



Munich Personal RePEc Archive

Developement of welding cost estimation model based on welding feature concept

Hachicha, Wafik

Ecole Notionale d'ingénieurs de Sfax Tunisie, Unité Modélisation
Mécanique et Production

8 July 2004

Online at <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/7969/>
MPRA Paper No. 7969, posted 28 Mar 2008 22:03 UTC



MEMOIRE

présenté à

L'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax

(Département de Génie Mécanique)

en vue de l'obtention du

MASTERE

De Mécanique et Ingénierie

Par

Wafik HACHICHA

Ingénieur en Génie Industriel

DEVELOPPEMENT D'UN MODÈLE D'ESTIMATION DES COÛTS D'ASSEMBLAGES SOUDÉS

Soutenu le 08 Juillet 2004, devant la commission d'examen :

Mme Wassila BOUZID

Président

M. Jamel LOUATI

Rapporteur

M. Faouzi MASMOUDI

Encadreur

M. Zoubeir BOUAZIZ

Co-Encadreur

M. Mohamed HADDAR

invité

REMERCIEMENTS

J'ai le devoir et le plaisir de témoigner ma reconnaissance à tous ceux qui ont collaboré de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire de MASTERE, ou qui en ont soutenu l'effort par des conseils et des encouragements toujours bienvenus.

Je remercie tout particulièrement mes encadreurs à l'E.N.I.S Monsieur Faouzi MASMOUDI et Monsieur Zoubeir BOUAZIZ pour leurs appuis, leurs conseils précieux et leurs encouragements incessants qui ont permis de mener efficacement ce travail.

J'exprime mon profond respect et mes remerciements chaleureux à Madame Wassila BOUZID le président du jury et à tous les membres de jury à savoir Monsieur Jamel LOUATI et Monsieur Mohamed HADDAR qui ont bien voulu juger ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à Madame Moufida MASMOUDI et ses fils, à savoir Rachouen, Ahmed et Khalil pour m'avoir accordé la chance de mener ce projet simultanément avec mon poste en tant qu'ingénieur méthode et production au sein de leur entreprise Pâtisserie Masmoudi.

Je remercie très sincèrement Monsieur Abdelkader TRABELSI, gérant de la société MDI, pour l'accueil chaleureux et pour son aide dans la partie validation par un projet industriel.

Mes pensées vont aussi à tous mes enseignants à l'E.N.I.S et en particulier Monsieur Aref MAALEJ, Responsable de Mastère de Mécanique et Ingénierie, pour leurs aides et pour l'enseignement dont j'ai pu bénéficier.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENARALE.....	1
-----------------------------------	----------

Chapitre 1 : Généralités

1.1 Introduction.....	4
1.2 La mesure des coûts dans l'approche traditionnelle.....	5
1.2.1 Architecture de la méthode d'estimation des coûts.....	6
1.2.2 La méthode intuitive ou empirique.....	6
1.2.3 La méthode analytique.....	6
1.2.4 La méthode paramétrique.....	7
1.2.5 La méthode analogique.....	8
1.2.6 La méthode de raisonnement à base de cas.....	10
1.2.7 Synthèse comparative des méthodes.....	11
1.3 Les modèles d'estimation des coûts de revient.....	12
1.3.1 Modèle basé sur la gestion prévisionnelle.....	13
1.3.2 Modèle de comptabilité à base d'activités « ABC ».....	13
1.3.3 Méthode des Unités d'Effort de Production « UEP ».....	14
1.4 Modélisation par entités d'une pièce mécanique.....	15
1.4.1 Définitions.....	15
1.4.2 Les différentes vues de l'entité.....	16
1.4.3 Le concept entité de fabrication.....	17
1.4.4 Application au concept entité d'usinage.....	18
1.4.5 La modélisation par entités.....	18
1.5 Conclusion.....	19

Chapitre 2 : Modèle Entité : Estimation du temps de soudage

2.1 Introduction.....	20
2.2 Les procédés de soudage.....	20
2.2.1 Définitions et généralités.....	20
2.2.2 Différents modes de soudage.....	21
2.2.3 Soudage à l'arc électrique.....	21
2.2.3.1 Soudage manuel à l'électrode enrobée SMAW.....	23
2.2.3.2 Soudage sous gaz inerte avec électrode en tungstène GTAW.....	25
2.3 La modélisation d'un assemblage en soudage.....	27

2.3.1 Les définitions d'un assemblage par soudage.....	27
2.3.2 Les différents types d'un assemblage en soudage.....	27
2.3.3 La préparation d'un assemblage en soudage.....	28
2.3.4 Les critères de choix technique pour la préparation des joints.....	30
2.3.5 La classification des positions de soudage selon le type d'assemblage.....	31
2.4 Développement des entités de soudage.....	33
2.4.1 Entité de soudage.....	33
2.4.2 Entité de préparation.....	34
2.5 Démarche de décomposition en entités.....	37
2.5.1 La matrice d'assemblages.....	37
2.5.2 Le digramme de décomposition du produit en des entités.....	38
2.5.3 Réduction possible de la matrice d'assemblages.....	39
2.5.4 Modélisation géométrique de la section de soudage.....	40
2.6 Estimation des temps de soudage pour une entité.....	43
2.6.1 La démarche de calcul du temps de soudage.....	43
2.6.2 Test de cohérence pour les paramètres de débit.....	44
2.6.3 Méthodologie analytique d'estimation du temps de soudage.....	45
2.7 Conclusion.....	47

Chapitre 3 : Modèle Entité Coût : Estimation des Coûts de soudage

3.1 Introduction.....	48
3.2 Concept de base de l'approche : Entité Coût (EC).....	48
3.2.1 Définition du concept.....	48
3.2.2 Identification des Entités coûts.....	49
3.2.3 Estimation des coûts par le concept Entité Coût.....	50
3.2.4 Intégration du concept Entité Coût.....	51
3.3 Estimation des coûts de préparation.....	52
3.3.1 Entité Coût Usinage.....	52
3.3.2 Entité Coût pointage.....	55
3.4 Estimation des Coûts de soudage.....	57
3.4.1 Application à l'Entité Coût Soudage.....	57
3.4.2 Démarche d'estimation de coût de soudage.....	58
3.5 Le modèle global d'estimation des coûts en Soudage.....	59
3.6 Conclusion.....	61

Chapitre 4 : Maquette de validation : Développement Informatique

4.1 Introduction.....	62
4.2 Conception d'une base de données.....	62
4.2.1 La structuration du modèle Entité Association (EA).....	62
4.2.2 Passage d'un modèle EA en schéma d'une BDR.....	64
4.2.3 Le schéma de la Base de Données Relationnelles.....	65
4.3 Développement informatique	67
4.3.1 Structure de l'application SOUDABASE	67
4.3.2 Interface de l'application SOUDABASE.....	70
4.4 Résultats de l'application à travers un exemple.....	72
4.4.1 Spécification du problème à résoudre.....	72
4.4.2 Estimation des coûts à l'aide de SOUDABASE.....	75
a) Saisie des fiches entités	75
b) Vérification de la cohérence des données d'exécution.....	76
c) Estimation des temps de soudage et de préparation.....	76
d) Estimation des coûts de soudage.....	77
4.4.3 Les estimations proposées par l'entreprise MDI.....	79
4.5 Comparaison avec l'application DEVISOUD de CETIM.....	80
4.5.1 Présentation de DEVISOUD.....	80
4.5.2 Exemple traité par DEVISOUD.....	81
4.5.3 Les estimations par l'application SOUDABASE.....	83
4.6 Synthèse et évaluation de l'application SOUDABASE.....	84
4.6.1 Les avantages de l'application.....	85
4.6.2 Les Limites de l'application.....	85
4.7 Conclusion.....	86
CONCLUSION & PERSPECTIVES	87

Références bibliographiques

RESUME

On a entamé ce rapport par une modélisation d'un assemblage soudé qui a permis d'introduire la notion entité de soudage et entité de préparation. Le modèle d'estimation des temps des assemblages soudés est basé sur la définition d'une matrice d'assemblage et la décomposition du produit en entités.

Le modèle proposé consiste à combiner deux méthodes d'estimation des coûts appliquées au produit et au processus : d'une part, on a utilisé la méthode analytique pour la formalisation du temps de soudage, de consommation d'électrode et de gaz en fonction des différents paramètres des entités de soudage et de préparation. L'estimation est basée sur une évaluation de la masse du métal d'apport. D'autre part, on a utilisé la méthode paramétrique pour la structuration des coûts engendrés par les différentes Entités Coût qui composent le processus de soudage : préparation, pointage et soudage. Dans ce cas, l'estimation est fondée sur la structuration d'inducteur convenable à l'échelle de chaque Entité Coût.

Enfin, on a développé une base de données qui repose sur le modèle développé. La maquette logicielle qui a été mise en œuvre avec Microsoft Access, est susceptible d'apporter une estimation des temps et des coûts. Enfin, pour montrer l'efficacité du modèle, on a traité d'une part, un projet industriel proposé par l'entreprise MDI et d'autre part, on a mené une étude comparative avec l'application DEVISOUD conçu par le CETIM Senlis, France.

Mots clés :

Estimation des coût, Modélisation, Entité de Soudage, Entité de Préparation, Entité Coût,

ABSTRACT

Estimating the manufacturing cost is a critical task with high importance to industrial firms. The cost estimating can drive bidding strategies, management of resources, production policies and other issues crucial to the economic success of the company. Essentially, cost estimation should be quick and accurate.

There are three main approaches towards cost estimation: estimation based on past experience (variant cost estimation), estimation based on explicit cost computations (analytical method) and parametric cost estimation. However, the most accurate cost estimates are made using the analytical approach. Among the many methods for cost estimating are those based on knowledge bases, features, operations, physical relationships and similarity laws.

The aim of this study is to estimate different cost for the specific field of arc welding. It deals with assembly modeling welding. To do this, we have proposed a new application of feature: welding feature and preparation feature. This concept is based on the decomposition of the product in features.

The proposed model presents a combination of two variants approach cost estimation based on characteristics of product and on manufacturing activity of process:

- First, we developed an analytical method in order to estimate the welding time by determining the weight of the weld and this for each feature. Besides, we estimate others consumptions: gas, electrode and electrical power.
- Second, we used parametric cost estimation for cost formulation due to deferent “feature cost” which compose the process of welding: Edge preparation (chamfering, bevel machining, grinding etc.), welding. This concept inquires the appropriate choice of the indicator.

We have developed a database with Microsoft Access in order to estimate cost welding which use our model. This application, named SOUDATABASE, helps in estimating welding time and cost. It will allow a relative novice to understand the effects of welding variables on production costs. Finally, we tested SOUDATABASE application with industrial examples and we released a comparative study with DEVISOUD application proposed by CETIM, Senlis France in order to validate our model.

Keywords

Modeling, Assembly, Welding feature, Preparation feature, Cost feature, Cost estimation

LISTE DES FIGURES

Chapitre 1 : Généralités

1.1	La courbe de Freiman.....	5
1.2	Structure de l'estimation des coûts.....	6
1.3	La démarche de la méthode paramétrique.....	8
1.4	La démarche de la méthode analogique.....	9
1.5	Le processus du raisonnement à partir de cas.....	11
1.6	Les différentes vues de l'entité.....	16
1.7	Exemple de paramétrage de l'entité « trou taraudé ».....	17
1.8	Exemples d'entités d'usinage.....	18

Chapitre 2 : Modèle Entité : Estimation du Temps de Soudage

2.1	Soudage à l'arc avec électrodes enrobées SMAW : schéma de principe.....	24
2.2	Schéma d'une électrode enrobée.....	24
2.3	Soudage à l'arc TIG ou GTAW : schéma de principe.....	26
2.4	Préparation à bords relevés.....	29
2.5	Les Préparations bout à bout	29
2.6	Les paramètres de l'entité de préparation en V.....	35
2.7	Les paramètres de l'entité de préparation simple.....	36
2.8	Les paramètres de l'entité de préparation en X.....	36
2.9	Les paramètres de l'entité de préparation en angle.....	37
2.10	Structure de la matrice d'assemblage.....	38
2.11	Exemple d'un assemblage dans une même pièce.....	38
2.12	Exemple d'un assemblage de deux pièces.....	38
2.13	Démarche de décomposition en entités de soudage et entités de préparation.....	39
2.14	La structure d'exécution d'une entité de soudage en V.....	40
2.15	La démarche de la modélisation géométrique d'une section de soudage.....	40
2.16	Modélisation géométrique de l'entité de soudage bout à bout en V.....	41
2.17	Modélisation géométrique de l'entité de soudage bout à bout en X.....	42
2.18	Modélisation géométrique de l'entité de soudage bout à bout en I (à bords droits).....	42
2.19	Modélisation géométrique de l'entité de soudage bout à bout en U.....	42
2.20	Modélisation géométrique de l'entité de soudage en angle.....	43
2.21	Méthodologie de calcul du temps de soudage.....	44

2.22	Courbes de fusion courant continu, polarité positive à l'électrode.....	45
------	---	----

Chapitre 3 : Modèle Entité Coût : Estimation des Coûts de soudage

3.1	Représentation de l'Entité Coût.....	48
3.2	Association Assemblage / Entité / Entités Coût.....	52
3.3	Structure de l'Entité Coût Usinage pour la préparation en V.....	53
3.4	Paramétrage du Pointage.....	55
3.5	Structure de l'Entité Coût Pointage.....	56
3.6	Structure de l'Entité Coût Soudage.....	57
3.7	Modèle proposé pour l'estimation des coûts en soudage.....	59

Chapitre 4 : Maquette de validation : Développement Informatique

4.1	Schématisation de la première règle de passage du modèle EA en BDR.....	64
4.2	Schématisation de la deuxième règle de passage du modèle EA en BDR	65
4.3	Schématisation de la troisième règle de passage du modèle EA en BDR.....	65
4.4	Le schéma physique de la Base de Données pour l'estimation des coûts.....	66
4.5	Le schéma physique de la Base de Données Technique.....	67
4.6	Structure de la table PROCEDE (exemple avec une seule clé).....	68
4.7	Structure de la table FICHE ENTITE (exemple avec deux clés).....	69
4.8	Structure du formulaire PROCEDE.....	70
4.9	Structure du formulaire JOINT.....	70
4.10	Menu Principal de l'application SOUDABASE.....	71
4.11	Architecture de la maquette informatique SOUDABASE.....	72
4.12	Le schéma du produit « Corps Citerne ».....	73
4.13	Exemple d'une fiche Entité de l'assemblage	75
4.14	Menu de saisie d'une fiche entité.....	76
4.15	Menu de la vérification de la cohérence des données d'exécution.....	76
4.16	Menus d'estimation des temps pour une entité.....	77
4.17	Menu général d'estimation des temps et des coûts d'un assemblage par soudage.....	78
4.18	Menu « Estimation des Temps et des Coûts ».....	79
4.19	Menu de décomposition d'un assemblage en entités.....	79
4.20	Le schéma du produit « Châssis ».....	81
4.21	Les estimations des temps proposées par DEVISOUD « cas du châssis ».....	82
4.22	Les formulaires d'estimations de SOUDABASE « cas du châssis »... ..	83

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre 1 : Généralités

1.1 Les avantages et les inconvénients de la méthode analytique.....	7
1.2 Les avantages et les inconvénients de la méthode paramétrique.....	8
1.3 Les avantages et les inconvénients de la méthode analogique.....	10
1.4 Analyse comparative des méthodes d'estimation de coût.....	12

Chapitre 2 : Modèle Entité : Estimation du Temps de Soudage

2.1 Classification des procédés de soudage.....	22
2.2 Les différents procédés de soudage à l'arc.....	23
2.3 La codification des différents types d'assemblage.....	28
2.4 Les préparations des Joints bout à bout en SMAW.....	30
2.5 Les préparations des Joints bout à bout en GTAW.....	31
2.6 La classification des positions de soudage selon le type de l'assemblage.....	32
2.7 Exemple de paramétrage d'une entité de soudage.....	34

Chapitre 3 : Modèle Entité Coût : Estimation des Coûts de soudage

3.1 Les indices de complexité des entités de préparation.....	54
3.2 Les coûts des ressources de l'Entité Coût Usinage.....	54

Chapitre 4 : Maquette de validation : Développement Informatique

4.1 La description des différents objets du modèle EA.....	63
4.2 Configurations des cardinalités possibles dans un modèle EA.....	64
4.3 Les spécifications des différentes entités du produit « Corps citerne ».....	75
4.4 Estimation par SOUDABASE des différents types d'entités « Corps Citerne ».....	77
4.5 Les critères actuels d'estimation de l'entreprise MDI.....	80
4.6 Les spécifications qui se différencient entre les types d'entité pour l'exemple « Châssis ».....	83
4.7 Tableau comparatif des différentes estimations de DEVISOUD et de SOUDABASE.....	84

INTRODUCTION GENERALE

Motivation de l'étude

Ce projet de mastère porte sur le problème d'estimation des coûts dans le monde de la production manufacturière et plus précisément pour le secteur de soudage.

Le projet part de la constatation que la connaissance des coûts est un des impératifs de base de toute prise de décision. L'entreprise doit adapter les outils nécessaires pour fiabiliser et gérer les informations économiques circulant à l'intérieur de l'entreprise. Cette fonction dépend des différentes phases du processus de développement du produit à savoir la conception et la fabrication. En cours de la conception, on parle généralement de "prévision de coûts" et de "estimation de coûts". Tandis que pour la fabrication, on utilise les termes "estimation de coûts", "chiffrage de coûts" et "devis". De la précision et de la rapidité de l'élaboration du devis dépend le passage de la commande effective par le client. La mise en place d'un modèle d'estimation des coûts revêt une importance considérable dans l'entreprise manufacturière travaillant sur commande.

Pour l'estimation des coûts en phase de préparation à la fabrication, objet de ce travail, plusieurs méthodes sont utilisées : la méthode analytique consiste à décrire et à valoriser l'ensemble des opérations nécessaires à la réalisation du produit. On peut également critiquer la lenteur de l'estimation qui n'est plus adaptée à la vitesse de marché. En remplacement de l'approche analytique, beaucoup d'entreprises appliquent les méthodes paramétriques et analogiques d'estimation des coûts. Si ces méthodes sont réellement rapides c'est parce qu'elles sont essentiellement synthétiques. En effet, ces techniques fonctionnent en boîte noire, elles fournissent le coût total du produit en fonction de certaines caractéristiques. Elles limitent la transparence de négociation des commerciaux.

Depuis la fin des années 70, les entreprises ont été confrontées à des nouvelles contraintes, issues de la prédominance du marché dans leur activité. Ce type de marché qui devient de plus en plus concurrentiel impose aux entreprises une recherche continue de la maîtrise des coûts, des délais et de la qualité. Ce contexte engendre une évolution, que se soit économique ou technique, des

méthodes adoptées pour l'estimation des coûts et accorde à la recherche scientifique une grande importance durant les différents processus de décision.

De point de vue économique, les méthodes classiques de calcul des coûts (systèmes coûts) s'avèrent dépassées face aux besoins de managers et de tous les utilisateurs de la comptabilité de gestion qui constatent souvent les insuffisances de leurs instruments de mesure [3], [12]. Pour y répondre, aux Etats-Unis et en Europe se développe un concept appelé la comptabilité d'activité : l'estimation des coûts basée sur les activités ABC (Activity Based Costing). Une autre approche, d'origine Japonaise, aborde la notion de coût objectif (Target Costing) : conception pour un coût objectif (C.O.O), en donnant aux objectifs de prix la même importance qu'aux objectifs de performance et de délais.

De point de vue technique, la maîtrise des coûts, des délais et de la qualité d'une part, la volonté d'intégration des activités du cycle de vie du produit d'autre part, ont conduit au développement d'outils de modélisation plus globaux et tenant compte d'autres points de vue que celui de la géométrie. De nombreux travaux [3], [18], [24] se sont intéressés à la modélisation du produit pour offrir de nouveaux supports aux informations générées durant le processus de conception et de fabrication.

Spécifiquement dans le domaine de la mécanique, plusieurs travaux ont été réalisés, en particulier dans l'estimation du coût des pièces forgées [4], des outillages de moules [32], des pièces cylindriques [5], des pièces usinées par l'application de la méthode analogique [29], des pièces usinées par l'application de la méthode paramétrique [30] etc. La précision des calculs pour la plupart des méthodes d'estimation des coûts que se soit classique ou nouvelle méthode, se base a priori, sur la précision des estimations des temps de fabrication.

L'évolution actuelle des méthodes d'estimation des coûts [3], [5], [10], [18], [33] consiste à intégrer à la fois les caractéristiques géométriques et techniques du produit qui vont se conserver eux mêmes durant tout le processus de fabrication. Ceci présente la base de la modélisation par entité qu'on a appliqué dans ce projet.

Plan de lecture

La fonction « estimer un coût » touche à des nombreux domaines très variés ce qui la rend à la fois passionnante mais également difficile à maîtriser. En effet au cours d'une estimation il est important et nécessaire de disposer de bonnes informations techniques et économiques mais également de connaître les moyens et les conditions de production ainsi que les modèles mis en œuvre pour l'estimation.

Ce mémoire porte sur un développement d'un modèle d'estimation des coûts des assemblages soudés en s'appuyant sur des travaux réalisés dans le domaine d'estimation de coût de fabrication des pièces mécaniques.

Ce projet comprend :

Un premier chapitre présentant de manière plus détaillée la problématique d'estimation des coûts. Dans un premier temps, on présente les différentes méthodes classiques d'estimation des coûts. Dans un deuxième temps, on introduit la modélisation par entités d'une pièce mécanique. Cette modélisation a permis la naissance de nouvelles méthodes d'estimation qui intègrent les caractéristiques géométriques et techniques durant tout le processus de fabrication.

Le deuxième chapitre porte sur les différents procédés de soudages ainsi la modélisation d'un assemblage en soudage pour pouvoir proposer nos concepts d'entité de soudage et d'entité de préparation. Pour l'estimation du temps de soudage, on applique la méthode analytique pour chaque entité qui repose sur l'évaluation de la masse d'apport en fonction des différents paramètres d'exécution de la soudure.

Le troisième chapitre expose les concepts et les principes de base du modèle proposé. On commence par détailler le concept « Entité Coût ». Ensuite, on explique l'application aux Entité Coût préparation et Entité Coût pointage pour l'estimation des coûts d'usinage, de pointage et de soudage.

Un quatrième chapitre porte sur l'intérêt, d'un point de vue pratique, de l'approche proposée à travers des exemples industriels. Pour ce faire, on a développé un outil informatique d'aide à la décision en structurant une base de données qui repose sur le modèle conçu aux chapitres précédents.

1.1 Introduction

Le devis est une proposition de prix et de délai, dans une qualité et pour une quantité définie, que transmet le consulté au consultant concernant l'éventuelle réalisation d'un produit pas encore élaboré [1]. Si le devis est accepté, il devient une commande ferme pour le consulté. C'est un moyen d'alimenter en commandes l'entreprise.

L'élaboration des devis est l'une des activités les plus fondamentales au sein des entreprises industrielles. De l'estimation prévisionnelle fiable des coûts des projets permettant l'obtention de nouveaux marchés générateurs de chiffre d'affaire et si possible de marges financières permettant à l'entreprise de survivre ou de se développer [2].

Le système coût montre quelles relations lient les consommations des ressources aux finalités poursuivies et aux processus. En ce qui concerne les finalités, un produit peut être perçu comme une affectation d'attributs (matériaux, opérateurs, qualité, etc.). Quant aux processus, on distingue deux cas limites :

- Le premier est celui de l'industrie « *de process* », où les articles à produire sont standards et par la suite les opérations sont stables, dans ce cas, le système coût est généré une seule fois et il reste valable pour les commandes à venir. Dans ce cas, le client cherche une liste des prix des articles présentés dans un catalogue et non pas un devis personnalisé.
- Le second concerne la fabrication à la commande « *job order* » où chaque commande fait enchaîner une variété différente d'activités élémentaires. Dans ce cas, l'estimation des coûts et l'établissement du devis doivent être effectués pour chaque commande nouvelle. Pour cela, il faut développer les outils nécessaires pour avoir une estimation fiable et rapide. Ceci se traduit concrètement par la production d'une série d'instruments visant à assurer la traçabilité des ressources et à identifier les causalités des consommations, c'est cet ensemble instrumental que l'on désigne sous le terme de système coût :

«Un système de coûts est le résultats des efforts déployés pour fournir aux gestionnaires les moyens de savoir, de comprendre et d'agir sur les consommations de ressources » [3].

Ce chapitre présente les problématiques d'estimation des coûts dans le contexte actuel. On détaille les différentes méthodes d'estimation des coûts employées pour les deux types d'industrie : fabrication standard et fabrication à la commande. Les limites de ces méthodes d'estimation des coûts « actuelles » justifient l'apparition de nouvelles approches (durant les trente dernières années) qui puissent répondre au contexte et aux impératifs industriels actuels de manière plus fine et plus précise.

Ces nouvelles méthodes d'estimation intègrent à la fois les caractéristiques géométriques et techniques du produit qui vont se conserver eux mêmes durant tout le processus de fabrication. On parle de la modélisation par entité. C'est pourquoi on a réservé la dernière partie de ce chapitre pour examiner de près les notions de la modélisation par entité.

1.2 La mesure des coûts dans l'approche traditionnelle

La fonction devis et ses outils doivent aujourd'hui évoluer en fonction des contraintes du contexte actuel externe et interne de l'entreprise [1] :

- Exigences accrues des marchés liées à la concurrence.
- Renouvellement plus rapide des produits et variantes conduisant à la réalisation d'un nombre de devis tous les jours supérieur.
- Cahiers des charges souvent incomplets.
- Délais de réponse aux appels d'offres réduits.
- Acheteurs professionnels plus inquisiteurs (demandes de justification des prix, etc.).
- Mise en œuvre de nouvelles technologies et méthodes de travail.

L'estimation de coût fait appel à des méthodes très variées en fonction de la connaissance progressive des caractéristiques du produit puis du process. Quelle que soit la méthode, la relation entre le coût estimé et le coût réel d'un produit peut être représentée par la courbe de Freiman [3]. Ceci est illustré par la figure 1.1 où la courbe montre :

- Une sous-estimation augmente les dépenses réelles.
- Une sur-estimation augmente aussi les dépenses réelles.
- Une estimation réaliste minimise les dépenses réelles

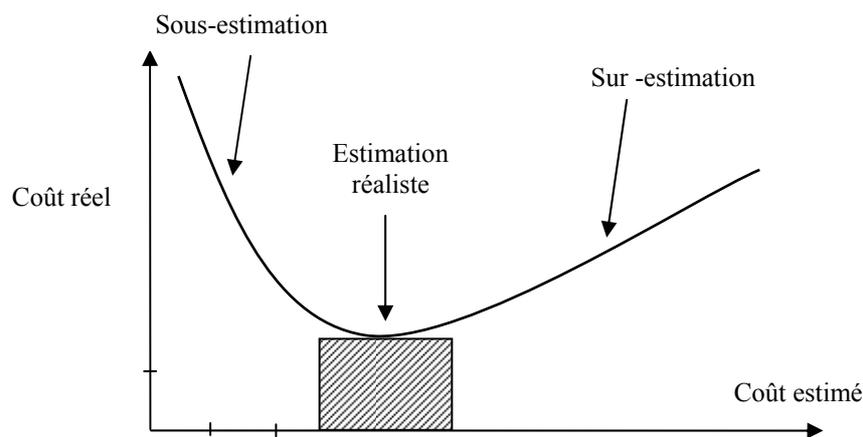


Figure 1.1 La courbe de Freiman [3]

Quand les coûts sont sous-estimés, les plans initiaux de fabrication, de planification, etc., sont irréalisables. Il devient difficile de respecter la limite annoncée du coût. En réponse, il y a une réorganisation et possibilité d'ajouter du personnel et de l'équipement, ce qui entraîne une forte croissance du coût réel. D'autre part, la sur-estimation des coûts, au lieu d'augmenter la marge

du bénéfice, devient une source de gaspillage dans l'entreprise, le coût alloué à un produit sera dépensé (coût estimé = coût calculé).

1.2.1 Architecture d'une méthode d'estimation des coûts

Toutes méthodes de détermination de coûts de fabrication répondent à une même structure qui se base sur un calcul des temps et des coûts. Quelque soit la méthode utilisée, l'estimation des temps de fabrication reprend à la structure d'un système classique de calcul. En effet l'entrée de ce système est le produit et la sortie du système est le coût de fabrication estimé (Voir figure 1.2). Les résultats sont influencés par les caractéristiques du produit et par la méthode elle même de détermination des temps (des coûts) de fabrication adoptée [2].

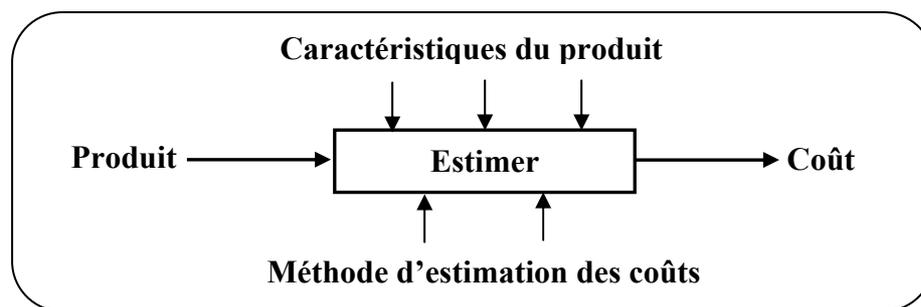


Figure 1.2 Structure de l'estimation des coûts [2]

Il existe quatre méthodes principales de détermination de temps de fabrication : méthode intuitive, méthode analytique, méthode paramétrique et la méthode analogique.

1.2.2 La méthode intuitive ou empirique

C'est la méthode la plus utilisée dans l'élaboration des estimations de temps et des coûts. Elle repose surtout sur l'expérience de l'opérateur. L'estimation d'un temps est élaborée de façon intuitive en prenant en compte les difficultés de l'acquis et certains paramètres que le préposé aux estimations de temps intègre dans son savoir-faire. Cette méthode est difficilement automatisable. En effet, seul un système expert pourrait le permettre. Elle présente des risques d'erreur importants, des difficultés au niveau de formation et de transmission du savoir-faire dans l'entreprise.

1.2.3 La méthode analytique

La méthode analytique évalue le temps de fabrication d'un produit grâce à la décomposition en un ensemble d'opérations du processus de fabrication qui transforme le produit brut en un produit fini. Elle attribue ensuite à chaque opération un temps que l'on somme pour obtenir le temps total de fabrication.

Les opérations peuvent être regroupées en sous - phases (ensemble d'opérations effectuées sans remise en position de la pièce) et en phase (ensemble se sous - phase effectuée sans changement de machine). Entre ces phases et sous phases, on détermine le temps de réglage et de changement

d'outils, les temps de positionnement de la pièce dans son montage, etc. Cette estimation peut se faire en additionnant les temps élémentaires ou en prenant des temps forfaitaires. Dans ces deux cas, ces temps peuvent être modulés pour prendre en compte l'effet de série de pièces. Cet effet se présente essentiellement au niveau de la dextérité qu'acquiert l'opérateur au fur et à mesure de la réalisation d'une série de pièces et ceci grâce à des courbes d'analyse des temps et des mouvements (accoutumance, habilité opérateur, etc.) [6].

La méthode analytique exige des connaissances au niveau de :

- a- Calcul des paramètres géométriques : surface d'une poche par exemple.
- b- Calcul du débit opératoire en fonction des conditions technologiques de réalisation : choix d'un outil, d'une vitesse de coupe, d'une avance, etc.

Il faut souligner que c'est la seule méthode possible lorsque l'on se trouve en face d'un produit que l'on ne connaît pas. Les avantages et les inconvénients de cette méthode sont représentés dans le tableau 1.1 suivant :

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Précise et sécurisante • Argumentaire pour la négociation • Diminue le délai entre la commande et le lancement 	<ul style="list-style-type: none"> • Lente • Exige une étude approfondie de la gamme • Informatisation obligatoire • Lourde mise à jour des données techniques de base.

Tableau 1.1 Les avantages et les inconvénients de la méthode analytique

Il y a divers outils informatiques qui utilisent la méthode analytique, parmi lesquels le logiciel CETIM- DEVIGAM USINAGE de CETIM qui est destiné à l'estimation des temps et des coûts d'usinage [7]. Le logiciel ADC Tôle qui permet de fournir les devis dans le domaine de tôlerie [8].

1.2.4 La méthode paramétrique

La méthode paramétrique peut être considérée comme une variante de la méthode de fonction coût. Néanmoins, elle est plus détaillée. Elle inclut plus de variables et d'expressions mathématiques dans ces analyses. Des Formules d'Estimation de Coût (FEC) lient des paramètres de coût (Dinars ou Taux horaire) avec des paramètres physiques ou de performance.

La méthode paramétrique est basée sur l'utilisation de relations mathématiques établies à partir de données historiques et actuelles de l'entreprise. Ces relations sont fondées sur la collecte d'informations semblables en quantité suffisante de façon à être capable de déterminer s'il existe des corrélations entre une évolution d'un temps et les paramètres. [2]

En effet, supposons qu'un produit puisse être décrit par deux paramètres X et Y, le temps « t » de la fabrication de cette pièce est déterminé par la fonction « f » à partir l'équation suivante :

$t = f(X,Y)$. La fonction « f » se présente suivant l'un des modèles d'approximation : linéaire, polynomiale, logarithmique, etc. Les coefficients du modèle retenu doivent être étalonnés pour chaque contexte particulier de l'entreprise. Ils doivent être continuellement ajuster afin d'augmenter la précision du modèle.

La figure 1.3 présente la démarche détaillée de méthode paramétrique.

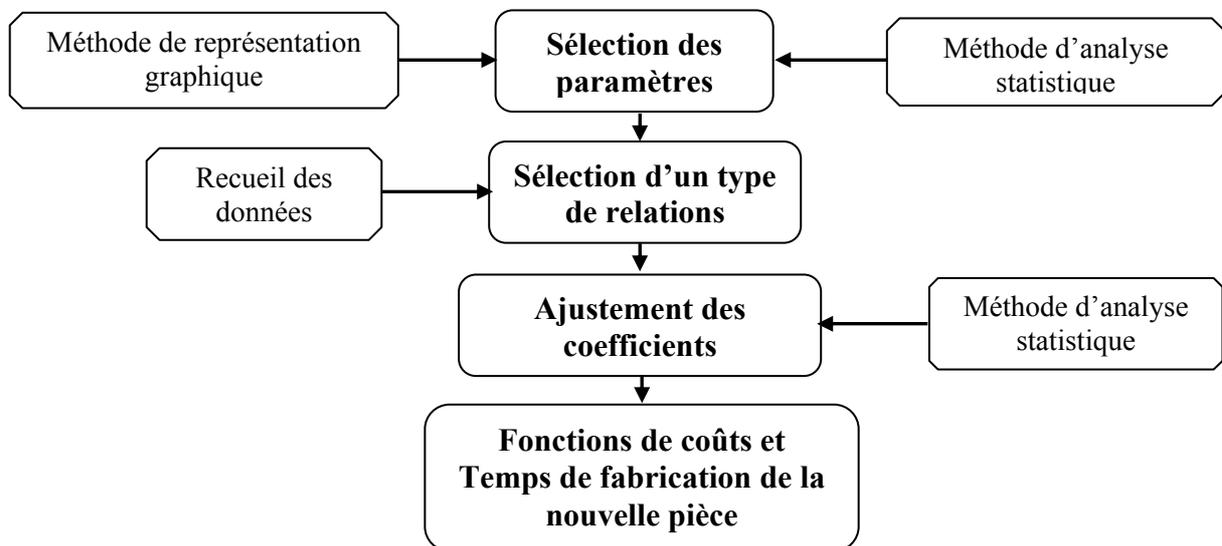


Figure 1.3 La démarche de la méthode paramétrique

Les avantages et les inconvénients de cette méthode sont représentés dans le tableau 1.2.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Chiffrage rapide • Pas d'étude de gamme lors du chiffrage (expertise technique non indispensable) • Automatisation facile. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ne s'applique qu'à une famille de problèmes. • Il faut bien connaître le domaine de validité. • L'élaboration de l'outil est parfois délicate.

Tableau 1.2 Les avantages et les inconvénients de la méthode paramétrique

Pour les travaux de recherche, on cite l'étude réalisée par A. JIMENEZ qui consiste à appliquer la méthode paramétrique aux pièces usinées [30].

1.2.5 La méthode analogique

La méthode analogique se base sur des classifications et des codages rationnels des produits déjà fabriqués par l'entreprise. Elle est basée sur le principe que le temps de fabrication des pièces évolue sensiblement en fonction des critères morphodimensionnels et de qualité. Le coût d'un nouveau produit est estimé en le comparant à d'autres produits, déjà fabriqués par l'entreprise, qui possèdent les codes les plus proches.

La méthode analogique se déroule en quatre étapes majeures [1] :

1- Analyse du plan de la pièce : ce travail consiste à retrouver les paramètres importants qui permettront de coder la pièce.

- 2- Codification de la pièce : on traduit les paramètres dans le langage de la codification.
- 3- Recherche des coûts de référence : une fois la pièce est codée, on cherche la ou les dossiers des pièces qui ont le code le plus proche. L'étude des coûts par la méthode analogique nécessite la mise en mémoire d'un nombre important de devis de référence. Il est indispensable de définir un algorithme qui permette de retrouver efficacement les devis des pièces similaires.
- 4- Evaluation des écarts et établissement des coûts : il s'agit de retrouver les informations nécessaires pour estimer le coût de réalisation de la nouvelle pièce.

Le schéma de la méthode analogique est résumé dans la figure 1.4 qui se base sur trois méthodes de calcul :

- Méthode de codification des pièces : le code doit conserver le maximum d'information de fabrication des pièces. Il sert à identifier et à rechercher les pièces semblables.
- Méthode de recherche : classification des critères
- Méthode de choix des articles semblables et évaluation des écarts.

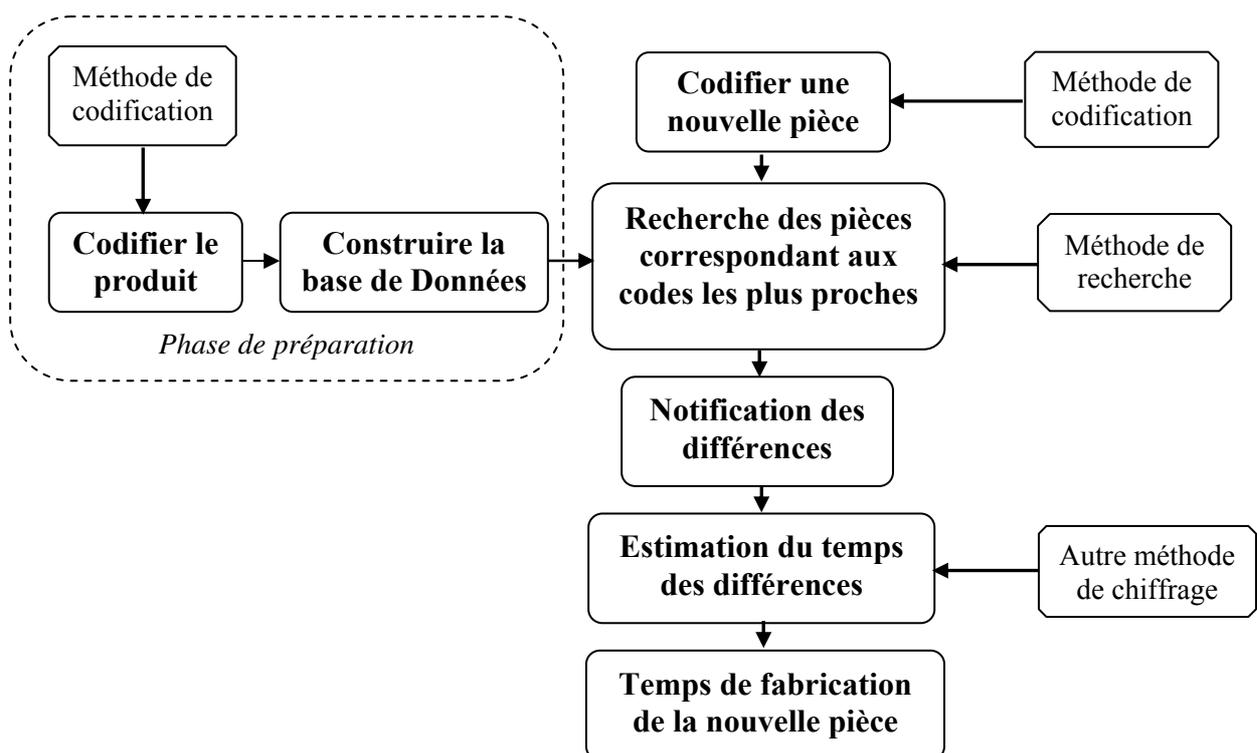


Figure 1.4 La démarche de la méthode analogique

La recherche analogique peut s'appliquer à différents niveaux de réalisation du produit : de la conception à la fabrication élémentaire de chaque composant. Cela explique que l'on peut toujours faire un raisonnement par analogie à tous les niveaux.

La recherche d'un chiffrage analogue peut se baser d'une part, sur la navigation dans une structure de classement et d'autre part, sur des requêtes s'exerçant sur les attributs d'une famille. Ces attributs caractérisent [2] :

- Les descripteurs du produit : matière, géométrie (prismatique ou cylindrique), etc.
- Le processus de fabrication : les phases de fabrication, etc.
- Les identifications administratifs : client, dates, nom du chiffeur, etc.

Les avantages et les inconvénients de cette méthode sont représentés dans le tableau 1.3 suivant:

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Chiffrage rapide • Pas d'étude de gamme lors du chiffrage (expertise technique non indispensable) • Capitalisation (sous forme d'une base de données) 	<ul style="list-style-type: none"> • Ne s'applique qu'à une famille de pièces. Que faire en cas de nouveaux produits ? • Classification parfois problématique • Sensible aux changements de méthodes de travail • Le problème de chiffrage des écarts reste entier.

Tableau 1.3 Les avantages et les inconvénients de la méthode analogique

Dans le cas où aucune pièce similaire n'est trouvée, cette méthode n'apporte pas de réponse, il est nécessaire d'utiliser une autre méthode. Dans le cas où une pièce serait trouvée, le problème d'estimation de la différence reste présent.

Une application de cette méthode est le logiciel DEVICODE commercialisé par le CETIM. Il fournit des chiffrages rapides des coûts des outillages de découpage- emboutissage [9]. Pour les travaux de recherche, on cite le logiciel CA²DI réalisé par Abdennibi TALBI en 1999 [10] et l'étude réalisée par Pascale DUVERLIE qui consiste à appliquer la méthode analogique aux pièces usinées [29].

1.2.6 La méthode de raisonnement à base de cas

Le raisonnement à base de cas (Case-based reasoning : CBR) est souvent considéré comme une formalisation et une évolution de la méthode analogique, rendue possible grâce à l'évolution des moyens informatiques. En effet, le CBR est une technologie issue de l'Intelligence Artificielle offrant une nouvelle approche de la résolution de problème en se basant sur des situations passées.

Cette méthode met en fait en jeu les opérations de base suivantes : la reconnaissance du problème, la remémoration d'expériences similaires et de leurs solutions, le choix et l'adaptation d'une des solutions au nouveau problème, l'évolution de la nouvelle situation et l'apprentissage du problème résolu.

Cette méthode se base sur le fait que la plupart des personnes améliorent leur capacité à résoudre des problèmes par leur expérience. Le raisonnement à base de cas suit les étapes élémentaires suivantes [11]:

- Extraire les cas candidats pertinents à partir des caractéristiques du nouveau cas.
- Sélectionner le ou les meilleurs cas de la sélection précédente à l'aide d'une mesure de similarité.

- Modifier, adapter les cas à partir de la sélection afin de proposer une solution ou une interprétation pour le nouveau cas.
- Tester la solution proposée et évaluer la solution.
- Réaliser l'apprentissage en enregistrant les nouveaux cas et en mettant à jour l'indexation des cas.

La description du processus du raisonnement à partir de cas de la figure 1.5 montre les points importants de ce mode de raisonnement.

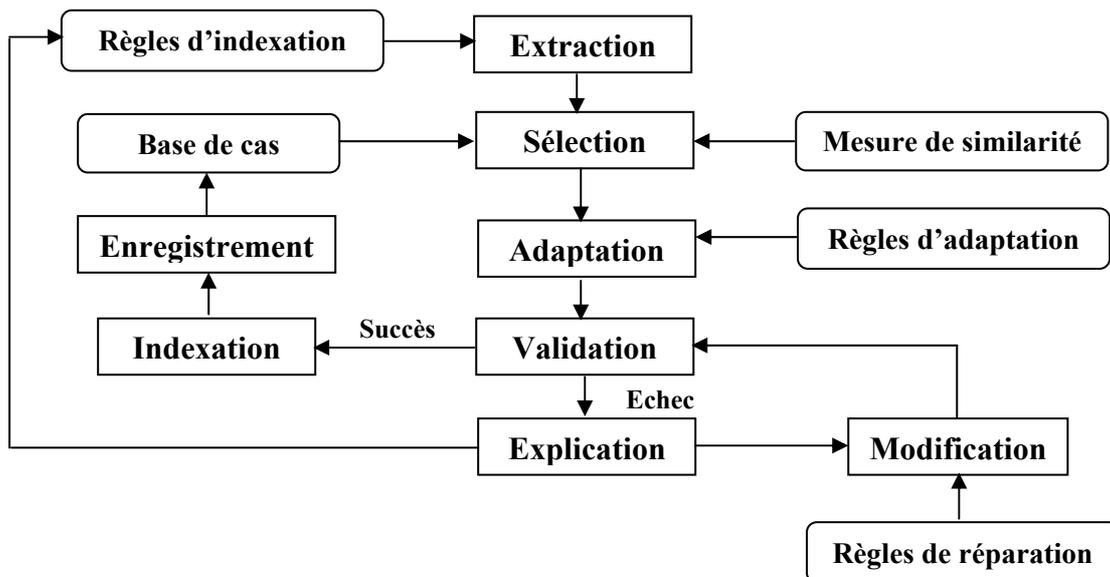


Figure 1.5 Le processus du raisonnement à partir de cas [11]

De nombreuses applications du raisonnement à partir de cas ont vu le jour dans le domaine de médecine. Cette méthode n'a pas encore percé dans le domaine industriel [3], [11].

1.2.7 Synthèse comparative des méthodes

La mise en place d'une méthode d'estimation des coûts exige une méthodologie souvent absente. Les objectifs se définissent essentiellement en rapidité et en précision.

Pour réaliser ces objectifs, trois qualités fondamentales sont demandées à ces méthodes d'estimation :

1- Mise en œuvre (Rapidité de chiffrage) : ce critère dépend du nombre de données nécessaires pour chiffrer et à leur accessibilité.

2- Précision : écart maximum entre la valeur prévue et la valeur « réelle » et non pas la valeur moyenne des écarts constatés. Elle recouvre les notions de « justesse », de « fidélité » et de « sensibilité ».

- La justesse : elle est indiquée par les écarts entre les valeurs estimées et les valeurs « réelles ».

- La fidélité : caractérise la capacité à donner toujours le même résultat, quels que soient les paramètres non sous contrôle : la qualification du chiffreur, le nombre de dossier à traiter, etc.
- La sensibilité : elle est caractérisée par les effets des variations des données.

3- Implantation : elle recouvre les notions suivantes :

- Travail amant : c'est tout l'ensemble d'actions qui précède l'exploitation souhaitée : les formalisations, les analyses, la modélisation, etc.
- Robustesse aux évolutions industrielles : la méthode reste valable si on change une machine, le mode de travail etc.
- Technicité demandée au chiffreur : une méthode peut ne pas nécessiter pour la faire fonctionner un expert du domaine. C'est ce que permettent certaines méthodes par le fait qu'elles n'exigent pas une analyse de gamme approfondie.

Le tableau 1.4 présente les résultats de l'étude réalisée par B. Vacossin en 1993 [1].

Performance	Mise en œuvre	Précision	Implantation
Analogique	+	+	-
Paramétrique	+	+	-
Analytique	-	+	+

Tableau 1.4 Analyse comparative des méthodes d'estimation de coût [1]

La plupart de ces méthodes reposent sur le principe d'une évaluation prévisionnelle d'un ensemble de temps opératoires correspondant à l'utilisation des ressources de l'entreprise. Ensuite, dans le cas général, on valorise ces temps en les multipliant par le coût horaire des ressources utilisées. Ces méthodes peuvent être utilisées pour l'estimation des coûts sans passer par l'estimation des temps. Elles ne peuvent être appréciées que dans un contexte industriel donné pour un type de produits défini. Il faut souligner un point essentiel s'appliquant à toutes les méthodes d'estimation: la nécessité d'une base de données techniquement et économiquement fiable.

On constate qu'il n'y a pas concurrence des méthodes mais complémentarité et que les nouveaux outils d'estimation doivent en tirer les conclusions. Leurs performances sont difficilement comparables dans l'absolu.

1.3 Les modèles d'estimation des coûts de revient

Initié sous le nom de taylorisme et mûri sous le nom de fordisme, le modèle de la standardisation se caractérise par une production de masse et en grandes séries. Celles-ci sont réalisées sur la base d'un processus de production séquentiel. Chaque séquence est faite en un lieu unique, par des moyens matériels et humains homogènes. Les méthodes de calcul de coûts, adaptées à un tel

contexte, consistent à imputer les coûts entre différentes sections de l'entreprise. La somme des coûts qui seront attribués à un produit standardisé est appelé le coût de revient [3].

Il existe plusieurs modèles d'estimation des coûts de revient. On cite seulement ceux qui sont généralement, appliqués dans le domaine de la mécanique et qui ont servi au développement de nouvelles méthodes d'estimation de coût pour l'établissement des devis.

1.3.1 Modèle basé sur la gestion prévisionnelle

Ce modèle se base sur la gestion prévisionnelle, qui a pour vocation d'apprécier le coût de fabrication d'un produit avant son lancement. Dans le cadre de cette démarche, le coût de fabrication du produit est reconstitué à partir des seules charges de la ligne de fabrication. Les coûts indirects sont extrapolés à partir de ceux d'une ligne existante. On obtient ainsi un prix de revient prévisionnel qui permet d'asseoir les choix techniques, organisationnels ou stratégiques. On peut également simuler l'impact économique des différents choix possibles [12].

Ces modèles d'étude des coûts de revient ont posé diverses classes de problèmes. En effet, la détermination des coûts horaires des ressources est issue généralement de calculs de comptabilité analytique dont les limites ont été analysées par de nombreux auteurs [3], [12]. On peut ainsi, par exemple, discuter le caractère figé et quelquefois artificiel des coefficients de ventilation des coûts des sections auxiliaires sur les sections principales. De même les contraintes d'ordonnancement peuvent changer occasionnellement les ressources qui sont affecté à un produit et par la suite son coût horaire.

1.3.2 Modèle de comptabilité à base d'activités « ABC : Activity Based Costing »

Une activité est constituée d'une collection de tâches élémentaires, accomplies par une personne ou plus généralement un ensemble de personnes, conduisant à la création d'outputs et destinées à un client soit externe, soit interne.

L'idée de la comptabilité par activités est au fond de revenir aux principes d'origine de la comptabilité analytique pour dépasser ensuite son objet [3]. La comptabilité par activités veut atteindre trois objectifs :

- Contrôler les activités indirectes en analysant la formation de leurs coûts de manière équivalente à ce qui est fait pour les activités directes.
- Développer le nombre des activités et leurs inducteurs de coûts.
- Intégrer la complexité des processus de production de biens et services, pour que la variabilité des coûts soit fonction de critères aussi bien matériels qu'immatériels.

La méthode ABC développée par Robin Cooper, Thomas Johnson et Robert Kaplan dans les années 1980 [12], est à la base du postulat suivant : Les objets de coûts (Cost Objects) tels que les clients, les fournisseurs, les produits, les départements etc. consomment des activités

(Activity Drivers), ces activités consomment des ressources (Resources Drivers), les ressources ont un coût (Cost Drivers) par période. L'activité possède donc un coût [12].

Actuellement elle s'appuie sur l'idée que tout résultat est la conséquence d'un processus, c'est-à-dire d'un enchaînement d'activités. Celles-ci sont déclenchées par des « inducteurs d'activités » qui les causent et déclenchent ainsi leurs coûts.

La condition d'homogénéité, négligée par la méthode ABC ; reste fondamentale pour la modélisation du coût, en effet le fait d'associer un indicateur à une activité, c'est admettre que ses ressources sont homogènes par rapport à cet inducteur.

En ABC, il est conseillé de regrouper les activités relevant du même inducteur, si on utilise cette globalisation pour procéder à des imputations de coûts, la fiabilité du calcul tombe sous les mêmes contraintes d'homogénéité que celles qui ont été ci-dessus.

1.3.3 Méthode des Unités d'Effort de Production : UEP

L'objectif de cette approche est d'établir une unité de mesure des activités productives qui, pour une entreprise donnée, soit invariante et puisse donc servir de référence de comparaison entre l'ensemble des activités de l'entreprise. Son principe repose sur le constat que toutes activités mobilisent une ou plusieurs ressources pendant un certain temps, chaque ressource ayant un coût d'utilisation spécifique. Un même travail effectué avec deux ressources différentes n'aura donc pas le même coût [13].

Ainsi, par exemple, supposons qu'une même pièce puisse être réalisée par l'une ou l'autre des deux alternatives suivantes :

- Une heure de tournage classique à 30 D, soit un coût par pièce de 30 D.
- 0,25 heure d'un centre d'usinage à 80 D, soit un coût par pièce de 20 D.

Ces deux alternatives ne sont, bien sûr, pas équivalentes et ce calcul mérite d'être effectué systématiquement pour pouvoir établir des comparaisons. Cependant, compte tenu des critiques de la comptabilité analytique des coûts horaires de 30 et 80 D peut être sujette à caution. D'où la notion d'Unité d'Effort de Production qui, plutôt que de se baser sur la valeur absolue du coût horaire de deux ressources, va simplement établir une valeur relative, c'est-à-dire ici un ratio de 80/30 entre ces deux coûts.

L'approche de l'unification de la production est donc basée sur la détermination d'une unité de mesure du travail ajouté aux produits. Cette unité pondère les différentes intensités de travail que peut fournir chaque activité productive de l'entreprise. Aussi, dans l'exemple précédent, la valeur par heure de l'unité pour le centre d'usinage sera toujours plus grande que celle du tour classique. Cette unité est appelée Unité d'Effort de Production UEP [13].

Pour établir l'unité de mesure du travail (UEP), l'entreprise doit être divisée en activités. Ensuite, on calcule les coûts réels standard par activité. On établit une relation entre une activité dite

standard, qui doit être représentative de la structure des coûts de l'entreprise et les autres activités.

L'utilisation de la méthode des UEP a pour but d'établir un modèle non complexe associant étroitement les variables techniques et économiques des devis. Ce modèle privilégie la compréhension globale du fonctionnement de l'entreprise. Il simule plusieurs scénarios économiques et techniques possibles. Ces scénarios sont déterminés par la valeur des variables suivantes : l'effort de production consommé par la fabrication du produit, la quantité de matière première utilisée et son prix, le montant total des coûts structurels (coût de Main d'œuvre, frais généraux), l'utilisation de la capacité de production prévue et le bénéfice nécessaire à l'entreprise.

1.4 Modélisation par entités d'une pièce mécanique

L'usinage a été le domaine de fabrication qui a reçu le plus d'attention aussi bien de communauté scientifique qu'industrielle [14]. Les caractéristiques d'usinage capturent l'effet de l'outil de coupe sur une pièce. Elles modélisent les opérations d'enlèvement de matière. C'est pourquoi, on va inspirer de ce qui a été fait dans le domaine d'usinage pour étudier le domaine de soudage. En effet, l'usinage modélise les opérations d'enlèvement de matière et le soudage celle de l'ajout de matière.

Avant, la modélisation n'était qu'une représentation géométrique sous forme de schémas et de plans. L'évolution de l'outil informatique a permis de proposer une représentation spatiale des objets, qui facilite l'étude et la simulation de leurs comportements (efforts, encombrements, collision, etc.) [14]. Cette représentation en terme de géométrie est insuffisante pour répondre aux besoins des différentes phases de gestion du cycle de vie et de maîtrise des coûts. En effet, elle ne tient pas en compte les informations fonctionnelles (les tolérances, les propriétés des matériaux etc.), elle ne conserve aucune trace du processus de construction, elle ne décrit que l'objet final.

1.4.1 Définitions

Le terme « Entité » nommé aussi « caractéristique » en France, correspond au terme anglais « Feature ». Initialement, ce concept apparaît dans les années 1980 comme le point commun de rapprochement entre les modèles de description des pièces (métier de concepteur) et les modèles de fabrication (métier du gammiste) [14]. Plusieurs recherches ont utilisé la méthode de modélisation par entité. La diversité de ces travaux est basée sur le fait que la notion d'entité est la forme naturelle de communication entre les intervenants « métier » dans un projet [15].

« Un groupement sémantique (atome de modélisation) caractérisé par un ensemble de paramètres, utilisés pour décrire un objet décomposable manipulé dans le raisonnement relatif à

une ou plusieurs activités liées à la conception, l'utilisation des produits et des systèmes de production » [16].

Ce concept d'entité se révèle pertinent pour la structuration des connaissances des différents métiers intervenant dans la conception. A titre d'exemple, l'entité d'usinage devient alors l'élément structurant de la conception de gammes d'usinage.

Le but de la modélisation par entité est ainsi de permettre [15], [17] :

- La formalisation de l'expertise liée aux diverses activités d'une entreprise industrielle.
- La capitalisation du savoir faire.
- De disposer très tôt en phase conception d'informations liées aux activités de réalisation.
- D'améliorer la communication entre les personnes intervenant sur le produit tout au long de son cycle de vie.

Le concept d'entité s'étend donc à des activités liées à la production : gestion de production, devis, conception et pilotage du système de fabrication.

1.4.2 Les différentes vues de l'entité

L'entité est un moyen de communication naturel entre les intervenants de divers métiers, et reste fortement liée à l'application, au métier, voir à l'entreprise. La même pièce va être vue de différentes manières par les différents intervenants [15]. Par exemple, la forme géométrique trou alésé du produit qui est présentée dans la figure 1.6 va être vue :

- Par le concepteur, comme la surface complémentaire de la barre de guidage. Ces qualités de guidage (précision et glissement) qui l'intéresse.
- Par le gammiste, comme un alésage résultant du travail d'un foret puis d'un alésoir. C'est l'aspect de la réalisation qui l'intéresse.
- Par le spécialiste de prise de pièce, comme une cavité pour centreur. C'est l'aspect dispersion sur la qualité de toute la série et l'aspect résistance de cette surface qui l'intéresse.
- Ces différentes « vues » se traduisent en divers types d'entités. La modélisation par entité se base ainsi sur un modèle produit multi vue.

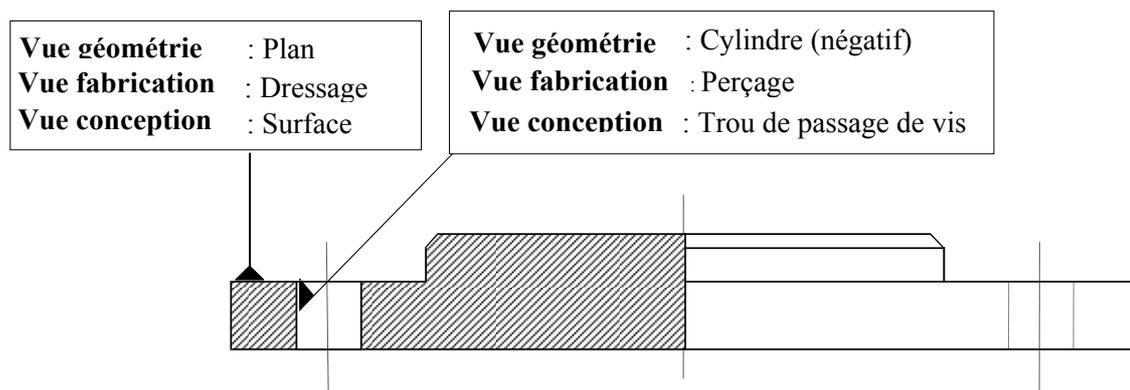
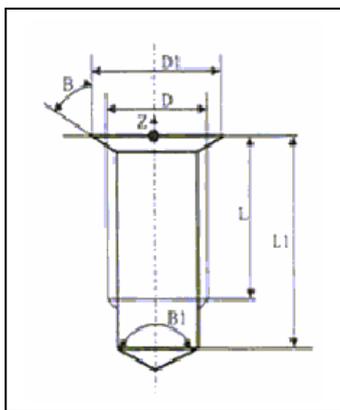


Figure 1.6 Les différentes vues de l'entité [15]

1.4.3 Le concept entité de fabrication

Une entité de fabrication est par définition : « Un ensemble de spécifications associées à une forme géométrique ou un ensemble de formes géométriques paramétrées, qui combinées entre elles représentent un élément d'une entité fonctionnelle dont la pièce fait partie. Cette forme est associée à un processus de fabrication qui exprime l'ensemble des opérations types nécessaires à sa réalisation. » [16], [17].

De ce fait, un processus de fabrication est la description de l'enchaînement des opérations de fabrication (fraisage, chariotage, emboutissage, formage, etc.) permettant d'obtenir une entité de fabrication paramétrée. La figure 1.7 montre l'exemple de paramétrage de l'entité « TROU TARAUDE ».



TROU TARAUDE			
D : diamètre de taraudage	8		
Qualité de taraudage	Ø M8		
Pas	1.0		
L profondeur taraudage	20		
Tolérance sur L	0.5		
Profondeur perçage L2	26		
Tolérance sur L1	0 +0.5		
D1 Diamètre d'entrée	9		
Tolérance sur D1	0 +0.5		
B : angle d'entrée	60°		
B1 : angle de fond de perçage	120°		
RELATION GEOMETRIQUE			
Localisation	Ø	0.2	ReC
RELATIONS TOPOLOGIQUES			
Commence sur	Plan		

Figure 1.7 Exemple de paramétrage de l'entité « TROU TARAUDE » [3]

Chaque entité de fabrication (voir l'exemple de la figure 1.7) fait appel à :

- 1) Des paramètres internes de description (dimensions, tolérances dimensionnelles, état de surfaces, etc.) qui sont regroupés sous le terme de données intrinsèques. Ces données sont des informations capitales pour l'estimation du coût d'une entité de fabrication et par la suite du produit. Elles décident le type et le nombre des opérations nécessaires à la réalisation de l'entité en question.
- 2) Des tolérances géométriques de positionnement et d'orientation liant les différentes entités qui sont regroupées sous le terme relations géométriques. Ces relations seront ensuite transcrites sous forme de contraintes de fabrication intervenant dans la génération des processus de production alternatifs du produit.

3) Des informations de voisinage entre entités qui sont représentées sous le terme de relations topologiques. Ces relations seront ensuite transcrites sous forme de contraintes de fabrication comme pour le cas des relations géométriques.

1.4.4 Application au concept entité d'usinage

Les chercheurs du groupe GAMA ont donné la définition suivante : « Une entité d'usinage est une forme géométrique et un ensemble de spécification pour lesquelles un processus d'usinage est connu, ce processus est quasi indépendant des processus des autres entités ». Cette définition insiste sur le caractère métier d'une entité puisqu'elle associe l'existence des entités au processus de fabrication. Elle s'est révélée pertinente pour d'autres domaines d'applications : conception, analyse et calcul. Chacun a proposé sa propre définition de l'entité. [16]

Une entité d'usinage représente une collection typée de faces usinées avec le même procédé : un trou, une poche, une rainure et un profil. Comme le montre l'exemple de la figure 1.8.

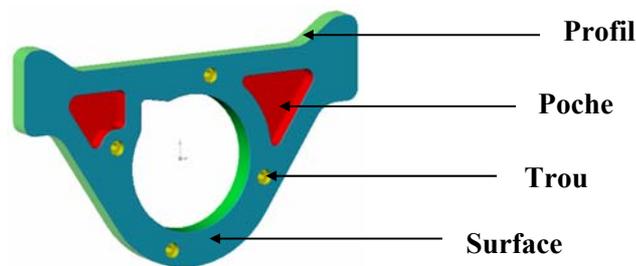


Figure 1.8 Exemples d'entités d'usinage [15]

La reconnaissance de ces entités est apparue comme une technologie clé permettant d'assurer en permanence le passage entre la vue du concepteur et celle du gammiste.

1.4.5 La modélisation par entités

Il existe deux approches principales dans la manière de manipuler le concept entité : la reconnaissance d'entités et la conception par entités.

L'objectif de ce projet est de structurer un modèle d'estimation des coûts au stade de l'élaboration du devis et non pas à la phase de conception qui doit être réalisé par le demandeur de devis. De ce fait, on s'intéresse seulement à l'extraction d'entités pour la génération du processus de fabrication et non pas à la génération automatique de gamme. En effet, on cherche à valoriser les opérations de fabrication pour préparer une estimation des coûts de production.

La formalisation du savoir-faire et les algorithmes nécessaires à l'extraction restent complexes et ne permettent pas de lever certaines ambiguïtés de reconnaissance [17].

La démarche suivie est généralement [17], [18] :

- Identification des entités à partir des formes types et/ou des entités fonctionnelles du mécanisme.

- Associer un mode opératoire (ensemble d'opérations) à chaque entité, compte tenu de leurs paramètres dimensionnels et technologiques.
 - Organiser les modes obtenus entre eux pour déterminer le processus de production du produit.
- Cette approche de décomposition en entités de fabrication présente le fondement des nouvelles méthodes d'estimation des coûts. Un produit est perçu, connu ou qualifié au travers d'un ensemble d'attributs. Lors de sa production, il traverse sous sa forme informationnelle ou matérielle des sections qui lui affectent chacune un coût. Cette méthode d'estimation des coûts se base ainsi sur le triplet des caractéristiques « procédé », « matière » et « entité ». En effet, la connaissance d'estimation de coût relative à chaque opération sera capitalisée et encapsulée dans les différentes entités qui le composent.

1.5 Conclusion

Ce chapitre a permis de décrire l'univers auquel se base les méthodes d'estimation des coûts d'un produit. Après avoir présenté les différentes méthodes d'estimation et leurs domaines d'emploi, on constate qu'il n'y a pas de concurrence des méthodes mais une complémentarité. Leurs performances sont difficilement comparables dans l'absolu. Elles ne peuvent être appréciées que dans un contexte industriel donné pour un type de produits défini. Ce qui a permis à un développement de nouvelles approches qui consistent à combiner les méthodes entre elles en fonction du problème à traiter.

De plus, on a constaté qu'il n'existe pas de « meilleure méthode pour estimer un coût » en soi. La supériorité d'une architecture de calcul de coûts sur une autre ne peut être déterminée sur le plan technique. La structure, la stratégie et l'environnement concurrentiel sont les facteurs qui configurent un système coût pertinent. La pertinence que peut apporter une réflexion sur les coûts dans l'entreprise ne doit pas se limiter à améliorer les modalités de calcul du coût de revient des produits. Elle doit englober aussi d'autres objets de coût pour lesquels des responsables de l'entreprise souhaitent une information économique. Il peut s'agir : du coût d'une activité spécifique à un type d'un clientèle, des contraintes technologiques ou techniques de réalisation, etc.

La décomposition en entités d'un produit paraît très bénéfique pour l'estimation des coûts. D'une part, elle est initialement adaptée pour la génération de la gamme de fabrication (on rejoint ainsi, les méthodes analytiques et paramétriques). D'autre part, elle fera l'objet de modélisation pour les nouvelles méthodes d'estimation de coûts. Le chapitre suivant consiste à modéliser les assemblages par soudage d'un produit, à structurer le modèle proposé d'estimation des temps et à identifier ces composants.

Chapitre 2

2.1 Introduction

On a vu dans le premier chapitre qu'une caractéristique est une entité permettant d'associer aux objets, en plus des éléments géométriques, un certain nombre de propriétés qui les caractérisent. Ainsi, il est possible pour définir les caractéristiques de soudage en modélisant un assemblage. Ce chapitre détaille la modélisation des assemblages relatifs à l'estimation des temps de soudage. Il s'articule autour de quatre parties essentielles. Dans un premier temps, on propose une description des différents procédés de soudage tout en détaillant les procédés de soudage SMAW et GTAW. Dans un deuxième temps, on passe à la modélisation d'un assemblage par les différents paramètres de soudage et de préparation. Ce travail abouti à l'introduction de nouvelles notions d'entité de soudage et d'entité de préparation. Dans un troisième temps, on présente l'approche de décomposition du produit en entités et la notion de la matrice d'assemblages associée. Finalement, on décrit les étapes et les tâches nécessaires à l'estimation du temps de soudage en utilisant la méthode analytique d'estimation. L'ensemble de l'analyse a permis de cerner les principes de base retenus d'un système d'aide à l'estimation des coûts.

2.2 Les procédés de soudage

2.2.1 Définitions et généralités

La soudure a pour fonction de créer une liaison permanente entre deux pièces, tout en assurant entre elles la continuité de matière. Il y a deux types de soudage [19] :

Le soudage autogènes : les pièces à assembler, de même nature ou de composition voisine, participent à la constitution du joint ou du cordon de soudure. L'assemblage est dit homogène, c'est à dire « fait du même métal ».

Brassage et soudobrassage : l'assemblage est hétérogène, la formation du joint ou cordon est assurée par la seule intervention du métal d'apport qui agit comme une colle.

L'industrie chimique et pétrochimique, l'industrie brassicole ou alimentaire, l'électronique, la sidérurgie, les centrales électriques (thermiques ou nucléaires), le secteur de l'eau ou celui du gaz, l'industrie du papier ou du caoutchouc, les cimenteries et l'industrie verrière, pour ne citer que les plus importants, sont également de grands consommateurs de produits soudés et ont souvent un département soudage au sein de leur service maintenance.

L'acier au carbone reste aujourd'hui le produit le plus soudé [19], mais il est loin d'être le seul : on soude également l'acier inoxydable, les aciers spéciaux, l'aluminium, le cuivre, le nickel, le titane et même des produits comme les plastiques, les matériaux composites ou les céramiques.

Les procédés de soudage sont également en développement continu permettant chaque jour d'entrevoir de nouvelles applications. Le soudage à la flamme oxyacétylénique a pratiquement

disparu au profit du soudage à l'arc électrique, manuel, semi-automatique ou robotisé, le soudage par points a fait son apparition il y a de nombreuses années déjà, le soudage par friction se développe et aujourd'hui, ce sont le soudage au laser et au plasma qui prennent de l'extension.

Les procédés de soudage doivent être adaptés aux conditions de service exigées, d'où la nécessité d'un choix judicieux du procédé et des conditions dans lesquelles sera exécutée la soudure.

2.2.2 Différents modes de soudage

Pour obtenir la continuité atomique entre les deux parties à assembler, et si les conditions nécessaires précédentes sont respectées, on peut envisager deux modes de soudage [19], [20]:

Par pression en phases solide : La liaison est obtenue par déformation à froid, si le métal est suffisamment ductile, ou à chaud pour amollir le métal. La déformation due à la pression concourt, dans certains cas, à satisfaire la condition de propreté en brisant les pellicules superficielles.

En phase liquide : Les deux faces à assembler sont mises en contact avec du métal liquide où sont elle-mêmes amenées superficiellement à l'état liquide. La plupart des procédés de soudage emploient ce mode qui permet d'obtenir la fusion locale du joint.

D'après la recherche bibliographique, toutes tentatives de classification des différents procédés de soudage est rendues difficile au regard des nombreuses variantes d'un procédé à un autre. La classification la plus judicieuse des procédés de soudage est celle qui classifie à partir de la source d'énergie et des éléments de protection. Cette classification est présentée par le tableau 2.1 où le nombre entre parenthèses correspond au code numérique affecté à chaque procédé de soudage par l'AFNOR (NF E 04 021) [19].

2.2.3 Soudage à l'arc électrique

Le soudage à l'arc a été inventé par Weld (d'où son nom anglais « Welding ») en 1860, mais la mise en place effective de la soudure par fil n'a pu se faire qu'avec l'invention du dévideur de fil de soudure en 1935 [12].

Un courant électrique de caractéristiques définies, nature et intensité, fait jaillir sous une tension donnée un arc entre deux électrodes, au travers d'une colonne de gaz ionisés, appelée plasma d'arc. Dans les procédés de soudage, les plus courants, l'une des électrodes est constituée par la pièce à souder. La quantité de chaleur dégagée par l'arc électrique permet une fusion instantanée des bords des pièces à souder et du métal d'apport. Deux phénomènes sont donc mis en œuvre lors du soudage à l'arc :

L'effet thermique qui a pour origine la formation d'un arc électrique entre une électrode et les pièces à souder.

Le transfert de métal pour lequel le métal en fusion de l'électrode se propulse à grande vitesse sur la pièce elle-même.

Sources d'énergie	Éléments de protection du joint soudé				
	Flux solide	Gaz inerte	Gaz actif	Sous vides	Sans protection
Arc électrique	<ul style="list-style-type: none"> • Electrodes enrobées (111) • Automatique sous flux (121) solides (arc submergé) • MAG avec fil (136) 	<ul style="list-style-type: none"> • TIG (141) • MIG avec fil électrode fusible (131) • Electrogaz (73) • Plasma (15) 	<ul style="list-style-type: none"> • MAG avec fil électrode fusible (135) 		<ul style="list-style-type: none"> • Soudages des goujons (731) • Avec électrodes au carbone (181) • Par décharge de condensateur
Résistance électrique					<ul style="list-style-type: none"> • Par point (21) • Par bossage (23) • Par étincelage (24) • En bout résistance pure (25)
Optique		<ul style="list-style-type: none"> • Laser (751) 		<ul style="list-style-type: none"> • Bombardement électronique (76) 	<ul style="list-style-type: none"> • Laser (751)
Thermochimique	<ul style="list-style-type: none"> • Aluminothermie (71) 	<ul style="list-style-type: none"> • Plasma arc non transféré 	<ul style="list-style-type: none"> • Oxyacétylénique (311) • Oxypropane (312) • Oxydrique (313) 		
Mécanique				<ul style="list-style-type: none"> • Par pression à froid (48) 	<ul style="list-style-type: none"> • Par friction (42) • Par pression à froid (48) • Par ultra sons (41) • Par explosion (441) • A la forge (43)

Tableau 2.1 : Classification des procédés de soudage à partir de la source d'énergie utilisée et des éléments de protections [19]

Les techniques de procédés de soudage les plus utilisés dans le monde sont les procédés à l'arc et spécifiquement le soudage à l'électrode enrobée qui représente encore plus de 60 % des travaux annuelles de soudage dans le monde [19].

On présente dans le tableau 2.2 les différents procédés de soudage à l'arc. On s'intéresse particulièrement aux procédés de soudage SMAW et GTAW.

Abréviation	Anglais	Français
SMAW	Shielded Metal Arc Welding	Soudage à l'arc avec électrode enrobées : baguette
GTAW	Gas Tungstene Arc Welding	Soudage sous gaz inerte avec électrode en tungstène: TIG
GMAW	Gas Metal Arc Welding	Soudage protection gazeuse: MIG (Métal Inerte Gas: Argon) ou MAG (Métal Active Gas: CO ₂)
FCAW	Flux Cored Arc Welding	Soudage fil fourré
MCAW	Metal Cored Arc Welding	fil fourré métallique
SAW	Submerged Arc Welding	Soudage sous flux électroconducteur solide: arc submergé
CAW	Carbon Arc Welding	soudage par carbons

Tableau 2.2 Les différents procédés de soudage à l'arc

2.2.3.1 Soudage manuel à l'électrode enrobée SMAW

1- Principe du procédé

Un générateur de courant électrique, alternatif ou continu, (ou un transformateur) permet de produire un arc électrique libre entre l'électrode métallique fusible et la pièce. La chaleur dégagée par cet arc électrique fait fondre localement les pièces à souder, créant un bain de fusion, et simultanément l'électrode métallique fournit le métal d'apport. L'atmosphère gazeuse de l'arc est portée à très hautes températures et est fortement ionisée [20].

L'atmosphère gazeuse ne fournit qu'un faible part de l'énergie calorifique, la tache anodique et surtout la tache cathodique (où se présentent les ions positifs) en fournissant l'essentiel. La tâche anodique à une température qui dépasse (3500 °C) pour atteindre celle de la volatilisation du métal d'apport.

2- Techniques du procédé

L'intensité du courant variant entre 30 et 400 ampères en fonction de différents paramètres : Le diamètre de l'électrode, la nature de l'enrobage, la position de soudage, le type d'assemblage, la dimension et la nuance des pièces à assembler. La tension à vide du générateur (U_0) doit être supérieure à la tension d'amorçage (surtout en courant alternatif). Sa valeur doit être comprise entre 40 et 80 volts [20], [21].

L'électrode enrobée est placée et serrée sur la pince porte électrode reliée sur l'une des bornes électriques de sortie du poste de soudage (voir figure 2.1). Le connecteur de pièce est relié au

générateur. Il est placé sur la pièce à souder. L'amorçage de l'arc est réalisé en frottant l'extrémité généralement graphitée de l'électrode sur la pièce et en écartant de quelques millimètres le bout de l'électrode lorsque l'arc jaillit. Ensuite il faut entretenir cet arc électrique afin d'éviter la rupture d'arc en veillant à maintenir une distance constante la plus faible possible entre le bout de l'électrode et la pièce à souder.

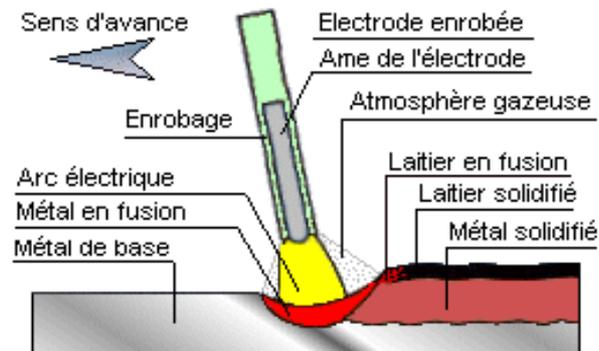


Figure 2.1 Soudage à l'arc avec électrodes enrobées SMAW : Schéma de principe [21]

Description de l'électrode :

L'électrode est constituée de deux parties distinctes : voir figure 2.2

- **L'âme** : partie métallique cylindrique placée au centre de l'électrode. Son rôle principal est de conduire le courant électrique et d'apporter le métal déposé de la soudure.
- **L'enrobage** : partie extérieure cylindrique de l'électrode. Elle participe à la protection du bain de fusion de l'oxydation par l'air ambiant en générant une atmosphère gazeuse entourant le métal en fusion. L'enrobage dépose, lors de sa fusion, un laitier protecteur sur le dessus du cordon de soudure. Ce laitier protège le bain de fusion de l'oxydation et d'un refroidissement trop rapide. L'enrobage a deux rôles : rôle électrique, assure la stabilité et la continuité de l'arc par son action ionisante et un rôle métallurgique, il permet d'apporter les éléments chimiques spéciaux d'addition nécessaires. Sa composition chimique et physique est très complexe (Rutile : à base d'oxyde de titane, basique : à base de carbonate de calcium et de fluor de calcium, acide, cellulosique etc.) [21], [22].



Figure 2.2 Schéma d'une électrode enrobée [21]

Le diamètre de l'électrode enrobée varie de $\varnothing 1,6$ à $\varnothing 8$ mm. La longueur totale est comprise entre 250 et 500 mm. Certaines électrodes peuvent atteindre un mètre pour des applications spécifiques (soudage automatique) [21].

Les électrodes à enrobage basique et rutilo-basique doivent être étuvées dans un four à 300° Celsius pendant 2 heures. Après étuvage, elles doivent être conservées à une température de

120°C dans des étuves portatives sur le lieu de soudage. Les autres types d'électrodes à enrobage rutile, cellulosique et acide sont conservées dans un local chauffé avec une humidité relative inférieure à 60% [21].

3- Paramètres de soudage SMAW

Pour le soudage à l'arc de type SMAW, le paramètre le plus influant est l'intensité de soudage. En effet :

- Lorsque l'intensité est trop faible, il y a collage de l'électrode enrobée sur la pièce à souder, la fusion est molle et la pénétration est faible, l'amorçage est difficile, une instabilité de l'arc et une mauvaise compacité du métal déposé (présence de défaut type soufflure et inclusion de laitier)
- Lorsque l'intensité est trop forte, des projections importantes au bord du joint, des écoulements de métal lors du soudage en position.

Les passes de pénétration (non reprises à l'envers) réalisées à l'électrode enrobée avec un générateur à courant continu sont généralement effectuées avec la polarité négative à l'électrode. Les passes de remplissage et de finition réalisées à l'électrode enrobée avec un générateur à courant continu sont généralement effectuées avec la polarité positive à l'électrode.

2.2.3.2 Soudage sous gaz inerte avec électrode en tungstène: TIG ou GTAW

1- Principe du procédé

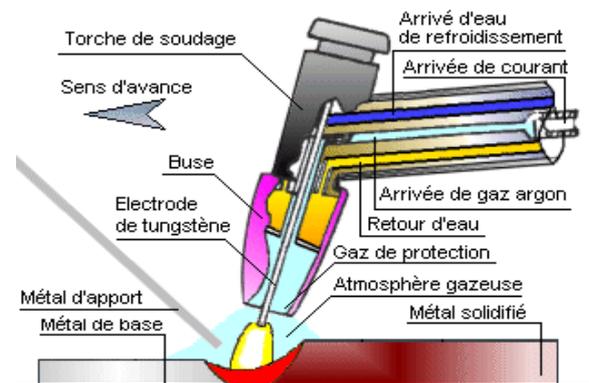
Ce procédé de soudage utilise une électrode réfractaire qui résiste à de très hautes températures. Par conséquent, l'apport de métal, lorsqu'il est nécessaire, ne s'effectue pas par l'entremise de l'électrode, mais à l'aide d'une baguette d'apport tenue par le soudeur (dans les applications manuelles) ou à l'aide d'un fil électrode enroulé dans un dévidoir motorisé (dans les applications automatiques) [19].

Le soudage sous protection de gaz inerte avec électrode de tungstène (réfractaire) devient très populaire à partir des années 40 pour le soudage de l'aluminium et du magnésium [19]. À l'origine, on appelait ce procédé Heliarc, puisqu'on utilisait de l'hélium comme gaz de protection. Par la suite, on utilisa également l'argon, et le procédé fut rebaptisé TIG, selon l'abréviation anglaise de tungsten inert gas. De nos jours, on désigne généralement ce procédé par l'abréviation GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) en raison des différents gaz et mélanges de gaz de protection employés pour son application.

2-Techniques du procédé

Le soudage GTAW est un procédé à l'arc sous protection de gaz inerte avec une électrode infusible (tungstène). Le soudage est réalisé à partir d'un arc électrique créé et entretenu entre l'électrode infusible de tungstène (de Ø 1,0 mm à Ø 8,0 mm) et la pièce à souder (voir figure 2.3). Le métal d'apport (baguette de fil dressé de Ø 0,8 mm à Ø 4,0 mm) est amené

manuellement ou automatiquement avec un dévidoir motorisé (bobine de fil de \varnothing 0,8 mm à \varnothing 2,0 mm) dans le bain de fusion. L'énergie calorifique de l'arc fait fondre localement la pièce à assembler et le fil d'apport métallique pour constituer le bain de fusion et après refroidissement le cordon de soudure. Le bain de fusion est protégé de l'atmosphère externe par un cône invisible d'inertage de gaz (de 5 à 25 litres/minute) de protection (Argon, Argon + Hélium ou Argon + H₂ pour les procédés automatiques). Un générateur électrique fournit le courant continu ou alternatif en fonction de différents paramètres présentés ci-dessous.



**Figure 2.3 Soudage à l'arc TIG ou GTAW
Schéma de principe [21]**

3- Les paramètres de soudage GTAW

Les paramètres de soudage à l'arc de type GTAW sont :

- Diamètre du fil
- La position de soudage
- Le type d'assemblage
- La dimension et la nuance des pièces à assembler

4- Avantages du procédé GTAW

La grande qualité des soudures obtenues par le soudage à l'arc électrique avec électrode réfractaire sous protection gazeuse en fait un procédé idéal pour le soudage de presque tous les métaux. Le procédé GTAW compte plusieurs avantages [21]:

- Simple d'emploi
- Le chauffage des pièces se fait sur une petite surface, le bain de fusion est étroit et la vitesse de soudage est relativement élevée
- Travail fin et précis. Il permet d'exécuter des soudures sans soufflures, même sur des métaux difficilement soudables, tels que les alliages de titane et le zirconium.
- Large gamme d'épaisseur
- Très bonnes qualités de joint et bonnes caractéristiques mécaniques. Le dépôt de soudure est très dense.
- Le soudage s'exécute facilement dans toutes les positions sans aucune projection de métal.

- Procédé automatisable
- Les émanations de vapeurs et de fumées toxiques sont éliminées dans la plupart des cas grâce au gaz inerte
- Le procédé GTAW s'avère aussi idéal pour réaliser des réparations, pour la fabrication de petites séries de pièces et pour la réalisation de la passe de pénétration.

2.3 La modélisation d'un assemblage en soudage

2.3.1 Les définitions d'un assemblage par soudage

Un assemblage sert à transmettre des efforts entre des membrures ou des pièces jointes par soudage. Les forces et les tensions introduites en différents points d'une structure sont transmises aux surfaces à travers les points de soudure. De ce fait, le type de sollicitation en service a une grande influence sur la conception du joint soudé [22].

On appelle joint l'espace à remplir de métal déposé entre deux éléments dont les bords ont été convenablement préparés à cet effet. Dans le cas où les bords ne sont pas chanfreinés, le volume du joint peut être nul. Après exécution on utilise plus souvent le terme cordon de soudure qui correspond plus particulièrement à la zone fondue de l'assemblage soudés.

2.3.2 Les différents types d'un assemblage en soudage

Les assemblages soudés sont généralement classés en fonction des dispositions relatives des éléments assemblés. On distingue les types suivants [20], [22] :

a) Assemblage bout à bout

Un assemblage bout à bout correctement exécuté assure une parfaite continuité géométrique de la matière. La présentation des bords à assembler nécessite des soins particuliers pour assurer l'alignement et l'écartement des éléments lors de la préparation des joints à souder afin de permettre la bonne exécution de la soudure. La majorité des concepteurs exige un chanfreinage des bords pour des épaisseurs supérieures à 4 ou 5 mm afin d'assurer une bonne pénétration.

b) Assemblage en coin (angle extérieur et angle intérieur)

On rencontre cet assemblage dans la reconstitution de caisson. L'assemblage en coin est particulièrement difficile à réaliser. La tolérance sur le jeu entre les deux pièces doit être sévère. Lorsque le jeu est trop important, il y a effondrement du bain de fusion.

c) Assemblage en angle : Cet assemblage est surtout utilisé pour la fixation des raidisseurs sur les panneaux, la préfabrication des profilés reconstitués et dans les pièces mécano soudées.

d) Assemblage à clin ou à recouvrement : Les tôles à assembler sont facilement accostées l'une sur l'autre.

e) Assemblage à bords relevés : Cette préparation convient pour l'assemblage des tôles de faible épaisseur et la soudure sans métal d'apport.

f) Assemblage avec couvre-joints : Cette préparation convient généralement pour l'assemblage des pièces peu sollicitées.

Ces différents types d'assemblages sont résumés dans le tableau 2.3 suivant.

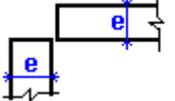
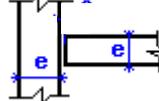
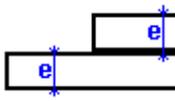
Code	Type	Particularités	Schéma
T ₁	Assemblage à bords relevés	Tôles de faible épaisseur et généralement sans métal d'apport.	
T ₂	Assemblage bout à bout	Préparation des joints à souder est généralement nécessaire	
T ₃	Assemblage en coin	Les surfaces sont appelées tranches	
T ₄	Assemblage en angle	Les surfaces sont appelées peaux	
T ₅	Assemblage à clin ou à recouvrement	Les surfaces sont à la fois tranches et peaux	
T ₆	Assemblage avec couvre-joints	L'assemblage des pièces peu sollicitées cas des joints de chantier	

Tableau 2.3 La codification des différents types d'assemblage

2.3.3 La préparation d'un assemblage en soudage

La conception en soudage consiste à définir l'assemblage soudé qui permet de faire passer les efforts avec un maximum de sécurité et avec un minimum coût. Pour y parvenir, une étude préliminaire doit tenir en compte des principaux facteurs affectant le choix d'une préparation qui sont [22] :

- Procédé de soudage (source d'énergie, caractéristiques)
- Position de soudage
- Epaisseur du matériau
- Type de joint : les jeux, les talons, les ouvertures des chanfreins doivent être optimisés
- Qualité de soudure requise
- Méthodes à utiliser pour réduire les déformations.
- Economie concernant la préparation des bords.
- La quantité du métal déposé : la section du cordon de soudure et du métal à déposer sera réduite pour éviter les dépenses inutiles.
- Nature du métal de base

- **Accessibilité** : c'est un facteur très important dans la conception d'un assemblage. Le soudeur a besoin d'un minimum d'espace pour la manipulation de la torche ou de l'électrode. Ce paramètre a souvent une grande influence sur le coût de réalisation.

Les opérations qui accompagnent généralement le soudage sont :

Chanfreinage : opération permettant d'obtenir des faces à souder, soit à profil rectiligne (*beveling*) et faisant avec les surfaces des éléments un angle différent de 90° , soit à profil curviligne (*gouging*) [20].

Gougeage : opération qui permet d'éliminer dans la soudure les irrégularités, les défauts, les dépôts éventuels de laitier, pour ne laisser subsister que le métal sain avant reprise [20].

1- Préparation à bords relevés (pour un assemblage de type T_1)

Le rapprochement des parties convexes obtenues par pliage permet d'exécuter la soudure le long des bords (fig.2.4). Cette préparation donne un joint d'efficacité moyenne pour les tôles de faible épaisseur. Elle est particulièrement recommandée pour les procédés dans lesquels il est facile de régler l'échauffement local.

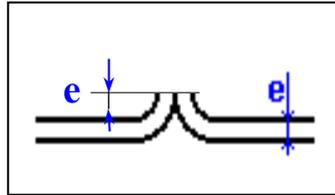


Figure 2.4 Préparation à bords relevés [20-21]

2- Préparation en V, en X et en I (pour un assemblage de type T_2)

La préparation chanfreinée la plus simple présente un profil en V, X ou en I. Ils sont définies par les paramètres suivants : (voir figure 2.5)

- **Angle d'ouverture du chanfrein (α)**: angle entre les plans des faces à souder des éléments à assembler.
- **Ecartement ou jeu (g)**: Distance minimale mesurée sur une section droite du joint, entre les faces à souder écartées intentionnellement ou non.
- **Talon ou hauteur du méplat (t)**: Portion d'une face à souder, située à la racine de la soudure ; faisant un angle avec le reste de cette face et parallèle à la portion correspondante de la face de l'autre élément à souder.

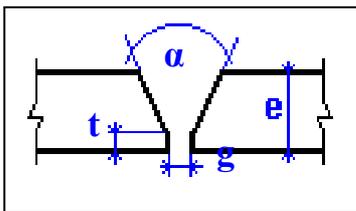


Figure a : Préparation en V

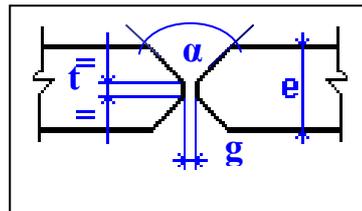


Figure b : Préparation en X

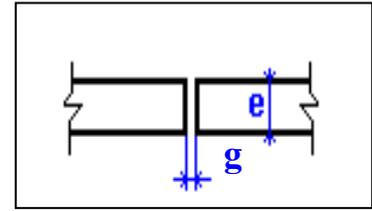


Figure c : Préparation en I

Figure 2.5 Les Préparations bout à bout [20-21]

Lorsque l'accès est possible sur les deux faces de l'assemblage, il est avantageux de recourir aux préparations en X, à partir d'une épaisseur critique (13 mm pour SMAW). Dans ce cas le volume de la soudure se réduit à la moitié que celui de la préparation en V [20].

2.3.4 Les critères de choix technique pour la préparation des joints

La préparation des pièces à souder est une étape indispensable pour réaliser une bonne soudure. Cette étape dépend des paramètres de soudage qui varient même selon le procédé de soudage. En effet, le choix d'un procédé, en vue de l'exécution d'un joint soudé, nécessite la connaissance des principaux procédés et leurs applications générales. Celui ci doit répondre aux exigences d'ordre mécanique, métallurgique, économique, etc.

Comme on a déjà signalé, on va se limiter au soudage homogène à l'arc manuel SMAW et au soudage homogène avec électrode infusible GTAW. On va généraliser ensuite pour tous les autres procédés en faisant recourt à des paramètres d'efficacité.

Pour ces deux procédés, Les caractéristiques externes statiques du générateur de courant de soudage sont de type « plongeantes ». C'est-à-dire que si l'intensité croît alors la tension secondaire sera diminuée. Ces caractéristiques permettent la régulation automatique de l'intensité en fonction de la longueur de l'arc et la limitation du courant du court circuit.

1- Cas de l'arc manuel à l'électrode enrobée SMAW

Le procédé SMAW représente encore 60 % d'utilisation mondiale pour l'ensemble des procédés de soudage [19], [23]. Il est principalement utilisé pour le soudage des aciers de construction, non alliés ou faiblement alliés, en toutes positions.

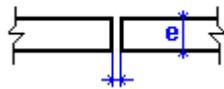
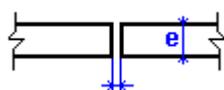
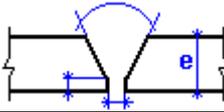
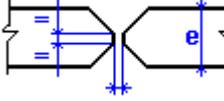
Les principales préparations de joints				
Epaisseur en mm	Intensité	Ø électrode	Préparation	Symbole
De 1,0 à 2,5 mm	30 à 60 A	Ø 1,6 mm		
De 2,0 à 4,0 mm	50 à 90 A	Ø 2,0 à 3,2 mm		
De 4,0 à 20 mm	60 à 200 A	Ø 2,5 à 5,0 mm		V
De 8,0 à 30 mm	80 à 200 A	Ø 3,2 à 5,0 mm		X

Tableau 2.4 Les préparations des Joints bout à bout en SMAW

On déduit que le profil géométrique de la préparation dépend de l'épaisseur, de l'intensité du courant et du diamètre de l'électrode.

Le réglage de l'intensité appliquée à l'électrode dépend [19], [21] :

- du diamètre de l'électrode
- de la nature de l'âme de l'électrode
- de la nuance des pièces à assembler
- de la position de soudage
- du type d'assemblage rencontré
- de l'épaisseur des pièces à souder

2- Cas de soudage sous gaz inerte avec électrode en tungstène: GTAW

Le procédé GTAW permet le soudage des métaux et alliages ferreux et non ferreux en particulier l'aluminium, le cuivre et le nickel, en toutes positions [19], [23]. Dans certains cas, on l'utilise pour le soudage multipasses de pièces épaisses ou pour l'exécution de la passe de pénétration.

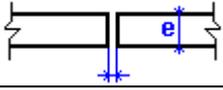
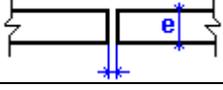
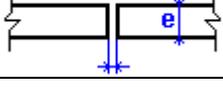
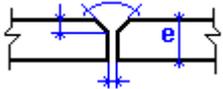
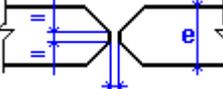
Epaisseur en mm	Intensité	Ø métal d'apport	Préparation	Symbole
De 0,8 à 1,0 mm	20 à 40 A	Sans ou Ø 1,0 mm		
De 1,5 à 2,0 mm	30 à 60 A	Ø 1,6 mm		
De 2,0 à 3,0 mm	45 à 80 A	Ø 1,6 à 2,0 mm		
De 2,5 à 4,0 mm	45 à 80 A	Ø 2,0 mm		V
De 4,0 à 6,0 mm	60 à 100 A	Ø 2,0 mm		V
De 8,0 à 12 mm	90 à 180 A	Ø 2,0 à 3,0 mm		V
De 8,0 à 12 mm	90 à 180 A	Ø 2,0 à 3,0 mm		X

Tableau 2.5 Les préparations des Joints bout à bout en GTAW

On note que pour les préparations bout à bout, on s'intéresse à la modélisation des assemblages entre des pièces qui ont une même épaisseur.

2.3.5 La classification des positions de soudage selon le type d'assemblage

Un assemblage peut être effectué selon des conditions qui respectent le processus de montage du produit en question. C'est-à-dire il sera réalisé dans l'une des positions possibles de soudage et ceci selon les contraintes d'assemblage. Les Normes NF EN 287 A1 et NF EN 288 A1 [19] donnent une codification des positions de soudage. On présente dans le tableau 2.6 une synthèse de classification des positions de soudage suivant les types d'assemblages.

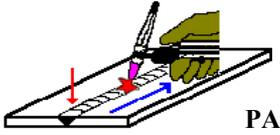
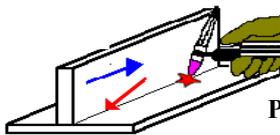
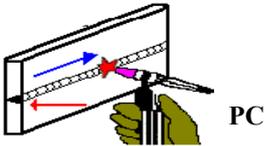
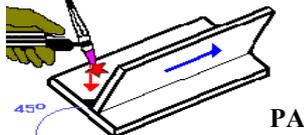
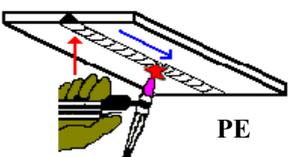
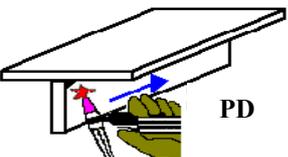
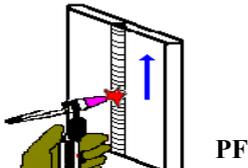
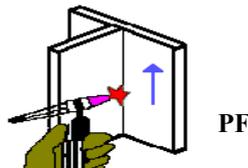
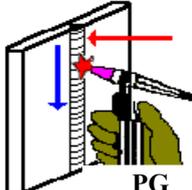
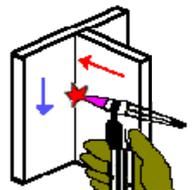
Type Position	Types : T ₁ , T ₂ et T ₅ Schéma : Bout à bout	Types : T ₃ , T ₄ et T ₆ Schéma : En angle
A plat	 PA	 PB
En corniche	 PC	
En gouttière ou à 45°		 PA
Au plafond	 PE	 PD
En verticale montante	 PF	 PF
En verticale descendante	 PG	 PG

Tableau 2.6 La classification des positions de soudage selon le type de l'assemblage

La position de soudage et le type de l'assemblage ont un effet considérable sur le temps de l'opération de soudage. En effet plus que la position est complexe, plus le soudeur prend de temps pour réaliser le joint en question. De ce fait, on a attribué à chaque code de position (PA, PB, PC, etc.) un coefficient de difficulté de soudure noté « p » avec ($p \geq 1$). Ce paramètre ne

dépend pas de la qualification du soudeur. Ce dernier sera paramétré par un coefficient d'efficacité de l'opérateur noté « φ » qui dépend du procédé de soudage utilisé.

La modélisation d'un assemblage en soudage tient compte de l'opération de préparation qui dépend elle-même du procédé de soudage choisi et par la position de soudage. Un assemblage repose donc sur des différentes caractéristiques techniques et géométriques. Ce qui a permis d'appliquer la modélisation par entité présentée dans le paragraphe suivant.

2.4 Développement des entités de soudage

Après avoir examiné les paramètres de soudage, on a identifié les différents types de caractéristiques pour réaliser un joint de soudure :

- a) Les caractéristiques de forme : elles contiennent de la géométrie explicite et décrivent des formes génériques, souvent propre à un domaine d'application donné.
- b) Les caractéristiques du procédé : elles regroupent les informations sur le procédé de soudage (arc, résistance, etc.) et sur les outils (électrode, gaz, etc.).
- c) Les caractéristiques de matériau : elles correspondent au nature des matériaux de base, leurs traitements, etc.
- d) Les caractéristiques d'assemblage : elles regroupent les conditions de liaison, la position et l'orientation des pièces, le type d'assemblage, etc.
- e) Les caractéristiques de tolérance : elles capturent la déviation admissible de la forme/taille/position initiale, la qualité de soudure, etc. [14]

De ces caractéristiques, on a validé notre approche d'identification de chaque type de préparation par une entité paramétrée. Cette approche par entité ou « feature modelling » consiste à décrire un assemblage en soudage non pas uniquement comme un objet purement géométrique, mais en fonction d'un certain nombre de caractéristiques, qu'elles soient fonctionnelles ou liées à l'opération de soudage.

2.4.1 Entité de soudage

L'entité de soudage est définie par un ensemble de spécifications pour lesquelles un processus de soudage est parfaitement connu, ce processus est quasi indépendant des processus des autres entités.

Suivant les procédés et les techniques de soudure, le cordon de soudure est obtenu en une seule ou plusieurs passages de l'appareil de soudage. Chaque passage permet l'exécution d'une passe de soudure. Lorsque le bain de fusion d'une première passe émerge à l'envers du joint celle-ci est appelée cordon de pénétration. L'entité de soudage comporte l'enchaînement des passes de soudure et elle est bien caractérisée par les paramètres suivants :

- Les métaux de base.

- Le type d'assemblage et la position de soudage : Pour les assemblages bout à bout rectilignes, il y a quatre positions plus fréquemment rencontrés : soudage à plat, en corniche, au plafond ou verticale. La position de soudage a une influence sur les spécifications de modes opératoires et sur la qualification des soudeurs. Dans la norme NF A88 010, la position de soudage rectiligne est caractérisée par l'angle de l'inclinaison et l'angle de rotation. Dans le cas de pièces de petite ou de moyenne dimensions exécutées en faible quantité, les bords sont maintenus dans la position convenable par pointage (ou épinglage) préalable.
- Le procédé de soudage : détaillés au début de ce chapitre
- L'épaisseur des pièces à souder.
- Le poste de soudure : le diamètre et la nature de l'électrode, le courant de soudage

Autres paramètres liés à la maîtrise des conditions de soudage

- Type de dévidage du fil électrode : soudage torche tirée ou poussée
- Vitesse de soudage
- La tension de soudage

De ces données techniques, on détermine ainsi le processus de soudage nécessaire pour la réalisation du cordon de soudure. On définit alors l'entité de soudage par le tableau 2.7

Entité de Soudage	
Métal de base	Acier
Epaisseur	e (mm)
Type de l'assemblage	Bout à bout
Position du soudage	A plat
Procédé de soudage	SMAW
Nombre de reprise	z
Intensité de soudage	I (A)
Nature du courant	Continu
Diamètre de l'électrode	ϕ (mm)
Rendement de l'électrode	ρ
Densité du gaz de protection	D
Caractéristiques géométriques	
Section de soudage	SS
Hauteur de soudage	h

Tableau 2.7 Exemple de paramétrage d'une entité de soudage

2.4.2 Entité de préparation

L'entité de préparation comporte d'une part, la préparation des bords qui consiste à donner à ceux-ci un contour géométrique convenable, et d'autre part la préparation du joint obtenue par présentation des bords l'un par rapport à l'autre (écartement, alignement etc.).

L'entité de préparation est une forme géométrique qui limite l'espace à remplir de métal déposé situé entre les deux éléments à souder dont les bords sont convenablement, préparés à cet effet. Il permet de réaliser le profil géométrique à donner au joint afin de permettre l'exécution d'une soudure. Parmi ces entités de préparation, il existe celle qui est techniquement et économiquement conseillée, on parle de l'entité de préparation recommandée.

A une entité de préparation donnée, on peut associer une ou plusieurs entités de soudage. En effet, il suffit, par exemple, de changer le procédé de soudage, la position de soudage ou l'un des paramètres qualitatifs du tableau 2.7.

Quelques techniques de soudage donnent lieu à des recommandations précises pour la réparation des bords à soudés; d'autres ne font l'objet que de directives générales. Ces recommandations de préparation doivent respecter les contraintes d'utilisation final du produit : soudure d'étanchéité, soudure de résistance etc.

On traite trois exemples de préparation pour l'assemblage de type bout à bout et un exemple d'assemblage de type en angle :

a) Entité de préparation bout à bout

Les assemblages bout à bout, correctement exécutés, assurent une parfaite continuité géométrique de la matière qui est la principale raison de leur bon comportement aux sollicitations de tous types. En outre, l'absence de recouvrement des éléments assemblés procure une économie de matière et un allègement des constructions.

L'ensemble des spécifications associées à la forme géométrique caractérise l'entité de préparation et permet de définir le processus de fabrication associé.

Cas 1 : Entité de préparation en V

L'entité de préparation en V est caractérisée par $\alpha \neq 0$ et $t < e$. La figure 2.6 présente les différents paramètres qui caractérisent ce type d'entité.

Les paramètres α , g et t sont interdépendants. Par exemple si α augmente, t doit augmenter et g doit diminuer, et réciproquement. L'angle α doit être suffisamment ouvert pour permettre l'accessibilité de l'appareil de soudage et les mouvements de l'arc pendant l'exécution des passes de fond dans le chanfrein.

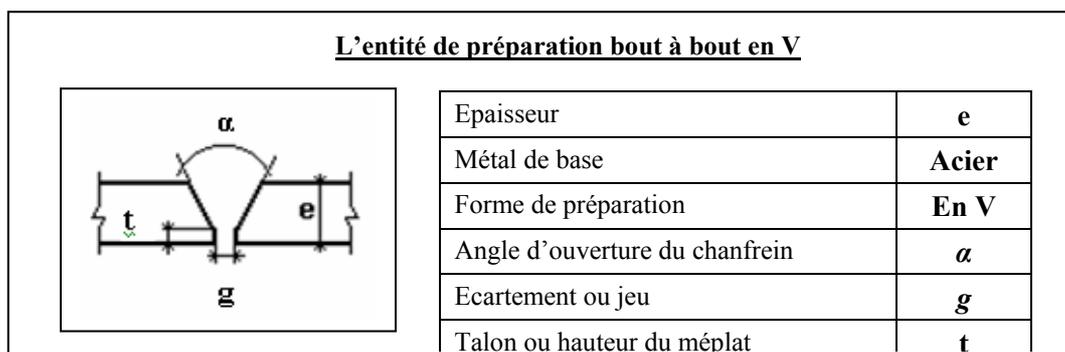
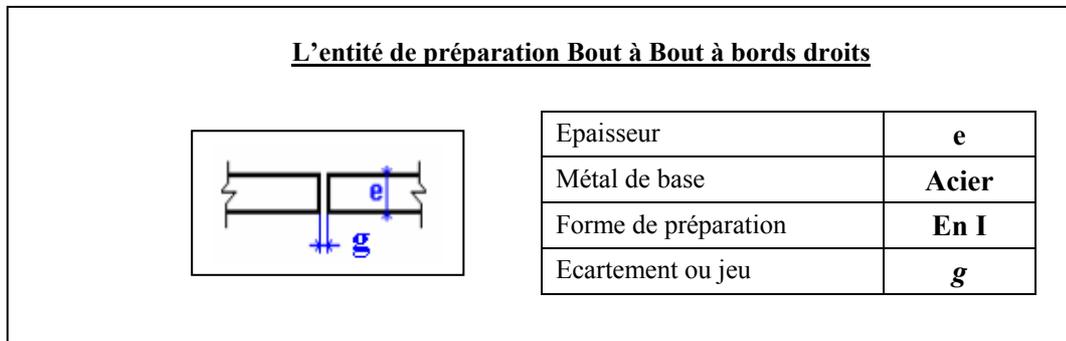


Figure 2.6 Les paramètres de l'entité de préparation en V

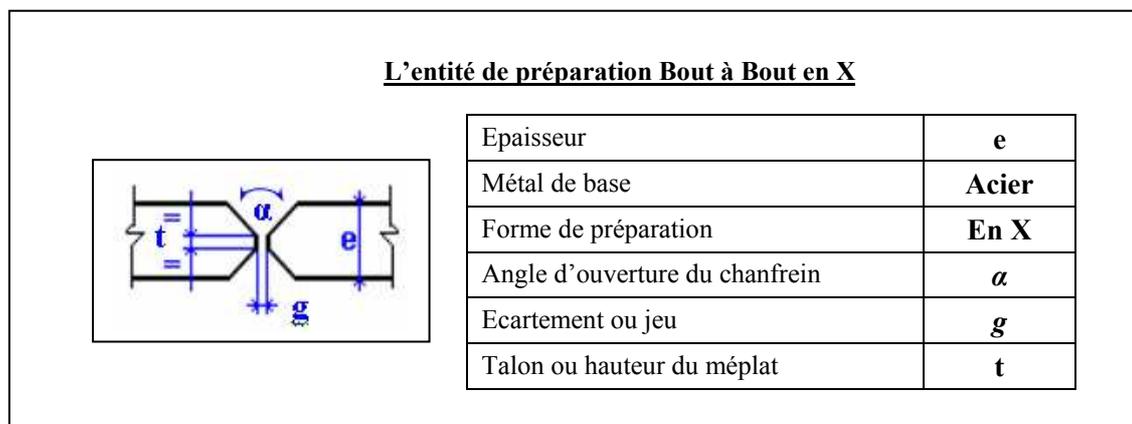
Cas 2 : Entité de préparation à bords droits

L'entité de préparation bout à bout à bords droits est caractérisée $\alpha = 0$ et $t = e$. La préparation consiste seulement à l'opération de pointage. On rappelle que durant ce projet, on s'intéresse à la modélisation des assemblages des pièces qui ont la même épaisseur.

**Cas 3 : Entité de****Figure 2.7 Les paramètres de l'entité de préparation simple**

L'opération de soudage doit être aisée. L'assemblage doit être conçu de manière à faciliter l'accès pour l'exécution de l'entité de soudage. C'est pourquoi, à partir d'une épaisseur critique, on préfère la préparation en X au lieu de la préparation en V.

On a considéré la préparation en X comme une double préparation en V mais, avec la moitié de l'épaisseur et avec la moitié du talon. L'entité est définie dans la figure 2.8.

**Figure 2.8 Les paramètres de l'entité de préparation en X****b) Entité de préparation en angle**

Pour toutes les entités de préparation de type en angle (voir figure 2.9), l'opération de préparation se limite seulement à une opération de pointage. Les paramètres α , e , g , et t des différentes entités de préparation bout à bout, indiqués précédemment n'ont pas de signification et seront nulles par défaut. On note que seulement dans ce cas, l'entité de préparation fait appel à des paramètres associés à l'entité de soudage.

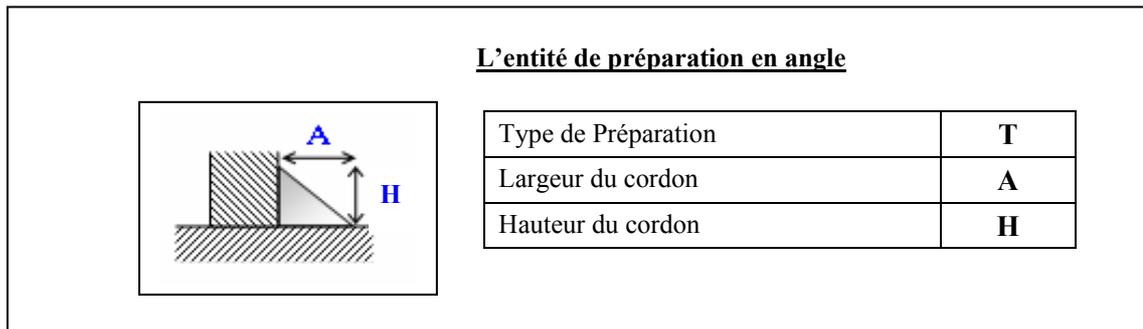


Figure 2.9 Les paramètres de l'entité de préparation en angle

2.5 Démarche de décomposition en entités

La démarche se base sur la décomposition du produit en assemblages qui doivent eux même être décomposé en des entités de soudage et des entités de préparation correspondantes. Cette décomposition se réalise par une génération de la gamme d'assemblage.

De nombreux chercheurs universitaires et industriels se sont intéressés au problème de la génération de gammes [18], [24]. En effet, elle implique une multitude de critères conflictuels et d'objectifs contradictoires. Elle requiert une grande quantité d'expertises et de connaissances qui ne sont pas simples à modéliser. La génération automatique des entités dépasse le cadre de ce projet et elle pourra faire un sujet d'une thèse.

Soit « P » le produit qu'on va estimer son coût de soudage. De l'étude du cahier des charges de ce produit on détermine l'ensemble des pièces qui lui compose. Soit « n » le nombre de ces pièces.

2.5.1 La matrice d'assemblage

On défini la matrice d'ordre n des assemblages $(A)_{ij}$ tels que :

- $A_{ij} = 0$ s'il n'y a pas de liaison de soudage entre les deux pièces « i » et « j ».
- $A_{ij} = 1$ s'il y a une liaison de soudage entre les deux pièces « i » et « j ».
- $A_{ii} = 0$ si la pièce « i » ne comporte pas une liaison par soudage
- $A_{ii} = 1$ si la pièce « i » est obtenue elle même par soudage.

On attribue pour un assemblage (i,j) donnée, $k(i,j)$ entités de soudage et entités de préparation associées.

La matrice A est par définition symétrique, en effet, pour $i, j \in \langle 1, n \rangle$, on a $A_{ij} = A_{ji}$ (il s'agit du même assemblage). Elle est décrite dans la figure 2.10.

On considère un assemblage comme étant une réunion d'entités de soudage. On sait qu'une entité de fabrication est un enchaînement d'opérations de fabrication. Ainsi, le processus de soudage pourra se caractériser au travers d'un nombre fini de variables. Un étude est en cours de

développement consiste à attribuer le rang d'exécution de l'assemblage au lieu de mettre simplement des «1 » dans la matrice d'assemblages.

	P_1	P_2	...	P_i	P_n
P_1	A_{11}	A_{12}			
P_2		A_{22}			
P_i				A_{ij}	
\vdots					
P_n					A_{nn}

Figure 2.10 Structure de la matrice d'assemblages

Un assemblage peut être réalisé sur la même pièce (voir figure 2.11) ou pour la liaison de deux pièces différentes.

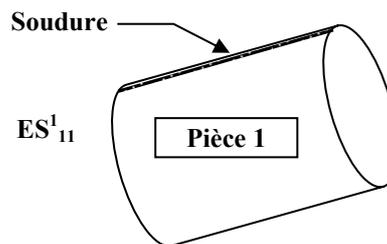


Figure 2.11 Exemple d'un assemblage dans une même pièce

Dans l'exemple de figure 2.12, il y a un seul assemblage de la pièce « 1 » avec la pièce « 2 ». Cet assemblage se compose de deux entités de soudage.

Il est à noter que la longueur de soudage de l'assemblage la pièce « 1 » avec la pièce « 2 » est la même pour les deux entités qui le composent.

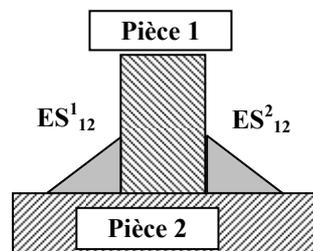


Figure 2.12 Exemple d'un assemblage de deux pièces

On définit aussi la matrice des longueurs L de soudage d'ordre n par :

Pour $i, j \in \langle 1, n \rangle$, si $A_{ij} = 1$ alors $L_{ij} =$ longueur de soudage le long de contact entre les deux pièces « i » et « j ». Si $A_{ij} = 0$ alors $L_{ij} = 0$.

2.5.2 Le digramme de décomposition du produit en des entités

Dans la démarche de décomposition des assemblages figure 2.13 on adopte seulement les entités qui sont économiquement et techniquement rentable. L'étude de la structure mécano soudée, dès la conception, prévoit pour chaque assemblage le nombre de cordons de soudure pour s'assurer des différents paramètres exigés du cahier des charges.

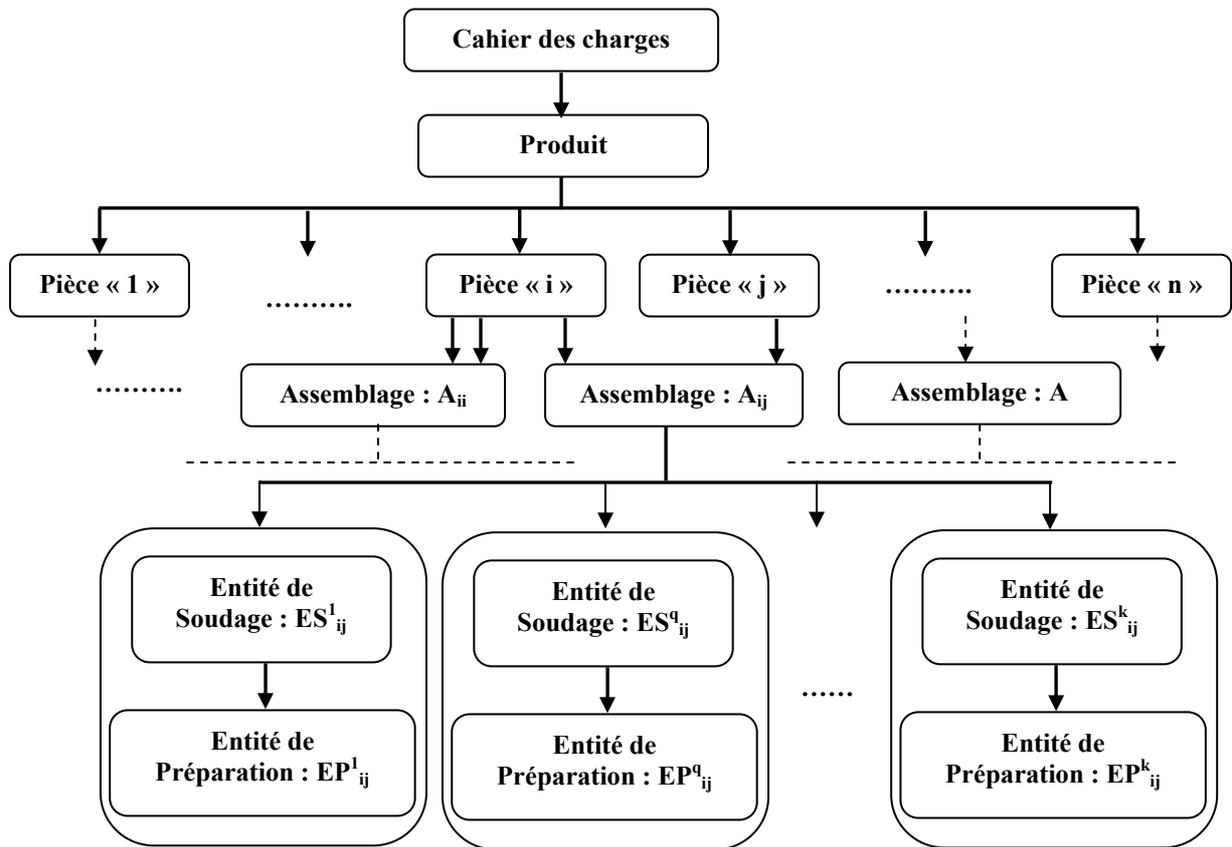


Figure 2.13 Démarche de décomposition en entités de soudure et entités de préparation

Par définition, on a :

- Le nombre d'assemblages dans le produit P est « N », $N = \sum_{i \leq j} A_{i,j}$ (1)

- Le nombre de couples (entité de soudage, entité de préparation) dans le produit P est « N_e », $N_e = \sum_{i \leq j} k(i,j) \cdot A_{i,j}$ (2)

- La longueur de soudage totale pour réaliser le produit P est « L »

$$L = \sum_{i \leq j} k(i,j) \cdot L_{i,j} \quad (3)$$

Avec $k(i,j)$: le nombre d'entités de soudage de l'assemblage (i,j) .

2.5.3 Réduction possible de la matrice d'assemblages

Généralement pour la fabrication d'un produit en mécano soudage, on utilise un nombre réduit d'entités de soudage et de préparation. Ces entités se répètent dans plusieurs assemblages. On regroupe ainsi les assemblages qui vont être soudé par le même type d'entité de soudage. C'est-à-dire, on obtient des matrices A et L d'ordre m qui sera inférieur ou égale à n. Ceci en cherchant à

mettre en évidence une certaine mesure de similarité pour l'exécution des différentes entités de soudage.

Après la décomposition du produit en des entités de soudage et des entités de préparation, on s'intéresse maintenant à l'estimation des temps de soudage pour chacune de ces entités.

2.5.4 Modélisation géométrique de la section de soudage

Pour l'estimation des temps de soudage d'une entité « q » d'un assemblage (i,j), on propose une approche qui se base sur l'évaluation de la section de soudage à partir d'une modélisation géométrique de l'entité de préparation correspondante.

La figure 2.14.b présente l'exécution successive des passes de soudure qui permet la réalisation de l'opération de soudage conformément aux spécifications de l'entité de soudage.

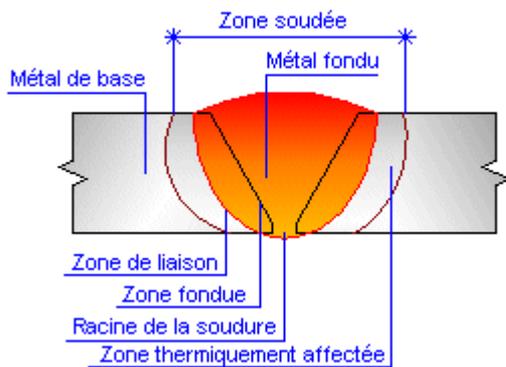


Figure a. Les différentes zones de soudage

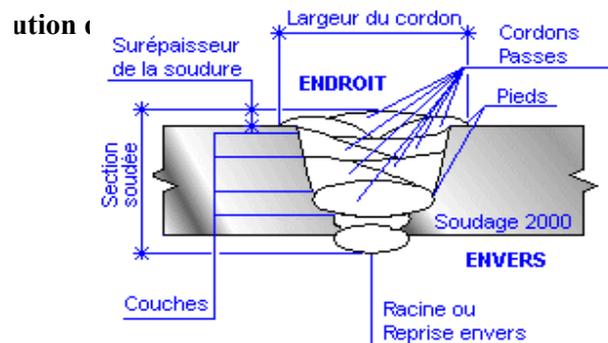


Figure b. L'enchaînement des passes de soudure

La figure 2.15 présente la démarche de détermination de la section de soudage qui se base sur les paramètres de l'entité de préparation correspondante.

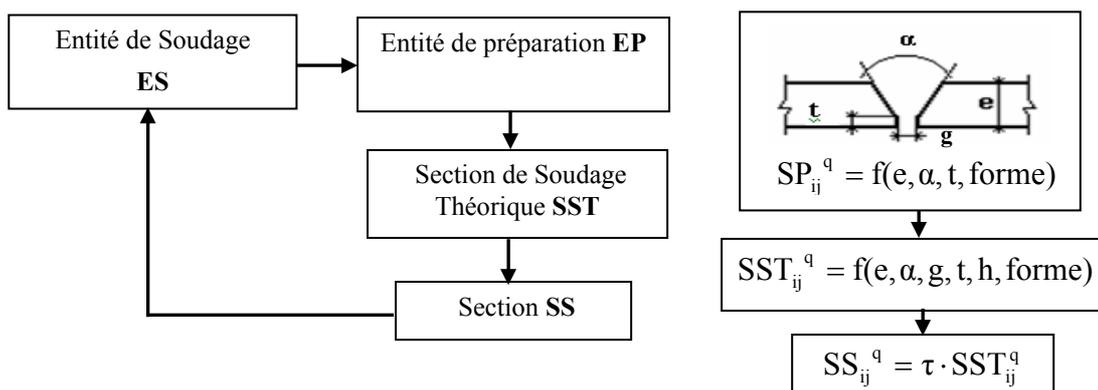


Figure 2.15 La démarche de la modélisation géométrique d'une section de soudage

La section de soudage réelle et la section de soudage théorique sont différentes. En effet, lors de l'exécution de soudure, le soudeur dépasse les limites géométriques de la section théorique de soudage (Voir les figures 2.14.a et 2.14.b).

On écrit la relation qui lie les deux sections par : $SS = \tau \cdot SST$ (4)

Avec « τ » un coefficient de correction des deux sections. Ce coefficient dépend de la forme de préparation et de la forme ultérieure du cordon de soudure (convexe ou concave). Il est généralement proche de l'unité.

La modélisation géométrique relative à chaque entité de préparation doit être capitalisée dans une base de données technique. En effet, la section de soudage compte parmi les paramètres géométriques de l'entité de soudage (voir tableau 2.7, page 34).

a) Entité de préparation bout à bout en V

On détail l'exemple de l'entité de préparation bout à bout en V. On présente dans la figure 2.16 une modélisation géométrique afin de déterminer la section de soudage.

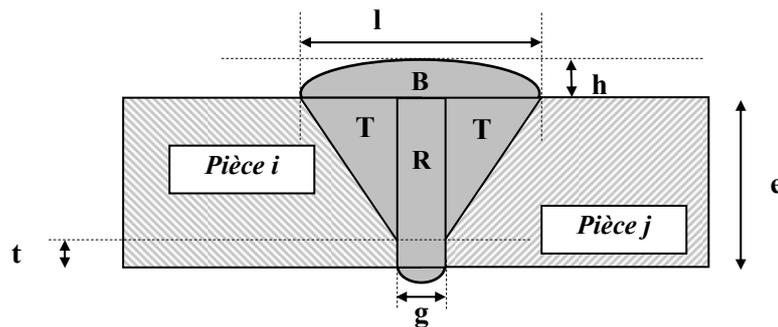


Figure 2.16 Modélisation géométrique de l'entité de soudage bout à bout en V

La section de l'entité de préparation notée « SP » représente la somme des surfaces $2T$. La

Section de Soudage Théorique est donnée par $SST = B + R + 2T$ (voir figure 2.16) (5)

Pour déterminer « SST », il est nécessaire de calculer en premier lieu :

- Largeur de la soudure est donnée par $l = g + 2 \cdot (e - t) \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)$ (6)

On a alors :

- La section des deux triangles de type T est donnée par $2T = \frac{(l - g)}{2} \cdot (e - t)$ (7)

- La section R est l'air du rectangle de longueur « g » et de largeur « e », $R = g \cdot e$ (8)

- La section B représente 75 % approximativement de la section du rectangle de longueur « l »

$$\text{et de largeur « h » } B = \frac{3}{4} \cdot l \cdot h \quad (9)$$

D'après la relation (5), On peut écrire que $SST = g \cdot e + (e - t)^2 \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) + \frac{3}{4} \cdot l \cdot h$ (10)

Puis, en remplaçant l'expression de « l » donné par (6) dans l'équation (10)

$$\text{On obtient } SST(e, \alpha, g, t, h, \text{enV}) = g \cdot e + (e - t) \cdot \left(e - t + \frac{3}{2}h\right) \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) + \frac{3}{4} \cdot g \cdot h \quad (11)$$

Ensuite, d'après la relation (4), SS est donné par $SS_{\text{enV}} = \tau \cdot SST(e, \alpha, g, t, h, \text{enV})$

En fin, on insère SS dans l'entité de soudage en V (voir figure 2.15).

b) Entité de préparation bout à bout en X

On a considéré la préparation en X comme une double préparation en V, avec la moitié de l'épaisseur, avec la moitié du talon et avec la moitié de la hauteur de soudage (voir figure 2.17).

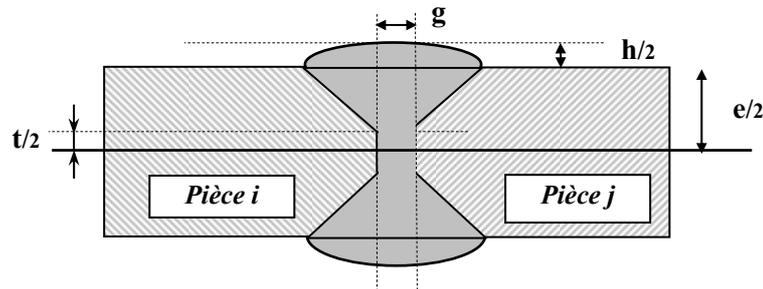


Figure 2.17 Modélisation géométrique de l'entité de soudage bout à bout en X

On écrit alors que $SST(e, \alpha, g, t, h, enX) = 2 \cdot SST(\frac{e}{2}, \alpha, g, \frac{t}{2}, \frac{h}{2}, enV)$ (12)

c) Entité de préparation simple bout à bout (à bords droits)

L'entité de préparation bout à bout à bords droits est une préparation en V tels que :

$\alpha = 0, t = e$ et $h = 0$

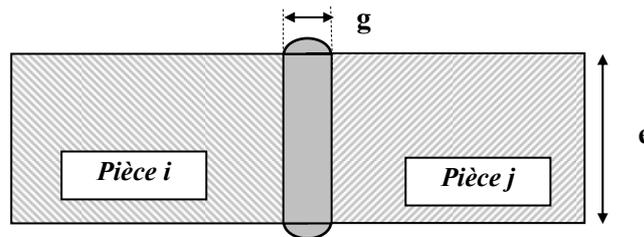


Figure 2.18 Modélisation géométrique de l'entité de soudage bout à bout en I (à bords droits)

On écrit alors que $SST(e, g, enI) = SST(e, 0, g, e, 0, enV)$ (13)

d) Entité de préparation bout à bout en U

La modélisation de la section de préparation de l'entité de préparation en U est différente de celle des préparations en V, en X et en I. En effet elle n'est pas caractérisée par un angle d'ouverture, mais par un rayon de soudage (voir figure 2.19).

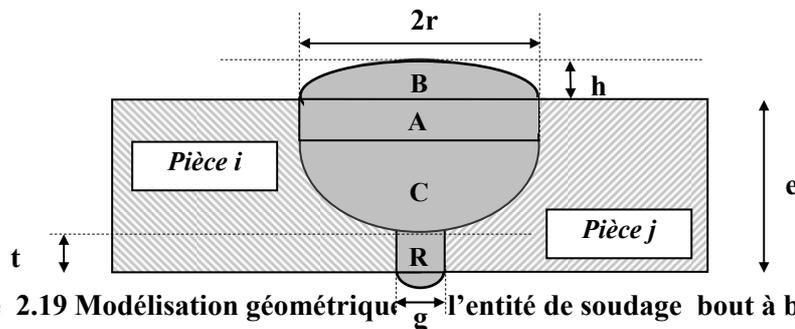


Figure 2.19 Modélisation géométrique de l'entité de soudage bout à bout en U

2.6 Estimation des temps de soudage pour une entité

Le principe est d'établir un système d'estimation des coûts qui ne soit pas complexe et qui associe étroitement les variables techniques (entité de soudage), les variables géométriques (Entité de préparation).

2.6.1 La démarche de calcul du temps de soudage

Pour déterminer le temps de soudage d'une entité, il est nécessaire d'utiliser la modélisation géométrique de la section de soudage afin de calculer le volume de soudage. En connaissant la densité du métal de base, on détermine le poids du cordon de soudure et par la suite le temps de soudage.

L'estimation du temps de soudure se fait en suivant l'algorithme de la figure 2.21. Les calculs de basent sur le paramétrage des entités, la matrice d'assemblage et sur les données techniques.

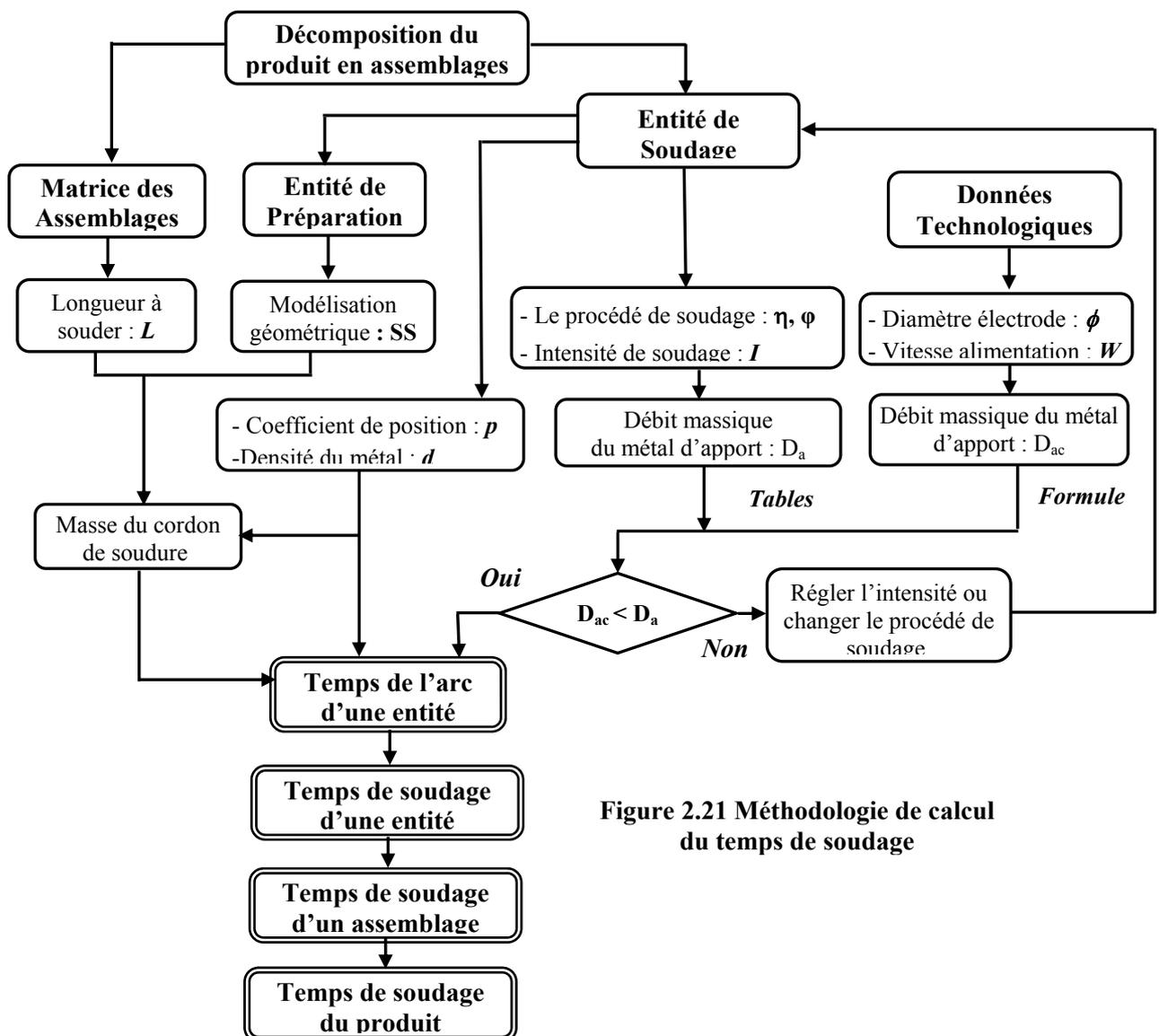


Figure 2.21 Méthodologie de calcul du temps de soudage

2.6.2 Test de cohérence pour les paramètres de débit

Pour chaque type de préparation ou de soudure d'angle, il existe des tableaux ou abaques qui indiquent la masse linéique de métal d'apport nécessaire par type d'assemblage. La masse de métal d'apport à déposer est fonction du procédé, nature du courant, l'intensité de soudage et le diamètre de l'électrode [20].

On note « D_a » le débit massique du métal d'apport « *Deposition Rate* ». Il est fonction de l'intensité du courant et du procédé de soudage. A titre d'exemple la figure 2.22 reproduit un abaque des courbes de fusion. Cet abaque permet d'apprécier pour le cas d'un soudage automatique (TIG, MIG etc.) pour chaque diamètre d'électrode en acier doux et pour un courant de soudage continu, le débit d'apport en fonction de l'intensité.

Figure 2.22 Courbes de fusion courant continu, polarité positive à l'électrode [19]

Seulement pour le cas d'une électrode fil, outre des abaques, on peut calculer le débit massique à l'aide de la formule suivante :

$$D_{ac} = \pi \cdot \frac{\phi^2}{4} \cdot W \cdot d \quad \text{« g /min »} \quad (21)$$

Avec : W : la vitesse d'alimentation du fil « cm/min »

ϕ : Diamètre du fil électrode « cm »

d : La densité du métal de base « g /cm³ » (approximativement celle du métal d'apport)

La valeur calculée « D_{ac} » doit être inférieure à celle donnée à partir du tableau « D_a ». Dans le cas contraire, il faut modifier l'intensité de soudage et /ou la vitesse de l'apport.

Dans le cas où l'électrode n'est pas un fil, il est clair qu'on ne peut pas calculer le débit D_{ac} c'est pourquoi on va lui attribuer la valeur nulle par défaut.

2.6.3 Méthodologie analytique d'estimation du temps de soudage

L'emploi de la méthode analytique d'estimation des temps est parfaitement envisageable. En effet, les algorithmes de décomposition en entités et de prédétermination des temps sont définis. La démarche d'estimation de temps de soudage s'organise autour des quatre premières étapes suivantes :

Etape 1 : Evaluation du volume de la soudure. C'est le produit de la section de soudage avec la longueur de soudage $V_s = SS.L$ (22)

Avec L : Longueur de soudage (somme des longueurs des entités similaires), « cm ».
 SS : Section de soudage, « cm^2 ».

Etape 2 : La masse effective de matière d'apport nécessaire à la réalisation du joint est alors déduite à partir de la densité du métal « *Amount of Welding Wire* » $m_a = \frac{\rho \cdot V_s \cdot d}{\eta}$ (23)

Avec d : La densité du métal de base « g / cm^3 ».

η : L'efficacité du procédé (ce coefficient peut atteindre des valeurs proches de 100 % pour les procédés automatiques)

ρ : Rendement de l'électrode. Il dépend de la nature des constituants de l'électrode : âme et enrobage. Si l'enrobage contient des éléments ferreux, il pourra dépasser 100 % [19].

Etape 3 : Le temps de l'arc « T_{arc} » est le temps de consommation des ressources (électrode et gaz). Il correspond au temps de fonctionnement du poste de soudure. Il s'exprime en fonction de la masse par $T_{arc} = \frac{m_a}{D_a}$ « min ». (24)

Etape 4 : Le temps d'exécution de l'opération de soudage est le temps de l'arc corrigé par l'efficacité de l'opérateur et par le coefficient de difficulté de la position. $T^S = p \cdot \frac{T_{arc}}{\phi}$ (25)

Avec ϕ : L'efficacité de l'opérateur qui dépend du procédé (pour le cas de SMAW, l'opérateur passe plus que la moitié de son temps à changer d'électrodes, à piquer le laitier etc.).

p : Coefficient de position dépend de la position de soudage et le type d'assemblage.

En utilisant les relations (22), (23), (24) et (25), on peut écrire que $T_q^S = \frac{\rho \cdot p}{\phi \cdot \eta} \cdot \frac{d}{D_a} \cdot SS \cdot L$ (26)

La relation (26) permet l'estimation du temps de soudage d'une entité de soudage. On donne, dans ce qui suit, les deux étapes 5 et 6 pour d'une part, l'estimation du nombre de passes

nécessaire et d'autre part, pour l'estimation du temps total de soudage d'un assemblage et du produit.

Etape 5 : En connaissant le temps de soudage, le nombre de passes de soudure « N_p » est

$$\text{simplement déduit par l'arrondissement supérieur de } N_p = \frac{V \cdot T^S}{L} \quad (27)$$

Avec : V : la vitesse de soudage « m/min »

Cette étape est facultative, en effet, elle ne participe pas à l'estimation des temps de soudage. On note que, d'après la recherche bibliographique [19], plusieurs méthodes sont possibles pour l'estimation du nombre de passes.

- Soit à partir des abaques fournis par les fabricants d'électrode, qui donnent le nombre de passes en fonction du type de joint et du diamètre d'électrode.
- Soit en fonction de l'énergie nominale. En effet, le nombre de passes est donné à l'aide des formules empiriques. Par exemple, $N_p = 300 \cdot \frac{SS \cdot d}{E_n}$ [21] (28)

Avec E_n : énergie nominale de soudage, elle est donnée par la formule classique de puissance :

$$E_n = \frac{U \cdot I \cdot 60}{1000 \cdot V} \quad \text{« kJ/m » [19]} \quad (29)$$

Avec : I : Intensité de soudage « A ».

U : Tension de l'arc « V ».

V : Vitesse de soudage « m/min ».

Etape 6 :

La démarche étant valable pour chaque type d'entité de soudage. En l'appliquant à une entité « q » d'un assemblage (i, j) d'un produit « P », on obtient :

- Le temps d'exécution de l'opération de soudage d'une entité « q » est donné alors par :

$$T_q^S = \frac{\rho \cdot p}{\varphi \cdot \eta} \cdot \frac{d}{D_a} \cdot SS_q \cdot L_{i,j}$$

- Le temps de soudage d'un assemblage (i, j) est alors la somme de tous les temps de soudage

$$\text{des entités qui lui composent : } T^S(i, j) = \sum_{q=1}^{k(i,j)} T_q^S \quad (30)$$

- Le temps de soudage du produit « P » est alors la somme des temps de soudage des assemblages qui lui composent $T^T = \sum_{i \leq j} T^S(i, j) \cdot A_{i,j}$ (31)

2.7 Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté la méthodologie propre à notre démarche d'estimation des temps de soudage. On a commencé par l'identification des caractéristiques géométriques et techniques

de soudage pour les différents procédés de soudage à l'arc. Ensuite, on a proposé nos propres définitions d'entité de soudage et d'entité de préparation qui se basent sur la modélisation des assemblages. Enfin, on a détaillé la décomposition du produit en entités et l'application de la méthode analytique à l'échelle de chaque entité.

Le chapitre suivant aborde l'application du concept « Entité Coût » qui est le support de l'estimation des coûts d'usinage, du pointage et du soudage. Il a permis de compléter la démarche globale de notre modèle et ceci, en lui associant le modèle entité, déjà étudié dans le chapitre précédent.

3.1 Introduction

La démarche utilisée se base sur le fait que le modèle global d'estimation des coûts recherché est le résultat d'un ensemble de modèles élémentaires. Le premier élément de la chaîne d'estimation du coût, détaillé dans le chapitre précédent, est l'estimation des temps de soudage à l'aide de la méthode analytique appliquée à l'échelle de chaque couple (Entité de soudage, Entité de préparation).

Le deuxième élément, décrit dans ce chapitre, est le concept Entité Coût. On définit, tout d'abord ce concept qui permet d'encapsuler l'expertise d'estimation de coût relatif à une activité ou une opération puis on présente son application dans le modèle d'estimation des coûts de préparation, de pointage et de soudage. Enfin, on explique le principe pour établir un modèle d'estimation des coûts associant les variables techniques (entité de soudage, entité de préparation) et les variables économiques (Entité Coût Préparation) relativement au produit à estimer.

L'art de l'estimation des coûts consiste à évaluer la consommation des ressources engendrées par le passage d'un produit dans l'entreprise. L'essentiel est de reposer sur la capitalisation des connaissances (gestion et ingénierie) et l'automatisation ou l'informatisation d'un système d'estimation des coûts.

3.2 Concept de base de l'approche : Entité Coût (EC)

3.2.1 Définition du concept

Le concept « Entité Coût » s'inspire de la méthode ABC (Activity Based Costing) et de la méthode des Centres d'Analyse (comptabilité analytique). Ce modèle est construit sur la base des entités de fabrication qui génèrent chacune des opérations. L'identification d'un inducteur convenablement choisi permet l'estimation de la consommation des ressources de chacune de ces opérations [3]. *«Une Entité Coût est un groupement de coûts associés aux ressources consommées par une activité. La condition fondamentale de cohérence du concept repose sur l'homogénéité des ressources consommées par l'Entité Coût, ce qui permet de leur associer un inducteur»* [3], [25].

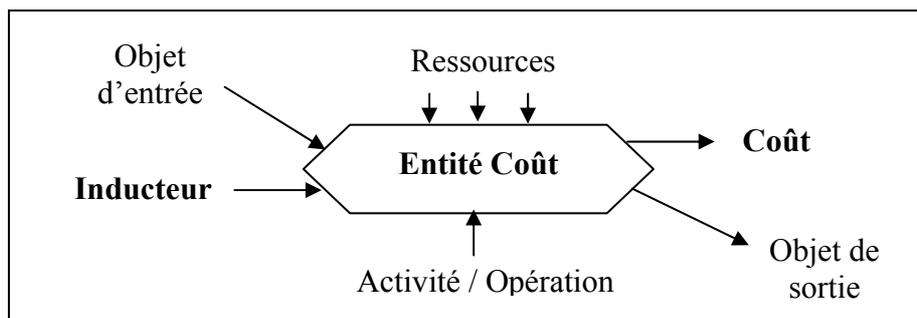


Figure 3.1 Représentation de l'Entité Coût [3]

La définition de l'EC se rapproche à celle de l'entité mécanique (bien définie au premier chapitre). La distinction réside essentiellement dans l'aspect de vision économique et organisationnel.

L'Entité Coût présentée par la figure 3.1 est traversée par deux flux d'information, le premier d'ordre physique, est relatif aux objets d'entrée et de sortie. Le deuxième d'ordre économique (inducteur- coût). Ces deux flux sont supportés par une activité et par l'ensemble des ressources qu'elle consomme.

La modélisation en EC consiste à associer à chaque opération potentielle un ensemble de machines. Cet ensemble constitue les ressources éventuellement capables d'assurer la réalisation de l'opération de l'entité de soudage et l'entité de préparation.

Cette hiérarchisation des connaissances à partir des différents types d'entités de fabrication en passant par les opérations potentielles associées permet la capitalisation de l'expertise d'estimation de coût propre à chaque couple (opération, machine).

3.2.2 Identification des Entités coûts

L'objectif de la modélisation par l'EC est de fournir un modèle informationnel qui intègre les informations nécessaires à la définition du produit et de son processus de fabrication, de manière à assurer une estimation des coûts que se soit en phase de conception ou en phase de préparation à la fabrication.

L'identification des EC porte sur l'identification des paramètres suivants [3], [25]:

- L'activité : verbe
- Objet entrée : l'intrant principal de l'activité (informationnel ou matériel)
- Objet Sortie : l'extrant principal de l'activité (informationnel ou matériel)
- Inducteur : variable permettant de répartir le coût de l'entité entre les objets de coût
- Ressources : tous les moyens humains, financiers, commerciaux, technologiques utilisés par l'Entité Coût.

a) L'activité : C'est un ensemble de tâches et d'actions réalisées par un individu ou une équipe et ayant un comportement cohérent du point de vue des coûts et des performances [3]. Il s'agit en général d'une séquence d'opérations devant être exécutée en totalité par une ou plusieurs ressources et ceci dans un temps donné pour réaliser la tâche spécifiée. Chaque activité concourt à la création de valeur. Les activités interviennent de la fabrication à la livraison des produits et des services.

b) Les ressources : Des ressources homogènes sont des ressources stables et solidaires. Stables si le taux d'imputation (/min, /L etc.) de chaque ressource ne change pas selon le produit traité,

et solidaires si elles sont consommées dans la même proportion les unes que les autres quel que soit le produit qui les déclenche.

Le concept Entité Coût respecte les conditions d'homogénéité des ressources tout en conservant la méthode ABC (détaillée dans la page 13). En effet, il suffit d'explicitier les liens de causalités entre le processus direct de fabrication et les activités indirectes présentes dans le processus de production. [3]

c) L'inducteur : Le terme inducteur résulte de la terminologie associée à la méthode ABC. L'approche Entité Coût est une unité d'œuvre permettant de répartir les coûts des activités entre les productions d'une entreprise (exemple : heures de main d'œuvre directe, nombre de séries fabriquées, nombre de commandes, etc.).

La distinction entre inducteur d'activité et unité d'œuvre ne veut pas dire qu'ils ne peuvent pas co-exister dans le même système de coûts. Pour une activité indirecte l'inducteur paraît plus pertinent pour répartir le coût de l'activité entre les objets de coût. De ce fait, il permet d'intervenir sur les causes de coûts. Par contre, pour une activité directe, l'emploi de l'unité d'œuvre peut suffire pour mesurer le coût déjà affecté [3].

3.2.3 Estimation des coûts par le concept Entité Coût

Pour un processus de fabrication donnée, le concept Entité Coût permet d'une part d'estimer le coût direct correspondant aux opérations de fabrication et d'autre part d'établir les liens de causalité entre ce processus direct et les processus indirects, en déterminant pour chacune des activités indirectes l'inducteur de l'Entité Coût correspondante. On note que durant ce projet, on s'intéresse seulement à l'estimation des coûts directs de soudage.

a) La condition d'homogénéité des ressources

Soit une activité « A » qui consomme les ressources R_1 , R_2 et R_3 . Deux produits X et Y passent par cette activité avec des différentes allocations. Si les allocations des deux produits sont proportionnelles l'un à l'autre on dit que les ressources R_1 , R_2 et R_3 forment un bloc homogène. Dans ce cas, on peut donc modéliser le coût total en regroupant ces coûts élémentaires.

L'homogénéité des ressources au niveau de l'activité et au niveau du regroupement ou du processus a une valeur importante, notamment sur la détermination des coûts unitaires.

Porter fait d'une activité est une entité fonctionnelle. Concevoir, fabriquer, commercialiser, distribuer et maintenir un produit s'effectuent à l'aide de ces activités. Chaque activité, indépendamment de son importance apparente, concourt à la création de la valeur [3].

b) La formulation paramétrique du coût

Soit « A_i » l'activité qu'on veut déterminer son coût « C ». Si R_i l'ensemble des ressources « k » consommées dans l'entité Coût « i ». Si $y_k^i(x)$ équivalent à la quantité des ressources k (heure,

litre etc.) consommée pour la réalisation de cette entité d'inducteur égale à « x » et si C_k correspond au coût d'utilisation de y_k^i unités de k ou taux d'imputation. Par définition le coût d'une ressource s'écrit :

Coût d'une ressource = Inducteur(nombre) \times α_k (heure/nombre) \times Taux d'imputation(DT/heure)

Ou encore, le coût d'une ressource s'écrit $C = x_i \cdot \alpha_k \cdot C_k = y_k^i(x_i) \cdot C_k$ (33)

Le temps de consommation d'une ressource s'écrit alors $T = x_i \cdot \alpha_k$ (34)

Avec α_k : coefficient de consommation de la ressource k

x_i : inducteur de l'activité « i »

C_k : le taux d'imputation (coût horaire)

L'équation de base du modèle donnant le coût d'une activité sera alors la somme des coûts des différentes ressources [3]:

$$C_i = \sum_{k \in R_i} C_k \cdot y_k^i(x_i) \quad (35)$$

De ce qui précède, on constate qu'une EC est une activité consommée dans des conditions technico-économiques parfaitement définies.

En absence de la condition d'homogénéité des ressources, l'EC sera considérée comme Entité Coût Mère. Sa décomposition en EC respectant la condition d'homogénéité est obligatoire. Les paramètres (ressources, activité, objet entrée-sortie) et le coût de l'Entité Coût Mère sont respectivement l'union des paramètres et la somme des coûts des Entités Coût qui la composent. Dans le cas où il paraît nécessaire d'obtenir plus de détail sur ECM, un zoom peut être appliqué pour une définition précise. Quand il n'y a plus de zoom, la procédure est considérée comme terminée et l'EC comme élémentaire [3].

La hiérarchisation des connaissances à partir des différents types d'entités de préparation en passant par les opérations potentielles associées permet la capitalisation de l'expertise d'estimation de coût propre à chaque couple (opération, machine). Ce couple constitue, en fait, une Entité Coût dans la quelle on peut appliquer toutes les définitions relatives à ce concept.

3.2.4 Intégration du concept Entité Coût

Le principe est d'établir un système d'estimation des coûts qui ne soit pas complexe et qui associe étroitement les variables techniques (entité de soudage), les variables économiques (Entité Coût) et l'assemblage.

Les étapes de la démarche :

- Etablir l'inventaire de toutes les Entités Coût présentes dans l'entreprise.

- Etablir l'inventaire de toutes les entités de soudure et les entités de préparation maîtrisées et réalisées dans l'entreprise.
- Considérer que l'analyse d'estimation du coût d'un assemblage résulte de la confrontation entre les entités de soudage, les entités de préparation et les Entités Coût Préparation. (Voir figure 3.2).

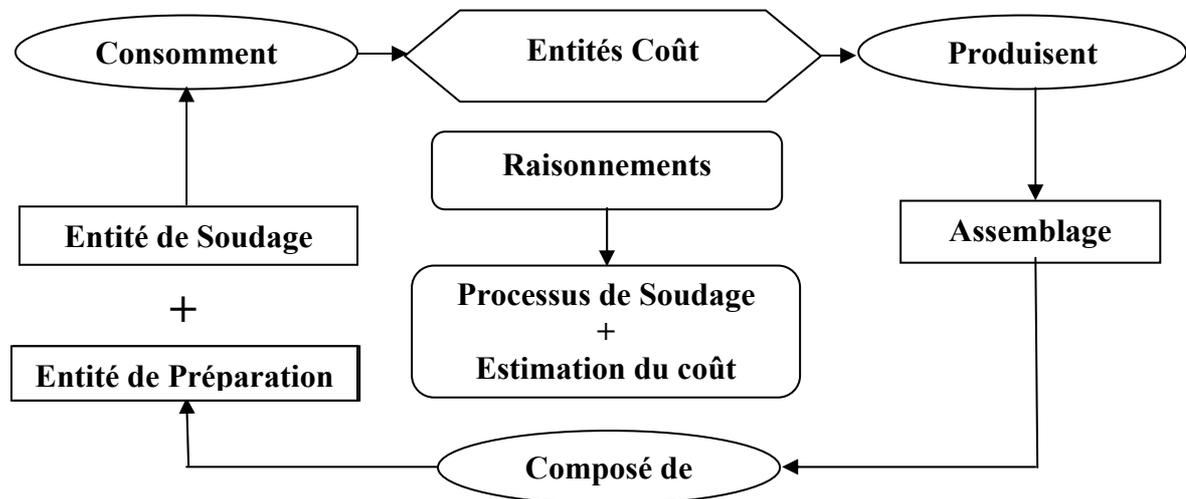


Figure 3.2 Association Assemblage / Entité / Entités Coût

Le coût total de la pièce est dépendant des entités qui le composent et de leurs processus de fabrication et de production. On distingue alors deux niveaux :

Un premier niveau : Entité Coût Direct

Ce niveau représente l'ensemble des opérations nécessaires à la réalisation des entités de soudage et les entités de préparation constituant l'assemblage. Par exemple : EC Préparation et l'EC Soudage sont des EC Directs.

Un deuxième niveau : Entité Coût Indirect

Ce niveau représente l'engagement ascendant d'un ensemble d'EC présentes dans l'entreprise. Cet engagement est provoqué par les EC directs du premier niveau. A titre d'exemple, l'EC planification, l' EC administrative sont des EC Indirects.

3.3 Estimation des coûts de préparation

Chaque entité de préparation fait appel à des paramètres internes (intrinsèques) de description (épaisseurs, talon de la préparation, etc.), mais également à des tolérances géométriques de positionnement et d'orientation (écartement). Ainsi, le processus de préparation et de soudage est caractérisé au travers d'un nombre fini de variables qui correspondent à l'état conceptuel du produit.

L'entité de préparation comporte d'une part, la préparation des bords qui consiste à donner à ceux-ci un contour géométrique convenable, et d'autre part la préparation du joint obtenue par

présentation des bords l'un par rapport à l'autre (écartement, alignement etc.) par pointage. De ce fait, l'Entité Coût Préparation est considérée comme une Entité Coût Mère qui se compose de l'Entité Coût Usinage et l'Entité Coût Pointage.

3.3.1 Entité Coût Usinage

On présente dans la figure 3.3 l'exemple d'une Entité Coût Usinage pour la préparation de l'entité bout à bout en V.

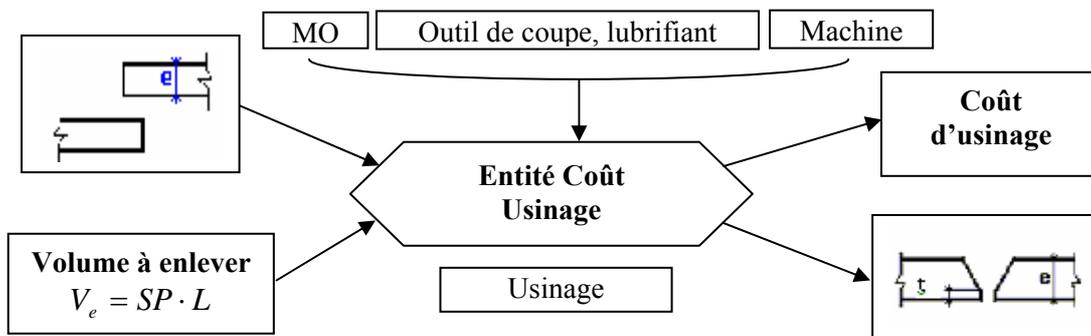


Figure 3.3 Structure de l'Entité Coût Usinage pour la préparation en V

Il existe deux types de préparation semblables à ceux de l'usinage :

- L'ébauche (usinage) qui consiste à enlever de la matière pour réaliser de profil du joint. L'inducteur dans ce cas est le volume de métal enlevé [cm^3].
- La finition qui consiste à nettoyer les surfaces des bords du joint (blanchissement des surfaces, dégraissage, etc.) L'inducteur dans ce cas est la section traitée [cm^2].

Cette étape de finition est généralement négligée par le fabricant c'est pourquoi qu'on ne va pas traiter dans ce projet.

On note « α_u » le coefficient qui mesure la consommation du temps par volume de matière enlevée, il s'exprime en « min/cm^3 ». Ce coefficient est donné par :
$$\alpha_u = \frac{c}{D_v} \quad (36)$$

Avec D_v étant le débit volumique d'usinage. Il est fonction du métal à usiner.

Ce paramètre remplace les trois paramètres classiques utilisés dans les méthodes de calcul du temps de coupe : vitesse de coupe « V_c », avance « f » et le profondeur de passe « a_f » ou « p ». Il est à noter qu'on réalise, pour une surface donnée, l'un des deux types de préparation non pas, comme le cas d'usinage, les deux types (ébauche et finition) successifs.

Pour l'identification des inducteurs, plusieurs méthodes peuvent être employées comme des interviews avec les experts du domaine ou une analyse détaillée de l'activité ou finalement, en se basant sur un nombre suffisant de données historiques d'un ensemble assez large d'inducteurs en sélectionnant le plus influent.

On va associer à chaque type d'entité de préparation un coefficient de complexité « c » qui sera un paramètre qui dépend de la technologie de préparation adaptée par l'entreprise. Le coefficient « c » peut être déterminé à partir d'une approche statistique menée à chaque type d'entité. Ce coefficient peut être initialisé selon l'expérience. Dans le tableau 3.1 on donne les spécifications des entités de préparation étudiées. Par définition, il est clair que $c \geq 1$.

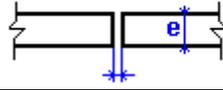
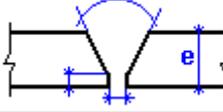
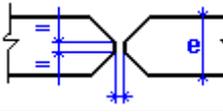
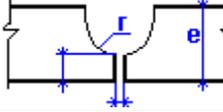
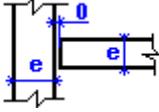
Entité de préparation	Type de préparation	Inducteur : Volume à enlever	Coefficient de complexité « c »
Bout à bout à bord droit		$V_e = 0$	Préparation sans usinage
Bout à bout en V		$V_e = SP \cdot L$	$c = f(e, \alpha, t)$
Bout à bout en X		$V_e = SP \cdot L$	$c = f(e, \alpha, \gamma)$
Bout à bout en U		$V_e = SP \cdot L$	$c = f(e, r, t)$
En angle à bord droit		$V_e = 0$	Préparation sans usinage

Tableau 3.1 Les indices de complexité des entités de préparation

L'EC Usinage a comme inducteur le volume de matière à enlever noté « V_e ». Le coût des ressources de l'Entité Coût Usinage sont donnés dans le tableau 3.2 tout en appliquant l'équation (33).

Les coûts des ressources de l'ECU	Formulation
Le coût de main d'œuvre	$C_{MO}^{ECU} = V_e \times \alpha_u \times C_u$
Le coût de l'utilisation de la machine d'usinage	$C_{MA}^{ECU} = V_e \times \alpha_{um} \times C_{mu}$
Le coût de consommation de l'outil et de lubrifiant	$C_{OU}^{ECU} = V_e \times \alpha_{uo} \times C_o$

Tableau 3.2 Les coûts des ressources de l'Entité Coût Usinage

Avec C_u : Coût horaire de la main d'œuvre.

C_{mu} : Coût horaire d'utilisation de la machine d'usinage

C_o : Coût horaire de l'usure de l'outil.

V_e : Volume de matière à enlever.

α_{um} : Coefficient d'utilisation de la machine d'usinage.

α_{uo} : Coefficient des consommations de l'outil et de lubrifiant.

Le coût d'usinage est la somme des coûts des ressources qui composent l'Entité Coût Usinage

$$C^U = C_{MO}^{ECU} + C_{MA}^{ECU} + C_{OU}^{ECU} \quad (37)$$

On peut déterminer le temps de préparation à l'aide de la relation (34). En effet ce temps se coïncide avec le temps de consommation de la ressource de main d'œuvre :

$$\text{Le temps d'usinage pour une préparation s'écrit comme suit } T^U = V_e \cdot \frac{c}{D_v} \quad (38)$$

En appliquant l'équation (38), le temps d'usinage pour les préparations de type bout à bout peut

$$\text{s'écrire avec } T^U = \frac{c \cdot SP \cdot L}{D_v} \quad \text{« min »} \quad (39)$$

Avec SP : Section de préparation de l'entité « q » d'un assemblage « cm² ».

L : Longueur de soudage de l'assemblage « cm ».

c : Coefficient de complexité qui est fonction de la forme de la préparation.

D_v : Débit volumique d'usinage « cm³/min ».

3.3.2 Entité Coût pointage

Le pointage permet une disposition conforme des deux pièces à souder. Il permet la présentation des bords l'un par rapport à l'autre et par la suite, il contrôle l'écartement « g » tout a long de « L » longueur de soudage.

La figure 3.4 représente une schématisation du processus de pointage pour une entité de préparation en V. Avec L_0 : longueur minimale entre deux points de soudure

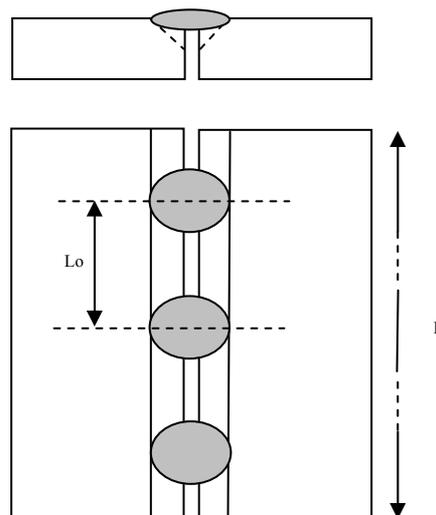


Figure 3.4 Paramétrage du Pointage

Pour avoir une représentation causale des consommations de temps de pointage, il faut bien choisir l'inducteur qui correspond à l'activité de pointage. Comme cela a été évoqué

précédemment, les inducteurs sont issus des caractéristiques produit et de son processus de production. Il est nécessaire de connaître quel paramètre produit/process influence quelle Entité Coût.

Il est clair que l'inducteur de l'EC Pointage le plus concluant est fonction de la longueur à souder. On prend alors « $\frac{L}{L_0}$ » comme inducteur de l'Entité Coût Pointage.

On présente dans la figure 3.4 l'exemple d'une EC Pointage pour la préparation de l'entité bout à bout en V.

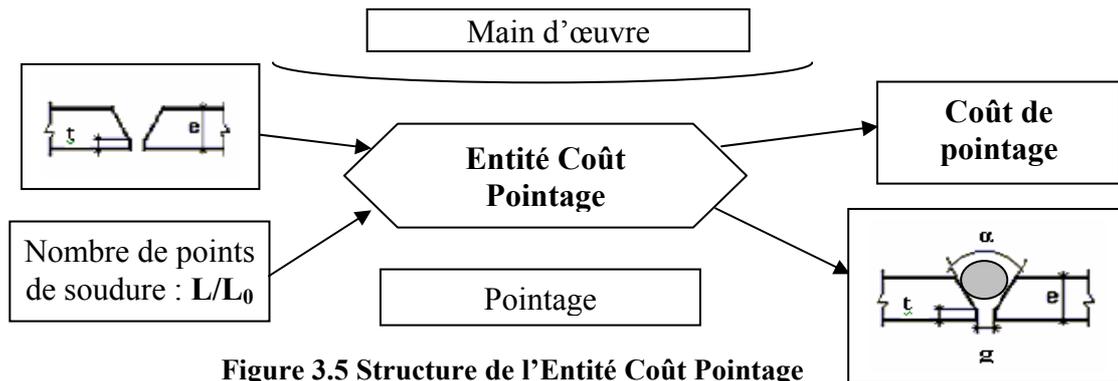


Figure 3.5 Structure de l'Entité Coût Pointage

On note « α_p » le Coefficient qui mesure la consommation du temps pour réaliser un point de soudure. Il est clair qu'il est fonction de la géométrie du produit et d'accessibilité de l'opérateur.

$$\alpha_p = \lambda \cdot T_0 \tag{40}$$

Avec λ : Le coefficient de maintenance, avec $\lambda \geq 1$

T_0 : Le temps élémentaire pour réaliser un point de soudure « min ».

- Le coût des ressources de l'Entité Coût Pointage se compose principalement du coût de main d'œuvre et du coût de consommation en soudage pour le pointage

1- Le coût de main d'œuvre pour le pointage s'écrit $C_{MO}^{ECP} = \frac{L}{L_0} \cdot \alpha_p \cdot C_p$ (41)

Ou encore $C_{MO}^{ECP} = \lambda \cdot T_0 \cdot \frac{L}{L_0} \cdot C_p$ (42)

Avec C_p : Coût horaire de la main d'œuvre pour l'opération de pointage

- 2- Le coût des points de soudure C_{MA}^{ECP} est négligeable devant le coût total de soudage C^S .

Le coût de pointage est la somme des coûts des ressources qui composent l'Entité Coût Pointage

$$C^P = C_{MO}^{ECP} + C_{MA}^{ECP} \tag{43}$$

- Le temps de pointage T^P pour une Entité Coût Préparation est donné par :

$$T^P = \lambda \cdot T_0 \cdot \frac{L}{L_0} \text{ « min »} \tag{44}$$

Il est essentiel que le positionnement des bords à souder soit correct pendant toute la durée de la soudure, afin que les règles générales d'exécution restent valables à tout moment. Actuellement, les soudeurs utilisent de plus en plus des dispositifs de maintien ou montages de soudage, appelés encore « positionneurs » ou « mannequins ». On ne développe pas les coûts engendrés par l'opération de positionnement car ils font l'objet d'une étude approfondie de conception pour la détermination de l'inducteur convenable de l'EC Positionnement. Ceci dépasse la durée accordée à ce projet.

3.4 Estimation des Coûts de soudage

3.4.1 Application de l'Entité Coût Soudage

Suite à la modélisation analytique réalisée dans le chapitre précédent et d'après la relation (26) qu'on a déterminée qui exprime le temps de soudage, on constate qu'on peut l'écrire sous la

$$\text{forme : } T^S = \frac{p \cdot m_a}{\varphi \cdot D_a} \quad (45)$$

Avec, m_a la masse du métal d'apport qui est donnée par $m_a = \frac{\rho \cdot d}{\eta} \text{ SS} \cdot L$

On a remarqué qu'on a validé l'approche Entité Coût à l'opération de soudage. En effet, si on prend la masse de matière à ajouter comme l'inducteur de l'opération de soudage alors on pourra écrire que le coefficient de consommation (en MO) du temps de soudage noté « α_s » par :

$$\alpha_s^{\text{MO}} = \frac{p}{\varphi \cdot D_a} \text{ « min / g »} \quad (46)$$

On présente dans la figure 3.5 l'exemple d'une Entité Coût Soudage pour le cas d'une entité de soudage bout à bout en V.

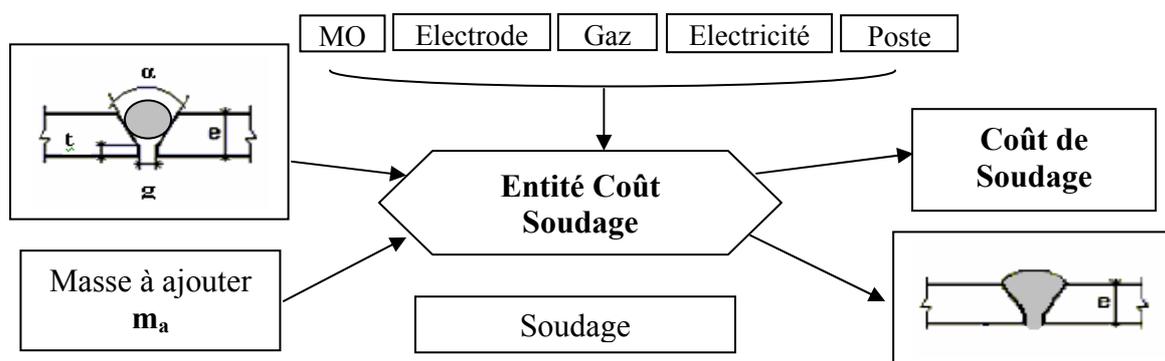


Figure 3.6 Structure de l'Entité Coût Soudage

Après avoir estimé les temps de l'arc et le temps de soudage dans le chapitre précédent, il est possible de procéder à un calcul détaillé des coûts de chacune des consommations déclenchées durant l'activité de soudage.

3.4.2 Démarche d'estimation du coût de soudage

Le temps total consacré au soudage « T^S » comprend d'une part le temps de fusion « T_{arc} », d'autre part les temps morts (temps de non soudage) pendant lesquels s'exécutent les réglages, le piquage du laitier, le changement d'électrode, etc.

a) Le coût de la main d'œuvre est $C_{MO}^S = m_a \cdot \alpha_s \cdot C_s$ (47)

Avec : C_s : coût horaire de la main d'œuvre « DT/min ».

b) Le coût de la consommation de l'électrode est $C_{EL}^S = m_a \cdot C_e$ (48)

Avec : C_e : coût de l'électrode par unité de masse « DT/g ».

Il est clair que le coefficient de consommation de la ressource « électrode » est $\alpha_s^{Electrode} = 1$

c) Le coût de la consommation de gaz est $C_{GA}^S = \frac{D \cdot \chi}{D_a} \cdot m_a \cdot C_g$ (49)

Avec D : La densité du gaz de protection « g de gaz / cm^3 »

χ : Le débit volumique du gaz « cm^3/min ».

C_g : Coût de gaz par unité de masse « DT/ g de gaz ».

Le coefficient de consommation de la ressource « gaz » est $\alpha_s^{Gaz} = \frac{D \cdot \chi}{D_a}$ « g de gaz / g d'électrode »

d) Le coût de consommation de l'énergie électrique est $C_{EE}^S = \frac{U \cdot I \cdot m_a}{60 \cdot \mu \cdot D_a} C_k$ [19] (50)

Avec I : L'intensité du courant « A ».

U : La tension du courant électrique « V ».

C_k : Le coût de l'énergie électrique « DT/kWh ».

μ : Le rendement moyen du transformateur.

Le coefficient de consommation de l'électricité est $\alpha_s^{EL} = \frac{U \cdot I}{60 \cdot \mu \cdot D_a}$ « kWh/g ».

e) Le coût d'utilisation du poste de soudage : il correspond au coût engendré lorsque le poste est en fonctionnement, son détermination nécessite la connaissance du coût horaire machine de soudage « C_{ms} ». Il s'exprime de la façon suivante :

$C_{Ma}^S = \frac{m_a}{D_a} \cdot C_{ms}$ (51)

Le coefficient de consommation de la ressource (utilisation poste) est $\alpha_s^{Poste} = \frac{1}{D_a}$ « min / g »

Le coût de soudage est la somme des coûts élémentaires : main d'œuvre, consommation de l'électrode, consommation du gaz de protection, la consommation de l'électricité et d'utilisation du poste de soudage. Il s'écrit sous la forme :

$$C^S = C_{MO}^S + C_{EL}^S + C_{GA}^S + C_{EE}^S + C_{MA}^S \quad \text{« DT »} \quad (52)$$

En tout état de cause, le coût de matière première n'est pas à négliger. Il est clair qu'il se conserve pendant l'opération de soudage.

3.5 Le modèle global d'estimation des coûts en Soudage

L'objectif est de fournir un modèle informationnel qui intègre les informations nécessaires à la définition du produit et de son processus de fabrication, de manière à assurer une estimation des coûts.

Le modèle proposé (voir figure 3.7) manipule quatre notions clés : l'assemblage, l'entité, l'opération et l'Entité Coût. Nous proposons ainsi deux axes dans ce modèle. Le premier est celui d'une description géométrique et spécifique de l'assemblage en entités de soudage et en entités de préparation. Le deuxième axe exprime de quelle façon sont réalisées ces entités, c'est-à-dire quelles sont les processus proposés du point de vue fabrication.

C'est dans le cadre de ce découpage que se confirme l'idée déjà exprimée qu'en matière d'estimation des coûts il faut faire du « sur mesure ». Si dans les limites d'un même domaine professionnel, d'un même secteur d'activité, des problèmes communs peuvent se rencontrer, chaque entreprise n'en conserve pas moins son individualité propre en raison en particulier, de sa dimension.

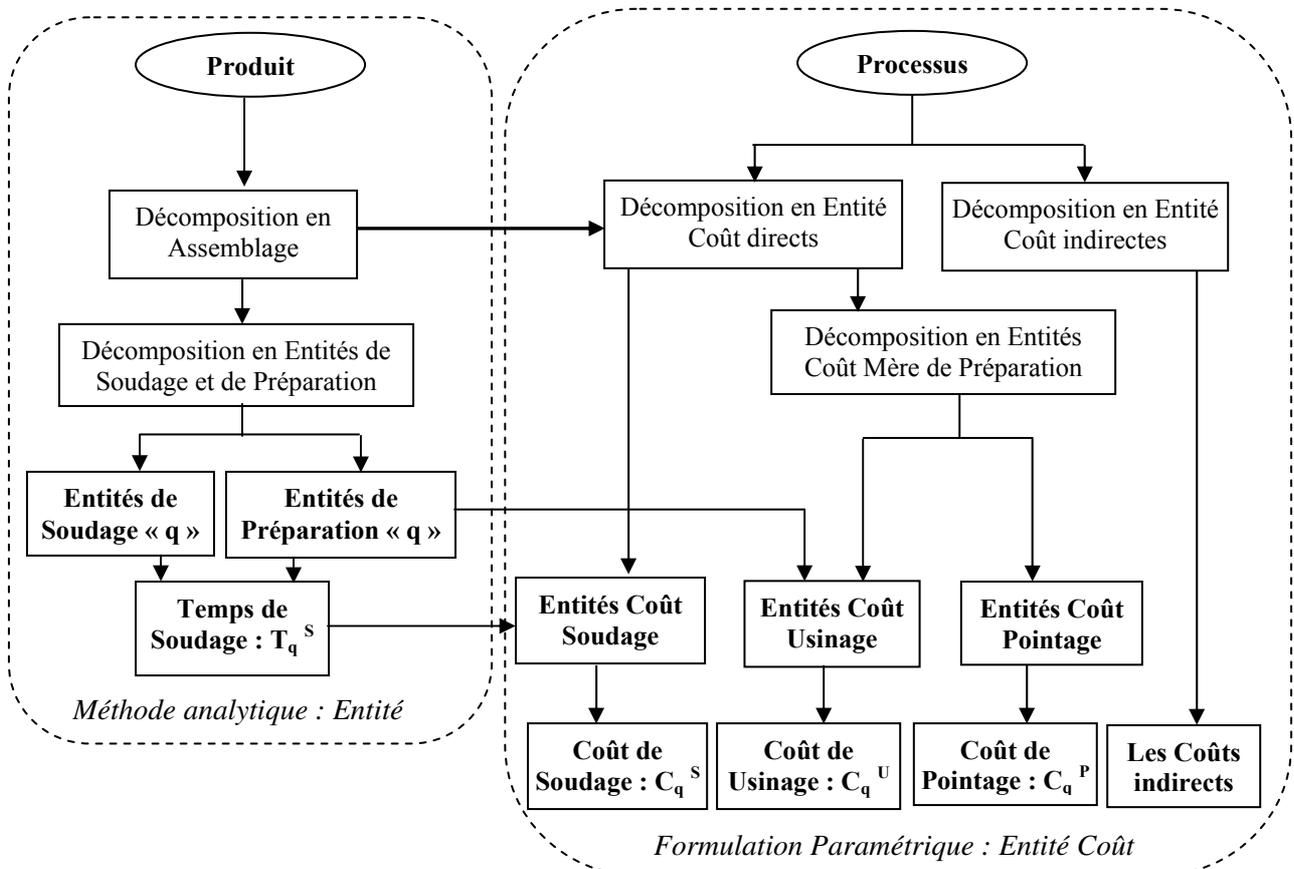


Figure 3.7 Modèle proposé pour l'estimation des coûts en soudage

- Le temps total de soudage d'une entité « q » est la somme du temps d'usinage, temps de pointage et le temps soudage $T_q^T = T_q^S + T_q^U + T_q^P$ « min » (53)

Dans le cas d'un assemblage bout à bout, on rappelle les expressions des temps de soudage, d'usinage et de préparation pour une entité « q » sont :

D'après la relation (26), le temps de soudage $T_q^S = \frac{\rho \cdot p}{\varphi \cdot \eta} \cdot \frac{d}{D_a} \cdot SS_q \cdot L_{i,j}$

D'après la relation (39), le temps d'usinage $T_q^U = \frac{c \cdot SP_q \cdot L_{i,j}}{D_v}$

D'après la relation (44), le temps de pointage $T_q^P = \lambda \cdot T_0 \cdot \frac{L_{i,j}}{L_0}$

Le temps de préparation est la somme du temps d'usinage et du temps pointage.

Le coût total de soudage d'une entité « q » est la somme du coût d'usinage, coût de pointage et du coût de soudage $C_q^T = C_q^S + C_q^U + C_q^P$ (54)

Le coût total de soudage d'un assemblage (i,j) est alors la somme de tous les coûts de soudage des entités qui lui composent :

$$C^T(i, j) = \sum_{q=1}^{k(i,j)} C_q^T \quad (55)$$

Avec $k(i,j)$: le nombre d'entités de soudage de l'assemblage (i,j)

Le coût de soudage du produit « P » est alors la somme des coûts de soudage des assemblages qui lui composent $C^T = \sum_{i \leq j} C^T(i, j) \cdot A_{i,j}$ (56)

$$\text{Ou plus détaillé } C^T = \sum_{i \leq j}^{n,n} A_{i,j} \sum_{q=1}^{k(i,j)} C_q^T \quad (57)$$

L'identification des EC traversées par le produit est une tâche complexe pour des différentes raisons :

- Une croissance des activités indirectes liées aux produits. Leur estimation demande un suivi précis du processus de production nécessaire à la réalisation du produit.
- Une évolution technologique permettant à un même assemblage d'être obtenu par différents procédés de soudage et avec plusieurs types de préparation.
- Des contraintes de préparation et de soudage liées aux précédences entre les opérations de fabrication doivent être prises en compte au plus tôt. Cette connaissance est nécessaire pour l'estimation des coûts de préparation des postes de soudure et de manutention.

Pour remédier à ces problèmes, il est nécessaire d'appliquer en plus la modélisation des connaissances, la modélisation des raisonnements pour la génération des entités de soudage et de

préparation et l'identification des Entités Coût ainsi que leurs inducteurs convenables à l'aide des analyses des contraintes, intégration d'un système expert et ceci pour la capitalisation de l'expertise d'estimation des coûts. Ce qui dépasse la durée accordée à ce projet et qui nous donne une réflexion pour la préparation d'une thèse.

3.6 Conclusion

Ce chapitre a porté sur les concepts et les principes de base de notre nouvel modèle d'estimation des coûts en soudage. Il a permis d'introduire l'approche de modélisation des connaissances, de décrire la méthodologie de l'estimation des coûts d'un produit en se basant sur sa décomposition en entités de fabrication et l'attribution des Entités Coût. En effet, il existe un certain nombre de causes différentes (choix et dimensions des entités de fabrication, l'ordonnancement des opérations de soudages entre les divers assemblages, le choix des postes de soudages, etc.) pouvant avoir un impact sur les coûts engagés. Lorsque ces différentes causes sont liées, il n'est plus possible d'obtenir un coût par agrégation de coûts élémentaires. En effet, calculer un coût global en additionnant des coûts individuels suppose une absence de corrélation statistique entre ces coûts individuels.

Enfin, on peut remarquer que le modèle proposé consiste à combiner deux méthodes d'estimation de coûts appliquées au produit et au processus : d'une part, on a utilisé la méthode analytique pour la formalisation du temps de soudage, de consommation d'électrode et de consommation de gaz en fonction des différents paramètres des entités de soudage et de préparation. D'autre part, on a utilisé la méthode paramétrique pour la structuration des coûts engendrés par les différentes Entités Coût qui composent le processus de soudage : préparation, pointage et soudage.

Dans le chapitre suivant, on présente la maquette informatique développée sous Microsoft Access, puis on traite quelques exemples afin de valider les concepts et les techniques qui ont été abordés dans les chapitres précédents.

4.1 Introduction

Après avoir présenté dans le chapitre précédent le modèle global d'estimation des coûts de soudage, on expose à présent l'intérêt, d'un point de vue pratique, de l'approche proposée à travers des exemples. Face à cet objectif, il est important d'identifier clairement les étapes de ce chapitre.

La première étape consiste à la conception de la base de données support de l'estimation des coûts dans une entreprise. Puis, en appliquant la démarche standard de programmation, on donne le schéma relationnel de la base de données suivant le modèle Entité Association. Ensuite, on spécifie les problèmes à résoudre afin de valider les concepts et les techniques qui sont abordés dans les deux chapitres précédents.

La deuxième étape consiste à traiter en premier lieu, un exemple détaillé « silo de stockage d'huile » proposé par la société MDI : Montage et Développement Industriel et en deuxième lieu, une comparaison avec un exemple « Châssis » traité par l'application DEVISSOUD de CETIM Senlis France.

4.2 Conception d'une base de données

La conception d'une base de données est indispensable pour le développement d'une application viable. Dans ce projet, on a utilisé le modèle Entité Association (EA) comme solution d'un Modèle Conceptuel de Données (MCD) qui se repose sur une représentation graphique. Il facilite considérablement sa compréhension. Il est suffisamment puissant pour représenter des structures relationnelles [26].

Le modèle EA, conçu en 1976 par Peter CHEN [26], est à la base de la plupart des méthodes de conception d'une base de données. Il se repose sur deux concepts complémentaires « entité » et « association ».

4.2.1 La structuration du modèle Entité Association (EA)

Le modèle EA représente la structure logique globale d'une base de données, indépendamment du logiciel ou de la structure de stockage des données. Un modèle conceptuel contient toujours des données qui ne sont pas encore mises en oeuvre dans la base de données physique. Il constitue une représentation formelle des données nécessaires au fonctionnement d'un modèle [27].

Le Modèle Conceptuel des Données est représenté par les interactions entre les différents objets. Chaque objet est décrit dans le tableau 4.1 ainsi que son équivalent en modèle EA.

Objet du MCD	Outil du modèle EA	Description
Domaine	--	Ensemble de valeurs pour lesquelles une information est valide
Information	--	Elément d'information de base
Entité		Personne, lieu, chose ou concept dont les caractéristiques présentent un intérêt pour le modèle et au sujet duquel on souhaite conserver des informations
Attribut d'entité	--	Elément d'information de base attaché à une entité
Identifiant	--	Attribut d'entité, ou groupe d'attribut d'entité dont les valeurs identifient de manière unique chaque occurrence de l'entité
Association		Connexion portant un nom ou association entre des entités (méthodologie de modélisation Merise)
Lien d'association		Lien entre une association et une entité et sur lequel on définit la cardinalité qu'une entité a vis à vis d'une autre
Relation		Connexion portant un nom ou relation entre entités (méthodologie de modélisation Entité Relation)

Tableau 4.1 La description des différents objets du modèle EA[31]

La démarche de la méthode EA réside dans les cinq étapes suivantes :

Identifier les entités les plus naturelles sous forme de sujets et compléments.

Lister toutes les informations et tous les paramètres par enregistrement.

Exemple : client, produit, procédé de soudage, intensité de soudage, position de soudage, type de soudage, gaz de soudage, conditions d'exécution, métal de base, entité de soudage etc.

Identifier les associations entre ces entités (verbes n'exprimant pas de dépendances fonctionnelles).

Exemple : choisir un type de préparation par procédé de soudage, affecter un modèle pour calculer un coût, choisir une intensité pour un procédé de soudage.

Identifier les attributs et les identifiants de ces entités et de ces associations (compléments de verbe exprimant des dépendances fonctionnelles).

Exemple : un procédé donné, code, efficacité du procédé, efficacité de l'opérateur, source d'énergie etc.

Exprimer et énumérer les cardinalités pour chaque lien d'association et relation.

Pour calculer la cardinalité, il est convenu de se « positionner » sur l'entité concernée et regarder « en face » combien de fois l'une de ses occurrences participe à l'association, puis se

« déplacer » du côté de l'autre entité et répéter dans l'autre sens. On obtient ainsi un couple qu'on appelle cardinalité. Quatre cas sont passibles et ils sont présentés dans le tableau 4.2.

Exemple : un client peut demander un devis d'un ou plusieurs produits. Le même produit peut être demandé par un ou plusieurs clients.

Couple	Description
0, 1	Une occurrence participe au moins 0 fois et au plus 1 fois à l'association
1, 1	Une occurrence participe exactement 1 fois à l'association
0, N	Une occurrence peut ne pas participer ou participer plusieurs fois
1, N	Une occurrence participe au moins 1 fois, voire plusieurs

Tableau 4.2 Configurations des cardinalités possibles dans un modèle EA [31]

4.2.2 Passage d'un modèle EA en schéma d'une BDR

Les règles de passage d'un modèle EA en schéma logique d'une Base de Données Relationnelles BDR sont totalement formalisables, on appelle souvent cette étape « génération de code ». Cette étape est indispensable pour optimiser les ressources de stockage des données, on cite les règles qu'on a utilisées dans notre projet.

a) Règle de passage n°1 :

Toute entité devient une relation dans laquelle :

Les attributs traduisent les propriétés de l'entité.

La clé primaire traduit l'identifiant de l'entité.

Toute classe d'entités du diagramme EA est représentée par une relation dans le schéma relationnel équivalent. La clé de cette relation est l'identifiant de la classe d'entités correspondante.

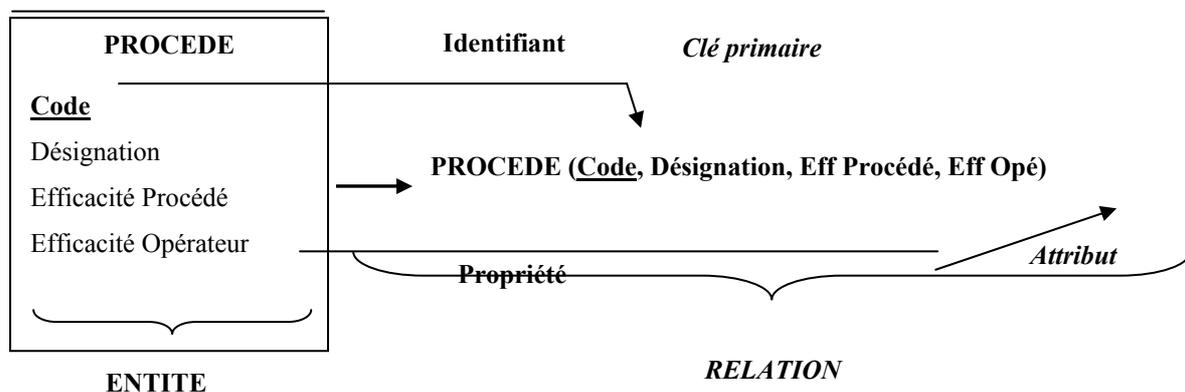


Figure 4.1 Schématisation de la première règle de passage

b) Règle de passage n° 2 :

Une association avec cardinalité (1,1) se réécrit en :

Portant, dans la relation fille, la clé primaire de la relation mère. L'attribut, ainsi ajouté, s'appelle clé étrangère. Par convention, il est symbolisé au moyen de #.

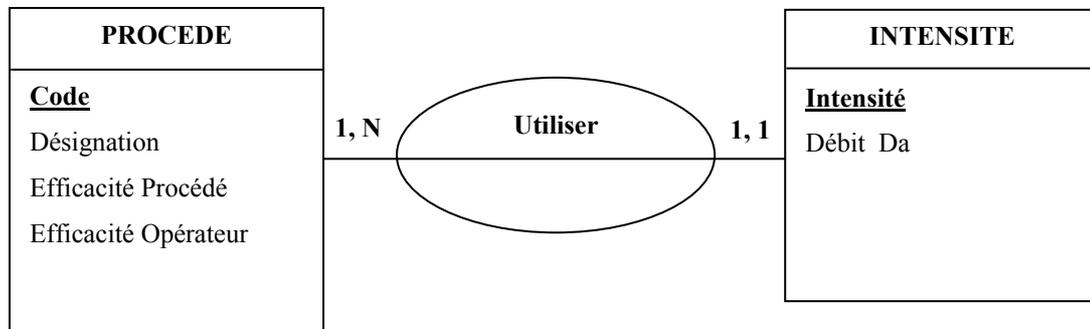


Figure 4.2 Schématisation de la deuxième règle de passage

Fille : INTENSITE (Intensité, Débit, #Cdprocédé)

Mère : PROCÉDE (Code, Désignation, Eff Procédé, Eff Opé)

c) Règle de passage n° 3 : Une association avec cardinalité plusieurs à plusieurs se réécrit en :

Créant une relation particulière qui contient comme attributs les identifiants des deux entités associées.

Ces attributs constituent à eux deux la clé primaire de la relation.

Ils sont individuellement clés étrangères.

Ajoutant la ou les éventuelles propriétés de l'association à cette relation.

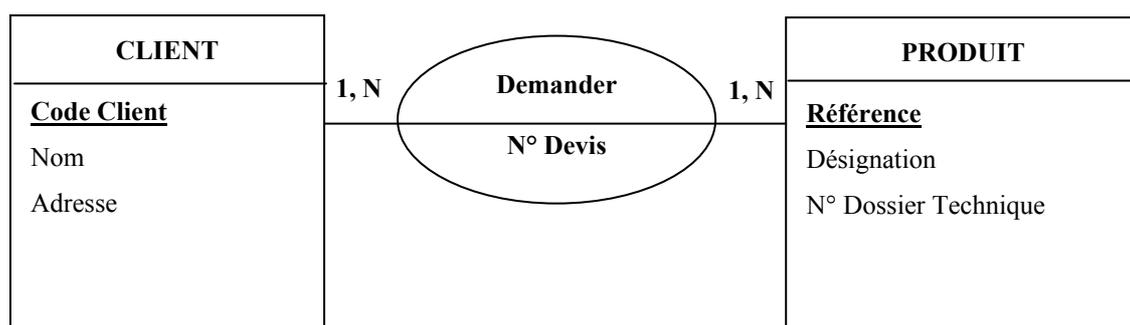


Figure 4.3 Schématisation de la troisième règle de passage

CLIENT (Code Client, Nom, Adresse)

PRODUIT (Référence, Désignation, N° dossier)

DEMANDER (#CodeClient, #RéfPro, N°Devis)

Clé primaire : #CodeClient

Clés étrangères : #CodeClient et #RéfPro

Dans le cas de cardinalités minimales à 0, la règle s'applique aussi de la même façon.

4.2.3 Le schéma de la Base de Données Relationnelles

En appliquant toutes les règles de passage du modèle EA au schéma BDR on obtient le schéma conceptuel des données schématisé par les figures 4.4 et 4.5.

Outre les propriétés déjà évoquées (simplicité et clarté de lecture), évidentes sur ces schémas, on peut noter aussi que la modélisation conceptuelle est totalement indépendante de tout choix d'implantation. Ils ne spécifient aucun système en particulier. Il n'est pas non plus question de type ou de structure de données, d'algorithme, de langage, etc. Il s'agit de la partie la plus stable d'une application.

Une fois, le schéma de BDR est obtenu, on va le mettre en œuvre via un SGBD (Système de Gestion de Base de Données) de manière à prévoir une application simple, il a paru intéressant donc d'utiliser Microsoft Access.

L'outil informatique développé permettra d'associer à une pièce mécanique les différents assemblages et entités. Il permet de déterminer les temps et les coûts de soudage et de préparation. Conscients du manque d'intérêt d'une automatisation de l'estimation des coûts, on a orienté le travail vers l'aide à la décision.

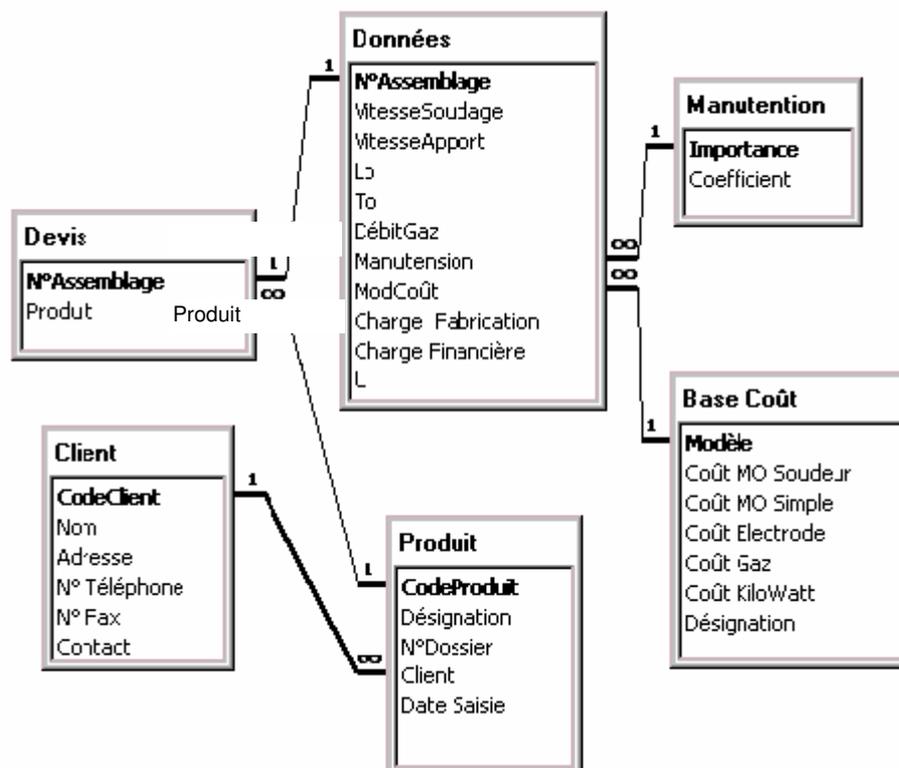


Figure 4.4 Le schéma physique de la Base de Données pour l'estimation des coûts

La figure 4.4 montre les interactions des différents paramètres pour caractériser une fiche entité. Cette fiche est formée par une entité de soudage et une entité de préparation.

On s'oriente vers l'automatisation de l'approche analytique d'estimation de coûts d'une entité de soudage en faisant appel aux principes de liaisons logiques de la BDR.

La base de données technique, schématisée par la figure 4.5, constitue en majorité une bibliothèque du savoir faire de l'entreprise : les procédés utilisés, les préparations, les métaux, gaz etc. La liaison entre les deux bases de données schématisées par les figures 4.4 et 4.5 se fait selon la décomposition du produit en fiches entité.

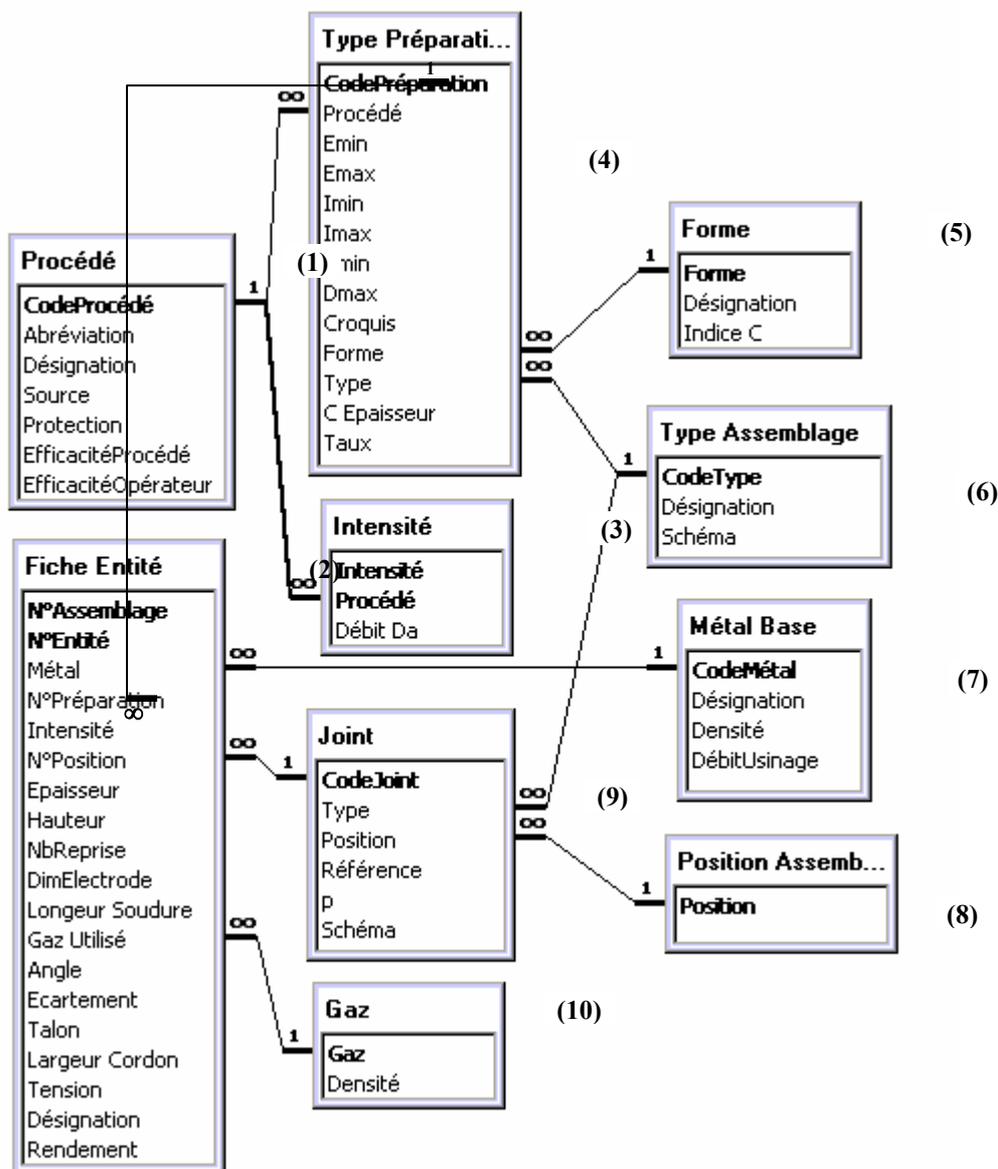


Figure 4.5 Le schéma physique de la Base des données Technique

4.3 Développement informatique (Microsoft Access)

Pour des raisons de simplicité, on ne présente que très succinctement l'expertise de soudage en terme de contenu. En effet, l'objectif n'est pas ici de prétendre à l'exhaustivité de l'expertise de

ce domaine. Il est plutôt un (ou des) exemple(s) de critères ainsi d'une ou plusieurs règles permettant de montrer leur utilisation à des fins d'estimation des coûts.

L'objectif de cette étude est de réaliser un outil simple et rapide à l'élaboration des coûts dans le domaine de soudage à partir du modèle développé.

4.3.1 Structure de l'application

On a développé la maquette à l'aide d'un système de gestion de bases de données relationnelles (SGBDR) : Microsoft Access. Ce choix permet de définir rapidement et de manière efficace des bases de données importantes et robustes et dont l'accès par l'intermédiaire de requête SQL (Structured Query Language) est très aisé. On a géré toutes les informations de l'application à partir d'un fichier de base de données. Dans ce fichier qu'on a appelé « SOUDABASE », on a utilisé les éléments suivants :

Des tables afin de stocker les données.

Des requêtes afin de rechercher, extraire et calculer les données souhaitées.

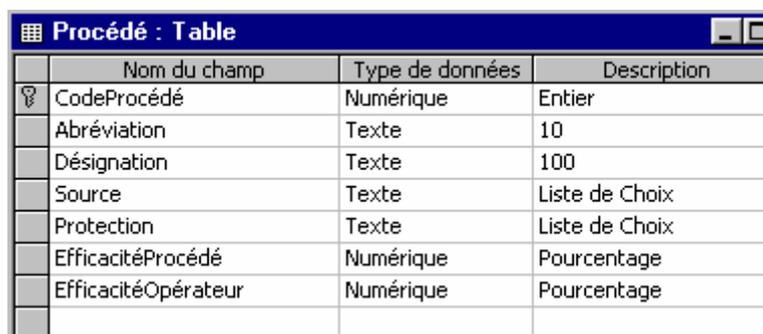
Des formulaires afin d'afficher, ajouter et mettre à jour les données dans les tables.

Des états afin d'analyser ou imprimer des données sous une mise en page spécifique.

a) La création des tables (entité et relation)

Pour stocker les données, on a créé une table pour chaque type d'informations (type d'assemblage, type de préparation, entité de soudage etc.). Pour rassembler les données de plusieurs tables dans une requête, un formulaire, un état ou une page d'accès aux données, on a défini des relations entre les tables.

Par exemple, les informations sur les procédés de soudage sont accessibles dans la table « Procédé » présentées dans la figure 4.6. Un numéro d'identification unique (clé), tel que le Code Procédé, permet de distinguer un enregistrement à un autre. En ajoutant un champ d'identification unique d'une table à une autre et en définissant une relation, Microsoft Access peut faire correspondre des champs associés des deux tables pour les rassembler dans un formulaire, un état ou une requête.



	Nom du champ	Type de données	Description
PK	CodeProcédé	Numérique	Entier
	Abréviation	Texte	10
	Désignation	Texte	100
	Source	Texte	Liste de Choix
	Protection	Texte	Liste de Choix
	EfficacitéProcédé	Numérique	Pourcentage
	EfficacitéOpérateur	Numérique	Pourcentage

Figure 4.6 Structure de la table PROCEDE (exemple avec une seule clé)

La puissance d'un programme de bases de données relationnelles comme Microsoft Access provient de sa capacité à trouver et réunir rapidement des informations stockées dans des tables séparées en utilisant des requêtes, des formulaires, et des états. A cette fin, chaque table doit inclure un champ ou un ensemble de champs qui identifie, de manière unique, chaque enregistrement stocké dans la table. Cette information est appelée la clé primaire de la table. Une fois que vous avez désigné une clé primaire pour une table, Access empêchera que des doublons ou des valeurs « Null » ne soient entrées dans les champs Clé primaire.

Un assemblage peut comporter plusieurs entités. C'est pourquoi la table « fiche entité » présente deux clés. Elle est schématisée dans la figure 4.7 suivante :

Nom du champ	Type de données	Description
N°Assemblage	Numérique	Entier
N°Entité	NuméroAuto	Entier
Métal	Texte	50
N°Préparation	Numérique	Entier
Intensité	Numérique	Entier
N°Position	Numérique	Entier
Epaisseur	Numérique	Réel Simple
Hauteur	Numérique	Réel Simple
NbReprise	Numérique	Entier
DimElectrode	Numérique	Réel Simple
Longueur Soudure	Numérique	Réel Simple
Gaz Utilisé	Texte	Liste de Choix
Angle	Numérique	Entier
Ecartement	Numérique	Réel Simple
Talon	Numérique	Réel Simple
Largeur Cordon	Numérique	Réel Simple
Tension	Numérique	Entier

Figure 4.7 Structure de la table FICHE ENTITE (exemple avec deux clés)

b) La création des requêtes

Les requêtes sont utilisées pour :

Ajouter ou supprimer des tables, des requêtes et des champs

Calculer à partir d'équations

Limiter les résultats à l'aide de critères

Trier les enregistrements

Par exemple, la requête de calcul du Volume de métal d'apport pour l'assemblage en angle se compose de :

Surface: [Largeur Cordon][Hauteur Cordon]*[Nb Reprise] /2*

Volume: [Longueur Soudure][Surface]*

Les données de cette requête sont à extraire de la table « fiche entité ». Ces données sont calculées pour chaque N°Entité et quand la forme de la table « Type de préparation » égale à celle en angle.

c) La création des formulaires

Un formulaire est utilisé essentiellement pour entrer et afficher des données dans la base de données. On utilise également un formulaire comme Menu général qui ouvre d'autres formulaires et des états dans la base de données ou comme boîte de dialogue personnalisée qui permet aux utilisateurs d'entrer des données et de les utiliser.

La plupart des formulaires sont liés à une ou plusieurs tables et requêtes dans la base de données. La source d'enregistrement d'un formulaire fait référence aux champs des tables et requêtes sous-jacentes. Un formulaire ne doit pas obligatoirement contenir tous les champs de chaque table ou requête sur lequel il se base. Un formulaire lié, stocke ou récupère les données de sa source d'enregistrement sous-jacente. D'autres informations du formulaire, telles que le titre, la date et le nombre de page, sont stockés dans la mise en forme du formulaire.

Par exemple, le formulaire PROCÉDE, présenté dans la figure 4.8 permet de saisir les données dans la table « Procédé ».

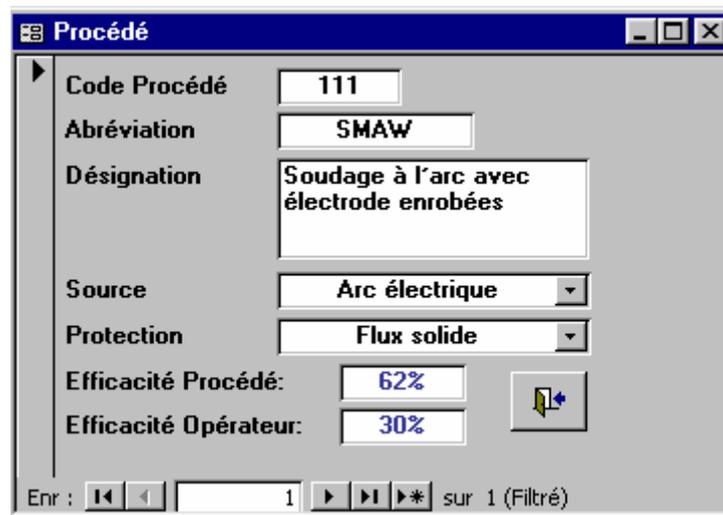


Figure 4.8 Structure du formulaire PROCÉDE

Chaque procédé de soudage est caractérisé par les champs présentés dans la figure 4.8

Un autre exemple est celui du formulaire Joint, présenté par la figure 4.9 permet de saisir les données dans la table « JOINT ».

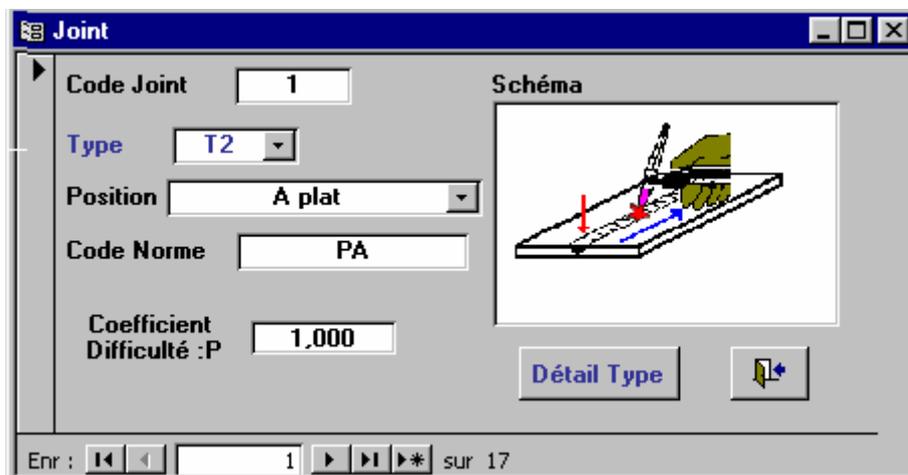


Figure 4.9 Structure du formulaire JOINT

d) La création des états

Les états permettent de diffuser et imprimer des documents qui seront transmis ou archivés. Par exemple, le détail d'un devis qui doit être envoyé au client.

4.3.2 Interface de l'application

Avant tout, pour utiliser l'application. Cela se fait comme habituellement dans Windows, en double-cliquant sur l'icône de raccourci dans l'écran du bureau. Une fois le logiciel lancé, on arrive dans l'écran de base de l'application qui est indiqué dans la figure 4.10. Le menu se décompose en quatre modules liés les uns aux autres :

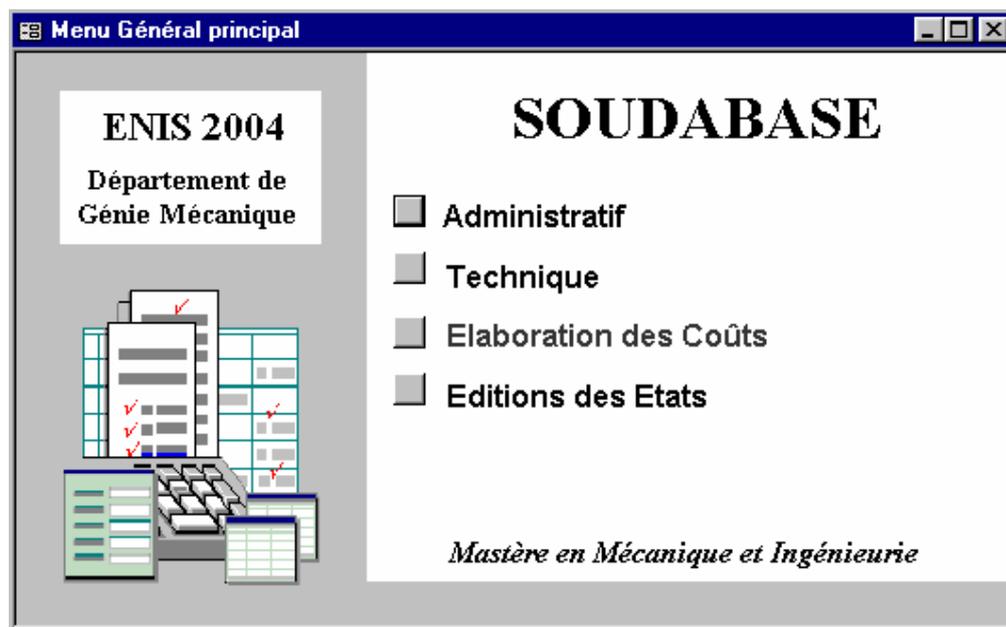


Figure 4.10 Menu Principal de l'application SOUDABASE

Le module « administratif » permet de gérer le portefeuille des clients de la société à l'aide de renseignements commerciaux. Il permet aussi d'introduire les caractéristiques du produit qu'on veut estimer les coûts.

Le dossier « technique » constitue la bibliothèque des matières utilisées avec leurs caractéristiques, des positions possibles de soudage et les types d'assemblage. Il comprend par exemple, le formulaire PROCÉDE de la figure 4.8 et le formulaire JOINT de la figure 4.9. Ce module comporte toutes les entités de soudage et les entités de préparation maîtrisées dans l'entreprise. A chaque type d'entité est associé un ensemble de paramètres techniques et géométriques.

Le module « élaboration des coûts » recueille les renseignements concernant l'élaboration des temps et des coûts avec la décomposition du produit en assemblages, paramétrages des entités de soudage et des entités de préparation, etc.

Le module « Edition des états » permet d'afficher à l'écran ou sur impression des détails de consommations des ressources ainsi que les coûts engendrés et ceci pour : un entité donnée, un assemblage et pour un produit.

L'application est conçue pour permettre la maîtrise de la phase délicate de la consultation du donneur d'ordre en supprimant tout risque d'erreur dans l'élaboration des coûts.

L'architecture de l'application est représentée dans la figure 4.11. Elle donne les sous modules de chaque module principal.

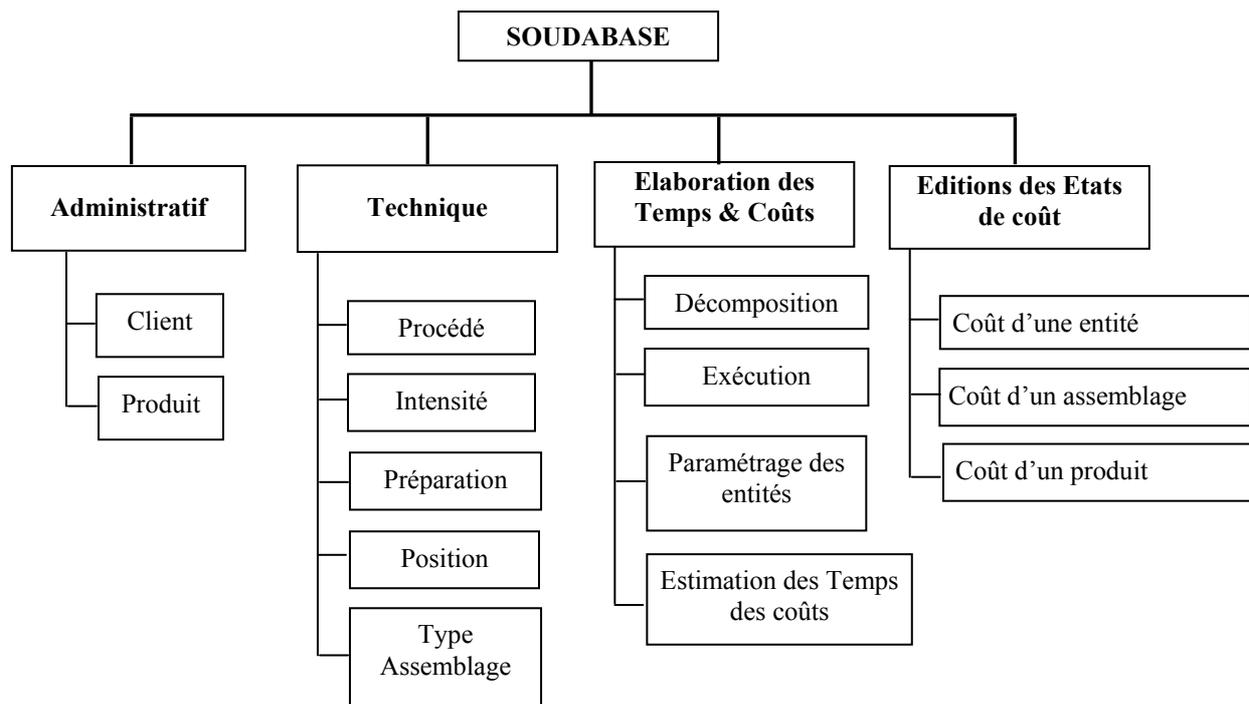


Figure 4.11 Architecture de la maquette informatique SOUDABASE

4.4 Résultats de l'application à travers un exemple

Plusieurs méthodes ont été mises en œuvre pour le recueil des informations indispensables à la préparation de la base de données et pour permettre de connaître mieux les spécificités des entreprises de soudage en Tunisie.

Afin de donner un aperçu de l'application SOUDABASE, on propose ici quelques écrans qui simuleront les différentes étapes d'une estimation. On va encoder un nouveau produit « P » pour un client existant nommé MASTERE.

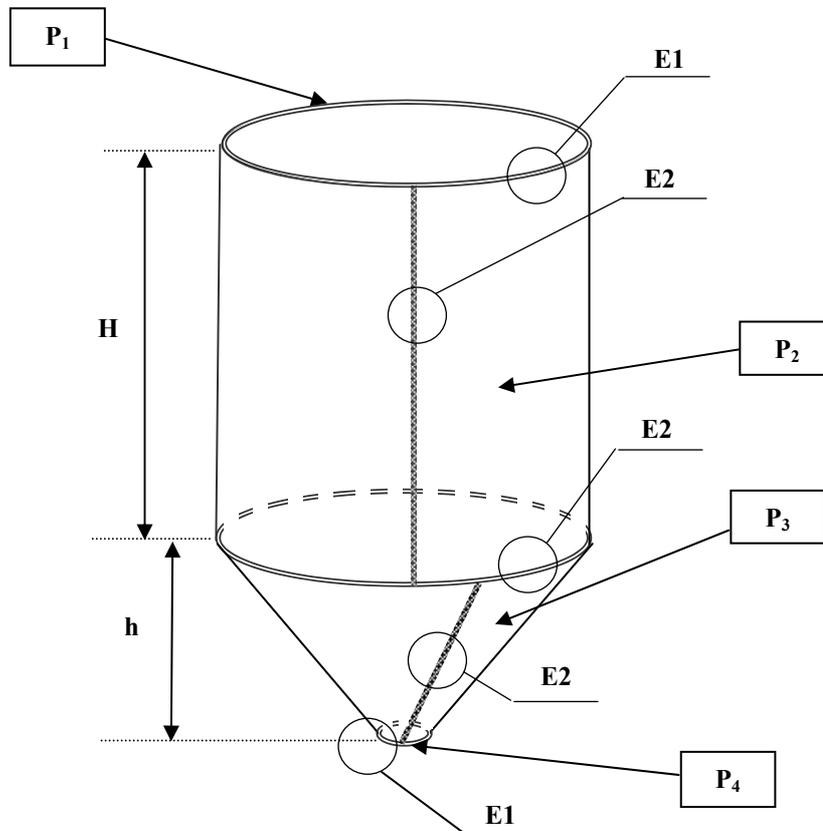
4.4.1 Spécification du problème à résoudre

a) Décomposition du produit

Le produit « P » pour lequel on a cherché à estimer les coûts de soudage est un corps d'une citerne pour le stockage d'huile d'olive schématisé dans la figure 4.12. Pour d'autres utilisations, il peut être considéré comme un ANTI BELIER. Il a servi à la structuration de la démarche

évoquée dans le deuxième chapitre et à la présentation des formulaires développés de SOUDABASE.

Ce produit est intéressant dans la mesure où il permet, de manière didactique, de mettre en évidence les problèmes d'estimation des coûts évoqués aux chapitres précédents.



Détails soudure

E1	E2

Figure 4.12 Le schéma du produit « Corps Citerne »

b) La matrice des assemblages et la matrice des longueurs

D'après l'analyse du dessin de définition du produit, on a établi les matrices d'assemblage et des longueurs qui sont évoquées au deuxième chapitre (voir page 38).

Le produit P se compose de :

Deux anneaux P₁ et P₄ de rayon respectif « R » et « r ».

D'un cylindre P₂ de rayon « R » et de hauteur « H »

D'un entounoir P₃ de hauteur « h », de grand rayon « R » et de petit rayon « r ».

Les matrices des assemblages et des longueurs sont définies par :

	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
P ₁	0	1	0	0
P ₂		1	1	0
P ₃			1	1
P ₄				0

Matrice des assemblages

	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
P ₁	0	2πR	0	0
P ₂		H	2πR	0
P ₃			$\sqrt{R^2 + h^2}$	2πr
P ₄				0

Matrice des longueurs

D'après le cahier des charges, fournie par le demandeur de devis, les valeurs numériques des cotations du produit « P » sont comme suit : H = 1.4 m, h = 0.17 m, r = 0.03 m et R = 0.47 m. Après l'application numérique, la matrice des longueurs s'écrit :

	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
P ₁	0	2,95	0	0
P ₂		1,4	2,95	0
P ₃			0,5	0,18
P ₄				0

En appliquant les équations obtenues dans le deuxième chapitre (1), (2) et (3), on constate que :

Le nombre d'assemblages dans le produit P est « N », $N = \sum_{i \leq j} A_{i,j} = 5$

Le nombre de couple total (entité de soudage, entité de préparation) est « N_e »,

On a $\forall i, j \in \langle 1,4 \rangle$; $k(i, j) = 1$ donc $N_e = \sum_{i \leq j} k(i, j) \cdot A_{i,j} = 5$

La longueur totale de soudure s'écrit :

$$L = \sum L_{ij} = L_{12} + L_{22} + L_{23} + L_{33} + L_{34} = 2,95 + 1,4 + 2,95 + 0,5 + 0,18 = 8 \text{ m}$$

c) Le regroupement par similarité

Le dessin de définition du produit « P » permet d'établir la définition des entités de soudage et de préparation. On cherche à mettre en évidence des relations d'exécutions des différents assemblages en les regroupant en entités homogènes suivant une certaine mesure de similarité.

On constate qu'il y a trois types d'assemblage : Type 1 pour les assemblages 1/2 et 3/4, Type 2 pour les assemblages (2,2), (3,3) et Type 3 pour l'assemblage 2/3

On distingue alors :

La longueur de l'assemblage de type 1 est $L_1 = L_{12} + L_{34} = 3,13 \text{ m}$

La longueur de l'assemblage de type 2 est $L_2 = L_{22} + L_{33} = 1,9 \text{ m}$

La longueur de l'assemblage de type 3 est $L_3 = L_{23} = 2,95 \text{ m}$

d) L'établissement des fiches entité

Pour chaque type d'entité on regroupe les paramètres de l'entité de soudage et de l'entité de préparation dans une fiche entité. La figure 4.13 présente l'exemple de la fiche entité pour le type 2.

Le métal de base utilisé est l'inox désigné par, suivant la norme AFNOR, Z6CN18-8 (0.6% de carbone, 18% de Chrome et 8% de Nickel).

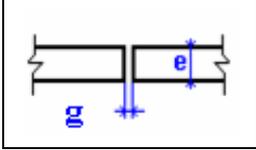
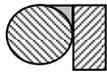
Type de Préparation	Sans	
Epaisseur	1,5 mm	
Ecartement ou jeu	1,8 mm	
Métal de base	INOX : Z6CN18-8	
Epaisseur	1,5 mm	
Type de l'assemblage	Simple en I	
Position du soudage	Verticale montante	
Procédé de soudage	TIG	
Nombre de reprise	2 (deux cotés)	
Intensité de soudure	60 A	
Diamètre de l'électrode	1,6 mm	
Nature du courant	Continu	
Rendement de l'électrode	100 %	
Gaz de protection	Argon	
Hauteur de soudage	0,15 mm	
Section de soudage	Modélisation (Figure 2.18)	

Figure 4.13 Exemple d'une Fiche Entité de l'assemblage 2/2

4.4.2 Estimation des coûts à l'aide de SOUDABASE

a) Saisie des fiches entités

Après décomposition, chaque type d'entité doit être paramétrée. On présente dans le tableau 4.3 les spécifications qui se différencient entre les trois types d'entité. L'application « SOUDABASE » permet de personnaliser au formulaire FICHE ENTITE ces spécifications.

Entité	Code	Longueur de soudage (m)	Position de soudage	Nombre de reprise	A (mm)	g (mm)	Entité Préparation
Type 1	1 /1	3,13	A plat	1	2,5	NA	
Type 2	1/2	1,90	Verticale	2	NA	1,5	

			montante				
Type 3	1/3	2,95	En corniche	2	NA	1,5	

Tableau 4.3 Les spécifications des différents types d'entités du produit « Corps citerne »

Après la réduction de la matrice des assemblages, le problème consiste à décomposer le produit en trois assemblages seulement et chaque assemblage lui correspond une entité. Plus simplement, on a considéré le produit comme un seul assemblage qui comporte trois entités de code 1, 2 et 3. Dans la figure 4.14 on présente l'exemple de paramétrage de la fiche entité pour l'entité de type « 2 » de l'assemblage « 1 » à l'aide de l'application SOUDABASE.

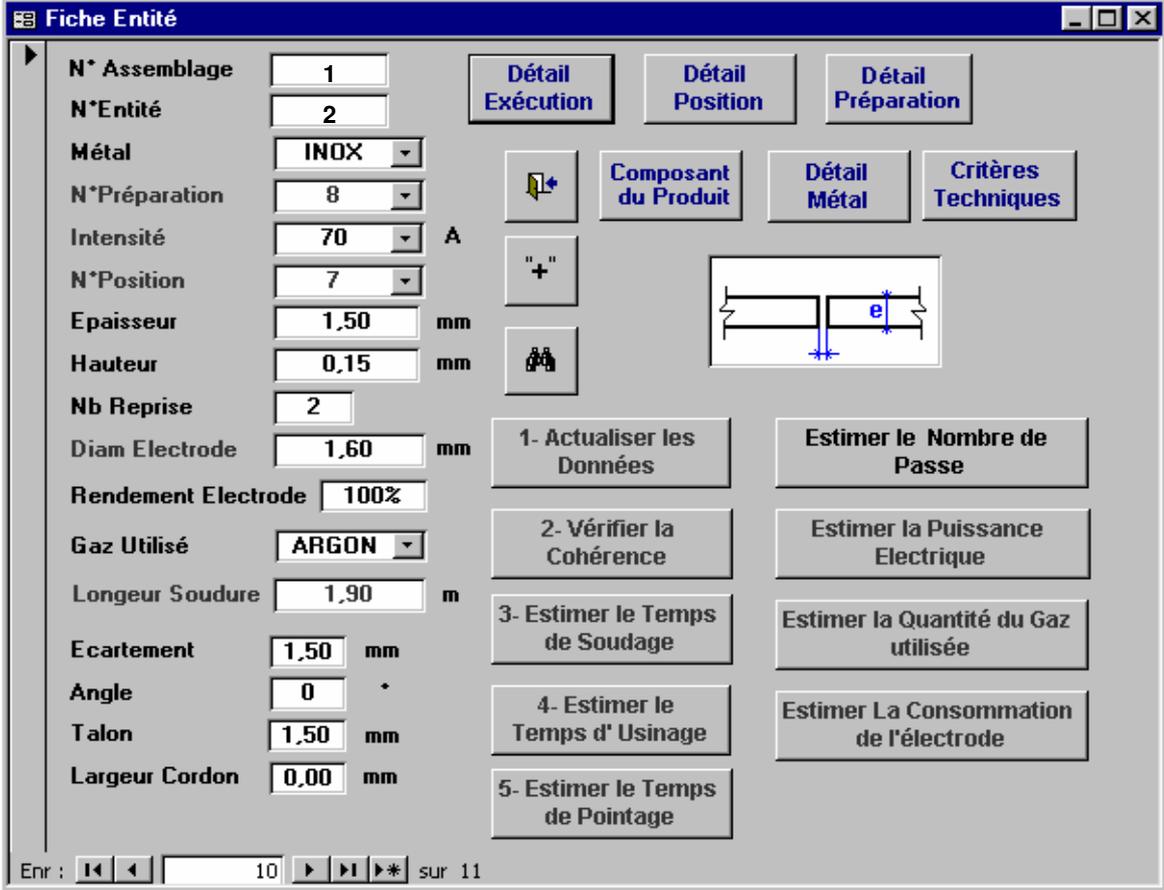


Figure 4.14 Menu de saisie d'une fiche entité

Les écrans de saisie tel celui de la fiche entité permettent de détailler chaque assemblage ou de spécifier une évaluation globale.

b) Vérification de la cohérence des données d'exécution

Dans le cas d'un procédé qui utilise une électrode fil, un test de cohérence peut alors être intéressant pour évaluer les choix techniques envisageables. Ce test est bien détaillé dans la figure 2.21 de la page 44.



Figure 4.15 Menu de la vérification de la cohérence des données d'exécution

Il est à signaler que, $D_{ac} = 0$ pour les procédés de soudage qui n'utilisent pas un fil électrode.

c) Estimation des temps de soudage et de préparation

Pour afficher les estimations des temps opératoires, il suffit d'appuyer sur le bouton correspondant du formulaire FICHE ENTITE de la figure 4.14.

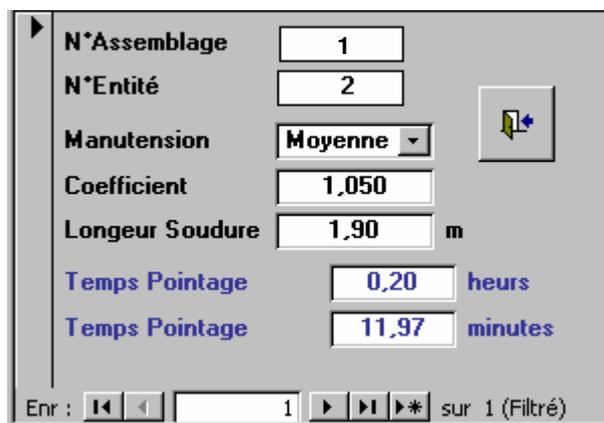


Figure a. Menu d'estimation du temps de pointage pour une entité

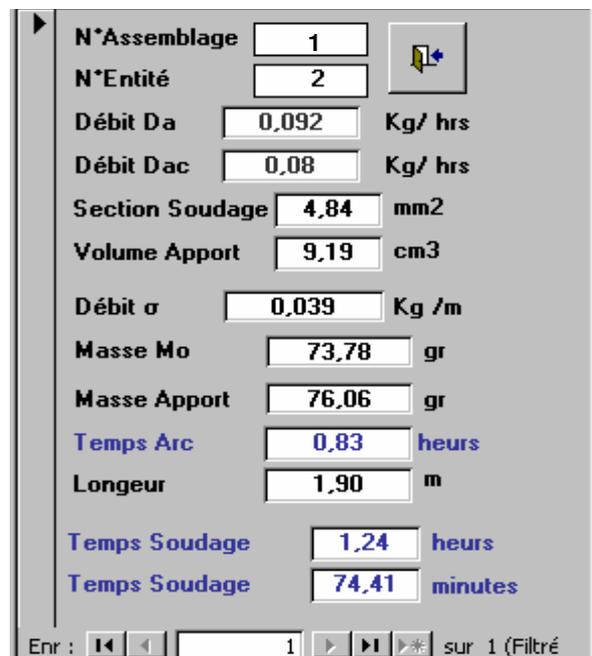


Figure b. Menu d'estimation du temps de soudage pour une entité

Figure 4.16 Menus d'estimation des temps pour une entité

En suivant la démarche décrite, on obtient les estimations pour chaque fiche entité. Elles sont représentées dans le tableau 4.4.

Entité	Code	Temps de soudage (heure)	Temps de préparation (heure)	Temps de pointage (heure)	Besoin Gaz (kg)	Besoin Electrode (kg)	Besoin Electricité (kWh)
1	1/1	0,84	0	0,16	0,25	0,052	0,79
2	1/2	1,24	0	0,20	0,37	0,076	1,16
3	1/3	2,03	0	0,31	0,59	0,121	1,84
Assemblage	1	4,11	0	0,67	1,21	0,249	3,79

Tableau 4.4 Estimation par SOUDABASE des différents types d'entités « Corps Citerne »

Après la définition des entités présentées dans l'assemblage, l'utilisateur doit introduire les coûts horaires des consommations pour aboutir à des coûts. Ainsi, on a associé un modèle de coût à chaque assemblage. Le modèle coût présente les différents coûts unitaires (main d'œuvre, gaz, électrode et électricité).

Pour les estimations des coûts et des temps, on utilise le bouton « Elaboration des coûts » dans le Menu général.

d) Estimation des coûts

Une fois les entités de l'assemblage sont paramétrées, l'application traite ces données. Les résultats du chiffrage seront présentés dans le formulaire « Fiche Coût » de la figure 4.17.

N°Assemblage	1	Détail Données	Commandé par	4000	
Pour le Produit	04		Nom	MASTERE	
Désignation	CORPS CITERNE			Adresse	ENIS 2004
Modèle Coût	2		Contact	Wafik HACHICHA	
N°Dossier	0		N° Téléphone	0	
Coefficient Fabrication	1.00		N° Fax	0	
Coefficient Coût	1.05				

Buttons: Temps et Coûts Main d'oeuvre, Quantités et Coûts Gaz, Décomposition Détail des entités, Quantité et Coûts Electrode, Quantités et Coûts Electrique, Estimation des Temps et des Coûts

Enr : 1 sur 5

Figure 4.17 Menu général d'estimation des temps et des coûts d'un assemblage par soudage

L'exploitation de ce formulaire permet de générer automatiquement les estimations de consommations des ressources de l'activité de soudage pour chaque assemblage.

On a considéré la fabrication planifiée comme une option de l'estimation des coûts. L'utilisateur veut prendre en considération les disponibilités des postes de soudure et les machines annexes de préparation. Pour ceci, on introduit un nouveau paramètre d'estimation : « Coefficient fabrication » (voir figure 4.17).

La recherche des connaissances en expertise de soudage effectuée (interviews avec des techniciens, consultation de documents etc.) a permis de constater une fluctuation des prix d'achat des consommables de soudage. C'est pourquoi, on a introduit aussi un coefficient de correction pour les coûts noté « Coefficient Coût ».

L'application SOUDABASE permet de raisonner par rapport à une entité, un assemblage et pour un produit. Il devient facile de simuler plusieurs cas de figures afin de choisir le favorable et de proposer une estimation optimisée en toute connaissance de cause.

Pour consulter les temps et les coûts estimés, il suffit d'appuyer sur le bouton « Estimation des Temps et des Coûts ». La figure 4.18 présente ces estimations.

N°Assemblage	1	Longueur Soudage	8,0
Coût MO	58,83 DT	Temps de Soudage	4,11
Coût Gaz	15,19 DT	Temps de Préparation	0,00
Coût Electrode	16,91 DT	Temps de Pointage	0,67
Coût Electricité	0,47 DT		
Somme des Coûts	91,4 DT	Somme des Temps	4,8 Heures
Coefficient de Coût	1,05	Coefficient de Fabrication	1,00
Coût Total Estimé	96,0 DT	Temps Total Estimé	4,8 Heures

Figure 4.18 Menu « Estimation des Temps et des Coûts »

On note que les coûts affichés de la figure 4.18 et pour des raisons de confidentialité, ne sont pas exacts mais ils respectent une certaine proportionnalité.

Pour se rappeler de la décomposition de l'assemblage en entités, il suffit d'appuyer sur le bouton « Décomposition Détail des entités ». La figure 4.19 présente les détails de l'assemblage « 1 ».

N°Entité	Métal	N°Préparation	Epaisseur	N°Position	NbReprise	Longeur
1	INOX	19	1,500	2	1	3,13
2	INOX	8	1,500	7	2	1,90
3	INOX	8	1,500	15	2	2,95

Figure 4.19 Menu de décomposition d'un assemblage en entités

L'application ainsi développée, laisse une liberté d'utilisation et de développement. Tous les éléments nécessaires étant sauvegardés dans la base. L'utilisateur réalise la décomposition du produit en respectant des critères techniques d'exécution pour atteindre le niveau de la précision voulue.

4.4.3 Les estimations proposées par l'entreprise MDI

a) Présentation de l'entreprise



L'entreprise MDI : Montage Développement Industriel est située à la Zone Industrielle Madagascar à Sfax. Elle est spécialisée dans la fabrication des équipements en inox (citernes, Cuve, Cyclone transporteurs à vis etc.), les montages industriels et les constructions métalliques en général.

b) Elaboration des devis

Les informations relatives à l'élaboration des coûts sont archivées au service commercial de l'entreprise. Chaque dossier regroupe l'ensemble des documents utilisés. On distingue notamment :

Le plan de fabrication contenant la description morphologique du produit ainsi que, éventuellement, quelques informations commerciales complémentaires.

Le devis réalisé contient souvent une gamme très peu détaillée où indiqué le total des temps de soudage.

Les documents relatifs à la commande éventuelle accompagnés d'une fiche suiveuse de fabrication réalisée à l'atelier.

L'entreprise MDI utilise la méthode intuitive qui se repose sur l'expérience du chef de fabrication en prenant en compte des difficultés de réalisation. Pour être plus efficace, l'entreprise a établi des coefficients de consommation de ressources de soudage. C'est-à-dire pour chaque procédé de soudage, le chef de fabrication a évalué les paramètres de devis pour un mètre linéaire de soudure et pour un seul passe. On indique dans le tableau 4.5 les éléments, propres à l'entreprise, qui servent à réaliser un devis.

Procédé	Métal d'apport	Diamètre électrode	Intensité (A)	Temps (heure)	Consommation électrode (m)	Consommation Argon (m ³)
TIG avec pénétration	Sans	N.A	80-120	0,66	NA	0,17
TIG	Avec	1,6	60-80	0,58	2,5	0,10
SMAW	Avec	3,2	80	0,50	3,75	N.A

Tableau 4.5 Les critères actuels d'estimation de l'entreprise MDI

L'essentiel, pour le chef de fabrication de MDI, est d'évaluer la longueur totale de soudage et le nombre de passes nécessaires pour estimer les temps et les coûts de soudage.

On a formalisé les estimations de l'entreprise MDI sous la forme suivante :

$$T_{MDI}^S = N_p \cdot L \cdot T_0 \quad (58)$$

Avec N_p : Nombre de passes de soudure (selon l'expérience et l'épaisseur de la tôle).

L : Longueur de soudage (calcul géométrique).

T_0 : Temps d'un passe de soudure pour un mètre de soudure (tableau 4.5).

Dans l'exemple du produit « corps citerne » qu'on a étudié, la longueur de soudage étant de 8 m. d'après le savoir faire de l'entreprise, un seul passe suffit pour souder une tôle d'épaisseur 1,5 mm. En appliquant l'équation (58), on obtient le temps de soudage estimé par l'entreprise MDI :

$$T_{MDI}^S = 1.8.0,58 = 4,6 \text{ heures.}$$

On rappelle que l'application SOUDABASE a donné au formulaire « Estimation des temps et des Coûts » qui est présenté dans la figure 4.18 un temps de soudage : $T^S = 4,11$ heures

4.5 Comparaison avec l'application du CETIM

Le CETIM Senlis, France a mis au point une application de chiffrage de devis en soudage : CETIM DEVISOUD en 1994 [28].

4.5.1 Présentation de DEVISOUD

a) Objet

Il est difficile de connaître cette application dans les détails, à moins de l'acheter. Autant qu'il est possible de savoir, il existe un manuel séparé du logiciel présentant sommairement les différentes étapes de l'analyse.

Les valeurs calculées sont les suivantes :

Les temps technologique de cycle d'assemblage du sous-ensemble

Le temps estimé de préparation du poste

Les temps série et moyen avec affectation de coefficient d'adaptation à l'entreprise et prise en compte de l'accoutumance

La consommation de fil et de gaz en soudage

b) Domaine d'application

L'application DEVISOUD est destinée pour les fabrications de machinismes agricoles (charrues, matériels de récolte, etc.) et pour les engins de travaux public (bennes, chariots élévateurs, etc.)

Elle est valable quand :

Le procédé utilisé est le GMAW avec fil plein de 1.0, 1.2 ou 1.6 mm de diamètre

Le type de soudure est en angle

La matière de base est l'acier non alliés d'usage général

L'intensité de soudage est l'une des valeurs : 160,185, 290, 300, 320, 350A est ceci selon l'épaisseur du cordon.

c) Méthodologie de calcul

Le temps de soudage est calculé à partir d'un temps moyen (au mètre) pour chaque dimension de cordon. La définition de la soudure sera faite par le mètre total de cordon.

4.5.2 Exemple traité par DEVISOUD

Dans le dossier technique de l'application, il y a un exemple traité de châssis (figure 4.20) avec les estimations des temps à l'aide de DEVISOUD comme l'indique la figure 4.21.

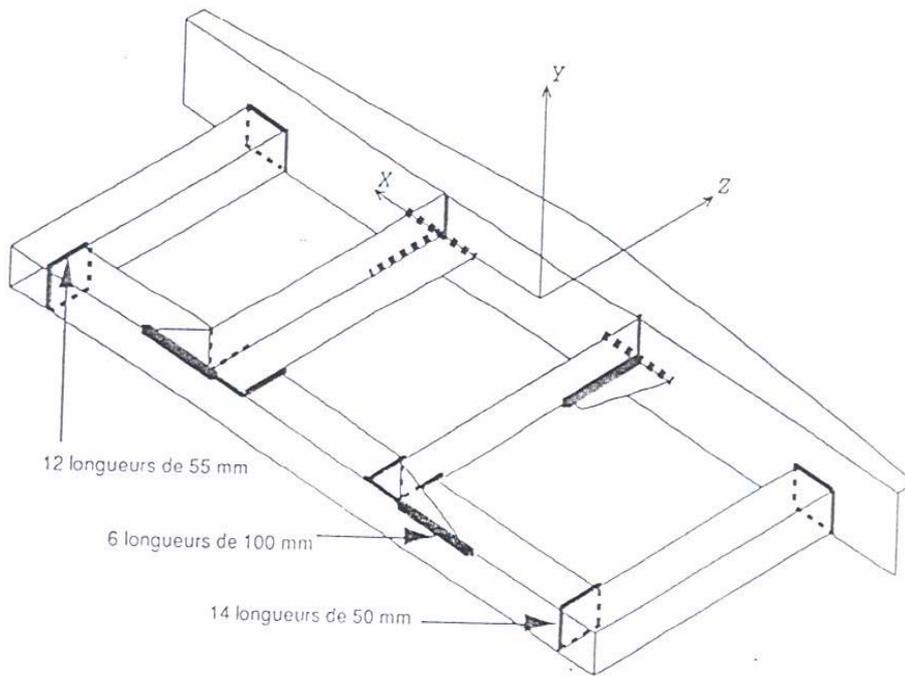


Figure 4.20 Le schéma du Châssis [28]

 *** CHIFFRAGE DU TEMPS DE REALISATION D'ASSEMBLAGES MECANO-SOUDES ***
 ***** PROCEDURE DE SOUDAGE MAG-SEMI-AUTOMATIQUE AVEC FIL PLEIN *****

Fichier : EXPL1.DS
 Date : 28/09/94

PARAMETRES DE CALCUL :
 Coefficient / temps de cycle technologique ... : 1.05
 Coefficient / temps de préparation du poste... : 1.00
 Coefficient / temps de manutention palan : 0.70
 Diamètre du fil..... : 1.0
 Gaz utilisé..... : ARGON+CO2+O2

SOUS-ENSEMBLE : Châssis
 Qualité..... : COURANTE
 Longueur du sous-ensemble : 1.300 M
 Poids du sous-ensemble : 35.0 Kg
 Nombre de composants..... : 10
 Mise en place avec palan..... : 0.00 M

REPARTITION PAR CATEGORIE DE POIDS :

> 20 Kg	10 - 20 Kg	5 - 10 Kg	2 - 5 Kg	< 2 Kg
0	1	0	9	0

Nombre de brochages	BRIDAGE MANUEL			NOMBRE d'EVOLUTIONS	NOMBRE de POINTS
	Attach. rapides	Syst. vissés	Serre-joints		
3	10	1	0	4	24

Poste..... : AMENAGE

VALEURS PAR SOUS-ENSEMBLE - TEMPS TECHNOLOGIQUES

Poids total de fil.....	0.23	Kg
Volume de gaz utilisé.....	0.080	M3
Temps arc total.....	8.83	CH
Nombre de points.....	24	
Temps de pointage.....	6.05	CH
Temps d'assemblage + démontage + évacuation...	9.41	CH
Temps de soudage + évolution.....	19.98	CH
Temps de cycle technologique	35.44 * 1.05	= 37.21 CH
Série de.....	100	
Temps de préparation.....	65.59 * 1.00	= 65.59 CH
Temps de cycle moyen	37.46 * 1.14	= 42.70 CH
Temps moyen	43.36	CH
Temps série	43.360	H
Longueur totale	1.960	m
Temps Techno.total de soud.....	14.38	CH

Figure 4.21 Les estimations des temps proposées par DEVISOUD « cas du châssis » [28]

4.5.3 Les estimations par l'application SOUDABASE

L'analyse du dessin du produit « Châssis » permet d'établir la définition de trois types d'entité de soudage. Le produit « châssis » est considéré comme un seul assemblage « 10 » qui se compose de trois fiches entité qui sont présentées dans le tableau 4.6 suivant :

Type d'entité	Position	Largeur Cordon (mm)	Intensité (A)	Longueur soudage (m)
15	2	4,2	160	0,66
16	2	5,6	185	0,6
17	8	4,2	160	0,7

Tableau 4.6 Les spécifications qui se différencient entre les types d'entités pour l'exemple « Châssis »

Après la saisie des paramètres dans l'application SOUDABASE, les résultats du chiffrage seront présentés dans le formulaire « Fiche Coût » de la figure 4.22.

Figure a. Menu principal d'estimations de SOUDABASE

Figure b. Estimation de la consommation du gaz

Figure c. Estimation des temps de soudages

Figure d. Estimation de consommation de l'électrode

Figure 4.22 Les formulaires d'estimations de SOUDABASE « cas du châssis »

Dans le tableau 4.7 on présente les différentes estimations réalisées par CETIM à l'aide de la figure 4.21 et par SOUDABASE à l'aide des différents formulaires de la figure 4.22.

Les paramètres estimés	DEVISOUD - CETIM	SOUDABASE
Poids total de fil (kg)	0,23	0,19
Volume de gaz utilisé (m ³)	0,080	0,073
Temps arc total (CH)	8,83	11
Temps de pointage (CH)	6,05	5
Temps de soudage (CH)	19,98	24
Temps d'usinage (CH)	N.A	0
Temps de positionnement (CH)	9,41	N.A
Longueur de soudage (m)	1,96	1,96

Tableau 4.7 Tableau comparatif des différentes estimations de DEVISOUD et de SOUDABASE

Tout d'abord, considérant qu'il est indispensable de justifier les résultats qu'on a produit on s'attache à étudier non seulement la valeur mais surtout leurs structures. Il est en effet nécessaire d'avoir une image de l'importance relative aux objectifs de l'estimation des deux applications DEVISOUD et SOUDABASE.

Pour DEVISOUD les temps sont estimés statiquement pour un domaine restreint d'application : seulement pour le procédé MAG avec une limation des diamètres des fils et des intensités, elle est appliquée seulement le type de soudage en angle etc. Elle a comme objectif l'estimation du temps technologique de soudage. Par contre l'objectif de développement de SOUDABASE est principalement l'estimation des coûts de soudage.

L'objectif de l'application SOUDABASE est de fournir une grille pertinente d'analyse des coûts facilitant les prises de décision. Il est à noter que les résultats des estimations des coûts de l'application sont basés sur :

Des paramètres de l'entreprise de MDI : efficacité du procédé, efficacité de l'opérateur etc.

Des paramètres retenus des différents tableaux de soudage : le débit massique de soudage D_a , rendement d'une électrode etc.

C'est comme s'il était les estimation de l'entreprise MDI pour le produit « châssis » en utilisant l'application SOUDABASE.

4.6 Synthèse et évaluation de l'application

Pour être plus précis, l'estimation des coûts devra être faite pour une entreprise donnée. En effet, on constate que, quoi qu'il en soit, il reste que l'estimation ne sera jamais une science exacte. L'estimation ne se résume pas à quelques opérations mathématiques qui apportent la solution.

Par exemple, si on demande à plusieurs entreprises de construction différentes l'estimation des coûts de construction d'un même projet (à l'aide des mêmes plans et devis et dans les mêmes délais), on obtiendra plusieurs estimations différentes qui seront généralement dans le même ordre de grandeur. Les coefficients du modèle retenus doivent être étalonnés pour chaque contexte particulier de l'entreprise. Ils doivent être continuellement ajuster afin d'augmenter la précision du modèle.

4.6.1 Les avantages de l'application

L'application qu'on a développée présente les avantages suivants :

Une interface utilisateur souple et facile d'emploi permettant l'aller/retour et la navigation dans tous les modules de l'application.

Permet de donner des résultats qui s'améliorent progressivement au fur et à mesure que la base de données s'enrichit (ajustement des paramètres du modèle).

Sauvegarde de l'expérience de l'entreprise grâce à une base de données intégrée.

Gestion des devis et des clients.

Paramétrage spécifique des coefficients de correction pour chaque entreprise.

Simulation et évaluation de l'influence des différents paramètres de soudage sur les temps et les coûts.

Possibilité d'impression d'un devis, d'un détail assemblage ou d'un détail entité.

Interfaçage possible avec des progiciels de gestion.

Ouverte et prête pour des autres extensions de recherche.

4.6.2 Les Limites de l'application

L'application présente les limites suivantes :

L'estimation des coûts se base sur des notions de comptabilité analytique dont les limites ont été analysées par de nombreux auteurs [3], [12]. En effet, ce système coût ne prend pas, par exemple, en considération les contraintes d'ordonnancement qui peuvent influencer le taux d'engagement des ressources et par la suite sur le coût.

Elle ne prend pas en compte l'historique des consommations après fabrication. C'est-à-dire elle ne tient pas en compte des statistiques entre temps et coûts estimés et temps et coûts réellement réaliser. En effet, c'est avec l'historique qu'on pourrait ajuster les coefficients du modèle (c , p , λ , etc.). Il est à noter que ce point n'était pas parmi les objectifs de l'étude.

Elle se base seulement sur la modélisation des connaissances en soudage. Elle ne permet pas la modélisation des raisonnements : extraction automatique des assemblages et le développement des Entité Coût. On rappelle que durant ce projet on a appliqué la méthode paramétrique pour la structuration des inducteurs des Entités Coût étudiés : usinage, pointage et soudage.

4.7 Conclusion

Dans ce dernier et quatrième chapitre, on a donné un aperçu de l'architecture fonctionnelle de la maquette logicielle qui a été mise en œuvre. L'application ainsi obtenue, suit la démarche fonctionnelle de l'agent qui génère un devis (deviseur) pour aboutir à estimer les besoins déclenchés en soudage (temps et consommation). On commence, ainsi avec les entités de soudage et de préparation puis avec les assemblages et enfin avec le produit.

Du fait de la grande quantité d'informations affichée, ce système constitue à priori un outil support à la prise de décision par le deviseur ou l'expert pour définir les coûts et établir les conditions de vente à négocier. Il lui est notamment possible de faire des simulations en temps réel.

Enfin, si cette application donne de bons résultats, c'est parce qu'elle peut s'adapter à toute entreprise de soudage qui utilise ses propres données et ses propres paramètres. En ce qui concerne l'estimation des coûts, chaque entreprise ajuste les paramètres du système coût en fonction de son niveau de performance et de l'expérience vécue.

CONCLUSION & PERSPECTIVES

L'objet du travail présenté dans ce rapport est la structuration et le développement d'un modèle d'estimation de coût des assemblages soudés.

Le modèle se base sur la décomposition d'un produit en assemblages qui doivent eux même se décomposer en des entités de soudage et de préparation correspondante. Nous avons introduit une nouvelle approche entité dans le domaine de soudage.

Ce travail s'est déroulé en deux étapes :

Dans une première étape, on a modélisé un assemblage de deux pièces par les différents paramètres de soudage en ayant recours au concept d'entité de soudage et d'entité de préparation. L'estimation du temps de soudage se base sur l'évaluation de la quantité du métal d'apport nécessaire pour réaliser l'opération de soudage.

En une deuxième étape, le modèle d'estimation des coûts de soudage, de préparation et de pointage est construit sur la base des Entités Coût qui forment le processus de soudage. Cette méthode exige pour chacune des opérations (préparation et pointage), l'identification d'un inducteur convenable. L'approche analytique appliquée aux entités de soudage et de préparation a permis de montrer que « la masse de l'apport à ajouter » est l'inducteur convenable de l'Entité Coût Soudage.

La dernière partie a été consacrée à une structuration d'une base de données qui a abouti à un développement d'un outil informatique qu'on a appelé SOUDABASE. Le traitement d'exemples avec des entreprises de soudage et la comparaison avec l'application DEVISOUD de CETIM Senlis France à travers un exemple, nous a permis de valider le modèle développé.

L'approche proposée se base sur une modélisation des connaissances au niveau de perception du produit et de processus. La décomposition du produit en entités et l'identification des Entités Coût du processus restent manuelles. Le modèle proposé consiste à combiner deux méthodes d'estimation des coûts appliquées au produit et au processus : D'une part, on a utilisé la méthode analytique pour la formalisation du temps de soudage, de consommation d'électrode et de consommation de gaz en fonction des différents paramètres de l'entités de soudage et de préparation. On a constaté que la décomposition en entité permette de formaliser l'expertise

d'estimation des temps liés au soudage. D'autre part, on a utilisé la méthode paramétrique pour la structuration des coûts engendrés par les différentes Entités Coût qui composent le processus de soudage : préparation, pointage et soudage.

On note que durant ce travail, on n'a pas développé les coûts de l'opération de positionnement car elle exige une étude approfondie de conception et de montage. Le positionnement présente plusieurs problématiques pour la détermination de l'inducteur convenable associé à l'Entité Coût Positionnement.

Il est clair que le modèle global d'une approche d'estimation automatique des coûts d'un produit sera plus compliqué. En effet, il est très intéressant d'intégrer la modélisation par raisonnement avec la modélisation des connaissances qu'on a réalisé dans ce projet. On pourra utiliser, par exemple, la modélisation à base de cas pour établir des relations de causalité existantes entre les spécifications d'une entité de soudage et les coûts des opérations engagées. En fournissant cette première vue d'ensemble complète du cadre d'estimation, de futurs développements et perfectionnement seront plus faciles à entreprendre.

De point de vue informatique, un interfaçage de la maquette développée d'estimation des coûts avec un logiciel de Gestion de Production Assistée par Ordinateur (GPAO) pourrait permettre de gérer les contraintes de fabrication et d'avoir un coût horaire plus précis.

Enfin, une perspective majeure et intéressante serait dans l'intégration de l'approche proposée d'estimation dans un outil de Conception Assistée par Ordinateur (CAO). On pourrait signaler au concepteur les coûts induits de ces choix au moyen d'alertes associées aux spécifications des assemblages en lui fournissant une estimation plus fine des coûts correspondants.

Au terme de ce mémoire de mastère, nous tenons à mettre en relief l'opportunité, dont nous avons bénéficié, de mieux connaître le domaine de soudage, la modélisation en entité mécanique et l'application du concept Entité Coût pour l'estimation des temps et des coûts de soudage et d'une façon générale de fabrication des produits.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] B. VACOSSIN, « Les devis en fabrication mécanique » Revue Travail et Méthode n° 521 ; pp.15-24 ; 1995.
- [2] Hervé LALLEMAND, « Méthodes de chiffrage et indicateurs de la fonction devis » Revue Travail et Méthode n° 545 ; pp. 35-44 ; 1999.
- [3] Fehmi H'MIDA « Contribution à l'estimation des coûts en production mécanique : l'approche Entité Coût appliquée dans un contexte d'ingénierie intégrée » Thèse de doctorat ; ENSAM Metz ; Mars 2002.
- [4] M. BERLIOZ, P. MARTIN, S. TICHKIEWITCH « A fast and reliable cost estimation tool for Hot-forged Parts » IDMME'98 Compiègne France ; pp. 985-992 ; May 27-29 1998.
- [5] A. SEDDIKI, A. MOISAN, G. LEVAILLANT « Proposition d'un Système d'Assistance à l'Elaboration de Devis d'Usinage basé sur le concept d'entité (SAEDU)» Revue Mécanique Industrielle et Matériaux. Vol. 48-N°5 ; Décembre 1995.
- [6] L.J MECHEIN, « L'aide technique directe aux entreprises et chiffrage rapide des devis temps » Revue Travail et Méthode n° 350 ; pp. 23-25.
- [7] Nayeb GSIB, « Application de la méthode analytique aux pièces usinées, présentation du logiciel CETIM DEVIGAM USINAGE II» Université de Marseille, Journée les Devis en fabrication mécanique du 9 novembre 1994.
- [8] « ADC Générateur de gamme et de devis ADC Tôle » Revue TOLERIE N° 70 ; pp. 41-42, Janvier 1997.
- [9] Gilles ANGLEROT, « CETIM DEVICODE, logiciel d'évaluation des coûts d'outillages » Ed CETIM ; Juin 1998.
- [10] Abdennibi TALBI « Approche d'une méthode de classification de données et d'un outil d'aide à la décision dans l'estimation du prix de revient » Troisième Conférence Francophone de Modélisation et Simulation ; Troyes France ; 25 au 27 avril 2001.
- [11] Pascale DUVERLIE « Etude et proposition d'une méthode d'estimation du coût de revient technique appliquée à la production mécanique et basée sur le raisonnement à partir de cas » Thèse de doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis ; décembre 1996.
- [12] Rémi BACHELET « Etude prévisionnelle des coûts, évaluation financière des choix techniques », Projet de Fin d'Etude ; Ecole Centrale des Arts et Manufactures de Paris ; septembre 1993.

- [13] Jean-paul KIEFFER & Alfredo IAROZINSKY « Méthode des unités d'effort de production » Méthodes et Outils Informatiques pour la Valorisation des Temps en Coûts ; Université de Marseille ; Journée les Devis en fabrication mécanique du 9 novembre 1994.
- [14] Dago AGBODAN « Nomination persistante dans un modèle paramétrique, identification non ambiguë et appariement générique d'entités topologiques », Thèse de doctorat à l'Ecole Nationale Supérieure de Mécanique et d'Aérotechnique ; Université de Poitiers ; France ; Mars 1992.
- [15] P. MARTIN, « Ingénierie Simultanée : Conception des Processus de Fabrication » Séminaire d'été, ENS CACHAN ; Juillet 1999.
- [16] Bernard ANSELMETTI, François VILLENEUVE et Daniel BRISSAUD « Modélisation des contraintes de fabrication en conception », Congrès GAMA, ENS CACHANT, le 21 – 22 novembre 1990 ; Ed HERMES, 1990
- [17] M.R HENDERSON « Extraction and organization of form features » sixième Conférence Internationale PROLAMAT ; Paris 1985.
- [18] Christian MONTEIX « Un modèle informatique des produits manufacturés pour la fabrication : application à l'élaboration de devis » Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon ; décembre 1985.
- [19] R. VARISELLAZ « Soudage : éléments de conception et de réalisation » Ed DUNOD ; 1987; pp.4-49 & pp.160-176.
- [20] CETIM « Mécanosoudage Fabrication », Ed CETIM ; Mars 2000; pp.8-39 & pp.55-98.
- [21] « Les différents Procédés de Soudage », <http://www.chez.com/soudage2000>
- [22] CETIM « Mécanosoudage Conception », Ed CETIM ; pp.10-21 & pp.91-96 ; Mars 2000
- [23] J. BASSINO : Technologie en ouvrages Métalliques, Tome 2, Ed FOUCHER ; pp.163-188 ; Mai 1982.
- [24] Benoît EYNARD, Philippe GIRARD et David CHEN « Un modèle produit support à la conduite de processus de conception », Deuxième Congrès Internationale Franco Québécois de Génie Industriel ; ALBI 1997.
- [25] Abdennibi TALBI « Développement d'un cadre d'estimation des coûts en production mécanique basé sur le concept Entité Coût », Troisième Conférence Francophone de Modélisation et Simulation, Troyes France ; 25 au 27 avril 2001.
- [26] C. DELOBEL et M. ADIBA « Bases de données et systèmes relationnels » Volume II, Ed. DUNOD informatique, 1982.
- [27] G. GARDARIN « Bases de données - les systèmes et leurs langages » Ed EYROLLES, 1982.

- [28] « Dossier technique de l'application CETIM - DEVISOUD », CETIM Senlis France, Octobre 1995.
- [29] Pascale DUVERLIE « Méthode analogique appliquée aux pièces usinées » Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis ; Revue Travail et Méthodes ; pp. 20-24 ; 1999.
- [30] A. JIMENEZ « Méthode paramétrique- statistique : application aux pièces usinées » Revue Travail et Méthodes N° 522 ; pp. 19-25 ; 1995.
- [31] Bernard MORAND « Modèle logique de données Relationnel» <http://www.iutc3.unicaen.fr>.
- [32] Z. Bouaziz, J.B. Younes and A. Zghal, “A Fast and Reliable Tool for Estimates for Plastic Blowing Moulds”, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 20, pp. 545-550, 2002.
- [33] E. Shebab and H. Abdalla, “An Intelligent Knowledge-Based System for Product Cost Modelling “, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 19, pp. 49-65, 2002.

Ces travaux de mastère ont abouti à deux publications dans des revues internationales :

Faouzi Masmoudi; Zoubeir Bouaziz; Wafik Hachicha. (2007). Computer-aided cost estimation of weld operations, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 33, No. 3-4, pp. 298-307, doi 10.1007/s00170-006-0463-0 (Accepté en décembre 2005, publié online en 2006)

Faouzi Masmoudi; Wafik Hachicha, Zoubeir Bouaziz (2007). Development of a welding cost estimation model based on the feature concept, *Advance in Production Engineering & Management*, Vol. 2, N° 4, pp. 149-162. (Accepté et publié en 2007).