.20 Install sun visor	TOUS	0,300	543		SA160
582	Install fire extinguisher	TOUS	0,200	543		SA160
583	8.14 FINAL INSPECTION	INSP	4,000	554;559;566;567; 571;572;576;579;		SA160
584	9.1 AVIONIQUE INSPECTION	INSP	4,000	580;581;582;437		SA160
585	9.2 SAFETY INSPECTION	INSP	4,000	583		SA160
586	9.3 WEIGHING -INPECTION PROTOCOL	INSP	3,000	584		SA160
			556,550			

ANNEXE 2 : Représentation graphique de la base de données

LIENS ENTRE LES TABLES DE LA BASE DE DONNÉE « ÉQUILIBRAGE »



**ANNEXE 3 : Exemple d'un cahier des charges (modèle sans
contraintes)**

Détails des postes de l'équilibrage

Poste : 1

Temps du poste : 84,96

Zone :

Employé : *Nom de l'employé pour ce poste*

Inactivité : 0,04 heures

Efficacité : 99,95 %

Numéro Élément	Description de l'élément de travail	Temps	Groupe de classe	Sous- assemblage
1	Mettre la cage sur support 000-HFS-001-A-R0 et 000-HFS-002-A-R0	0,13	MECG	
3	Get bearing and bracket	0,03	MSUB	BKT01
4	Insert bearing on bracket with loctite	0,03	MSUB	BKT01
19	2.1.3 Ream bell crank trim 0.250"	0,08	MECG	
20	2.1.4 Ream middle roll 0.250"	0,08	MECG	
21	2.1.4a Ream front roll 0.3125"	0,08	MECG	
22	2.1.9 Ream aileron pulleys 0.250"	0,08	MECG	
23	Install ailerons bushing C00-01000-024	0,03	MECG	
24	2.1.11a Ream bushings for wing 8 holes 0.625"	0,16	MECG	
25	2.1.11b Install and press 6 bushings for wing	0,16	MECG	
26	2.1.1 Ream nose landing gear 0.750" (NLG)	0,16	MECG	
27	2.1.10 Ream nose landing gear - damper 0.375"	0,08	MECG	
28	2.5.13 Install nose gear damper	1	MECG	
29	2.1.12 Install nose landing gear sperical bearing	0,03	MECG	
30	2.1.2 Ream main landing gear mounting plate 0.250" (MLG)	0,08	MECG	
31	2.1.5 Ream blocks MLG 0.250"	0,08	MECG	
32	2.1.8 Ream main landing gear outside 0.375"	0,08	MECG	
34	Remove nuts, bolts from wheel and separate in half	0,03	MSUB	WHEEL
35	Install tube in tire then inflate lightly to allow tube to sit properly in the tire	0,03	MSUB	WHEEL
36	Align valve with red dot on tire	0,03	MSUB	WHEEL
37	Positionning wheel halves on tire, install bolts, nuts and washers the torque to 90 inch-pounds	0,03	MSUB	WHEEL
38	Inflate to 36 PSI	0,03	MSUB	WHEEL
39	Identify parts Assign P/N and W/O to parts	0,03	MSUB	WHEEL
40	Ship to store with supporting documentation	0,03	MSUB	WHEEL
43	2.2.1 Make countersink for rivet anchor 2.2.1a/b/c/d/e	0,25	MECG	
44	2.2.1a Rivet anchor nut fuselage boards	0,25	MECG	
45	2.2.1b Rivet anchor nut flap indicator	0,25	MECG	
46	2.2.1c Rivet anchor nut feeder tank	0,25	MECG	
47	2.2.1e Rivet anchor nut parking brake	0,5	MECG	
48	2.2.1d Rivet anchor nut cargo box angles	0,25	MECG	
49	2.8.3 Install cargo box angles	1	MECG	

Numéro Élément	Description de l'élément de travail	Temps	Groupe de classe	Sous- assemblage
50	2.14.2 Install breaker box with grnd cables 344-00011-01 + 280-00085-01		1 MSUB	BBOX
51	2.9.1k Install grnd cables (280-00085-01) breaker box Final	0,15	MSUB	BBOX
52	2.14.3 Install flood box		1 MSUB	FBOX
53	2.14.1 Install switch box		1 MSUB	SBOX
54	7.1.10 Install: - Switch Box face plate	0,25	MECG	
55	7.1.8 Install: - Flood Box face plate	0,25	MECG	
56	7.1.6 Install : - Breaker Box. Face plate		1 MECG	
57	7.1.7 Connect: - Breaker Box Connector (BB-A). PP31-10. PP36-10. PP37-10. PP38-10. PP40-06.		3 ELEC	
58	7.1.9 Connect: - Flood Box Connector (FB-A)	0,25	ELEC	
59	7.1.11 Connect - Switch Box Connector (SB-A)	0,25	ELEC	
60	Inspect	0,5	INSP	
61	2.9.1 Buffer emplacement des ground cables	0,25	MECG	
62	2.9.1i Install grnd cables (273-00050-01) bell crank Final	0,15	MECG	
63	2.9.1f Install grnd cables (340-00510-01) Final	0,15	MECG	
64	2.9.1h Install grnd cables (240-00510-01) Final	0,15	MECG	
65	2.9.1e Install grnd cables (270-00055-01) with tiwrap Final	0,15	MECG	
66	2.9.1m Install grnd cables (257-00011-01) Final	0,15	MECG	
67	2.9.1l Install grnd cables door lock(231-00005-01 et 520-00055-01) G\D Temp	0,15	MECG	
68	2.9.1b Install grnd cables (520-00075-01) G\D Final door & cage	0,15	MECG	
69	2.9.1d Install grnd cables (243-00355-01) G\D Final	0,15	MECG	
70	2.9.1g Install grnd cables (240-00655-01) with tiwrap Final	0,15	MECG	
71	2.9.3 Install TAS ground cable 344-00012-01 + 344-00011-01 (option)	0,15	MECG	
72	2.8.2 Install feeder tank		3 MECG	
73	2.8.1 Install & fit left & right bleeder tank	1,5	MECG	
74	2.8.4 Install fuel/vent lines between feeder & bleeder		2 MECG	
75	2.8.4b Install ground cable (280-00056-01)	0,15	MECG	
76	2.9.1c Install ground cables (280-00075-01) feeder tank aft	0,15	MECG	
77	2.9.1j Install ground cables (280-00055-01)	0,15	MECG	
78	2.1.7 Ream belts 3 bushings 0.3125"	0,08	MECG	
79	2.1.6 Ream seat absorber mounting plate 0.250"	0,08	MECG	
80	2.5.12 Seat belt tooling	0,05	MECG	
81	2.11.1 Install static line + pitot line (fuselage)		1 MECG	
82	2.5.7 Inst suprt plates, elevator control, springsgs, bellcrank & pushrod	0,5	MECG	
83	2.5.9 Install electrical trim	0,5	MECG	
84	2.5.9 Install bellcrank trim	0,5	MECG	
85	2.5.9 Install bracket stop assy		1 MECG	
86	2.5.9 (4.3.3) Install elevator trim controls cables		1 MECG	

Numéro Élément	Description de l'élément de travail	Temps	Groupe de classe	Sous- assemblage
87	2.12.1 Install elevator control cables	1	MECG	
88	4.3.1 Rudder controls cables	1	MECG	
89	2.4.1 Install AFT pulleys	1,5	MECG	
90	2.3.3 Fit control pulleys middle	0,5	MECG	
91	Install stop bar with spacer on cage as per drawing	0,03	MECG	
92	Install bushing on yoke assy with loctite & press	0,03	MSUB	MCTRL
93	Install bushing on pivot bracket with loctite & press	0,03	MSUB	MCTRL
94	Assemble pivot bracket & yoke assy with grease	0,03	MSUB	MCTRL
95	Install 270-01350-01 on yoke assy	0,03	MSUB	MCTRL
96	Install tie rod with clevis fork as per drawing	0,03	MSUB	MCTRL
97	Install tie rod assy on yoke assy	0,03	MSUB	MCTRL
98	Install cable assy on pivot bracket assy	0,03	MSUB	MCTRL
99	Install cable assy with stop bar assy	0,03	MSUB	MCTRL
100	Install bearing block aft with forward as per drawing. Do a small countersink on blocks before installation	0,03	MSUB	MCTRL
101	Complete assembly of main control final	0,03	MSUB	MCTRL
102	2.9.1a Install grnd cables (270-00050-01) Sub main control	0,08	MECG	
103	2.3.1 Install main control Final	0,75	MECG	
104	2.3.3 Fit control pulleys forward	2,5	MECG	
105	2.3.2 Fit control stick	2	MECG	
106	2.5.10 et 2.5.11 Install ailerons pulleys and cables	0,5	MECG	
107	Install bushing on pivot bracket as per drawing 272-01800	0,08	MSUB	FPAD
108	Rivet foot pad on pivot bracket as per drawing	0,17	MSUB	FPAD
109	Transfert foot pad to paint shop	1	MSUB	FPAD
110	Paint foot pad assy	0,25	PAINT	FPAD
111	install foot pad on rudder pedal with bushing	2	MSUB	PEDAL
112	Install pedal bushing	0,03	MECG	
113	2.5.3 Install rudder fwd springs	0,25	MECG	
114	2.5.4 Install rudder pedals final and fasten rudder cables	1	MECG	
115	2.5.5 Install brake cylinders	0,5	MECG	
116	2.5.6 Install brake tubes system ; Not final	0,5	MECG	
117	Obtenir pièces pour battery tray et maintenir en position avec clamp (voir dessin)	0,08	MSUB	BTRAY
118	Drill & Cleco the plate as per drawing	0,08	MSUB	BTRAY
119	Remove parts, ream & clean holes	0,08	MSUB	BTRAY
120	Rivet side wall on plate as per drawing	0,02	MSUB	BTRAY
121	Return to store with supporting documentation	0,08	MSUB	BTRAY
122	Inspection SUB battery tray	0,17	INSP	BTRAY
123	Buffer emplacement des vis pour 2.9.4/5/6/7/8	0,25	MECG	

Numéro Élément	Description de l'élément de travail	Temps	Groupe de classe	Sous- assemblage
124	2.9.4 Install main battery tray sub	0,08	MECG	
125	2.9.5 Install external power	0,15	MECG	
126	2.9.6 Install relay board	0,15	MECG	
127	2.9.7 Install strobe power pack	0,15	MECG	
128	2.9.8 Install ELT-200 mounting plate	0,15	MECG	
129	2.9.2 Install auto-pilot ground cable (option)	0,15	MECG	
130	2.10.1 Install auto-pilot pitch servo bracket (option)	0,5	MECG	
131	2.9.13 Install vacuum pump filter	0,08	MECG	
132	Inspect	0,5	INSP	
133	2.7.1 Adapt & fit baggage compartment floorboards	0,5	COMPO	
134	2.7.2 Adapt & fit floorboards left + right of cockpit	0,5	COMPO	
135	2.7.3 Inspection - Ship parts to store	0,25	INSP	
136	Mettre cage sur jig BBQ	0,5	MECG	
137	2.9.10 Install wiring harnesses (4 employés / 80 hrs réels)	20	4ELEC	
138	2.9.9 Connect & insulate power cable	1,5	ELEC	
139	2.9.11 Connect ext power master relay elec contacts	1,5	ELEC	
140	2.9.12 Connect strobe power pack	1,5	ELEC	
141	2.14.0 Final Inspect and verify F.O.D	0,13	INSP	
142	Step 10 Initial setup	0,33	PREP	
143	Step 20 Cage preparation	1	PREP	
144	Step 30 Fuselage shell installation	0,25	PREP	
145	Step 30a1 Surface setup (bottom) set gap & install cleco	0,25	PREP	
146	Step 30b1 Surface setup (top) rotate cage, set gap & install cleco	0,25	PREP	
147	Step 30a2 Surface setup (bottom) rotate cage, drill holes & install cleco	0,25	PREP	
148	Step 30b2 Surface setup (top) rotate cage, drill holes & install cleco	0,25	PREP	
149	Step 30c Surface setup	0,25	PREP	
150	Step 40 Resin and layers setup	0,5	PREP	
151	Step 40a Layer first application (bottom)	1	PREP	
152	Step 40b Layer first application (top)	0,75	PREP	
153	Step 40c & 40d Layer first application finishing (top & bottom) + Curing time 8h	1	PREP	
154	Step 50a Surface setup	1,75	PREP	
155	Step 50b Inside resin and layers preparation	0,5	COMPO	
156	Step 50c Inside layers application	1,25	COMPO	
157	Step 60a Vacuum bag preparation	0,5	PREP	
158	Step 60b Resin and layers setup (top & bottom)	0,5	COMPO	
159	Step 60c Layer application	0,5	COMPO	
160	Step 60d Vacuum bag setup	0,5	PREP	
161	Step 60e Top surface - Layer application	0,5	COMPO	

Numéro Élément	Description de l'élément de travail	Temps	Groupe de classe	Sous- assemblage
162	Step 60e & 60f Top surface - Vacuum bag setup + curing time 8h	0,5	PREP	

Détails des postes de l'équilibrage

Poste : 2

Temps du poste : 85

Zone :

Employé : *Nom de l'employé pour ce poste*

Inactivité : - heures

Efficacité : 100,00 %

Numéro Élément	Description de l'élément de travail	Temps	Groupe de classe	Sous- assemblage
2	Mettre la cage au niveau selon SAI-MPS-6070 REV.A	0,13	MECS	
33	2.5.15 / 2.5.17 Adapt LH + RH MLG leg at cage	2	MECG	
41	Install wheel assembly on MLG	0,03	MSUB	MLEG
42	Final inspect - TRAVELLER FOR FINAL INSTALL	0,03	INSP	MLEG
163	Step 70a Cage setup (change jig for jig 000-HMS-001-A/F-R0)	0,75	PREP	
164	Step 70b Fuselage shell positionning	1,25	PREP	
165	Step 70c Fuselage shell fastener installation	2,5	PREP	
166	Step 80a Top deck preparation	1	PREP	
167	Step 80b Top deck positionning	0,75	PREP	
168	Step 80c Top deck bonding	1,5	COMPO	
169	Step 80e Top deck wing root inside layer application	1,5	COMPO	
170	Step 80f & 80g Top deck leading edge finshing + curing time 10h	0,5	COMPO	
171	Step 80d Top deck fastener installation	0,5	COMPO	
172	Step 80h & 80i Rear joint layer application preparation + curing time 8 h	1,5	COMPO	
173	Step 90a & 90b Front fuselage shell first layer	0,33	COMPO	
174	Step 90c & 90d Front fuselage shell second layers application + curing time 8h	0,25	COMPO	
175	Step 100 & 100a Firewall bracket + curing time 8h	1	COMPO	
176	Step 100b Firewall bracket rivet installation	0,25	COMPO	
177	3.1.2 Inspection	0,25	INSP	
178	3.4.4 Cut out vertical stab cut out	0,5	COMPO	
182	3.4.7 Cut out rudder base fairing	0,25	COMPO	
183	3.3.1a Adapt and fit left top deck - Windows	0,5	COMPO	
184	3.3.1b Install left top deck windows	0,5	COMPO	
185	3.3.2a Adapt and fit right top deck - Windows	0,5	COMPO	
186	3.3.2 b Install right top deck windows	0,5	COMPO	
187	3.3.5 Adapt and fit front windshield	4	COMPO	
188	3.4.8 Cut out L/H wing root spar and control cables	0,75	COMPO	
189	3.4.9 Cut out R/H wing root spar and control cables	0,75	COMPO	
190	3.4.10 Cut out COM 1, COM 2 & T.A.S. top deck (optional) antennas	0,25	COMPO	
191	3.4.5 Cut out left foot step	0,5	COMPO	
192	3.4.6 Cut out right foot step	0,5	COMPO	
193	3.4.11 Cut out T.A.S. bottom shell (optional)	0,03	COMPO	

Numéro Élément	Description de l'élément de travail	Temps	Groupe de classe	Sous- assemblage
194	3.4.14 Cut out firewall and seal	0,5	COMPO	
195	3.6.4 Drill pitot and static drain valve holes	0,25	COMPO	
196	3.6.5 Drill static port hole	0,25	COMPO	
197	4.5.1 Install static ports on fuselage RH + LH	1	MECG	
198	4.5.2 Install drain valves for static line and for pitot line and tubing to dash	4	MECG	
199	5.9 Install tie-down rear hook	0,5	MECG	
200	3.4.12 Cut out marker beacon	0,03	COMPO	
201	3.4.13 Cut out ELT	0,03	COMPO	
202	3.4.16 Cut out pull eye	0,25	COMPO	
203	3.5.1 Adapt fairing for seat absorbers	0,33	COMPO	
204	3.5.2 Bound reinforcements for seat absorber covers	0,33	COMPO	
205	3.5.3 Strut fairing LH fuselage	0,5	COMPO	
206	3.5.4 Bound reinforcements for strut fairing LH fuselage Strut	0,5	COMPO	
207	3.5.5 Strut fairing RH fuselage	0,5	COMPO	
208	3.5.6 Bound reinforcements for strut fairing RH fuselage Strut	0,5	COMPO	
209	3.6.1 Install tail under body drainage & laminate	1	COMPO	
210	3.6.2.a Drill, adapt and install drain collector (laminate on)	0,25	COMPO	
211	3.6.2.b Drill and seal drainage holes tail and under cockpit	0,25	COMPO	
212	3.6.3 Drill battery drainage holes	0,25	COMPO	
213	3.7.5 Fit baggage compartment bulkhead	1	COMPO	
214	3.7.6 Adapt and fit baggage compartment pulleys covers	0,25	COMPO	
215	3.7.4 Fit baggage compartment roof cover	1	COMPO	
216	3.7.8 Adapt and fit seat covers pan, left and right sides	1	COMPO	
217	3.7.7 Adapt and fit panels for side walls	1	COMPO	
218	3.7.10 Adapt and fit roof column B left and right	2	COMPO	
219	3.7.11 Adapt and fit connection parts for columns A-B	1	COMPO	
220	3.7.9 Adapt and fit roof column A left and right covers	1	COMPO	
221	3.7.12 Adapt and fit flight compartment roof cover	1	COMPO	
222	3.7.13 Adapt and fit rack access panel	1	COMPO	
223	3.7.3 Fit baggage compartment cargo box	2	COMPO	
224	3.7.1 Fit middle console forward	1	COMPO	
225	3.7.2 Fit middle console rear	2	COMPO	
226	3.3.3 Adapt and fit left windows of baggage compartment	1	COMPO	
227	3.3.4 Adapt and fit right windows of baggage compartment	1	COMPO	
228	3.3.6 Inspection	0,25	INSP	
229	Paint Baggage door	3	PAINT	
230	3.7.14 Install door strap for doors at the cage	0,25	COMPO	
231	3.7.15 Adapt and fit door cover	3	COMPO	

Numéro Élément	Description de l'élément de travail	Temps	Groupe de classe	Sous- assemblage
232	Paint Doors LH & RH	6	PAINT	DOOR
233	Adapt, fit & install window on door as per drawing	1	COMPO	DOOR
234	Assembly of springs group as per drawing	1	COMPO	DOOR
235	Assembly of locking group as per drawing	1	COMPO	DOOR
236	Assembly of latching mechanism as per drawing	1	COMPO	DOOR
237	Mount LH & RH doors on fuselage	2	COMPO	
238	3.2.1/3.2.2 Adapt and fit LH & RH door hinges, adapt door & install fitting shell attach	3	COMPO	
239	3.2.3 Adapt and fit baggage compartment door & lock	3	COMPO	
240	3.2.4 Adapt and install left fresh air nozzle (lamine)	1	COMPO	
241	3.2.5 Adapt and install right fresh air nozzle (lamine)	1	COMPO	
242	Enveler jig 530-APT-002-A-R0	0,75	COMPO	
243	3.2.7 Inspection	0,25	INSP	
244	3.4.1 Drill LH and RH rear spar holes and caution tool	0,25	MECG	
245	3.4.2 Drill LH and RH main gear holes	0,25	MECG	
246	Inspect final station 3 - Composite Assy	1	INSP	
269	Paint Rudder tip fairing	1,5	PAINT	
447	Assembler push rod selon dessin avec washer et stop nut. Ne pas serrer	0,16	MECS	LF-PR
454	Assembler push rod selon dessin avec washer et stop nut. Ne pas serrer	0,16	MECS	LA-PR
498	Assembler push rod selon dessin avec washer et stop nut. Ne pas serrer	0,16	MECS	RA-PR

Détails des postes de l'équilibrage

Poste : 3

Temps du poste : 85

Zone :

Employé : *Nom de l'employé pour ce poste*

Inactivité : - heures

Efficacité : 100,00 %

Numéro Élément	Description de l'élément de travail	Temps	Groupe de classe	Sous- assemblage
247	Préparation et masquage	7,5	PREP	
248	Sablage	4	PREP	
249	Application du polysurfacier + curing time 3h	0,5	PREP	
250	Sablage	1	PREP	
251	Appliquer l'apprêt au fuselage as per SAI-MPS-3020A + curing time 45 min	0,75	PAINT	
252	Sablage	4	PREP	
253	Préparation et masquage	0,5	PREP	
254	3.9.1 Rivet nut plates for tail cone fairing and adapt	0,5	COMPO	
255	3.9.2 Rivet nut plates for rudder base fairing	0,5	COMPO	
256	3.9.3 Rivet nut plates for inspection cover	0,5	COMPO	
257	3.9.4 Install final fuselage fastener	1	COMPO	
258	Appliquer l'apprêt +curing time 3h	0,5	PAINT	
259	Appliquer le fire retardant as per SAI-MPS-3040 + curing time 24h	0,5	PAINT	
260	3.9.5 Verify F.O.D	0,25	PAINT	
261	3.10 Final inspection For pre paint	0,25	INSP	
273	Transfer aircraft from jigs to cranes	0,75	MECG	
274	4.1.5 Install nose landing gear at cage & secure	1	MECG	
275	4.2.1 Install left MLG brake system tubing	1,5	MECG	
276	4.2.2 Install right MLG brake system tubing	1,5	MECG	
277	4.1.1 Install left MLG leg at cage & secure	1	MECG	
278	4.1.3 Install right MLG leg at cage & secure	1	MECG	
279	4.3.1 Adapt MLG left wheel pants	2	MECG	
280	4.3.1 Adapt MLG right wheel pants	2	MECG	
281	4.3.2 Adapt NLG wheel pant	2	MECG	
282	Remove aircraft from cranes	0,5	MECG	
283	7.3.1 Install:- Transponder antenna	0,3	ELEC	
284	7.3.2 Connect - Antenna Cable	0,3	ELEC	
285	7.3.3 Connect: - Transponder antenna ground	0,3	ELEC	
286	7.3.4 Install: - ELT antenna and connect the antenna cable.	0,3	ELEC	
287	7.3.5 Connect: - Antenna Cable	0,3	ELEC	
288	7.3.6 Connect: - ELT antenna ground	0,3	ELEC	
289	7.3.7 Install: - GPS I / COM I / XM antenna	0,3	ELEC	

Numéro Élément	Description de l'élément de travail	Temps	Groupe de classe	Sous- assemblage
290	7.3.8 Connect: - Appropriate antenna cables: GPS I. COM I and XM	0,3	ELEC	
291	7.3.9 Connect: - GPS I / COM I / XM antenna ground	0,3	ELEC	
292	7.3.10 Install: - GPS II / COM II / ORBCOM antenna	0,3	ELEC	
293	7.3.11 Connect: - Appropriate antenna cables; GPS II and COM II	0,3	ELEC	
294	7.3.12 Connect: - GPS II / COM II / ORBCOM ground	0,3	ELEC	
295	7.3.13 Install: - TAS Top antenna	0,3	ELEC	
296	7.3.14 Connect: - Antenna Cable to the TAS Top antenna (J1. J3)	0,3	ELEC	
297	7.3.15 Connect: - TAS Top antenna ground	0,3	ELEC	
298	7.3.16 Install: - TAS Bottom antenna	0,3	ELEC	
299	7.3.17 Connect: - Antenna Cable to the TAS Bottom antenna (J2. J4)	0,3	ELEC	
300	7.3.18 Connect: - TAS Bottom antenna ground	0,3	ELEC	
301	7.3.19 Install: - Marker antenna	0,3	ELEC	
302	7.3.20 Connect: - Antenna Cable	0,3	ELEC	
303	7.3.21 Connect: - Marker antenna ground	0,3	ELEC	
304	Inspection	0,5	ELEC	
305	4.4.1 Adapt and install firewall and NLG shield	7,5	MECG	
306	4.4.2 et 4.4.4 Rivet firewall and shield, provisionally fasten and seal outside contour w/ fireproof sealing	7,5	MECG	
307	7.5.1 Install: - Panel braces (4 items)	0,5	MECG	
308	7.5.2 Install: Instrument Panel Mount with the grounds (2)	0,5	MECG	
309	4.4.3 Install cooling guide plate (ramp) & sheet for cowling	1	MECG	
310	4.4.5 Install deriving sheet metal for drainage drilling (fuselage lower side)	4	MECG	
311	4.2.3a Install middle console, button dash control, shut off valve and primer pump	4	MECG	
312	4.2.3b Connect tubing to firewall (shut off valve and primer pump)	0,5	MECG	
313	5.4.1 Install fuel shut off valve	0,5	MECG	
314	5.4.2 Install primer pump mechanism	0,13	MECG	
315	5.4.3 Install primer lines	0,38	MECG	
316	5.8 Install and safety device control sticks (LH + RH)	0,25	MECG	
317	5.3.1 Install fuel fitting on firewall and connect electrical pump fitting on firewall	0,5	MECG	
318	5.4.4 Install fuel lines from valve to firewall	0,5	MECG	
319	5.4.5 Install fuel lines (drain valve - shut off valve)	0,5	MECG	
320	5.4.6 Install fuel drain valves & fuel line from feeder tank to drain valve	1	MECG	
321	5.4.9 Install cabin heat boxes and carb. heat control	1,5	MECG	
322	5.5.1 Install engine mounts (motor) at the cage	1	MECG	
345	7.1.1 Install: - Electrical Board	0,75	ELEC	
346	7.1.2 Connect: - CPL2XPDR to the TAS coupler on the antenna side; TAS/Coupler antenna	1	ELEC	
347	7.1.3 Install: - Electrical Panel	0,5	ELEC	
348	7.1.4 Install: - Electronic Equipment Rack	1	ELEC	

Numéro Élément	Description de l'élément de travail	Temps	Groupe de classe	Sous- assemblage
349	7.1.5 Connect: - The Antenna Coupler cable to the coupler; the antenna cables corresponding to J1. J2. J3 and J4 on the TAS processor; the antenna cable to the XM Receiver ; on DC50 the cables to J1. J3 Datalink and J5 and the Turn Coordinator		3 ELEC	
350	7.4.1 Install: - DAU system wiring through firewall		0,67 ELEC	
351	7.4.2 Install: - Alt wire PP41-06 & PR04-20 through firewall		0,67 ELEC	
352	7.4.3 Install: - EX05-22 and EX06-22N through firewall		0,67 ELEC	
353	7.4.4 Connect: - Engine wire to sensors (EGT. CHT. Fuel Flow. RPM. Man Press. Oil Press. Oil Temp and AMP)		0,67 ELEC	
354	7.4.5 Connect: - PP41-06 and capacitor output to the alternator; PR04-20 to alternator field (F1. F2. GND)		0,67 ELEC	
355	7.4.6 Connect: - EX05-22 and EX06-22N at pressure switch		0,67 ELEC	
356	7.4.7 Install: - LA03-20. LA06-20N & QB03-18 through firewall		0,67 ELEC	

Détails des postes de l'équilibrage

Poste : 4

Temps du poste : 84,9

Zone :

Employé : *Nom de l'employé pour ce poste*

Inactivité : 0,10 heures

Efficacité : 99,88 %

Numéro Élément	Description de l'élément de travail	Temps	Groupe de classe	Sous- assemblage
5	Fit of bracket assy	0,03	MECG	
264	Paint Horizontal stab	3	PAINT	
266	Paint Elevator assy	3	PAINT	
270	Paint Vertical stab	3	PAINT	
271	Paint Rudder	3	PAINT	
323	5.5.2 Align motor and motor mounts	2	MECG	
324	5.5.3 Connect fuel drainage lines (filter and main pump)	0,25	MECG	
325	5.5.4 Connect oil hoses (engine + oil cooler)	0,25	MECG	
326	5.5.5 Air hose for oil cooler	0,25	MECG	
327	5.10 Install engine control cable	1,5	MECG	
328	5.2.1 Install cooling/heating switch boxes to the firewall	2	MECG	
329	5.2.2 Install controls for heating	1	MECG	
330	5.2.3 Install pneumatic transducer (manifold pressure transducer)	1,5	MECG	
331	5.2.4 Install oil press X-ducer (IFR seulement)	0,25	MECG	
332	5.2.5 Install fuel press X-ducer (IFR seulement)	0,25	MECG	
333	5.2.6 Install vacuum system regulator	0,5	MECG	
334	5.11 Inspection	0,5	INSP	
335	5.6.1 Adapt and fit cowling	4,25	COMPO	
336	5.6.2 Drill and countersink the holes for the camlocs (cowling and fuselage)	2	MECG	
337	5.6.3 Rivet the nut plates for the camlocs	2	MECG	
338	5.7.1 Adapt covers of the seat pans	2	MECG	
339	5.7.2 Adapt covers of the center console left + right sides and heater hose	2	MECG	
340	6.8 Final Inspection	0,25	INSP	
341	Paint Upper Cowling	3	PAINT	
342	Apply Fire Retardant to Upper Cowling	3	PAINT	
343	Paint Lower Cowling	3	PAINT	
344	Apply Fire Retardant to Lower cowling	3	PAINT	
357	7.4.8 Install: - Starter wire PP04-04 through firewall	0,67	ELEC	
358	7.4.9 Install: - JB06-22 & JB07-22 through firewall	0,67	ELEC	
359	7.4.10 Connect: - S26-A with LA03-20 & LA06-20N	0,67	ELEC	
360	7.4.11 Connect: - Fuel pump	0,67	ELEC	
361	7.4.12 Connect: - PP04-04 at starter	0,67	ELEC	

Numéro Élément	Description de l'élément de travail	Temps	Groupe de classe	Sous- assemblage
362	7.4.13 Connect: - JB06-22 & JB07-22 to magnetos(MAGL. MAGR GND)	0,67	ELEC	
363	7.4.14 Secure: - Alt & Starter Wire at engine with clamp	0,67	ELEC	
364	7.4.15 Seal: Firewall holes	0,67	ELEC	
365	8.1.1 Seal outside contour of fireshield in firewall	0,5	COMPO	
366	7.5.3 Install: - Instrument panel to cage	1	ELEC	
367	7.5.4 Attach: - Panel brace to instrument panel	1	ELEC	
368	7.6.1 Connect: - Plugs S3. S7. S1. S49. PHL. 94VN. DAU47B-20 and 2VN.	0,67	ELEC	
369	7.6.2 Connect: - CG08-18. CG11-18. CG25-22. CG28-22. HG06-16N. HG23-16. LC08-20N and 2VN on the electrical panel	0,67	ELEC	
370	7.6.3 Connect: - MKR Antenna cable union to the instrument panel	0,67	ELEC	
371	7.6.4 Connect: - Pitot and static line union to the instrument panel	0,67	ELEC	
372	7.6.5 Install: - Vacuum hoses and connect to attitude gyro and suction gauge	0,67	ELEC	
373	7.6.6 Connect: - Antenna cables to radio(GPS I. GPS II. COM I. COM II)	0,67	ELEC	
374	7.6.7 Install and connect: - VOR/GS antenna cable from diplexer to GNS 430 (NAV.GS)	0,67	ELEC	
375	7.6.8 Install and Connect: - Antenna Cable from the transponder to the TAS coupler	0,67	ELEC	
376	7.6.9 Connect: - Plugs S25. S4. PHR. 95VN. IP. S24. DAU06B-20. 3PR and instrument panel ground strap.	0,67	ELEC	
377	7.6.10 Connect: - PP42-06 from shunt to Panel Bus (Breaker 50 Amp) and PR05-20 at Panel Bus	0,67	ELEC	
378	7.6.11 Install: - Light for middle console	0,67	ELEC	
379	7.6.12 Connect: - 18RZ and 19RZ(PTT) to stick control	0,67	ELEC	
380	7.6.13 Install: - Air hoses Blower to GTX 327/ GTX 330. GNS 430. GNC 420. S-TEC 55X	0,67	ELEC	
381	7.6.14 Fix: - Alternate/Static line to the cage	0,67	ELEC	
382	7.6.15 Connect: - MFD antenna cable (MF20-400) to the MFD	0,67	ELEC	
383	7.6.16 Connect: - PP36-10 to the Main/Batt I Bus Tie. (Breaker 35 Amp)	0,67	ELEC	
384	7.6.17 Connect: - PP37-10 to the Batt II Bus Tie (Breaker 35 Amp)	0,67	ELEC	
385	7.6.18 Connect: - PP38-10 to the Secondary Bus Tie (Breaker 35 Amp)	0,67	ELEC	
386	7.7.1 Install: - Feeder tank and fuel line ground	0,08	ELEC	
387	7.7.2 Install: - Brake line ground	0,08	ELEC	
388	7.8.1 Ensure that all switches are at OFF position and all breakers pulled	0,1	ELEC	
389	7.8.2 Install: - BATT I	0,16	ELEC	
390	7.8.3 Connect: - BATT I wires	0,1	ELEC	
391	7.8.4 Install: - BATT II	0,25	ELEC	
392	7.8.5 Connect: - BATT II wires	0,1	ELEC	
393	7.9.1 Perform: - The connectors S19-a and S22-a for the strobe/position lights	0,5	ELEC	
394	7.9.2 Install: - Strobe/position lights on wingtips (RH + LH sides) & install Static Discharger	0,5	ELEC	

Numéro Élément	Description de l'élément de travail	Temps	Groupe de classe	Sous- assemblage
395	7.9.3 Install and Connect: - Landing lights (on cowling) and wiring harness	0,5	ELEC	
396	7.10.1 Perform the Ground Test Protocol: System Functional Check	1,5	ELEC	
397	7.10.2 Perform the Avionic System Initialization Protocol	1,5	ELEC	
398	7.10.3 Perform the Avionic Instruments Verification Protocol	2	ELEC	
399	7.10.4 Perform the Fuel System Leak and MFD Fuel Calibration Protocol	1,5	ELEC	
400	7.11.1 Install and Connect: - ELT. Antenna Cable and ELT Remote Switch	0,25	ELEC	
401	7.12.1 Connect: - 11CG-A and 11CG-a and secure wires with ty-raps	0,1	ELEC	
402	8.12.1 Install ELT-200	0,5	ELEC	
403	Install Cowling on engine	0,25	MECG	
404	7.12.3 Inspection	0,5	INSP	
405	7.13 Final Inspection	0,25	INSP	
406	Paint fuselage + curing time 24h	5	PAINT	
408	6.7.1 Install deriving sheet metal for drainage drilling (fuselage lower side)	2	MECS	
448	6.3.21 Set length of push rod	0,16	MECS	LF-PR
491	Assemble push rod selon dessin avec washer et stop nut. Ne pas serrer	0,16	MECS	RF-PR
492	6.3.21 Set length of push rod	0,16	MECS	RF-PR

Détails des postes de l'équilibrage

Poste : 5

Temps du poste : 84,7

Zone :

Employé : *Nom de l'employé pour ce poste*

Inactivité : 0,30 heures

Efficacité : 99,65 %

Numéro Élément	Description de l'élément de travail	Temps	Groupe de classe	Sous- assemblage
179	3.4.3 Cut out horizontal stab cut out	0,33	COMPO	
180	3.4.15 Cut out access panels for horz rudder control (do not install nut plates)	0,25	COMPO	
262	Paint cover hrz stab	1,5	PAINT	
263	Paint VOR antenna cover	1	MSUB	
265	Paint Horizontal stab. Tip fairing LH+RH	1,5	PAINT	
267	Paint Elevator trim assy	1	PAINT	
268	Paint Elevator fairing LH+RH	1	PAINT	
272	Install Rudder Assy and Rudder fairing on Vertical Stab Assy	1	MECS	
409	6.2.1 Align: - Fuselage according to Sta. 1 adjusting protocol	1	MECS	
410	6.1.1 Install:- Vertical Stabilizer onto cage, secure	1	MECS	
438	Paint Vortex generator	0,5	PAINT	LWING
439	Paint LH Wing	3	PAINT	LWING
440	Get Left wing from paintshop	0	MECS	LWING
441	6.5.2d Install: - Vent lines at wing-tank	0,25	MECS	LWING
442	6.5.1b Install Fuel lines at wing-tank	0,25	MECS	LWING
443	6.10.1 Install Vortex generator to wing	1	MECS	LWING
444	Paint Flap LH	3	PAINT	LFLAP
445	Get flap from paint shop	0,1	MECS	LFLAP
446	Do bounding on flap bracket	0,16	MECS	LFLAP
449	6.3.6 Install push rods to the flap & ground cable	0,5	MECS	LFLAP
450	6.9.1 Install static discharger to flap	0,5	MECS	LFLAP
451	6.3.5 Adapt, Install and Secure flap to wing	1	MECS	LFLAP
452	Paint Aileron LH	3	PAINT	LAILE
453	Get aileron from paintshop	0,08	MECS	LAILE
455	6.3.32 Set length of Aileron push rods	1	MECS	LA-PR
456	6.3.12 Install push rod with aileron & Assy ground cable	1	MECS	LAILE
457	6.9.1 Install static discharger to wing	1	MECS	LAILE
458	Do bounding on wing bracket before attaching aileron	0,16	MECS	LAILE
459	6.3.11 Adapt, Install and Secure aileron to wing	1	MECS	LAILE
460	6.4.3 Fit wing tip	1	MECS	LWING
461	6.2.2 Adjust Wing hinge to cage and the wing to the fuselage (adjustment angle, V-position & sweep)	0,75	MECS	

Numéro Élément	Description de l'élément de travail	Temps	Groupe de classe	Sous- assemblage
462	6.2.4 Bore drag hinge (adjustment angles 1°+/-0.15°)	0,5	MECS	
463	6.2.24a Install: Rubber strip to the fuselage at wing position	0,16	MECS	
464	6.2.8 Install and Secure Wing & wing hinge	0,5	MECS	
465	6.2.24b Install Rubber strip between wings and fuselage	3	MECS	
466	6.5.1b Connect Fuel lines to air bleeder	0,33	MECS	
467	6.5.2b Connect Vent lines to Tee fitting	0,33	MECS	
468	Paint Strut fairing fwd LH	1,5	PAINT	
469	Paint Strut fairing aft LH	1,5	PAINT	
470	Paint Wing strut LH	1,5	PAINT	
471	6.2.7 Adapt Upper Strut Wing fairing	1	MECS	
472	6.2.5 Adapt Strut to Wing and Fuselage	2	MECS	
473	6.2.6 Pull Through Supply lines for pitot and wires in strut	0,08	MECS	
474	Install pitot line from strut to fuselage	0,5	MECS	
475	6.2.9 Install and Secure strut at Wing and fuselage	1	MECS	
476	8.8.9 Install left wing strut fairing (wing/fuselage)	1	INIT	
477	6.2.20 Adjust:- Pulleys and spacers to upper pulley blocks	1	MECS	
478	6.2.22 Connect: - Cable aileron and flaps through pulley block. Give tension to cable	0,5	MECS	
479	6.2.21 Adjust and Install: - Upper pulley blocks to the cage	2	MECS	
482	Paint Vortex generator	0,5	PAINT	RWING
483	Paint RH Wing	3	PAINT	RWING
484	Get Right Wing from paintshop	0,1	MECS	RWING
485	6.5.2d Install: - Vent lines at wing-tank	0,25	MECS	RWING
486	6.5.1b Install Fuel lines at wing-tank	0,25	MECS	RWING
487	6.10.1 Install Vortex generator to wing	1	MECS	RWING
488	Paint Flap RH	3	PAINT	RFLAP
489	Get Flap from paintshop	0,1	MECS	RFLAP
490	Do bounding on flap bracket	0,16	MECS	RFLAP
493	6.3.6 Install push rods to the flap & ground cable	0,5	MECS	RFLAP
494	6.9.1 Install static discharger to flap	0,5	MECS	RFLAP
495	6.3.5 Adapt, Install and Secure flap to wing	1	MECS	RFLAP
496	Paint Aileron RH	3	PAINT	RAILE
497	Get Aileron FROM PAINTSHOP	0,3	MECS	RAILE
499	6.3.32 Set length of Aileron push rods	1	MECS	RA-PR
500	6.3.12 Install push rod with aileron & Assy ground cable	1	MECS	RAILE
501	6.9.1 Install static discharger to wing	1	MECS	RAILE
502	Resurfacier l'attache du ground cable sur l'aile (bounding)	0,16	MECS	RAILE
503	6.3.11 Adapt, Install and Secure aileron to wing	1	MECS	RAILE
504	6.4.3 Fit wing tip	1	MECS	RWING

Numéro Élément	Description de l'élément de travail	Temps	Groupe de classe	Sous- assemblage
505	6.2.2 Adjust Wing hinge to cage and the wing to the fuselage (adjustment angle, V-position & sweep)	0,75	MECS	
506	6.2.4 Bore drag hinge (adjustment angles 1°+/-0.15°)	0,5	MECS	
507	6.2.24a Install: Rubber strip to the fuselage at wing position	0,16	MECS	
508	6.2.8 Install and Secure Wing & wing hinge	0,5	MECS	
509	6.2.24b Install Rubber strip between wings and fuselage	3	MECS	
510	6.5.1b Connect Fuel lines to air bleeder	0,33	MECS	
511	6.5.2b Connect Vent lines to Tee fitting	0,33	MECS	
512	Paint Strut fairing fwd RH	1,5	PAINT	
513	Paint Strut fairing aft RH	1,5	PAINT	
514	Paint Wing strut RH	1,5	PAINT	
515	6.2.16 Adapt Upper Strut Wing fairing	1	MECS	
516	6.2.14 Adapt Strut to Wing and Fuselage	2	MECS	
517	6.2.15 Pull Through Supply lines wires in strut	0,08	MECS	
518	6.2.17 Install and Secure strut at Wing and fuselage	1	MECS	
519	8.8.10 Install right wing strut fairing (wing/ fuselage)	1	FINIT	
520	6.2.20 Adjust:- Pulleys and spacers to upper pulley blocks	1	MECS	
521	6.2.22 / 6.3.17 Connect: - Cable aileron and flaps through pulley block. Give tension to cable	0,5	MECS	
522	6.2.21 Adjust and Install: - Upper pulley blocks to the cage	2	MECS	

Détails des postes de l'équilibrage

Poste : 6

Temps du poste : 84,88

Zone :

Employé : *Nom de l'employé pour ce poste*

Inactivité : 0,12 heures

Efficacité : 99,86 %

Numéro Élément	Description de l'élément de travail	Temps	Groupe de classe	Sous- assemblage
411	6.1.2 Install and Secure: Rudder and Fin (together) + ground cable		1 MECS	
412	6.4.1 Adapt: Fairing vertical stabilizer		2 COMPO	
413	6.4.2 Adapt: Fairing rudder base and retainers installation		2 COMPO	
414	7.3.22 Connect and install: - VOR antenna wire (rudder + fuselage)		0,3 MECS	
415	7.3.23 Seal: - Antennas		0,3 MECS	
416	Paint Rudder base fairing		1,5 PAINT	
417	Paint elevator retainers		1,5 PAINT	
418	Paint Vertical Stab fairing		1,5 PAINT	
419	Install rubber strip on tail strakes		0,5 COMPO	
420	Install rudder base fairing & retainers and vert. stab fairing to fuselage		2 MECS	
421	6.1.13 Install and Secure:- The control cables and spring to the Rudder		1 MECS	
422	6.1.3 Install: Horizontal stabilizer+elevator assy Bolt and secure (Don't forget Control Surface Static Moment as per MPS-6100)		1 MECS	
423	6.1.10 Fasten:- Trim control cables to the elevator stop bracket assy and secure		1 MECS	
424	6.1.11 Install: - Trim cables at elevator trim tab		1 MECS	
425	6.1.4 Attach: Elevator Push rod		0,08 MECS	
426	6.1.6 Adjust Control cable tension (HR + control sticks in neutral position)		1 MECS	
427	6.1.7 Lock HR Cable with clips & secure		1 MECS	
428	8.8.1 Install rudder fairing (stabilizer + fuselage)		2 FINIT	
429	8.8.2 Install Elevator base fairing		2 FINIT	
430	8.8.3 Install VOR antenna fairing		1 FINIT	
431	8.8.4 Install rudder fairing		2 FINIT	
433	8.8.7 Install tail cone fairings		2 FINIT	
434	8.8.11 Install horizontal stab. (L&R sides)		2 MECS	
435	8.8.12 Install elevator tip fairing (L&R sides)		2 FINIT	
436	6.8.1 Install auto-pilot roll (optional)		5 MECS	
480	6.2.23 Adapt:- Pulley block pins left & right and install		3 MECS	
481	6.3.3 Secure pulley blocks.		1 MECS	
523	6.2.23 Adapt:- Pulley block pins left & right and install		3 MECS	
524	6.3.3 Secure pulley blocks.		1 MECS	
525	6.2.3 Inspection wing		0,25 INSP	

Numéro Élément	Description de l'élément de travail	Temps	Groupe de classe	Sous- assemblage
526	7.2.1 Connect: - The plugs S-11 & S-18 from the wing-strut for the supply lines (left + right sides) - On each side. insert the connector into the strut. apply shrink tubing protection on the wire and fix the wires with ty-rap - Pitot tubing raccord	0,25	ELEC	
527	6.3.18/20 Flap Adjustment as per SAI-MPS-6100 step 70	2	MECS	
528	6.3.26/27/28 Aileron Adjustment as per SAI-MPS-6100 step 30	2	MECS	
529	6.3.29 Set:- Aileron with push rods on neutral RH+LH sides	2	MECS	
530	6.3.30 Set:- Controls stick on neutral - Cable tension	1	MECS	
531	6.3.31 Secure:- Aileron cables with clips	1	MECS	
532	Rudder rigging as per SAI-MPS-6100 step 40	2	MECS	
533	Elevator rigging as per SAI-MPS-6100 step 50	2	MECS	
534	Trim tab actuator rigging as per SAI-MPS-6100 step 60	2	MECS	
535	6.3.36 Control of cable tension	1	MECS	
536	6.1.8 Double Inspection	0,25	MECS	
537	8.2.1 Check exhaust clearance (muffler- 2" below fuselage)	0,5	MECS	
538	8.3.1 Fill brake system	0,25	MECG	
539	8.3.2 inspection of brake and fuel lines	0,5	INSP	
540	8.4.1 Install propeller	0,5	MECS	
541	8.6.1 Completion of cowling after spraying	1	PAINT	
542	8.6.2 Connect carb. Heat control cable	1	ELEC	
543	8.7.1 Inspection protocol	1	INSP	
544	8.9.1 Install instrument panel cover + heating hoses	1	MECG	
545	8.9.2 Install protective strip for the instrument panel	1	FINIT	
546	8.5.2 Install interior of middle console (left & right sides) (9+10) and heating hose	0,8	FINIT	
547	8.5.3 Install interior panel - floorboard (07+08)	0,8	FINIT	
548	8.5.7 Install floorbord (24 + 25)	1	FINIT	
549	8.10.7 Install floorboards cockpit (24+25) (L&R sides)	0,8	FINIT	
550	8.5.5 Install seats (L & R sides)	0,5	FINIT	
551	8.5.6 Install seat belts (L & R sides)	0,5	FINIT	
552	8.5.1 Install interior of seat cover (11+12)	0,8	FINIT	
555	8.5.9 Install rubbers on doors (L&R sides)	0,8	FINIT	
556	8.5.10 Install left door	0,3	FINIT	
557	8.5.11 Install right door	0,3	FINIT	
558	8.8.6 Install Access door fairings	2	FINIT	
560	8.5.12 Install sealing rubbers for baggage door	0,3	FINIT	
561	8.5.13 Install baggage door and locks	0,5	FINIT	
562	8.10.8 Install floorboards baggage compartment (L&R + center)	1	FINIT	
568	8.9.3 Install cover roof for test flight	1	FINIT	
569	8.10.10 Install cover A-roof (01+-2) (L&R sides)	1	FINIT	

Numéro Élément	Description de l'élément de travail	Temps	Groupe de classe	Sous- assemblage
570	8.10.11 Install cover B-roof (05+06) (L&R sides)		1 FINIT	
573	8.10.14 Install fresh air nozzle		0,5 FINIT	
574	8.10.17 Install middle console rear part		2 FINIT	
575	8.10.16 Install carpets FWD and Rear		0,8 FINIT	
577	8.11.1 Install wheel fairing LH side (main gear)		1 MECG	

Détails des postes de l'équilibrage

Poste : 7

Temps du poste : 47,08

Zone :

Employé : *Nom de l'employé pour ce poste*

Inactivité : 37,92 heures

Efficacité : 55,39 %

Numéro Élément	Description de l'élément de travail	Temps	Groupe de classe	Sous- assemblage
6	2.6.1 Fit mounting plate for horizontal stab	1	MECS	
7	2.6.1 Fit horizontal stab	1	MECS	
8	Adapt & fit Horizontal stab fairing on H. Stab LH+ RH	1	MECS	
9	2.6.7a Assemble temporally the elevator on the horizontal stabilizer	0,5	MECS	
10	2.6.7 Adapt & fit elevator fairing	2	MSUB	VOR01
11	2.6.3 Fit vertical stabilizer et rudder	2	MECS	
12	2.6.5d Adapt & fit rudder tip fairing	2	MSUB	VOR01
13	6.1.13b Install and Secure the emergency stops in front	1	MECS	
14	Get VOR antenna and rudder	0,03	MSUB	VOR01
15	Limer et percer trou	1	MSUB	VOR01
16	Install VOR antenna on rudder	0,5	MSUB	VOR01
17	2.6.5b Adapt & fit VOR antenna fairing cover	2	MSUB	VOR02
18	2.6.8 Inspection - Ship parts & ctrl surfaces to paint	0,25	MSUB	VOR02
181	3.2.6 Adapt and install horizontal stabilizers tail strikes fairing (lamine on)	3	COMPO	
407	6.6.1 Do the final bead on rear and top windows LH + RH	1	MECS	
432	8.8.5 Inspection cover for horizontal stabilizer controls	1	INIT	
437	inspection	0,5	INSP	
553	8.5.4 Install seat covers (left & right sides (13+14)	0,5	INIT	
554	8.10.6 Install: cover rudder pedals (22+23) (L&R sides)	0,3	INIT	
559	8.10.18 Install door covers R&L sides	2	INIT	
563	8.10.1 Install baggage compartment (41)	0,3	INIT	
564	8.10.2 Install cover roof of baggage compartment (16)	0,3	INIT	
565	8.10.3 Install bulkhead baggage compartment center	0,5	INIT	
566	8.10.4 Install pulley cover baggage compartment (17)	0,3	INIT	
567	8.8.13 Install wing tip fairing (L&R sides)	1	INIT	
571	8.10.12 Install cover A-B-roof column LH sides	1	INIT	
572	8.10.13 Install cover A-B-roof column RH sides	1	INIT	
576	8.10.19 Install R&L cockpit carpets	2	INIT	
578	8.11.2 Install wheel fairing RH side (main gear)	1	MECG	
579	8.11.3 Install nose wheel fairing (nose gear)	1	MECG	
580	8.13.1 Drill hole 1/16" for level line of static port	0,6	MECG	
581	8.10.20 Install sun visor	0,3	MECG	

Numéro Élément	Description de l'élément de travail	Temps	Groupe de classe	Sous- assemblage
582	Install fire extinguisher		0,2	MECG
583	8.14 FINAL INSPECTION		4	INSP
584	9.1 AVIONIQUE INSPECTION		4	INSP
585	9.2 SAFETY INSPECTION		4	INSP
586	9.3 WEIGHING -INPECTION PROTOCOL		3	INSP

ANNEXE 4 : Solution du modèle regroupé (24 nœuds)

Éléments de travail regroupé par compétence

Numéro Élément	Nombre de tâches *	Description	Groupe de classe	Temps (heures)	Prédécesseurs
1	132	Assemblage Mécanique / 1-136	MECG	60,50	
2	8	Passer le filage électrique et autres harnais / 137-141	ELEC	88,13	1
3	36	Préparation de l'installation du fuselage / 142-177	PREP	26,41	2
4	67	Découpe en composite / 178-246	COMPO	61,58	3
5	50	Préparation et pré-peinture (peinture misc.) / 247-271	PAINT	95,50	4
6	22	Installation des antennes / 283-304	ELEC	6,80	5
7	61	Compléter l'électrique / 345-405	ELEC	41,58	6
8	11	Assemblage du train d'atterrissage / 272-282	MECG	14,25	5
9	36	Installation du pare-feu et du moteur / 305-340	MECG	54,51	8
10	1	Peinturer fuselage / 406	PAINT	5,00	7,9
11	3	Aligner fuselage / 407-409	MECS	4,00	10
12	19	Assembler aile Gauche / 438-460	MECS	9,51	
13	18	Installer aile gauche / 461-481	MECS	18,65	11;12
14	19	Assembler aile Droite / 482-504	MECS	9,80	
15	17	Installer aile Droite / 505-524	MECS	18,15	11;14
16	11	Ajustement des Ailes / 525-536	MECS	15,75	13;15
17	25	Installer queue de l'avion (rudder, horizontal stab, vertical stab) / 410-437	MECS	34,68	11
18	7	Installer hélice, cowlings et inspection système de freinage / 537-543	MECG	4,75	16
19	7	Intérieurs 1 / 560-566	FINIT	3,20	18
20	11	Intérieurs 2 / 544-554	FINIT	8,00	18
21	5	Assemblage des portes / 555-559	FINIT	5,40	18
22	10	Intérieurs 3 / 567-576	FINIT	11,30	18
23	6	Installer jambe de roues et divers / 577-582	FINIT	4,10	18
24	4	Tests avant 1er vol / 583-586	INSP	15,00	17;19;20;21;22;23
586			Total:	616,55	

* Nombre tâches élémentaires regroupées pour faire un nœud du diagramme généralisé

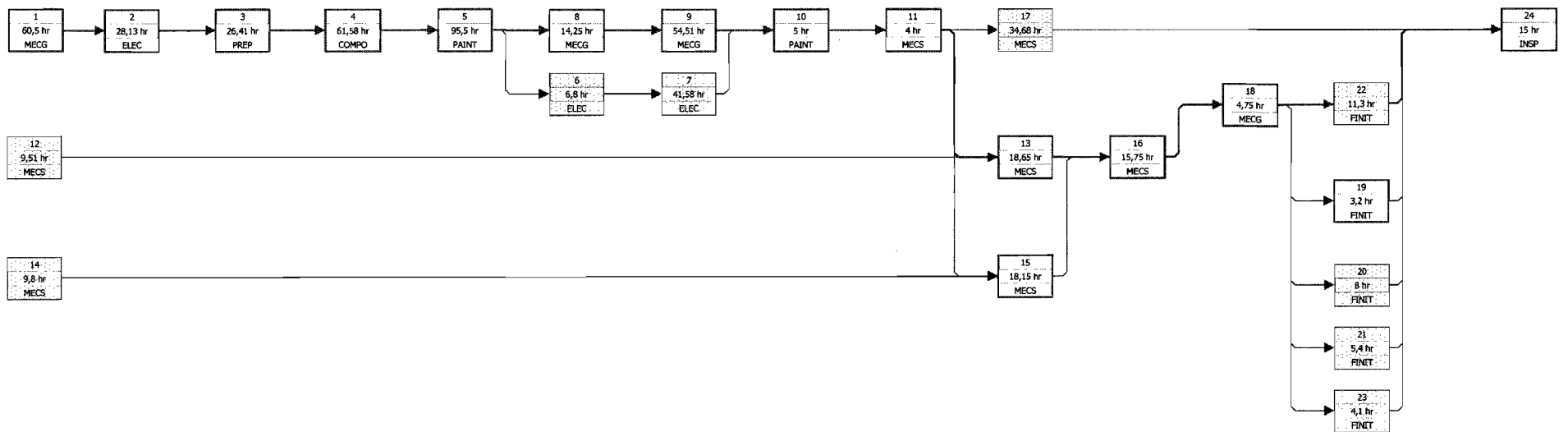
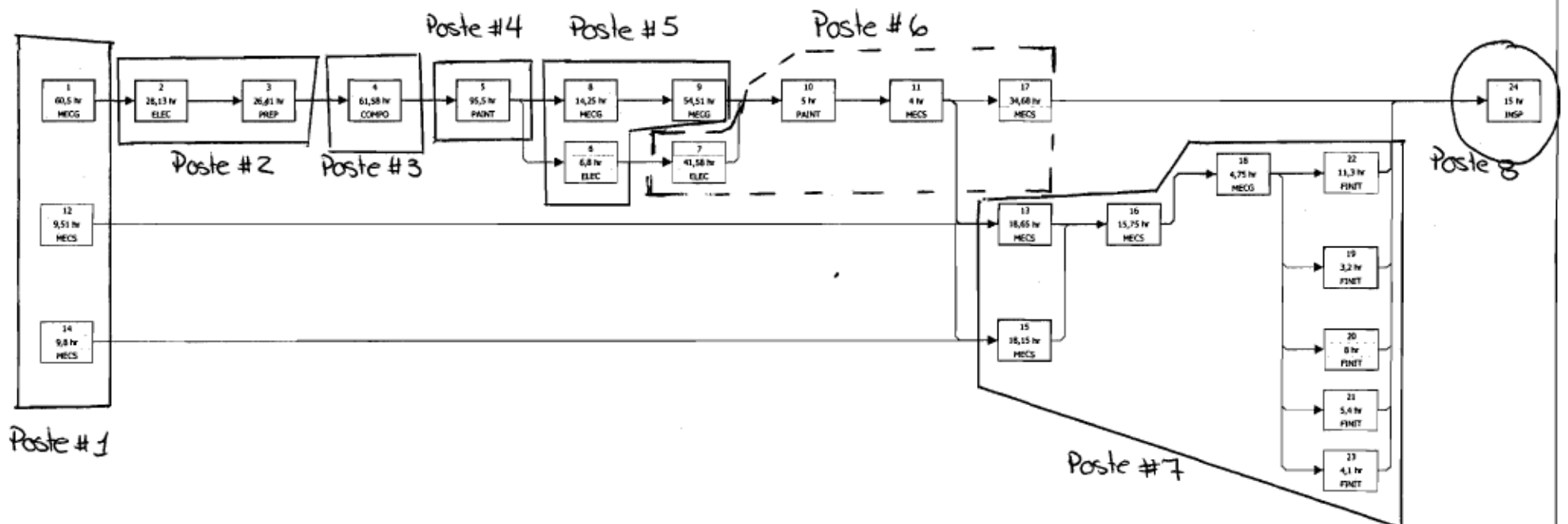


DIAGRAMME DE PRÉSEANCES, MODÈLE 24 NOEUDS

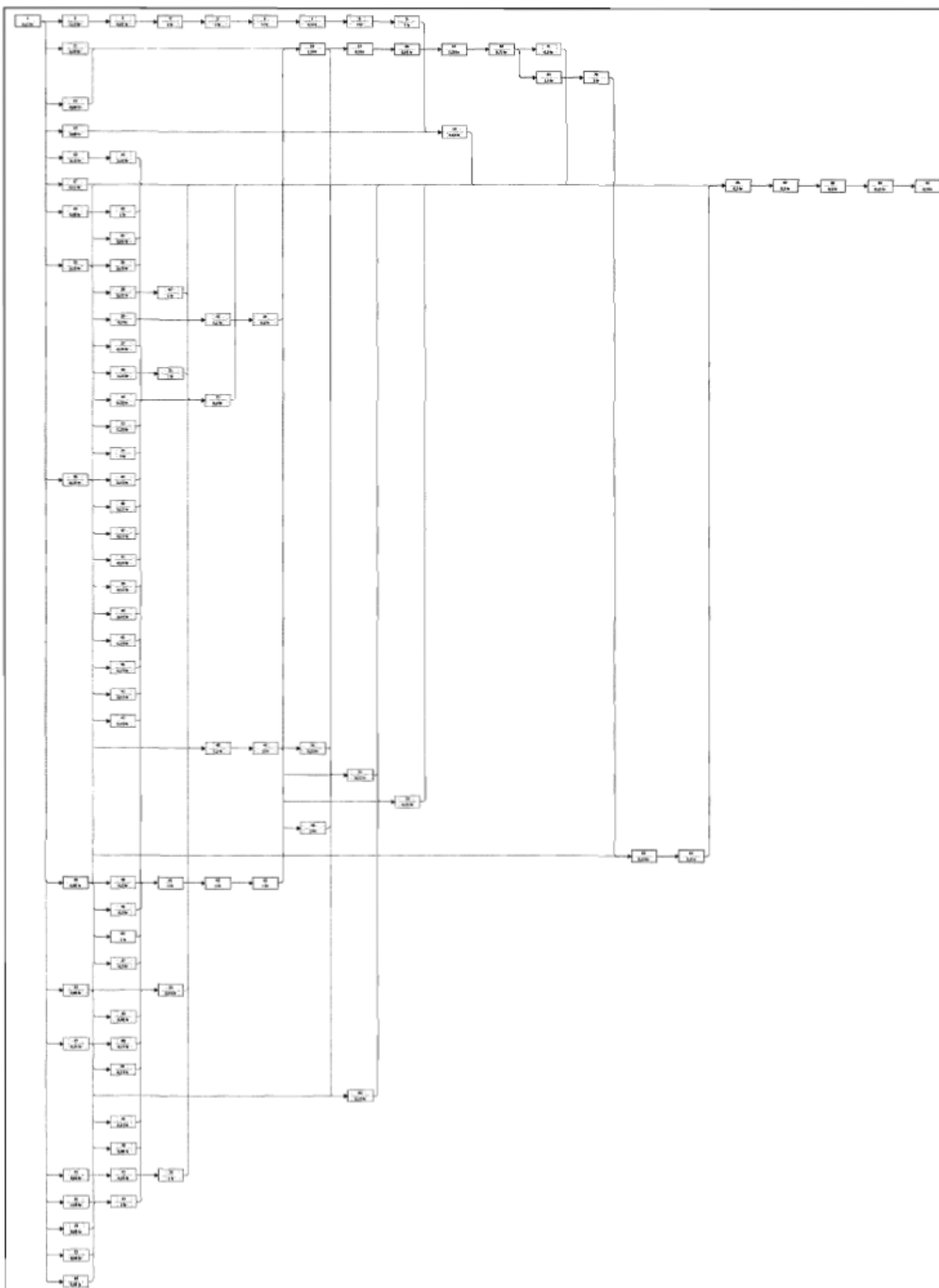


**ANNEXE 5 : Diagramme de préséance du modèle réduit regroupé
(15 nœuds)**

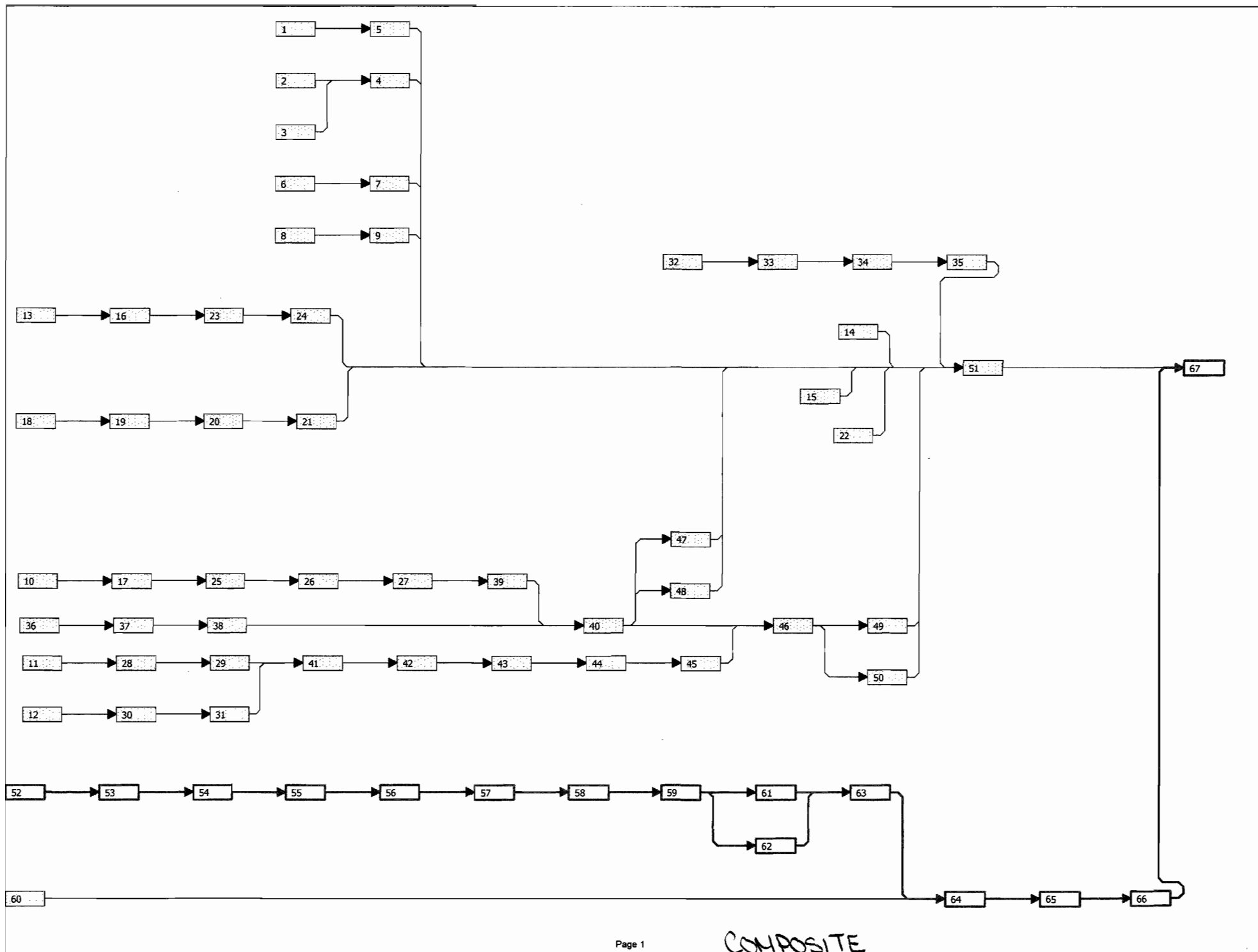
Éléments de travail regroupé par compétence sans sous-assemblage

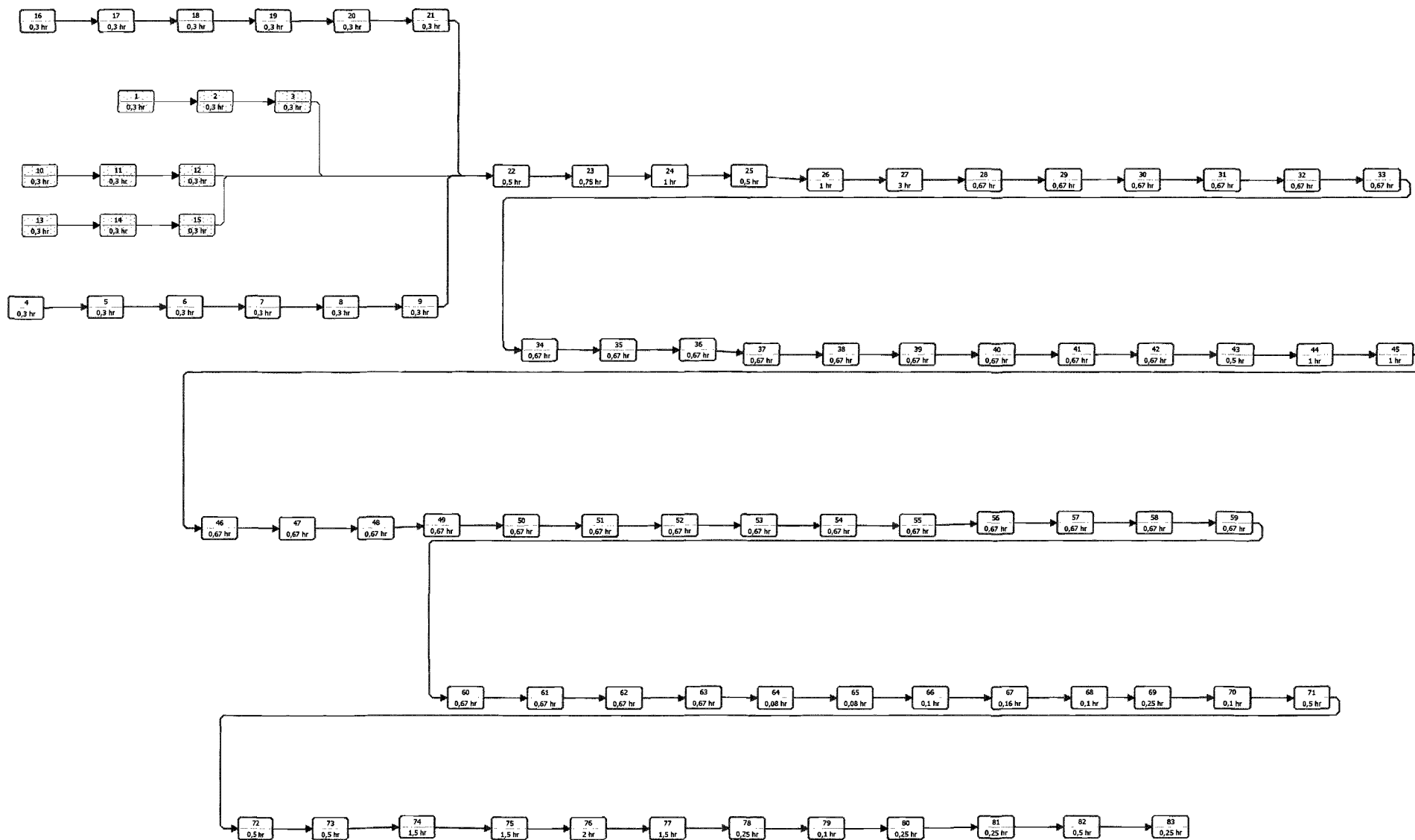
Numéro Élément	Nombre de tâches *	Description de l'élément	Groupe de classe	Temps (heures)	Prédécesseurs
1	90	Assemblage Mécanique (PAS DE SUB)	MECG	45,18	
2	8	Passer le filage électrique et autres harnais	ELEC	88,13	1
3	36	Préparation de l'installation du fuselage	PREP	26,41	2
4	67	Découpe en composite	COMPO	61,58	3
5	49	Préparation et pre peinture (peinture misc.)	PAINT	95,50	4
6	1	Peinturer fuselage	PAINT	5,00	5
7	83	Compléter l'électrique et connecter les antennes	ELEC	48,38	6
8	11	Assemblage du train d'atterrissage	MECG	14,25	6
9	36	Installation du pare-feu et du moteur	MECG	54,51	7;8
10	3	Aligner fuselage selon procédure	MECS	4,00	9
11	47	Installer ailes G & D avec ajustement	MECS	52,55	10
12	25	Installer queue de l'avion (rudder, horizontal stab, vertical stab)	MECS	34,68	10
13	7	Installer hélice, cowlings et inspection système de freinage	MECG	4,75	11;12
14	39	Finition intérieure et extérieure	FINIT	32,00	13
15	4	Tests avant 1er vol	INSP	15,00	14
SUB	80	sub	MECG	34,63	
Total:	586		Total:	616,55	

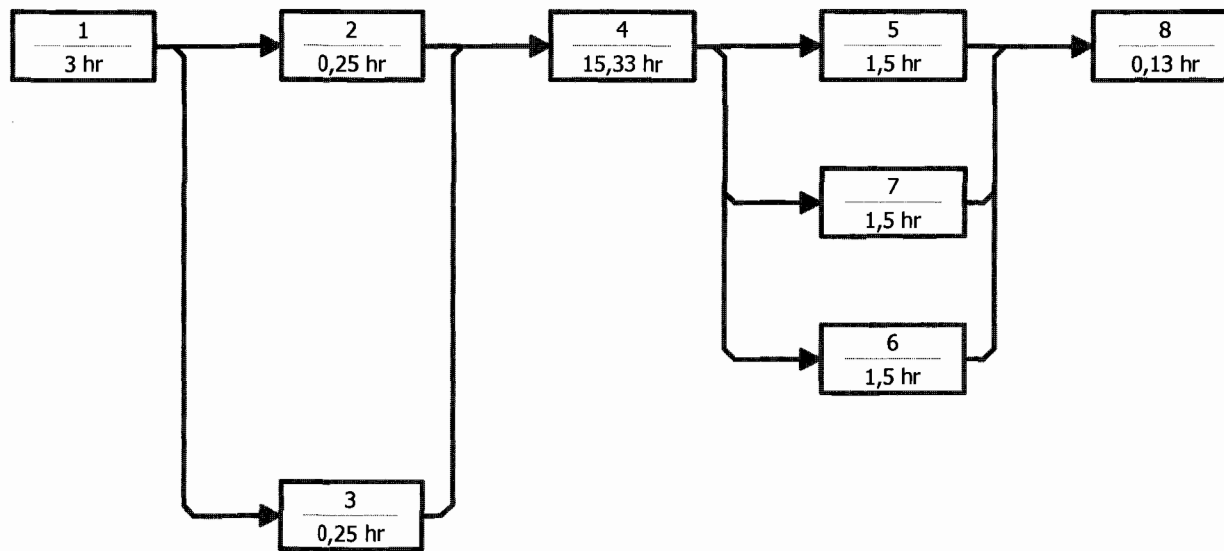
* Nombre tâches élémentaires regroupées pour faire un nœud du diagramme généralisé

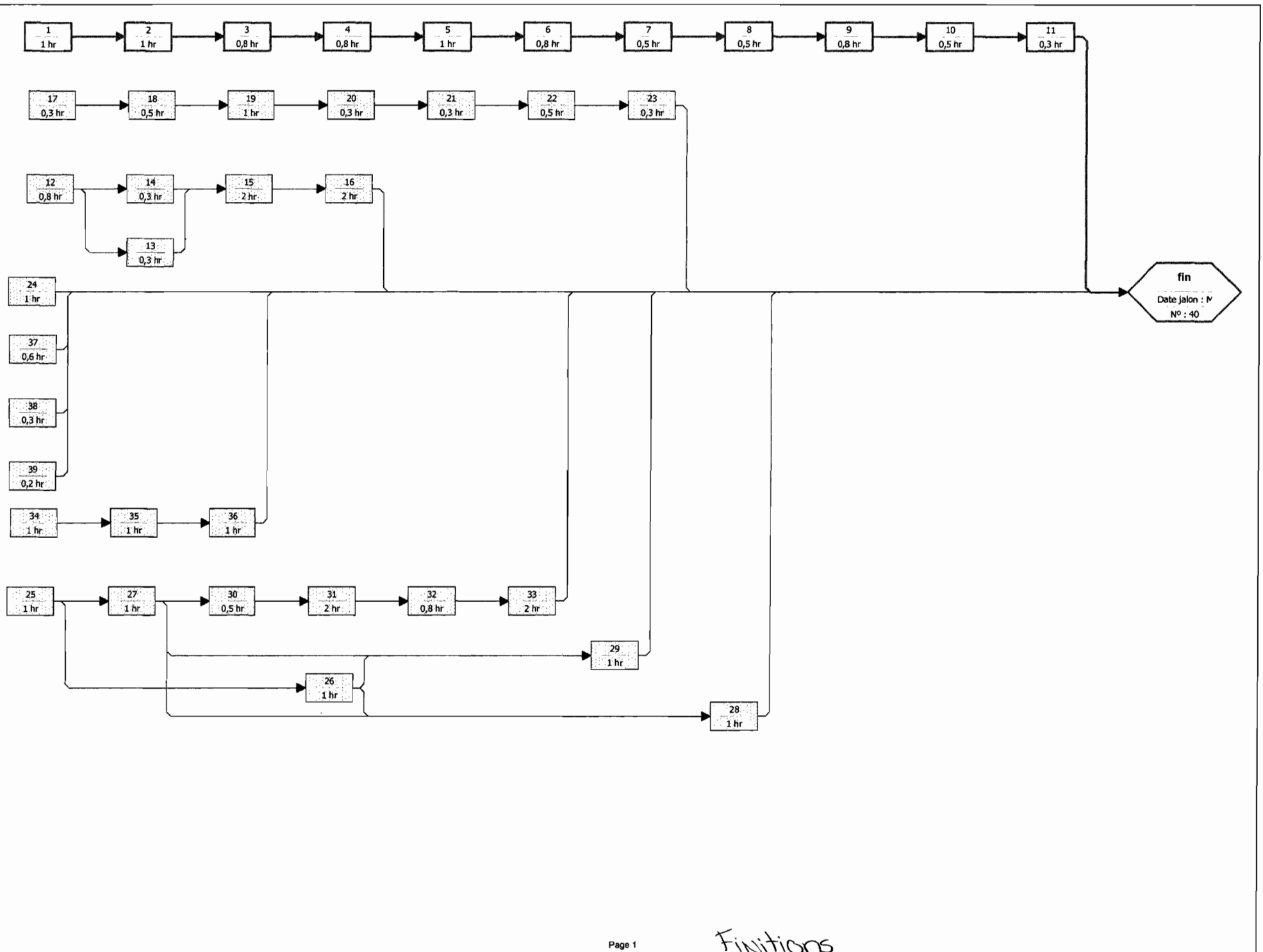


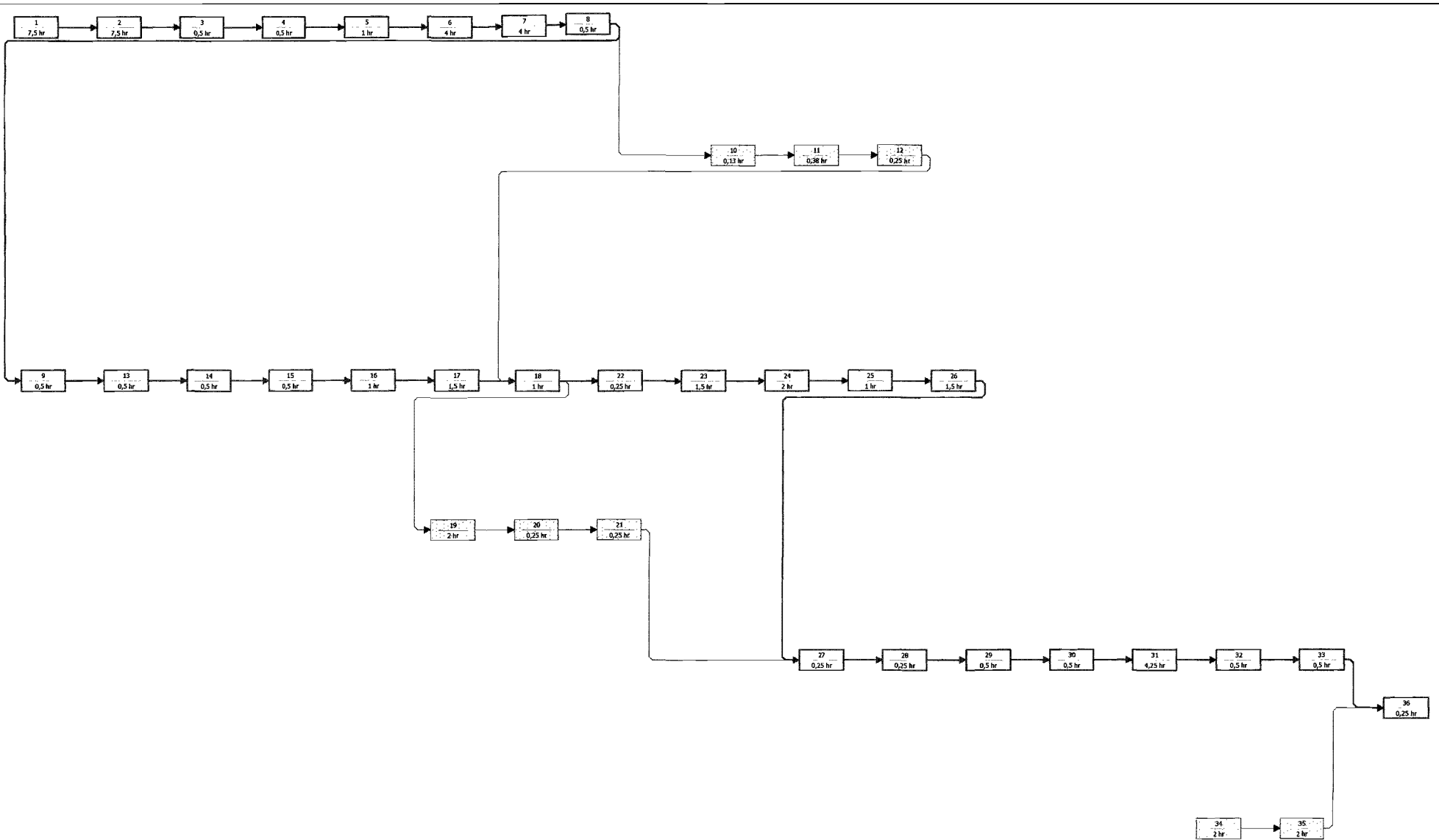
- ASSEMBLAGE MECANIQUE Mini

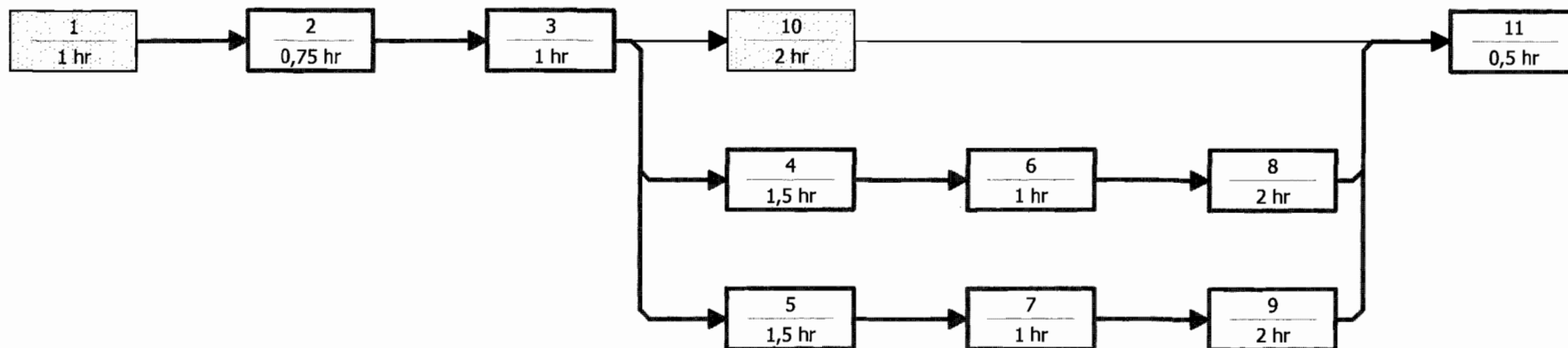


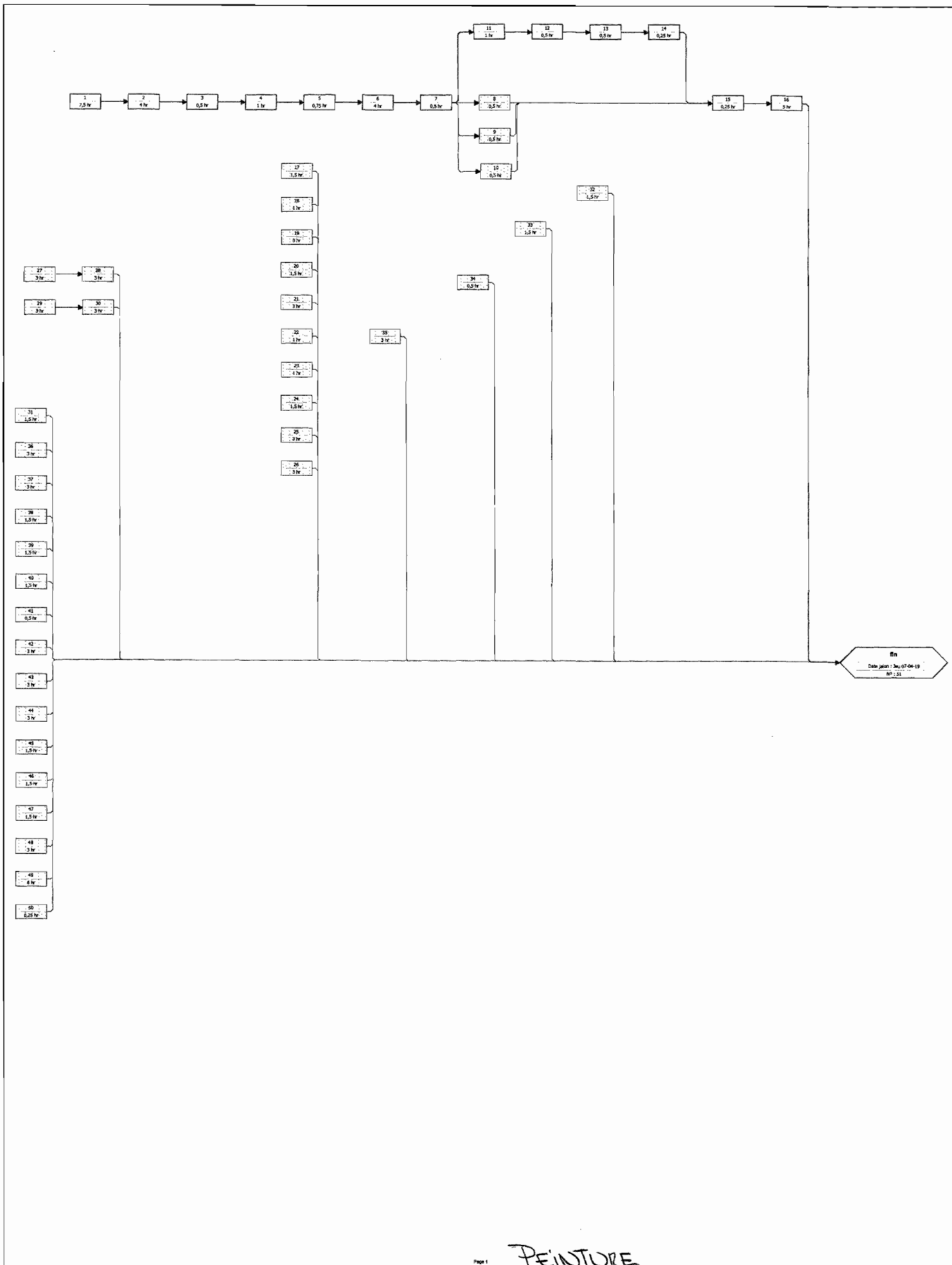












PEINTURE

