



Royaume du Maroc
Ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche scientifique et de l'Innovation
Ecole Normale Supérieure de l'Enseignement Technique de Mohammedia



Rapport de stage d'initiation

Génie mécanique des systèmes industriels

Réalisé par

LARZA YAHYA

Développement d'un Assistant Numérique basé sur Excel
VBA pour la Création des Gammes d'Usinage

Encadrant Professionnel: M KASSOU MOSTAFA

Projet de stage fait à



Année Universitaire 2024-2025

Dédicace

Ce travail est dédié à ma famille, source inépuisable d'amour, de soutien et de motivation.

À mes parents, dont les encouragements constants, les sacrifices silencieux et la confiance indéfectible ont été le moteur de mon parcours.

Je dédie également ce travail à mes enseignants, pour la richesse de leur savoir, la rigueur de leur encadrement et la passion qu'ils transmettent au quotidien.

Leur accompagnement a joué un rôle déterminant dans l'aboutissement de ce projet.

À tous ceux qui, de près ou de loin, ont cru en moi, m'ont soutenu ou inspiré au cours de cette aventure, je leur exprime ma profonde gratitude.

Remerciements

Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude à **Monsieur KASSOU Mostafa**, mon encadrant au sein de l'entreprise, pour son accueil chaleureux, sa disponibilité constante, et la qualité de son accompagnement tout au long de ce stage. Ses conseils avisés, sa rigueur professionnelle et sa bienveillance ont grandement contribué à la réussite de ce travail et à mon enrichissement personnel et technique.

J'adresse également mes sincères remerciements à l'ensemble du personnel de l'entreprise **Aml Microtechnique Maroc**, pour leur collaboration, leur soutien et l'environnement professionnel motivant qu'ils m'ont offert durant toute la période du stage.

Mes remerciements s'étendent à l'équipe pédagogique de **l'ENSET Mohammedia**, ainsi qu'à tous mes enseignants, pour la qualité de la formation dispensée tout au long de mon parcours.

Enfin, je remercie chaleureusement ma famille et mes proches pour leur appui moral constant, leur patience et leur confiance, qui ont été essentiels à chaque étape de cette expérience.

Table des matières

Liste des figures	v
Liste des algorithmes	vi
Introduction	1
1 Présentation de la société	2
1.1 AML Microtechnique Maroc	2
1.1.1 Le groupe AML	2
1.1.2 Historique	3
1.1.3 Fiche technique	3
1.1.4 Domaine d'activité - Exemples des pièces fabriquées	3
1.1.5 Organigramme de l'entreprise	5
1.2 Architecture de l'entreprise Aml Maroc	5
1.2.1 Départements de l'entreprise	5
1.2.2 Les différents services de l'entreprise	6
1.3 Les Machines-outils	9
1.3.1 Machines d'usinage classique	9
1.3.2 Machines à commande numérique	11
1.4 Outil de contrôle	15
1.4.1 Outils de mesure-contrôle utilisés	16
1.5 Processus de fabrication	17
1.5.1 Sortie matière première	18
1.5.2 Débitage	18
1.5.3 Surfaçage	19
1.5.4 Placement en zone d'usinage	19
1.5.5 Usinage	19
1.5.6 Validation des pièces	20
1.5.7 Production / Assemblage	20
1.5.8 Ajustage et ébavurage	21
1.5.9 Contrôle final	21
1.5.10 Conditionnement	22
2 Fonctionnement du Département Méthodes	23
2.1 Réception et planification de la commande	23
2.1.1 Réception du bon de commande	23
2.1.2 Intégration dans le diagramme de Gantt	24

2.2	Conception et préparation des données techniques	24
2.2.1	Élaboration du dessin 2D	24
2.2.2	Modélisation 3D (CAO)	25
2.3	Étude FAO et génération du programme	25
2.3.1	Préparation FAO	25
2.3.2	Génération du code G	26
2.4	Intégration et exécution sur machine	27
2.5	Dossier de fabrication	27
2.5.1	Gamme d'usinage	27
2.5.2	Fiches techniques et contrôles qualité	28
3	Projet de stage	30
3.1	Assistant Numérique basé sur VBA pour la Création des Gammes d'Usinage	30
3.1.1	Présentation du cadre de projet	30
3.1.2	Analyse fonctionnelle	31
3.1.3	Analyse détaillée des résultats	38
3.1.4	Économie sur l'outillage	40
3.1.5	Réduction des rebuts	41
3.1.6	Synthèse financière	41
3.1.7	Travaux en cours : Développement d'un programme VBA pour la génération automatique de code G	42
	Conclusion	45
	Bibliographie	46

Liste des figures

1.1	Aml Lorraine	3
1.2	Aml Maroc	3
1.3	Aml Innovation	3
1.4	Fiche technique d'Aml	4
1.5	Boitier refroidi pour cartes électroniques	5
1.6	Boitier de caméra box	5
1.7	Organigramme de l'entreprise	5
1.8	Fraiseuse semi-automatique	9
1.9	Tronçonneuse	10
1.10	Scie a ruban	11
1.11	Perceuse	12
1.12	Le positionnement des machines	13
1.13	Mistsui Seiki HU40A	15
1.14	Spécifications	15
1.15	Spécifications	16
1.16	Seiki dura verticale 5080	16
1.17	Spécifications	17
1.18	HAAS VF-3	17
1.19	Colonne de mesure	17
1.20	Opération de débitage	18
1.21	surfaçage	19

1.22	Pièces brutes	20
1.23	Zone d'ajustage	21
1.24	Un schéma global	22
2.1	Réception et vérification du bon de commande.	23
2.2	Intégration de la commande dans le diagramme de Gantt.	24
2.3	Exemple de mise en plan 2D.	24
2.4	Modélisation 3D (CAO) pour validation.	25
2.5	Préparation FAO à ESPRITCAM : stratégie et sélection d'outils.	25
2.6	Simulation et génération du code G.	26
2.7	Intégration du programme et réglages sur machine.	27
2.8	Exemple de gamme d'usinage.	28
2.9	Exemple de fiche de contrôle.	29
3.1	Diagramme en V	32
3.2	Base de données	33
3.3	Développement de l'assistant VBA	34
3.4	Développement de l'assistant VBA	34
3.5	Code pour le UserForm	35
3.6	Code pour le Module	36
3.7	Exemple d'exécution de tests sur les macros et validation des résultats.	37
3.8	Exemple d'exécution de tests sur les macros et validation des résultats.	37
3.9	Schéma global du diagramme en V	38
3.10	Dessin de la bride correspondant aux paramètres saisis dans le tableau Excel.	42
3.11	Table Excel à remplir avec les différentes mesures et paramètres de la bride.	43
3.12	Exemple de code G pour une bride, généré manuellement.	44
3.13	Code G généré automatiquement à partir du programme Excel VBA.	44

Introduction

Dans un contexte industriel en constante évolution, où la performance repose sur la précision, la rapidité d'exécution et l'intégration d'outils numériques, l'automatisation des tâches techniques devient essentielle. C'est dans cette optique que s'inscrit le présent projet, réalisé au sein de la société AML Microtechnique Mohammedia, spécialisée dans la fabrication de pièces de haute précision pour les secteurs de l'aéronautique, du spatial et de la défense.

L'objectif principal du projet a été le développement d'un assistant numérique sous Excel avec VBA, permettant de générer de manière automatique et fiable les gammes d'usinage. Cet outil vise à assister les techniciens dans le calcul rapide des paramètres de coupe (temps, vitesses, avances, etc.) en fonction des dimensions des pièces, des matériaux utilisés et des conditions de coupe recommandées. Il contribue ainsi à améliorer l'efficacité de la préparation de production tout en réduisant les risques d'erreurs manuelles.

En parallèle de ce projet principal, j'ai entrepris, à titre personnel, une autoformation sur le logiciel EspritCAM, dans le but de mieux comprendre les enjeux de la programmation des pièces pour machines CNC à 4 axes. Cette démarche m'a permis d'approfondir mes connaissances en usinage multi-axes, en reconnaissance des opérations, en optimisation des trajectoires outils et en réduction des phases inutiles. Bien que cette partie ne fût pas directement confiée par l'entreprise, elle s'inscrit pleinement dans une logique de montée en compétence et de préparation à des responsabilités futures en programmation avancée.

Ce projet m'a permis de consolider mes acquis en programmation VBA, en technologie d'usinage, et d'appliquer une démarche rigoureuse alliant logique informatique et contraintes de production réelles dans un environnement industriel exigeant.

Chapter 1

Présentation de la société

1.1 AML Microtechnique Maroc

1.1.1 Le groupe AML

Le groupe AML se compose de trois filiales, chacune ayant une mission spécifique et complémentaire au sein de la stratégie globale de l'entreprise.

La société AML Microtechnique Lorraine, maison mère du groupe, est implantée à Fèves, en France. Depuis sa création en 1972, elle est spécialisée dans le co-développement et la fabrication de solutions hyperfréquences et de dissipation thermique. Elle collabore avec les grands donneurs d'ordres et les intégrateurs mondiaux dans les secteurs de l'aérospatial et de la défense.

Créée en 2007, la filiale AML Maroc, basée à Mohammedia, a pour vocation de répondre aux besoins croissants en capacité de production, tout en apportant une flexibilité supplémentaire au groupe. Elle permet notamment de mieux maîtriser les risques industriels en disposant d'une seconde ressource opérationnelle à l'international.

Enfin, AML Innovation est entièrement dédiée à la recherche et au développement de solutions industrielles de rupture. Elle s'intéresse particulièrement à la chaîne de valeur de la fabrication additive métallique (impression 3D métal), avec pour ambition d'accompagner la transition vers des procédés de production innovants et durables.



Figure 1.1: Aml Lorraine



Figure 1.2: Aml Maroc



Figure 1.3: Aml Innovation

1.1.2 Historique

AML Microtechnique Maroc a été créée en 2007 en tant que filiale à part entière du groupe AML Microtechnique Lorraine, maison mère basée en France. Cette entité marocaine a été pensée pour reproduire au Maroc l'organisation, les méthodes de fabrication et le savoir-faire technique qui ont fait la renommée de l'entreprise française. Dès son ouverture, AML Maroc a recruté environ 35 salariés qualifiés, formés aux mêmes standards de qualité et aux processus industriels rigoureux appliqués dans l'usine française.

Cette implantation directe d'AML France au Maroc a été motivée par la volonté d'optimiser la capacité de production globale du groupe, notamment en sous-traitant une partie des fabrications réalisées en France. Grâce à cette stratégie, AML Microtechnique Lorraine a pu proposer à ses clients des délais de livraison plus courts et plus flexibles, tout en maîtrisant les coûts, notamment grâce à une main-d'œuvre à moindre coût au Maroc.

Ainsi, AML Maroc joue un rôle clé dans la chaîne de valeur du groupe, en assurant une production performante, respectueuse des exigences de qualité et des contraintes techniques, tout en contribuant à la compétitivité globale de l'entreprise sur le marché international.

1.1.3 Fiche technique

1.1.4 Domaine d'activité - Exemples des pièces fabriquées

Cette entreprise est spécialisée dans la fabrication de pièces primaires gérées selon le système Kanban, garantissant ainsi une organisation fluide et réactive des flux de production. Elle entretient une relation privilégiée avec son fournisseur et client principal, AML Microtechnique Lorraine, tout en desservant également un portefeuille diversifié de clients à l'échelle inter-

Nom	AML Microtechnique
Forme juridique	S.A.R.L Société à responsabilité limitée
Capital social	3000 000 DHS
Siège Social	3 Bd Abdallah chefchaoui Mohammedia - Maroc
Secteurs d'activité	Fabrication des pièces mécaniques et aéronautiques
Désignation des produits	Installés : Aéronautique - Contrôle - Fabrication Mécanique – Brasage
Direction et Conseil d'Administration	M. Chiner Bruno
Date de création	2007
L'effectif de l'entreprise	35 personnes
Fax	05 23.32.01.46
Site web	www.aml-microtec.ma
Email	bruno.chiner@aml-microtec.com

Figure 1.4: Fiche technique d'Aml

nationale. Cette position stratégique impose à l'entreprise une exigence élevée en matière de qualité, de précision et de respect des délais, qui se traduit par une exigence absolue d'exécution sans erreur à tous les niveaux de ses différents services.

La fabrication de pièces complexes représente un travail méticuleux et minutieux, exigeant non seulement une parfaite maîtrise technique, mais aussi une gestion rigoureuse du temps et une capacité d'analyse approfondie. La réussite de ce processus repose sur la conjugaison d'une grande lucidité dans la prise de décision, d'une rigueur constante et d'un engagement sans faille envers la qualité. Chaque étape de la production est ainsi pensée pour répondre aux attentes strictes des secteurs industriels de pointe.

Le savoir-faire de l'entreprise s'appuie notamment sur l'usinage de haute précision de composants et de prototypes, ainsi que sur la fabrication de structures mécaniques en aluminium spécial et en bronze. Ces matériaux, sélectionnés pour leurs propriétés spécifiques, sont destinés principalement aux industries à haute valeur ajoutée telles que l'électronique, l'aéronautique et le spatial. Ce positionnement sur des marchés exigeants impose une maîtrise technique pointue et un engagement constant en faveur de l'innovation et de l'excellence industrielle.

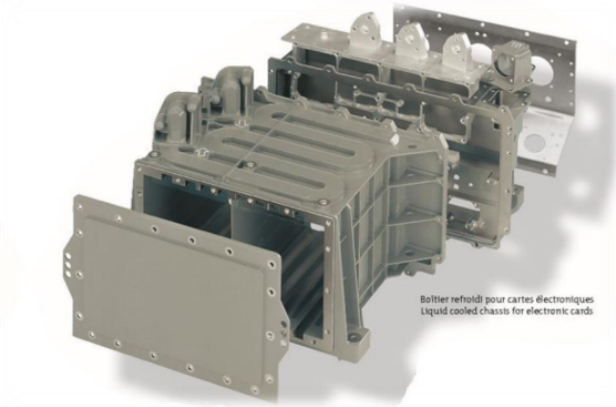


Figure 1.5: Boîtier refroidi pour cartes électroniques



Figure 1.6: Boîtier de caméra box

1.1.5 Organigramme de l'entreprise

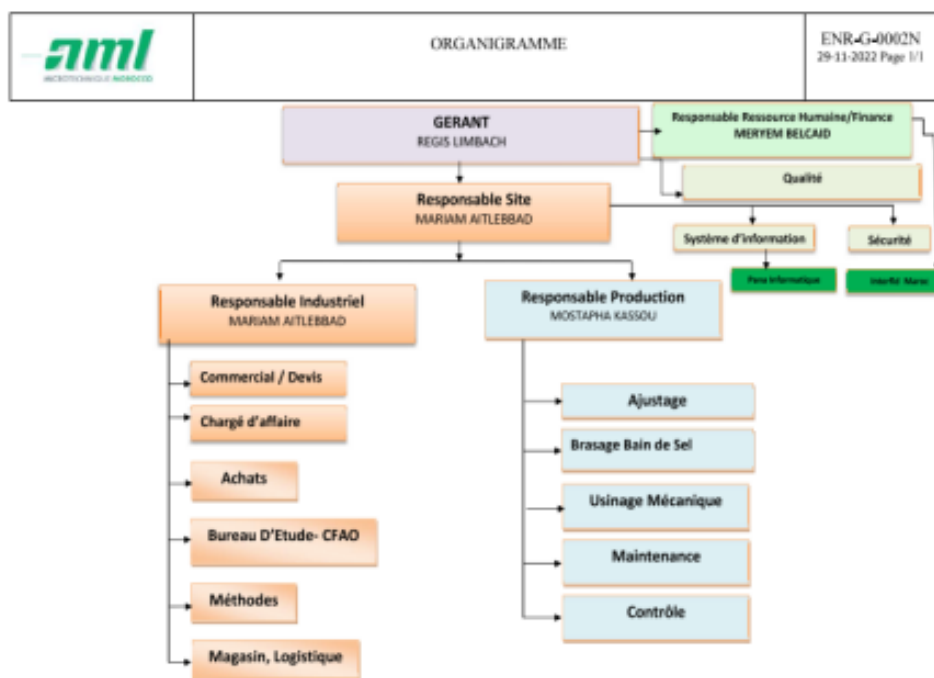


Figure 1.7: Organigramme de l'entreprise

1.2 Architecture de l'entreprise Aml Maroc

1.2.1 Départements de l'entreprise

Dans le plan de l'AML, nous remarquerons plusieurs départements dans l'entreprise :

- Deux magasins de stockage des matériaux ou des matières premières.
- Un bureau des méthodes.
- Un atelier d'usinage.
- Un atelier de brasage.
- Un atelier d'ajustage.
- Services de contrôle des pièces usinées ou brasées.
- Services de qualité.
- Deux vestiaires.

1.2.2 Les différents services de l'entreprise

a. Le service des Ressources Humaines

Il est chargé de toutes les fonctions administratives et professionnelles de l'ensemble du personnel de l'entreprise.

b. Le bureau des méthodes

Le bureau des méthodes étudie la fabrication du produit. Ses principales tâches sont : l'élaboration des gammes d'usinage, des contrats de phases, des fiches techniques, des simulations et des fins réglages, l'étude des portes-pièces et des portes-outils, l'élaboration des montages d'usinage, l'étude des outillages de coupe et des contrôles, les dossiers industriels et le lancement du programme d'usinage sur les centres d'usinage.

Le service méthode industrialisation est centralisé en amont avec deux techniciens FAO, metteurs au point. Les logiciels FAO utilisés sont **TOPSOLID** et **CATIA V5R20** pour la programmation des CUCN, et **COSMOS MITUTOYO** de RENISHAW pour la programmation offline des machines de mesure 3D.

c. Le service de conditionnement et stockage

Ce service s'occupe des travaux de conditionnement, d'emballage et de stockage final avant l'expédition chez le client. L'ensemble de ces services, liés en interdépendance, travaillent ensemble pour une bonne productivité en quantité et en qualité des pièces aéronautiques et spatiales.

d. Le service Production

C'est un service qui s'occupe du positionnement réel dans le temps, des dates de début et de fin des opérations (ou groupes d'opérations) afin de tenir les détails de fabrication. La gestion de production adoptée par AML est la méthode **Kanban**, inspirée du mode de production en flux tendus.

Kanban signifie « étiquette » : chaque lot de matières premières, de pièces ou de produits est accompagné par une étiquette (référence du lot, du poste fournisseur en amont, et poste consommateur en aval). Lorsque le lot est utilisé par un atelier, l'étiquette est transmise à l'atelier immédiatement en amont pour lequel elle constitue un ordre de fabrication. Il est dès lors interdit de reconstituer le lot du produit épuisé si l'on ne possède pas l'étiquette.

e. Le service Ordonnancement

Il a une fonction régulatrice : prévoir, planifier et coordonner les activités nécessaires à la production. Il organise dans le temps le fonctionnement de l'atelier afin de respecter les délais fixés. Le service ordonnancement établit le planning et veille au respect des délais. À tout moment, il connaît la charge des différents postes de travail.

f. Service de contrôles

Les bureaux de contrôles se répartissent en trois catégories :

- **Bureau de contrôle de production** : réservé au contrôle des outils avant usinage ou avant le montage dans les centres d'usinage MOCN, ainsi qu'au contrôle des pièces usinées (autocontrôle). Il dispose d'une jauge de contrôle et d'une colonne de mesure.

- **Bureau de contrôle visuel** : dédié à la supervision des pièces usinées et brasées selon les règles de contrôle. Il permet d'identifier les bavures, brasures excessives, défauts de conformité et discontinuités. Les appareils utilisés sont un binoculaire et un vidéo-endoscope.
- **Bureau de contrôle dimensionnel** : responsable de la validation des différentes opérations effectuées sur la matière première après usinage, autrement dit, la vérification des dimensions des pièces usinées ou brasées. Il dispose de fiches techniques, instructions, documents de contrôle et outils de métrologie, tels que :
 - Colonnes de mesure
 - Pieds à coulisse digitaux
 - Tampons lisses
 - Rugo-test
 - Palpeurs
 - Étau
 - Cales d'étalonnage
 - Règles de mesure de la planéité

g. Le service Qualité

Il surveille la qualité de la production ainsi que les facteurs ayant causé des fluctuations. À partir de cette analyse, le service détermine les actions correctives nécessaires. Il assure la mise en application et le maintien du système de management de la qualité ainsi que la mise à jour des normes et certificats de la société. La qualité des produits fournis par AML est l'un des facteurs qui fidélisent ses nombreux clients.

h. Le service Maintenance

La maintenance s'occupe de l'entretien de tous les équipements de la société et garantit leur bon état de fonctionnement, en particulier pour les machines de production. Les différentes

politiques de maintenance adoptées sont :

- Maintenance corrective
- Maintenance systématique
- Maintenance préventive

Ces méthodes sont appliquées selon les situations rencontrées.

1.3 Les Machines-outils

1.3.1 Machines d'usinage classique

a. Fraiseuse semi-automatique

La fraiseuse est une machine-outil permettant l'enlèvement de matière sous forme de copeaux, résultant de la combinaison de deux mouvements :

- La rotation de l'outil de coupe ;
- L'avance de la pièce à usiner.



Figure 1.8: Fraiseuse semi-automatique

b. Tronçonneuse

La tronçonneuse est une machine-outil qui permet de tronçonner des tôles avec une épaisseur maximale de 5 millimètres, selon des dimensions précises, pour la fabrication des pièces.



Figure 1.9: Tronçonneuse

b. Scie a ruban

La scie a ruban est une machine-outil met en rotation une bande en acier ferme e sur elle-me me, elle sert principalement a couper la matie re première avec des dimensions précises donne es par le bureau de méthode.



Figure 1.10: Scie a ruban

d. Perceuse

La perceuse est une machine qui sert à percer des trous dans toutes sortes de matériaux. Dans cette entreprise, il est spécifié pour ajuster les perçages déjà usinés ou faire des perçages dans des montages d'usinage.

1.3.2 Machines à commande numérique

Les fraiseuses modernes sont largement automatisées, notamment grâce aux centres d'usinage à commande numérique, offrant ainsi une grande précision et productivité. La programmation de ces machines repose sur deux types d'interfaces logicielles complémentaires :

- D'une part, un système embarqué appelé Directeur de Commande Numérique, intégré directement à la machine, qui gère en temps réel les opérations d'usinage.
- D'autre part, des logiciels externes fonctionnant sur ordinateur (PC), utilisant des logiciels de Fabrication Assistée par Ordinateur (FAO) en 2D et 3D. Ces outils permettent la conception, la simulation et la programmation avancée des pièces à usiner, optimisant



Figure 1.11: Perceuse

les trajectoires d'outils et les paramètres techniques.

En parallèle, dans l'industrie, les opérateurs fraiseurs qualifiés effectuent fréquemment des travaux complémentaires, notamment des opérations de tournage, pour répondre aux besoins spécifiques de production et assurer la qualité des pièces.

a. Positionnement des machines

Le positionnement des machines au sein d'un site industriel joue un rôle fondamental dans l'optimisation des flux de production, la sécurité des opérateurs et l'efficacité globale des opérations. Une implantation bien pensée permet de réduire les déplacements inutiles des pièces, des outils et du personnel, ce qui limite les pertes de temps et améliore la productivité. Un bon agencement contribue également à une meilleure ergonomie de travail, en facilitant l'accès aux postes, en réduisant les risques d'accidents et en assurant une circulation fluide des matières premières et des produits finis. De plus, il permet d'anticiper les contraintes

techniques telles que l'alimentation en énergie, l'évacuation des déchets ou la maintenance des équipements.

Enfin, le positionnement logique des machines selon l'ordre des opérations (par exemple usinage, contrôle, assemblage, conditionnement) garantit un enchaînement cohérent des processus de fabrication, ce qui renforce la qualité du produit final et la réactivité face aux exigences de production.

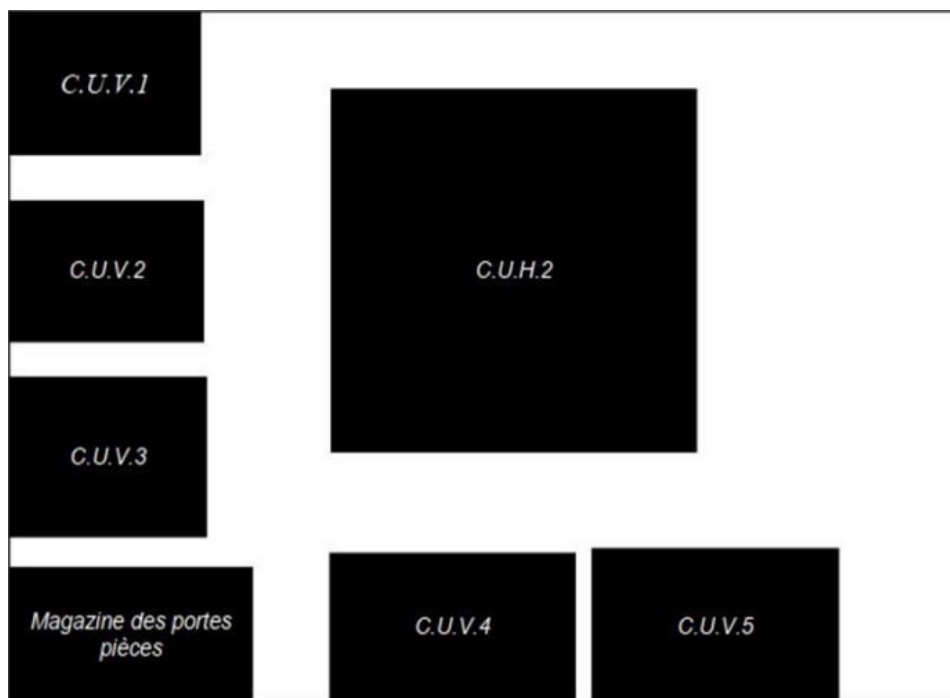


Figure 1.12: Le positionnement des machines

b. Centre d'usinage horizontal (C.U.H) :

Un Centre d'Usinage Horizontal (CUH) est une machine-outil à commande numérique dont la broche est orientée horizontalement. Contrairement aux centres verticaux, le CUH permet à l'outil de coupe d'intervenir latéralement sur la pièce à usiner.

Ce type de machine est particulièrement adapté à l'usinage de pièces complexes montées sur des palettes rotatives, notamment pour les productions en série. Grâce à sa configuration, le CUH facilite l'évacuation des copeaux par gravité, ce qui améliore la qualité de surface, réduit l'encrassement de la zone de travail et prolonge la durée de vie des outils.

Les CUH sont largement utilisés dans les secteurs de l'aéronautique, de l'automobile et de la mécanique de précision pour leur capacité à usiner plusieurs faces d'une pièce en un seul bridage, en intégrant souvent un 4 axe (palette rotative).

- **Mitsui Seiki HU40A : (CUH)**

La Mori Seiki NH4000 est un centre d'usinage horizontal (CUH) de haute performance, conçu pour l'usinage précis et efficace de pièces complexes. Grâce à sa broche orientée horizontalement, cette machine permet un accès latéral à la pièce, facilitant l'évacuation des copeaux et améliorant la qualité de surface. Elle est particulièrement adaptée aux productions en série et aux pièces nécessitant un usinage multi-face grâce à son système de palettes rotatives. Ce type de centre d'usinage est largement utilisé dans les secteurs de l'aéronautique, de l'automobile et de la mécanique de précision.

b. Centre d'usinage vertical (C.U.V) :

Les fraiseuses modernes sont largement automatisées et intègrent des centres d'usinage à commande numérique, ce qui améliore significativement la précision et la productivité. La programmation de ces machines repose sur deux types d'interfaces logicielles complémentaires :

D'une part, un système embarqué directement sur la machine, appelé Directeur de Commande Numérique, qui gère en temps réel les opérations d'usinage.

D'autre part, des logiciels externes installés sur ordinateur (PC) utilisant des progiciels de Fabrication Assistée par Ordinateur (FAO) en 2D et 3D, permettant la conception, la simulation et la programmation des pièces.

Par ailleurs, dans l'industrie, les opérateurs fraiseurs qualifiés réalisent fréquemment des opérations complémentaires, notamment des travaux de tournage, afin de répondre aux exigences spécifiques de production.

- **Seiki dura verticale 5080 : (CUV1) (CUV2) (CUV3)**

- **Hass VF1/VF2 3 Axes VF3 4 axes (CUV)**



Figure 1.13: Mistisui Seiki HU40A

Axe X	560 mm
Axe Y	560 mm
Axe Z	560 mm
Table rotative (4ème axe)	non
CNC	FANUC 16 MC
Longueur de la table	400 mm
Largeur de table	400 mm
Poids admis sur la table	400 kg
Magasins outils	60
Cône de broche	
Vitesse de rotation de la broche max.	12000 rpm
Capacité du moteur de broche	15 kW

Dimensions (L x l x h)	4300,0 x 2400,0 x 2800,0
Poids	10500 kg

Figure 1.14: Spécifications

1.4 Outil de contrôle

Les instruments de mesure ont tous un objectif commun : contrôler les cotes des pièces usinées. Toutefois, chaque instrument intervient à une étape précise de la chaîne de production.

Colonne de mesure

La colonne de mesure est un instrument vertical à un axe, utilisé sur un marbre en granit. Elle permet de mesurer des dimensions variées : hauteur, profondeur, diamètre intérieur/extérieur, entraxes, etc.

Elle peut être équipée de différents palpeurs selon les besoins. Plus précise et polyvalente

Axe X	599.44 mm
Axe Y	530.86 mm
Axe Z	510.54 mm
Table rotative (4ème axe)	oui
Type de CNC	Mori Seiki MSX-504III Series
Longueur de la table	899.16 mm
Largeur de table	599.44 mm
Poids admis sur la table	500 kg
Magasins outils	30
Cône de broche	40
Vitesse de rotation de la broche max.	10000 rpm
Capacité du moteur de broche	14.91424 kW

Dimensions (L x l x h)	132,0 x 85,0 x 105,0
Poids	5801.27042 kg

Figure 1.15: Spécifications



Figure 1.16: Seiki dura verticale 5080

que les instruments classiques, elle s'utilise directement en atelier sans passer par la salle de métrologie.

1.4.1 Outils de mesure-contrôle utilisés

La société utilise une variété d'instruments de contrôle pour assurer la conformité des pièces aux exigences techniques. Ces outils sont répartis entre les ateliers et les bureaux de contrôle, permettant des vérifications rapides et efficaces sans passer systématiquement par la salle de métrologie.

- **Pieds à coulisse numériques** : utilisés pour des mesures rapides et précises de longueurs ou de diamètres.
- **Micromètres** : pour des mesures précises d'épaisseurs ou de diamètres externes.
- **Calibres lisses et filetés** : pour vérifier la conformité des alésages et des filetages.
- **Tampons de contrôle** : pour tester les tolérances dimensionnelles internes.
- **Compareurs** : pour contrôler les écarts dimensionnels très fins.
- **Palpeurs électroniques** : utilisés sur machines-outils ou appareils de mesure 3D.

Axe X	1016 mm
Axe Y	508 mm
Axe Z	635 mm
Table rotative (4ème axe)	non
Type de CNC	Haas
Longueur de la table	1219 mm
Largeur de table	457 mm
Poids admis sur la table	1588 kg
Magasins outils	20
Cône de broche	BT40
Vitesse de rotation de la broche max.	10000 rpm
Capacité du moteur de broche	14.9 kW

Poids	5670 kg

Figure 1.17: Spécifications



Figure 1.18: HAAS VF-3



Figure 1.19: Colonne de mesure

- **Rugo-test** : pour évaluer la rugosité et l'état de surface des pièces usinées.

1.5 Processus de fabrication

Chez AML Microtechnique, la fabrication repose sur l'utilisation de matériaux de haute qualité comme l'aluminium et le cuivre. Chaque pièce suit un processus précis, composé d'étapes successives, garantissant la qualité, la traçabilité et la conformité aux exigences techniques.

1.5.1 Sortie matière première

- Attribution d'un numéro de lot unique pour assurer la traçabilité
- Gestion informatisée des stocks en temps réel
- Déplacement sécurisé vers la zone de production

1.5.2 Débitage

- Découpe des matières premières selon des dimensions spécifiques
- Utilisation de scies à ruban ou tronçonneuses pour une coupe nette et précise
- Précision essentielle pour garantir le respect des spécifications de montage
- Préparation optimale du matériau pour les étapes suivantes
- Choix de la machine adapté au type et à l'épaisseur du matériau
- Réglage précis des équipements pour limiter les pertes et erreurs



Figure 1.20: Opération de débitage

1.5.3 Surfaçage

- Aplanissement des surfaces avec une fraiseuse semi-automatique
- Préparation des pièces pour les étapes d'usinage



Figure 1.21: surfaçage

1.5.4 Placement en zone d'usinage

- Transfert des pièces prêtes à être usinées
- Utilisation de chariots ou convoyeurs pour minimiser les manipulations

1.5.5 Usinage

- Réalisation de formes complexes avec des centres d'usinage CNC (verticaux et horizontaux)
- Opérations précises : perçage, fraisage, taraudage, etc.
- Respect strict des tolérances et des dimensions



Figure 1.22: Pièces brutes

1.5.6 Validation des pièces

- Contrôle dimensionnel à l'aide d'outils de métrologie (pied à coulisse, colonne de mesure, micromètre...)
- Vérification de la conformité aux plans

1.5.7 Production / Assemblage

- Assemblage des pièces selon les spécifications

- Utilisation de machines automatisées, postes de soudure et outils manuels

1.5.8 Ajustage et ébavurage

- Ajustement des pièces pour garantir leur compatibilité
- Élimination des bavures pour assurer sécurité et finition



Figure 1.23: Zone d'ajustage

1.5.9 Contrôle final

- Inspection finale avec CMM et microscopes optiques
- Vérification complète avant expédition

1.5.10 Conditionnement

- Emballage avec protections adaptées (mousse, film étirable, papier bulle)
- Étiquetage pour garantir traçabilité et bon acheminement

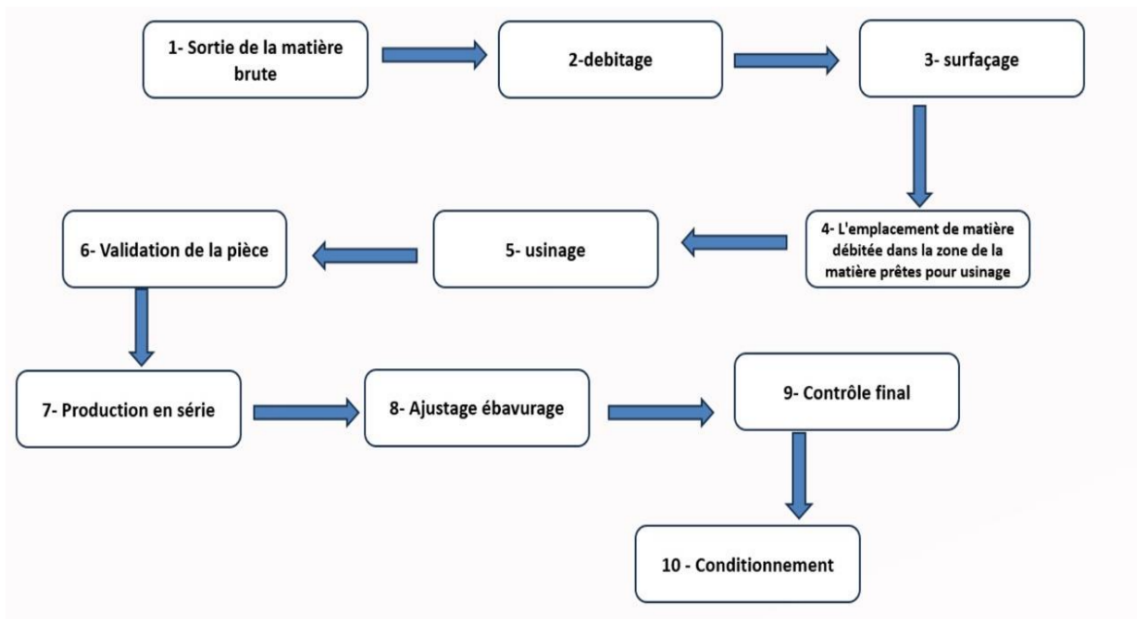


Figure 1.24: Un schéma global

Chapter 2

Fonctionnement du Département Méthodes

2.1 Réception et planification de la commande

2.1.1 2.1.1 Réception du bon de commande

Vérification des spécifications techniques, contrôle des quantités, validation des délais et vérification de la disponibilité des matières premières. Cette étape est essentielle pour garantir la conformité du futur ordre de fabrication.

aml
Microtechnique Lorraine

BON DE COMMANDE

Société : Microtechnique Lorraine

Adresse : Z.I. Euro Moselle Sud, 5 rue du Grand Pré, 57280 Fèves, France
Téléphone : +33 3 87 80 20 15
Fax : +33 3 87 51 55 08
Directeur : Régis Limbach
Email : contact@amifrance.fr

Référence de la commande : N 51769
Date de la commande : 27-06-2024

Détails de la commande : 5

Référence de la pièce	Description de la pièce	Quantité demandée	Prix par pièce (EUR)	Prix total (EUR)
CBR 84	Bride	8	[Prix par pièce]	[Prix total]

Livraisons :

- Adresse de livraison : Z.I. Euromoselle Sud, 5 rue du Grand Pré, 57280 Fèves, France
- Date prévue de livraison : 10-09-2024

Contact :

Pour toute question ou information supplémentaire concernant cette commande, veuillez contacter :

- Nom : Estelle Limbrach | Rossel
- Email : Limbrach.Rossel@amifrance.fr

Figure 2.1: Réception et vérification du bon de commande.

2.1.2 Intégration dans le diagramme de Gantt

Une fois le bon validé, les tâches sont planifiées dans le Gantt : ordonnancement, définition des jalons, affectation des ressources (machines, opérateurs) et estimation des temps.

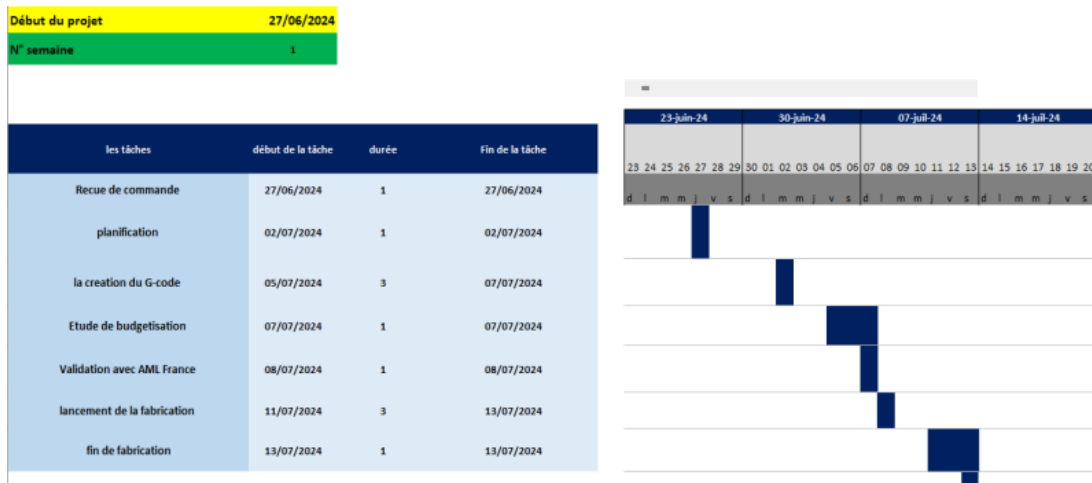


Figure 2.2: Intégration de la commande dans le diagramme de Gantt.

2.2 Conception et préparation des données techniques

2.2.1 Élaboration du dessin 2D

Réalisation des mises en plan 2D à partir du cahier des charges, application des normes de cotation et définition des tolérances fonctionnelles et géométriques.

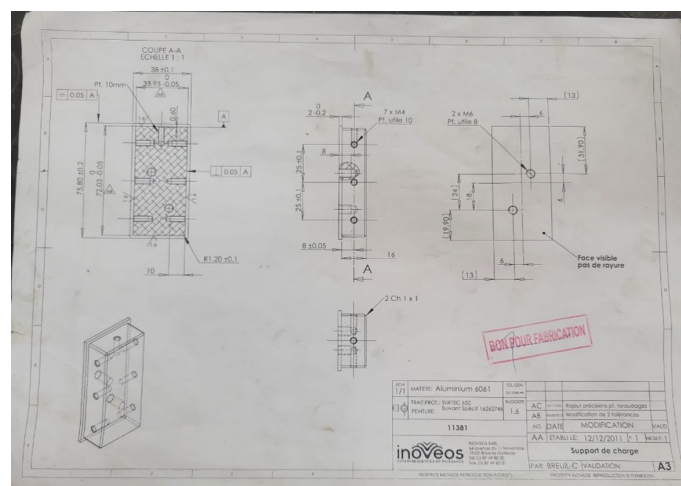


Figure 2.3: Exemple de mise en plan 2D.

2.2.2 Modélisation 3D (CAO)

Création du modèle volumique en CAO pour valider les assemblages, détecter les interférences et préparer les éléments pour la FAO.

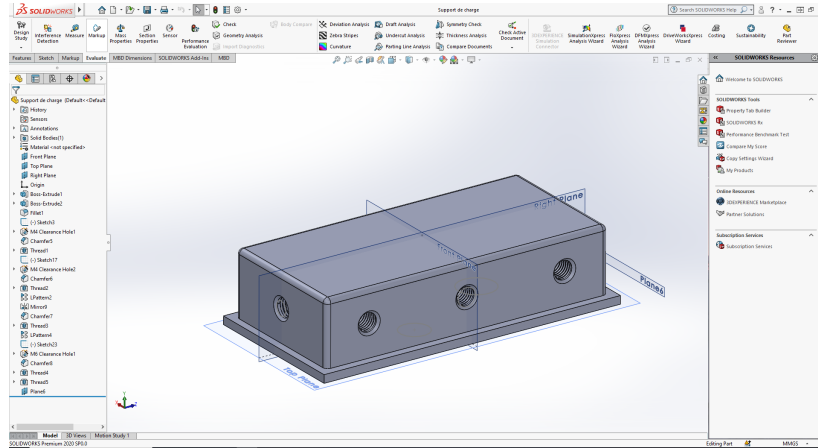


Figure 2.4: Modélisation 3D (CAO) pour validation.

2.3 Étude FAO et génération du programme

2.3.1 Préparation FAO

[ESPRIT, 2025]. Choix des stratégies d'usinage (déroulement des opérations, dégagements, trajectoires), sélection des outils (type, diamètre, porte-outil) et définition des paramètres de coupe (vitesse de coupe, avance, profondeur de passe).

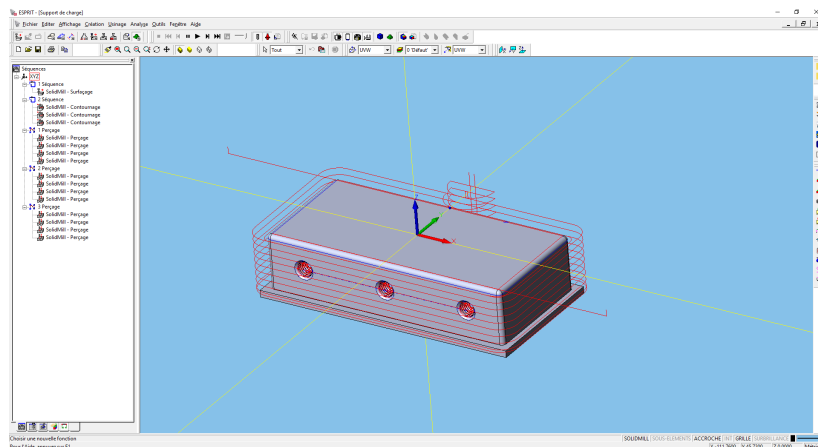


Figure 2.5: Préparation FAO à ESPRITCAM : stratégie et sélection d'outils.

2.3.2 Génération du code G

Post-traitement du parcours d'outils pour produire le code G adapté à la machine cible, suivi d'une simulation et d'une vérification (collision, respect des trajectoires).

```
p0001
(18/09/2025 11:32:13)

(-- ROTARY CLEARANCE VALUES --)
(**XYZ IS 0**)

N0100 G90 G21
N0110 G92 X-8. Y25. Z18.965
N0120 T1 M06
N0130 G00 X-68.315 Y15.765
N0140 Z2.
N0150 G01 Z0
N0160 X34.815
N0170 Y-15.735
N0180 X-34.815
N0190 Y-15.765
N0200 X68.315
N0210 Z2.
N0220 G00 G28 G40 G49 G80 M05 M09
N0230 T2 M06
N0240 G00 Z4.8
N0250 X-.8 Y26.965
N0260 G01 Z.8 F2333
N0270 G41 X-6.8 D02
N0280 G03 X-.8 Y20.965 I6. J0
N0290 G01 X0
N0300 X34.815
N0310 G02 X40.015 Y15.765 I0 J-5.2
N0320 G01 Y-15.765
N0330 G02 X34.815 Y-20.965 I-5.2 J0
N0340 G01 X-34.815
N0350 G02 X-40.015 Y-15.765 I0 J5.2
N0360 G01 Y15.765
N0370 G02 X-34.815 Y20.965 I5.2 J0
N0380 G01 X0
N0390 X.8
N0400 G03 X6.8 Y26.965 I0 J6.
N0410 G01 G40 X.8
N0420 X-.8
N0430 Z-1.2
N0440 G41 X-6.8 D02
N0450 G03 X-.8 Y20.965 I6. J0
N0460 G01 X0
```

Figure 2.6: Simulation et génération du code G.

2.4 Intégration et exécution sur machine

Chargement du programme dans la CNC, réglages (prise d'origine, offsets, montage de l'outillage) puis exécution du premier usinage avec mesures de validation et ajustements nécessaires.



Figure 2.7: Intégration du programme et réglages sur machine.

2.5 Dossier de fabrication

Le dossier contient la gamme d'usinage détaillée, les temps standards, les paramètres d'outillage, les instructions de contrôle qualité et les documents d'archivage/traçabilité.

2.5.1 Gamme d'usinage

Séquence détaillée des opérations avec temps estimés, exigences de contrôle et critères d'acceptation.

aml
Microtechnique Marc

GAMME DE FABRICATION

GF-R2-0001 IND. A
Edité le : 08/01/2025
Page : 2/3

Affaire : 24 858 Rang : 1 Pièce : 11381

Phase	Désignation	Centre de frais	Temps prévu		Qte P. bonnes	Qte P. NC	Nom / Visa
			TP	TF			
20	DEBITAGE MATIERE: ALU 6061 DEBIT DE MATIERE: 170X42XEP22 POUR 2 PIECES	DEBIT	0:15:00	0:02:00			
		N° de Pointage : 104721					
30	FRAISAGE CONVENTIONNEL MATIERE: ALU 6061 SUFACER SUR 167X40/EP22 POUR 2 PIECES	FRCV	0:15:00	0:02:00			
		N° de Pointage : 104722					
40	FRAISAGE VERTICAL CN 3 AXES Documents : INS-R2-0014 Ind. B Groupe de substitution : GR-3X	FCN3X	4:00:00	0:10:00			
		N° de Pointage : 104723					
MOYENS ET OUTILLAGES							
Désignation		Gisement	Observations				
Programme : CN-HASS-2760 PHASE 1							
Programme : CN-CUV-2794 PHASE 1							
Programme : CN-CUV-2794 PHASE 1							
Programme : CN-CUH2-0303 PHASE 1							
Outillage : ØU-11381-1 PHASE-1							
50	FRAISAGE VERTICAL CN 3 AXES Groupe de substitution : GR-3X	FCN3X	2:00:00	0:12:00			
		N° de Pointage : 104724					
MOYENS ET OUTILLAGES							
Désignation		Gisement	Observations				
Programme : CN-HASS-2761 PHASE 2							
Programme : CN-CUV-2795 PHASE 2							
Programme : CN-CUV-2795 PHASE 2							
Programme : CN-CUH2-0304 PHASE 2							
Outillage : OU-11381-2 PHASE-2							
60	FRAISAGE VERTICAL CN 3 AXES Groupe de substitution : GR-3X	FCN3X	2:00:00	0:10:00			
		N° de Pointage : 104725					
MOYENS ET OUTILLAGES							
Désignation		Gisement	Observations				
Programme : CN-HASS-2762 PHASE 3							
Programme : CN-CUV-2796 PHASE 3							
Programme : CN-CUV-2796 PHASE 3							

Figure 2.8: Exemple de gamme d'usage.

2.5.2 Fiches techniques et contrôles qualité

Fiches d'opération, check-lists de contrôle, plans de contrôle dimensionnel et procédés d'archivage.

REP		La Cote/Vue	Tolérances	N° DE PIECE	N° DE PIECE	N° DE PIECE
VUE F-H / 3-4						
1	X37,44		±0,2	37,43		
2	Y34,34		±0,2	34,34		
3	4x Ø 4,25		+0,1 / 0	4,25		
4	⊕ Ø0,05	ABC		0,05		
5	+ 0,05	AB		0,04		
6	4x R5,8			R5,7		
7	4x R5			6		
8	4x R0,8 MAXI			0,8 (sans rayon)		
9	Ø63,5			Ø63,5		
10	⊕ 0,2	AB		0,2		
COUPE A-A						
11	X45,73		±0,05	45,74		
12	⊕ 0,05	AB		0,05		
13	Ra 0,8					
14	X39,73		±0,05	39,75		
15	⊕ 0,05	AB				
16	Ra 0,8			Ra 0,8		
17	X37,95		±0,05	37,96		
18	⊕ 0,05	AB		0,05		
19	X32,28		±0,05	32,28		
20	⊕ 0,05	AB		0,05		
21	Y8,75+0,5		±0,07	8,76		
22	Y 2,13+0,5		±0,07	2,13		
23	Y0,38+0,5		±0,025	0,38		
24	Y14+0,5		±0,2	14,8		
25	Y3,5		±0,2	3,7		
26	X16,8		+0,05/0	16,8		
27	+ 0,1	A		0,1		
28	X22		±0,2	22		
29	Ø41			41		
30	⊕ 0,2	AB		0,2		

OBSERVATIONS / REMARKS		DECISION DE CONTROLE QUALITE AMI DECISION OF QUALITY DEPARTMENT AMI	
NOTE: Ne pas casser les angles de la face C / Casser les angles vifs : 0,1 à 45° / Congés d'outils non cotés : R0,1 / Surep 0,5 sur face C reprise après brasage		Acceptation Acceptance	Acceptation selon détail Acceptance under detail shown
		Rafus Rust	Acceptation possible sous dérogation Acceptance with deviation
		Matériau à retoucher Material to be retouched	
CONTRÔLE DE PROTECTION / SURFACE TREATMENT CONTROL		Certificat de conformité N° C of C n°	
NOM	DATE	VISA	
PaC: Pied à Coussin CLM: Colonne de Mesure PLD: Palmer TPF: Tampon Filé JDR: GAUGE de Rayon			

Figure 2.9: Exemple de fiche de contrôle.

Chapter 3

Projet de stage

3.1 Assistant Numérique basé sur VBA pour la Création des Gammes d'Usinage

3.1.1 Présentation du cadre de projet

Problématique

En atelier d'usinage, le choix des conditions de coupe (vitesses de rotation et d'avance) dépend de plusieurs paramètres : la matière de la pièce, le type et le matériau de l'outil, ainsi que son diamètre. Or, ces données sont souvent dispersées dans des catalogues ou des tableaux, ce qui oblige les opérateurs à chercher manuellement les valeurs adaptées, ce qui est long, source d'erreurs et peu pratique.

Spécification du besoin

- **Base de données centralisée** : Regrouper dans une feuille Excel toutes les informations sur les matières à usiner et les outils de coupe (matière, type, diamètre, paramètres de coupe associés).
- **Automatisation par VBA** : Développer un programme VBA qui recherche automatiquement, dans la base de données, les conditions de coupe correspondant à la matière et à l'outil choisis.
- **Détermination des vitesses** : Fournir à l'utilisateur la vitesse de rotation (N) et la vitesse d'avance (V_f) directement, sans calcul manuel ni consultation de tableaux.

- **Interface utilisateur simple** : Mettre à disposition une interface (formulaire ou cellules de saisie) permettant à l'opérateur de sélectionner la matière à usiner et le type/matière/diamètre de l'outil.
- **Gain de temps et fiabilité** : Réduire le temps de recherche des paramètres de coupe et diminuer les erreurs liées aux saisies ou choix manuels.

3.1.2 Analyse fonctionnelle

Approche par le diagramme en V

Le **diagramme en V** est un modèle de gestion de projet qui illustre le cycle de développement d'un système.

- **Phase de spécification (côté gauche du V)** : définition des besoins et des fonctions attendues.
- **Phase de développement (bas du V)** : conception et mise en œuvre de la solution.
- **Phase de validation (côté droit du V)** : tests et vérification que la solution répond bien aux besoins exprimés.

Ce modèle assure une **traçabilité complète** entre les exigences initiales et la solution finale, garantissant la cohérence entre le besoin et le résultat

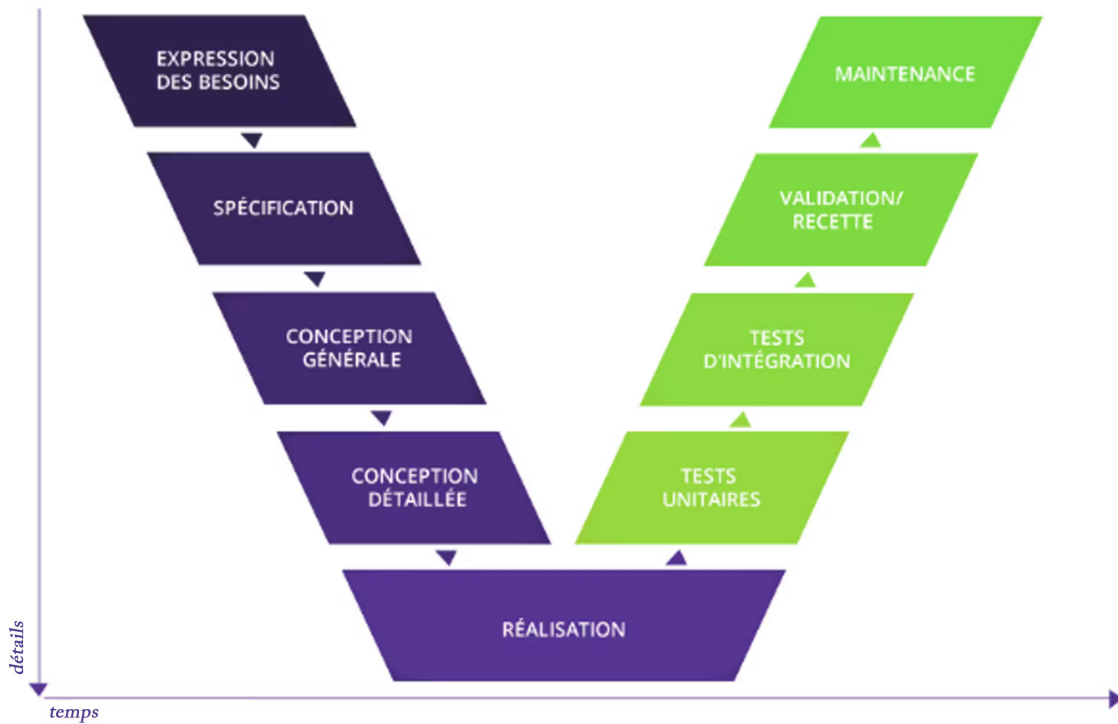


Figure 3.1: Diagramme en V

Déclinaison sur le projet

Phase amont (spécifications)

Cette phase correspond à l'identification et à la formalisation des besoins du système :

- **Base de données centralisée** : regroupant toutes les matières à usiner et les outils de coupe avec leurs paramètres de vitesse et d'avance.

Operation	Matière Usinée \ Outil	Acier Rapide (HSS)		Métal Dur		Carbure		Diamant		Acier Rapide a cobalte (HSSCo)	
		Vc	Av	Vc	Av	Vc	Av	Vc	Av	Vc	Av
Filetage	Acier doux	30	0,2	40	0,25	100	0,3	120	0,4	35	0,25
Filetage	Acier dur	20	0,15	30	0,2	70	0,25	80	0,3	25	0,2
Filetage	Inox	15	0,1	20	0,15	50	0,2	60	0,25	18	0,15
Filetage	Aluminium	60	0,3	80	0,4	200	0,5	300	0,8	70	0,35
Filetage	Cuivre	50	0,25	70	0,3	180	0,4	250	0,6	60	0,3
Taraudage	Acier doux	15	0,2	20	0,25	50	0,3	60	0,4	18	0,25
Taraudage	Acier dur	10	0,15	15	0,2	35	0,25	40	0,3	12	0,2
Taraudage	Inox	8	0,1	10	0,15	25	0,2	30	0,25	9	0,15
Taraudage	Aluminium	30	0,3	40	0,4	100	0,5	150	0,8	35	0,4
Taraudage	Cuivre	25	0,25	35	0,3	90	0,4	120	0,6	30	0,3
Centrage	Acier doux	25	0,1	35	0,15	80	0,2	100	0,3	30	0,15
Centrage	Acier dur	18	0,08	25	0,1	60	0,15	80	0,2	20	0,1
Centrage	Inox	12	0,05	18	0,08	40	0,1	60	0,15	15	0,08
Centrage	Aluminium	40	0,15	60	0,2	150	0,3	200	0,5	50	0,2
Centrage	Cuivre	35	0,1	50	0,15	120	0,25	180	0,4	40	0,15
Perçage	Acier doux	20	0,15	30	0,2	70	0,25	90	0,35	25	0,2
Perçage	Acier dur	15	0,1	20	0,15	50	0,2	70	0,3	18	0,15
Perçage	Inox	10	0,08	15	0,1	30	0,15	50	0,2	12	0,1
Perçage	Aluminium	50	0,2	70	0,3	180	0,4	250	0,7	60	0,3
Perçage	Cuivre	40	0,15	60	0,25	150	0,35	200	0,6	50	0,25
Surfaçage	Acier doux	25	0,2	35	0,25	80	0,3	100	0,4	30	0,25
Surfaçage	Acier dur	18	0,15	25	0,2	60	0,25	80	0,3	20	0,2
Surfaçage	Inox	12	0,1	18	0,15	40	0,2	60	0,25	15	0,15
Surfaçage	Aluminium	50	0,3	70	0,4	180	0,5	250	0,8	60	0,4
Surfaçage	Cuivre	40	0,25	60	0,3	150	0,4	200	0,6	50	0,3
Ébauche de contournage	Acier doux	20	0,25	30	0,3	70	0,4	90	0,5	25	0,3
Ébauche de contournage	Acier dur	15	0,2	20	0,25	50	0,3	70	0,4	18	0,25
Ébauche de contournage	Inox	10	0,15	15	0,2	35	0,25	50	0,3	12	0,2
Ébauche de contournage	Aluminium	45	0,35	65	0,45	160	0,6	220	0,9	55	0,5
Ébauche de contournage	Cuivre	35	0,3	55	0,35	140	0,5	180	0,7	45	0,4
Finition de contournage	Acier doux	30	0,1	40	0,15	90	0,2	110	0,3	35	0,15
Finition de contournage	Acier dur	22	0,08	30	0,1	70	0,15	90	0,25	25	0,1
Finition de contournage	Inox	15	0,05	20	0,08	45	0,1	70	0,2	18	0,08
Finition de contournage	Aluminium	60	0,15	80	0,2	200	0,3	300	0,5	70	0,25
Finition de contournage	Cuivre	50	0,1	70	0,15	170	0,25	250	0,4	60	0,2
Poche	Acier doux	22	0,18	32	0,22	75	0,28	95	0,38	28	0,23
Poche	Acier dur	16	0,12	22	0,18	55	0,22	75	0,28	18	0,18
Poche	Inox	11	0,08	16	0,12	38	0,18	55	0,22	14	0,12
Poche	Aluminium	48	0,25	65	0,35	170	0,45	230	0,75	58	0,35
Poche	Cuivre	38	0,2	55	0,28	140	0,38	190	0,55	48	0,28
Alésage	Acier doux	18	0,15	28	0,2	65	0,25	85	0,35	22	0,2
Alésage	Acier dur	14	0,1	18	0,15	45	0,2	65	0,25	16	0,15
Alésage	Inox	9	0,07	14	0,1	32	0,15	50	0,2	11	0,1
Alésage	Aluminium	42	0,2	60	0,3	150	0,4	210	0,7	52	0,3
Alésage	Cuivre	35	0,18	50	0,25	130	0,35	180	0,5	42	0,25
Rainurage	Acier doux	20	0,1	30	0,15	70	0,2	90	0,3	25	0,15
Rainurage	Acier dur	15	0,08	20	0,1	50	0,15	70	0,2	18	0,1
Rainurage	Inox	10	0,05	15	0,08	35	0,1	55	0,15	12	0,08
Rainurage	Aluminium	45	0,15	65	0,25	160	0,35	220	0,6	55	0,25
Rainurage	Cuivre	38	0,12	55	0,2	140	0,3	190	0,5	48	0,2

Figure 3.2: Base de données

- **Automatisation via VBA** : recherche automatique des vitesses optimales selon la matière et l'outil.[VBA, 2024].

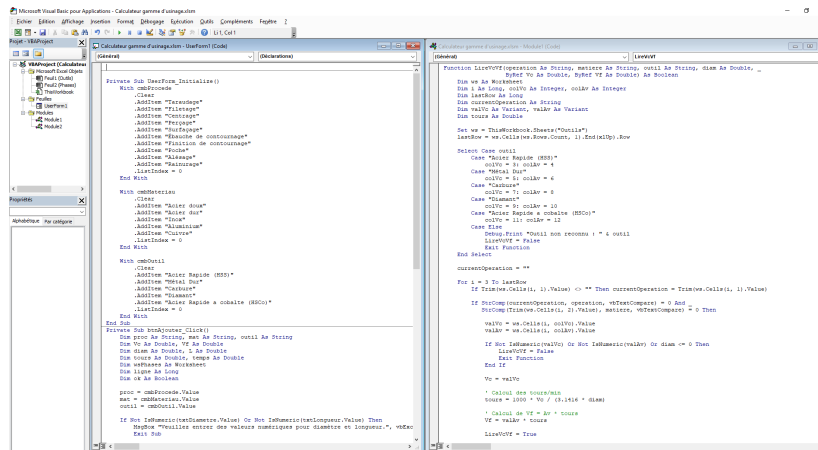


Figure 3.3: Développement de l'assistant VBA

- **Interface utilisateur simple** : formulaire ou cellule de saisie permettant la sélection de la matière et de l'outil.

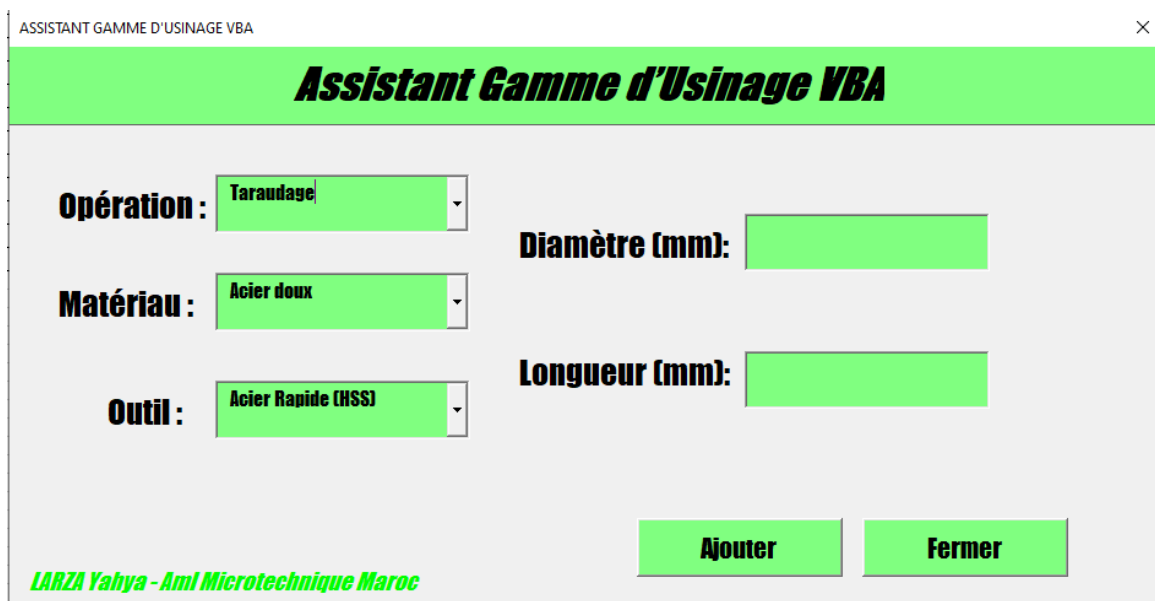


Figure 3.4: Développement de l'assistant VBA

Phase centrale (réalisation)

- **Intégration interface + macros** : liaison entre l'interface utilisateur et la base de données pour une consultation rapide.

```

Private Sub btnAjouter_Click()
    Dim proc As String, mat As String, outil As String
    Dim Vc As Double, Vf As Double
    Dim diam As Double, L As Double
    Dim tours As Double, temps As Double
    Dim wsPhases As Worksheet
    Dim ligne As Long
    Dim ok As Boolean

    proc = cmbProcédé.Value
    mat = cmbMateriau.Value
    outil = cmbOutil.Value

    If Not IsNumeric(txtDiametre.Value) Or Not IsNumeric(txtLongueur.Value) Then
        MsgBox "Veuillez entrer des valeurs numériques pour diamètre et longueur.", vbExclamation
        Exit Sub
    End If

    diam = CDBl(txtDiametre.Value)
    L = CDBl(txtLongueur.Value)

    ' Appel de la fonction qui retourne Vf directement
    ok = LireVcVf(proc, mat, outil, diam, Vc, Vf)
    If Not ok Then
        MsgBox "Données non trouvées ou erreur dans la fonction.", vbCritical
        Exit Sub
    End If

    If Vc = 0 Or Vf = 0 Then
        MsgBox "Vc ou Vf est nul. Vérifie la base.", vbCritical
        Exit Sub
    End If

    ' Calcul du temps (en minutes) = longueur / vitesse d'avance
    temps = L / Vf

    Set wsPhases = ThisWorkbook.Sheets("Phases")
    ligne = wsPhases.Cells(wsPhases.Rows.Count, 1).End(xlUp).Row + 1

    wsPhases.Cells(ligne, 1).Value = proc
    wsPhases.Cells(ligne, 2).Value = mat
    wsPhases.Cells(ligne, 3).Value = outil
    wsPhases.Cells(ligne, 4).Value = diam
    wsPhases.Cells(ligne, 5).Value = L
    wsPhases.Cells(ligne, 6).Value = Vc
    wsPhases.Cells(ligne, 7).Value = Vf ' ici Vf au lieu de Av
    wsPhases.Cells(ligne, 8).Value = Round(1000 * Vc / (3.1416 * diam), 1) ' tours/min
    wsPhases.Cells(ligne, 9).Value = Round(temps * 60, 2) ' temps en secondes

    MsgBox "Phase ajoutée avec succès.", vbInformation

    txtDiametre.Value = ""
    txtLongueur.Value = ""
End Sub

```

Figure 3.5: Code pour le UserForm

- **Développement du code VBA** : création de macros pour rechercher et afficher les vitesses de rotation et d'avance.

```

Function LireVcVf(operation As String, matiere As String, outil As String, diam As Double, _
                ByRef Vc As Double, ByRef Vf As Double) As Boolean
    Dim ws As Worksheet
    Dim i As Long, colVc As Integer, colAv As Integer
    Dim lastRow As Long
    Dim currentOperation As String
    Dim valVc As Variant, valAv As Variant
    Dim tours As Double

    Set ws = ThisWorkbook.Sheets("Outils")
    lastRow = ws.Cells(ws.Rows.Count, 1).End(xlUp).Row

    Select Case outil
        Case "Acier Rapide (HSS)"
            colVc = 3: colAv = 4
        Case "Métal Dur"
            colVc = 5: colAv = 6
        Case "Carbure"
            colVc = 7: colAv = 8
        Case "Diamant"
            colVc = 9: colAv = 10
        Case "Acier Rapide a cobalte (HSCo)"
            colVc = 11: colAv = 12
        Case Else
            Debug.Print "Outil non reconnu : " & outil
            LireVcVf = False
            Exit Function
    End Select

    currentOperation = ""

    For i = 3 To lastRow
        If Trim(ws.Cells(i, 1).Value) <> "" Then currentOperation = Trim(ws.Cells(i, 1).Value)

        If StrComp(currentOperation, operation, vbTextCompare) = 0 And _
            StrComp(Trim(ws.Cells(i, 2).Value), matiere, vbTextCompare) = 0 Then

            valVc = ws.Cells(i, colVc).Value
            valAv = ws.Cells(i, colAv).Value

            If Not IsNumeric(valVc) Or Not IsNumeric(valAv) Or diam <= 0 Then
                LireVcVf = False
                Exit Function
            End If

            Vc = valVc

            ' Calcul des tours/min
            tours = 1000 * Vc / (3.1416 * diam)

            ' Calcul de Vf = Av * tours
            Vf = valAv * tours

            LireVcVf = True
            Exit Function
        End If
    Next i

```

Figure 3.6: Code pour le Module

Phase aval : Validation

Cette phase consiste à vérifier la conformité des résultats obtenus avec les besoins spécifiés initialement. Elle s'appuie sur plusieurs niveaux de tests :

- **Tests unitaires** : chaque macro VBA est testée individuellement afin de vérifier sa robustesse et sa fiabilité (par exemple, vérification du calcul des vitesses pour un diamètre donné).
- **Tests fonctionnels** : validation du fonctionnement global de l'application (recherche

de données, affichage des résultats dans l'interface, cohérence des valeurs calculées).

- **Validation finale** : comparaison entre l'outil manuel utilisé auparavant et la solution développée afin de confirmer le **gain de temps** et l'**amélioration de la fiabilité**. [Projet, 2025]

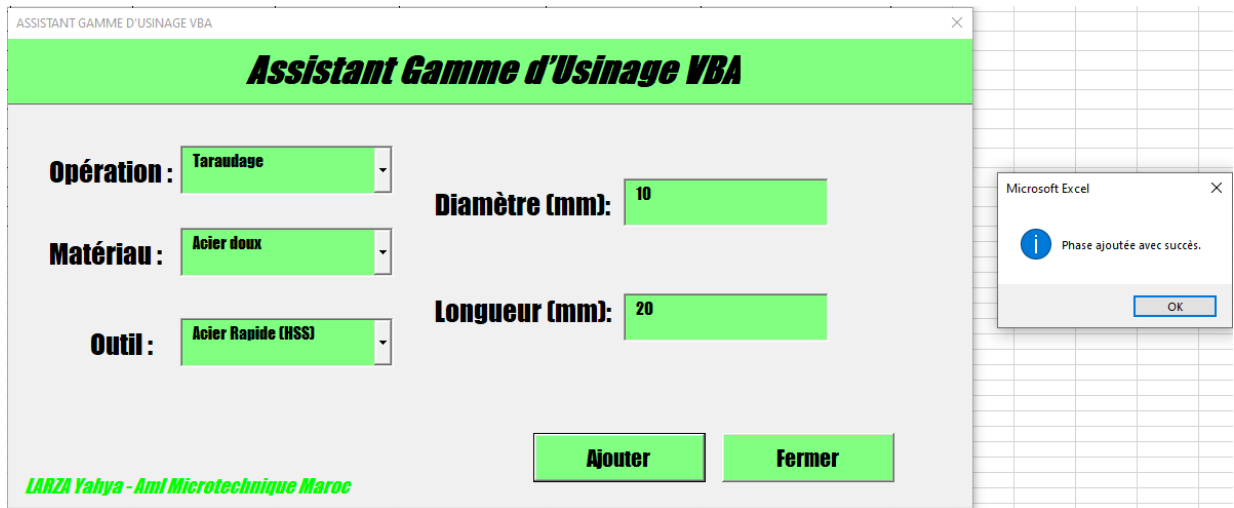


Figure 3.7: Exemple d'exécution de tests sur les macros et validation des résultats.

Procédé	Matériau	Outil	Diamètre (mm)	Longueur (mm)	Vc (m/min)	Avance (mm/min)	N (Tours/min)	Temps de coupe (SEC)
Taraudage	Acier doux	Acier Rapide (HSS)	10	20	15	95,49	477,5	12,57

Figure 3.8: Exemple d'exécution de tests sur les macros et validation des résultats.

Représentation du projet selon le principe du diagramme en V.

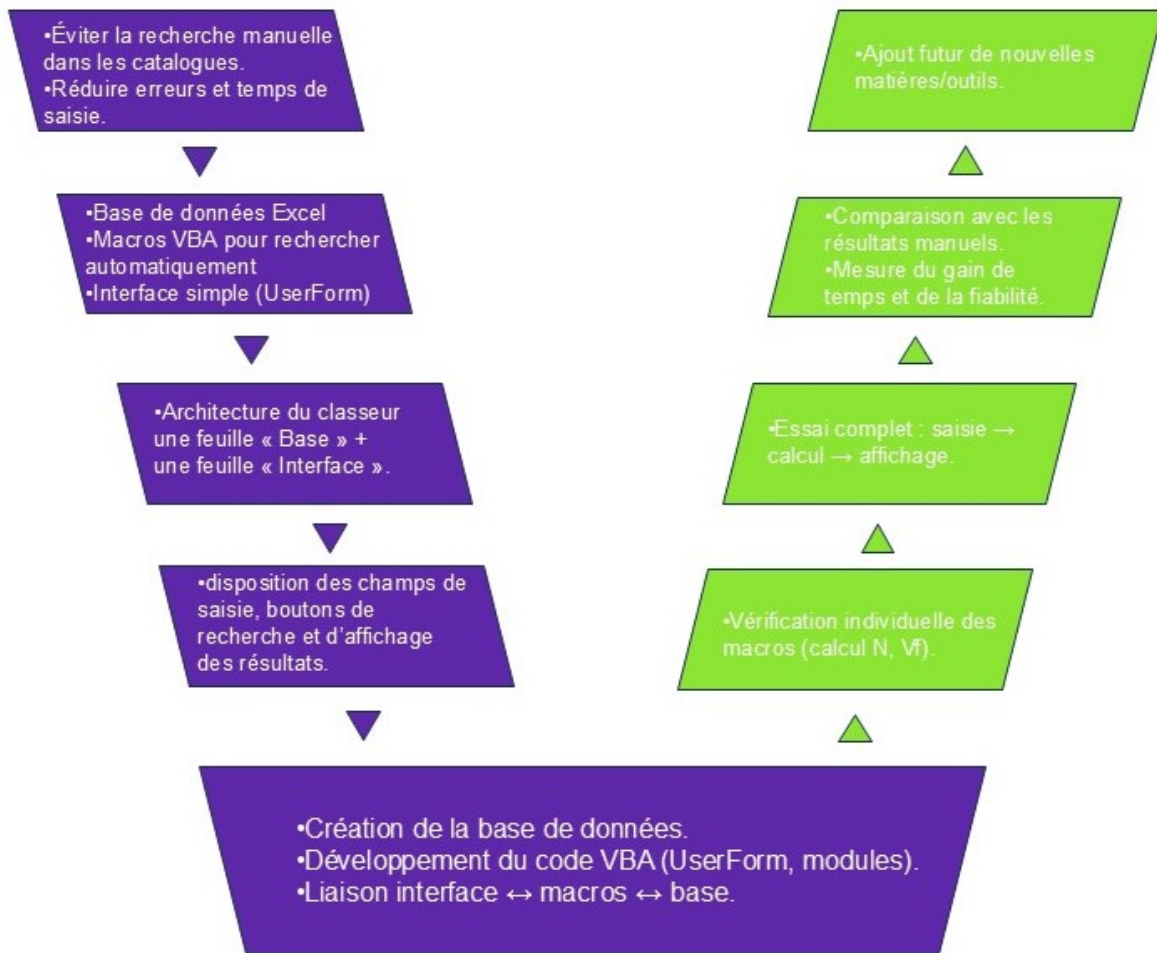


Figure 3.9: Schéma global du diagramme en V

3.1.3 Analyse détaillée des résultats

1. Performance technique

Avant l'implémentation de l'outil Excel-VBA, le réglage des paramètres d'usinage (sélection d'outil, lecture du catalogue, calcul de la vitesse de rotation N et de la vitesse d'avance V_f) était réalisé manuellement et prenait en moyenne **5 minutes par phase**. L'automatisation a réduit ce temps à **moins d'une minute**, soit un **gain net d'environ 4 minutes par phase**.

Validation et robustesse

- **Couverture des tests** : les **15 macros** développées ont fait l'objet de tests unitaires complets.
- **Précision** : comparaison systématique avec les valeurs catalogue (Sandvik, Iscar, Seco). Les écarts mesurés sont restés $\leq \pm 0,8\%$, mieux que la tolérance fixée de $\pm 1\%$.
- **Tests d'intégration** : **50 scénarios** testés (matériaux, diamètres, opérations : perçage, fraisage, tournage) — **aucune anomalie détectée**.
- **Stabilité** : les calculs sont déterministes et répliquables ; les validations d'entrée empêchent les valeurs aberrantes.

Base de données et évolutivité

- Contient actuellement plus de **450 enregistrements** (outils, plaquettes, nuances, diamètres, paramètres de coupe).
- Architecture normalisée permettant l'ajout d'outils ou matériaux **sans modifier le code**.
- Requêtes instantanées même pour des volumes étendus : solution prête pour une montée en charge modérée.

2. Impact organisationnel

Gain de productivité

- Suppression de la consultation manuelle des catalogues.
- Délégation des tâches sans valeur ajoutée au programme.
- Temps libéré réaffecté : contrôle qualité, optimisation des gammes, surveillance du processus, formation opérateurs.

Réduction des erreurs et amélioration qualité

- Contrôles automatiques des valeurs admissibles.
- Vérification de la cohérence matériau / outil / opérations.
- Alerte en cas de dépassement de V_c ou V_f .
- Baisse des rebuts et des interventions non planifiées.

Traçabilité et pilotage

Chaque calcul est automatiquement historisé : outil, paramètres, opérateur, date. Cela facilite :

- le diagnostic après incident ;
- les audits qualité ;
- l'analyse long terme de l'usure outils et stabilité des paramètres.

3. Analyse économique (cas représentatif)

3.1.4 Économie sur l'outillage

L'évaluation économique s'appuie sur un cas représentatif : fraise Ø10 mm, production 200 pièces / semaine, plaquette à 300 DH en moyenne.

Avant automatiser, la durée de vie des plaquettes était limitée par des vitesses de coupe empiriques. L'outil Excel-VBA permet de choisir systématiquement la vitesse optimale.

Selon ISCAR (Cutting Tools User Guide) : “The case study shows that in the milling operation, increasing the cutting speed by 33% reduces tool life approximately 50%.” Cela illustre que des vitesses correctement choisies prolongent significativement la durée de vie des outils [ISCAR, 2025].

- Durée de vie plaquette : **40 pièces** (avant) → **60 pièces** (après optimisation)
- Plaquettes nécessaires : 5 / semaine → 3 / semaine

- Économie : $2 \text{ plaquettes} \times 300 \text{ DH} = 600 \text{ DH} / \text{ semaine} \rightarrow 2\,400 \text{ DH} / \text{ mois}$

3.1.5 Réduction des rebuts

L'automatisation des paramètres de coupe via l'outil Excel-VBA contribue à la diminution des rebuts / pièces non conformes, grâce à une meilleure cohérence des vitesses de coupe et des avances. En alignant systématiquement les conditions d'usinage sur les valeurs optimales, on réduit les erreurs de paramétrage.

Sources :

- LS Manufacturing : *“The normal scrap rate for precision CNC machining is typically between 2% and 5%.”* longshengmfg.com [Manufacturing, 2025]
- ISCAR / Vericut Optimizer : optimisation des vitesses d'avance et de coupe réduit les rebuts jusqu'à 25% machine-outil.com [Optimizer, 2025]

Estimation économique de la réduction des rebuts : Dans notre cas représentatif (200 pièces / semaine), nous considérons un taux de rebuts initial de 3 %, cohérent avec la littérature industrielle (LS Manufacturing). Grâce à la validation automatique des entrées :

- Pièces perdues initialement : 6 pièces / semaine (3)
- Coût matière + reprise : $6 \times 25 \text{ DH} = 150 \text{ DH} / \text{ semaine}$
- Gain mensuel estimé : $\approx 600 \text{ DH}$
- Gain annuel : $\approx 7200 \text{ DH}$

3.1.6 Synthèse financière

Poste	Gain mensuel	Gain annuel
Usure outils corrigée	2 400 DH	28 800 DH
Réduction des rebuts	600 DH	7 200 DH
Total	3 000 DH	36 000 DH

- La création des séquences d'usinage
- L'application des paramètres de coupe et vitesses
- La génération du code G directement exploitable sur les machines CNC

Ainsi, le programme vise à réduire significativement le temps de préparation, à limiter les erreurs humaines et à améliorer l'efficacité de la production, tout en restant flexible pour différentes configurations de pièces.



	Tableau des paramètres		
Paramètre	Valeur		
Hauteur pièce	10		
Nombre de trous	4		
Entraxe horizontal	50		
Entraxe vertical	40		
Trous taraudés	<input type="checkbox"/> OUI		
Profondeur taraudage	8		
Diamètre taraudage	10		

Figure 3.11: Table Excel à remplir avec les différentes mesures et paramètres de la bride.

```

%
O2876
(00052385)
(T1 FORET HELICOIDAL D5,5)
#181=
(T2 FRAISE.EBAUCHE.DIA.6)
#182=
(T3 FRAISE.FINITION.DIA.6)
#183=
(T4 FRAISE.EBAUCHE.DIA.4)
#184=
(T5 FRAISE.EBAUCHE.DIA.2)
#185=
(T6 FRAISE.FINITION.DIA.3)
#186=
(T7 FRAISE 2 TAILLES D1)
#187=
(T8 FRAISE.DE.FORME.DIA.3.EP1.5)
#188=
(T9 FORET A POINTER D5 )
#189=
(T10FORET HELICOIDAL D3,15 )
#190=
(T11 ALESOIRE FIXE D3,17 H7)
#191=
(T12 FRAISE A CHANFREINER INVERSEE D6 )
#192=

N124 (AML.PIECE.BRIDE.WR051)
N126 (INDICE.CLIENT.:N/A)
N128 (CODE.ARTICLE.AML.:00052385)
N130 (INDICE.PLAN.AML.:)
N132 (INDICE.FAB.AML.:)
N134 (PROGRAMEUR:MOUSSANNAH.MED)
N136 (DATE.:24/06/2025)
N138 (USINAGE.1ERE PHASE )
N140 (MATIERE:ALU6061 )
N142 (DEBIT.DE.MATIERE:123X28XEP11 )
N144 (SERRAGE.EN.ETAU.SUR.3MM MAXI)
N146 (ORIGINE.G54)
N148 (ORIGINE.X.BORD.GAUCHE.+14.MM)
N150 (ORIGINE.Y.AXE.PIECE.BRUT.)
N152 (ORIGINE.Z.DESSUS.BRUT.-0.5MM)
#103=660.
M98P8888
#5223=#5223+#103
N10 G0 G40 G49
N20 G80 G90 G94 G98
N30 G54

(FORET HELICOIDAL D5,5 )
N40 T#181 M6
N50 T#182

```

0200 (PIECE RECTANGULAIRE AVEC TROU)

(PARAMETRES SAISIS)

#100 = 10 (LONGUEUR X)

#101 = 20 (LARGEUR Y)

#102 = 2 (EPAISSEUR Z)

#103 = 5 (DIAMETRE TROU)

#104 = 5 (POS X TROU)

#105 = 4 (POS Y TROU)

#106 = 2 (RAYON COINS)

#107 = 2 (SUREPAISSEUR)

(INITIALISATION MACHINE)

G90 G54 G17 G40 G49 G80

G21 (UNITES MM)

T1 M06 (FRAISE CARBURE 10MM)

S3500 M03

G43 H1 Z50

Figure 3.12: Exemple de code G pour une bride, généré manuellement.

Figure 3.13: Code G généré automatiquement à partir du programme Excel VBA.

Conclusion

Ce stage d'observation au sein de la société **AML Microtechnique Maroc** m'a offert une immersion concrète dans un environnement industriel de haute précision et à forte exigence technique. J'ai pu découvrir l'organisation d'un atelier d'usinage, comprendre les différents services – de la réception des commandes à la production – et observer la rigueur indispensable au respect des normes aéronautiques et spatiales.

La réalisation de mon projet, portant sur le développement d'un **assistant numérique sous Excel VBA pour la création des gammes d'usinage**, a constitué une expérience particulièrement enrichissante. Elle m'a permis d'approfondir mes compétences en programmation, d'appliquer des méthodes de gestion de projet (diagramme en V) et de mesurer l'impact réel d'un outil d'automatisation sur la productivité et la fiabilité des opérations.

Au-delà des aspects techniques, ce stage m'a appris l'importance du travail en équipe, de la communication entre les différents départements et de la qualité dans chaque étape du processus industriel. Il a confirmé mon intérêt pour le **génie mécanique des systèmes industriels** et renforcé ma motivation à poursuivre mon parcours dans l'ingénierie et l'innovation.

Je ressors de cette expérience avec des acquis solides, une vision plus claire des réalités du terrain et une envie accrue de contribuer à des projets industriels d'envergure.

Bibliographie

- [ESPRIT, 2025] ESPRIT (2025). Getting started with esprit. <https://vjmedia.wpi.edu/images/1/1f/GetStarted-ESPRIT-English.pdf>. Consulté le 25 septembre 2025.
- [ISCAR, 2025] ISCAR (2025). Cutting tools user guide. https://www.iscar.com/Catalogs/Publication/english_1/Cutting_tools_user_guide/Cutting_tools_user_guide.pdf. Consulté le 22 novembre 2025.
- [Manufacturing, 2025] Manufacturing, L. (2025). Normal scrap rate for precision cnc machining. https://www.longshengmfg.com/what-is-normal-scrap-rate-for-cnc-machining/?utm_source=chatgpt.com. Consulté le 22 novembre 2025.
- [Optimizer, 2025] Optimizer, C. . V. (2025). Optimizing cutting conditions to reduce scrap. https://www.machine-outil.com/t274/p2737-cgtech.html?utm_source=chatgpt.com. Consulté le 22 novembre 2025.
- [Projet, 2025] Projet, Y. (2025). Calculateur de gamme d'usinage sous excel. https://drive.google.com/file/d/1INlKnsQe_nfAje0p2nSrtYF0u1QZy6pd/view?usp=drive_link. Consulté le 25 septembre 2025.
- [VBA, 2024] VBA, J.-M. (2024). Initiation à la programmation vba sous excel. <https://sti.eduscol.education.fr/sites/eduscol.education.fr.sti/files/ressources/pedagogiques/16555/16555-macros-vba.pdf>. Consulté le 25 septembre 2025.