

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MUSTAPHA BENBOULAIID BATNA 2

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE



Master 1 : Maintenance des Machines Thermiques et Hydrauliques

MATIERE : Bureau d'Etudes

Réalisé par :

Dr. BENLAHMIDI Said

AVANT-PROPOS

Dans ce document, on se propose de remplir les missions principales suivantes :

- Donner à l'étudiant les outils nécessaires pour aborder un projet de conception.
- Apprendre les méthodes d'organisation des B.E.
- Etude des cahiers de charges définissant un projet.
- Donner les éléments fonctionnels et technologiques permettant aux étudiants de la filière de **Maintenance des Machines Thermiques et Hydrauliques** de développer des études de dimensionnement des organes de transmission de puissance mécanique.

En effet, ce cours adopte une présentation en quatre chapitres, le premier étant consacré à l'organisation générale du Bureau d'études, le deuxième à une application pratique, le troisième à la conception d'un mécanisme de transmission de puissance et le quatrième aux études et gestion de projets.

Objectifs de l'enseignement

Objectif général : Doter l'étudiant d'outils nécessaires pour aborder un projet de conception.

- Apprendre les méthodes d'organisation des bureaux des études.
- Etudes des Cahiers des charges définissant un projet.

Connaissances préalables recommandées

Construction mécanique, Dessin Technique, Dessin Assistée par Ordinateur.

Contenu de la matière :

Chapitre 1 : Organisation générale du Bureau d'études

- 1.1- Introduction générale
- 1.2- Etude de marché
- 1.3 - Principales fonctions d'un Bureau d'études

Chapitre 2 : Application pratique

- 2.1- Choix d'une unité de fabrication mécanique
- 2.2 - Etablissement de l'organigramme de l'unité
- 2.3 - Localisation du B.E. dans l'unité
- 2.4 - Relation BE avec les autres services
- 2.5 - Documentation du Bureau d'études
- 2.6 - Quelques indications
- 2.7 - Exemple de réalisation d'un cahier de charges fonctionnel

Chapitre 3 : Conception d'un mécanisme de Transmission de Puissance

- 3.1- Définition des paramètres d'entrée et de sortie
- 3.2- Choix du mode de transmission
- 3.3 - Conception et Dimensionnement des pièces
- 3.4 - Normalisation des pièces
- 3.5 - Assemblage et mise en plan du produit.

Chapitre 4 : Etudes et Gestion de Projets

- 4.1- Définition du projet
- 4.2 - Etude de l'environnement
- 4.3 - Etude de la rentabilité du projet
- 4.4- Choix de l'implantation du projet
- 4.5 - Conception du projet
- 4.6 - Répartition des tâches sur les services du Bureau d'Etudes

Mode d'évaluation : Contrôle continu : 40% ; Examen : 60 %.

Chapitre 1 : ORGANISATION GENERALE DU BUREAU D'ETUDE

1.1 Introduction générale

Dans un monde en perpétuelle évolution, les industries de la mécanique doivent s'adapter aux contraintes de la mondialisation qui entraînent une concurrence accrue. Les critères de choix du client sont la qualité, le prix et la disponibilité du produit (figure 1.1). Si les prix et la disponibilité sont des critères chiffrables et ne prêtent pas de confusion, la qualité reste dans notre société, autant pour le consommateur que pour le fabricant, une notion très vague et complexe. L'ouverture des frontières aux produits et service, imposée par l'économie de marché, fait que le champ de compétition entre les entreprises ne va plus se limiter à une région ou a un pays, mais s'étendra à l'échelle mondiale . La plus grosse part du marché reviendra incontestablement à l'entreprise qui saura le mieux satisfaire les exigences du client sur les caractéristiques techniques et le prix du produit proposé.

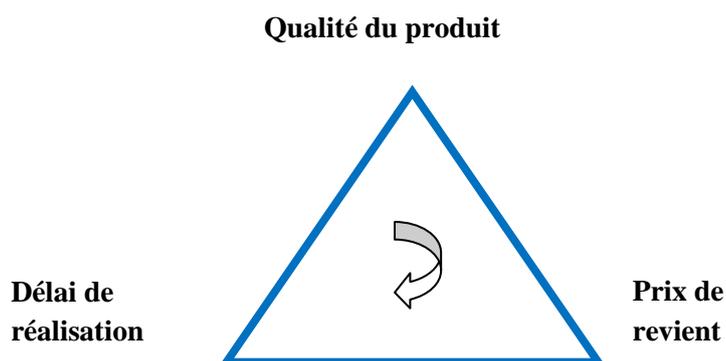


Figure 1.1 : Triangle de qualité

1.2 Etude du marché

Le passage de l'idée à la réalisation d'une pièce mécanique fait intervenir quatre fonctions et secteurs principaux :

- L'étude de marché Marketing ;
- La conception construction le bureau d'étude ;
- L'étude et la préparation de la fabrication le bureau des méthodes ;
- La fabrication les ateliers de fabrication.

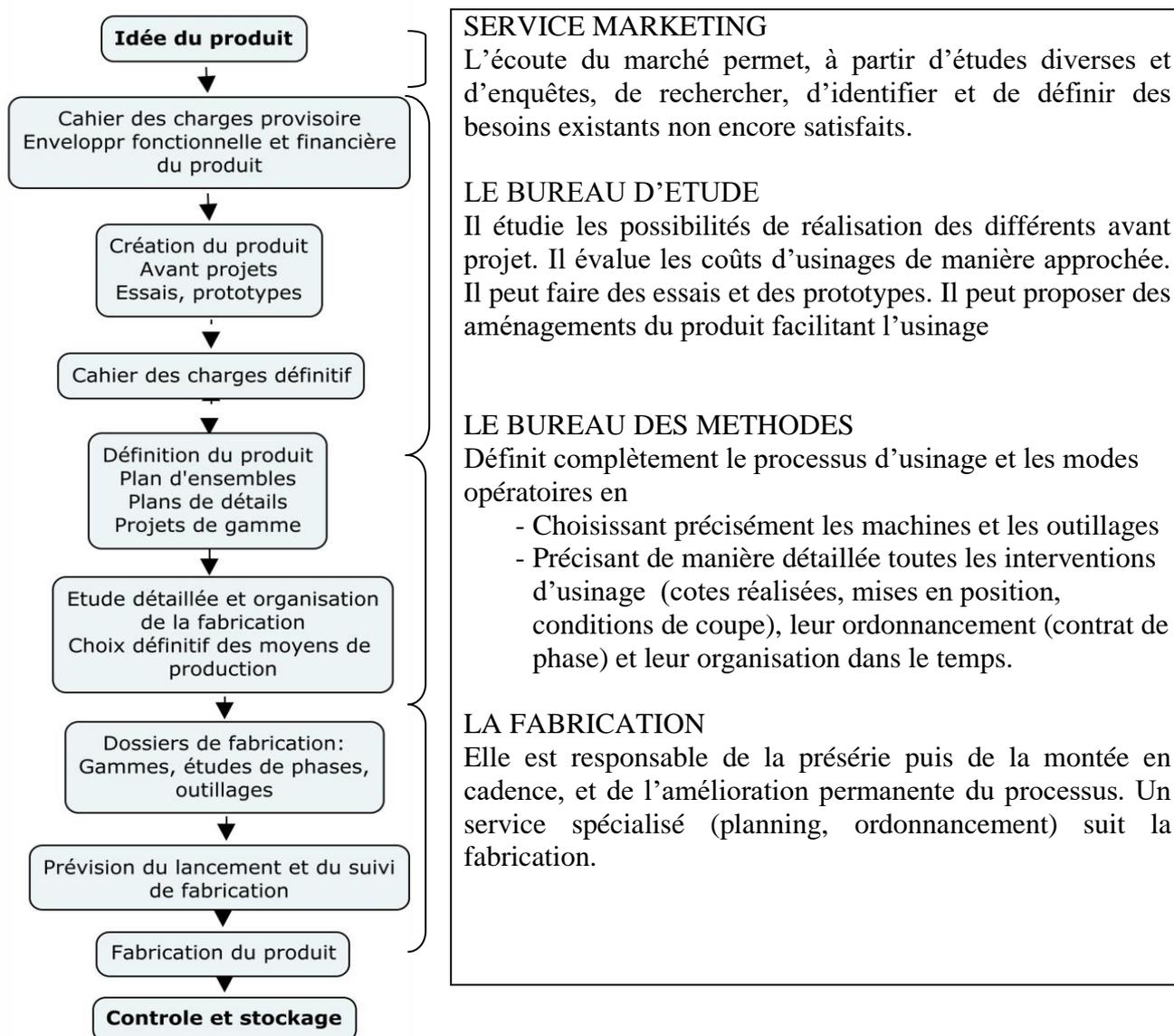


Figure 1.2 : Les différents services et bureaux

L'élaboration d'un projet demande la mise en place de moyens (Humains et Matériels) permettant de faire un suivi correcte et efficace. Ce qui implique que, les ingénieurs et techniciens des Bureaux d'Etudes et Méthodes doivent être formés au courant de l'état d'avancement de la technologie. Ils doivent disposer d'un matériel moderne et complet, d'instruments perfectionnés et précis ainsi qu'une documentation abondante, moderne, variée, complète et précise pour une bonne gestion de projet (figure 1.3).

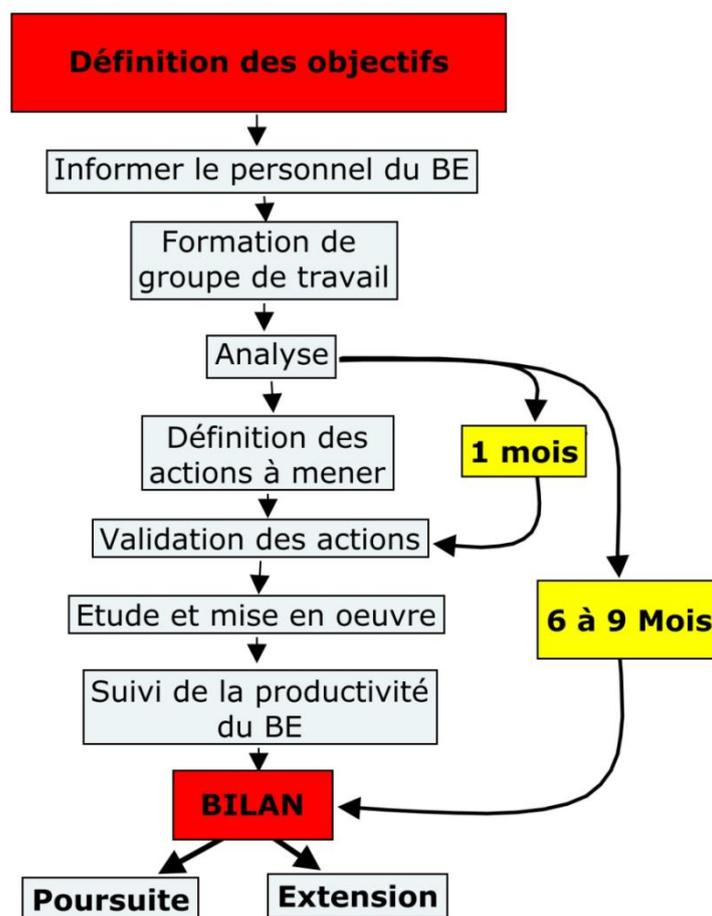


Figure 1.3 : Les différentes étapes du projet

Cela ne peut se faire du jour au lendemain c'est un travail de longue durée continu avec une volonté et un vouloir faire de tous acteurs présents dans le secteur économique.

1.3 Les principales fonctions

1.3.1 Fonction conception

La tâche principale de la fonction conception est de répondre aux besoins des clients en faisant l'étude et la réalisation de documents techniques sur la base du cahier des charges préalablement établi.

1.3.2 Fonction gestion de production

Elle comporte notamment :

- **La planification stratégique** : Elle gère les délais et les stocks des produits finis. Elle reçoit les commandes des clients ainsi que les prévisions et elle fournit le plan directeur de production.

- **La planification des composants** : Elle gère les délais et les stocks des composants. Elle reçoit le plan directeur de production et les nomenclatures et elle fournit les ordres de fabrication et d'achats.
- **L'ordonnancement** : Il gère les postes de travail au niveau des ateliers. Il reçoit les gammes, temps, ordre et disponibilités des postes de travail. Il fournit l'engagement des postes d'ateliers.

1.3.3 Fonction Méthodes

Le Bureau des Méthodes énumère et ordonne les opérations nécessaires à l'obtention de chaque pièce par une rédaction de gamme de fabrication ainsi qu'il prépare les moyens de production et de contrôle additivement à cela il :

- Conçoit et fait réaliser les outillages ;
- Aménage les postes de travail ;
- Programme et règle les machines ;
- Planifie la fabrication ;
- Suit l'exécution et modifie si nécessaire le planning pour respecter les délais.

1.3.4 Fonction Production (Fabrication)

Elle comporte en particulier :

- **Le suivi de production** : Il a pour tâche le suivi et la surveillance de l'exécution des ordres. Il reçoit les documents et programmes de fabrication et il fournit les données de suivi.
- **Les ateliers et les postes de fabrication** : Ils exécutent les différentes opérations de réalisation des pièces. Ils reçoivent les ordres de fabrications (O.F.) et les données techniques (contrats de phase, programmes CN, fiches de réglage,...etc.). Ils fournissent différents états, notamment celui de l'avancement des travaux.
- **La maintenance** : En plus des actions de maintenance, elle contribue à la fabrication des moyens. Elle reçoit les messages des postes de fabrication et elle fournit les données de l'état de la maintenance.

Chapitre 2 : Application pratique

2.1- Choix d'une unité de fabrication mécanique

2.2 - Etablissement de l'organigramme de l'unité

2.3 - Localisation du B.E. dans l'unité

2.4 - Relation B.E avec les autres services

2.5 - Documentation du Bureau d'études

Chapitre 2 : APPLICATION PRATIQUE

2.1 Choix d'une unité de fabrication mécanique

Une unité de fabrication existe pour répondre à un besoin de réalisation d'un produit. En conséquence, sa définition est directement impactée par la définition du produit. ces produits sont obtenus grâce à un processus de fabrication, transformation par des opérations d'usinage, de découpe, formage puis assemblage mécanique, et sont fabriqués en grande quantité.

2.2 Etablissement de l'organigramme de l'unité

La structure organisationnelle d'une unité définit le mode d'organisation entre les différentes unités qui composent l'entreprise et le choix de répartition des moyens humains et matériels mis en œuvre entre ces différentes unités.

En conséquence, définir la structure organisationnelle d'une entreprise revient à répondre aux questions suivantes :

- Comment sont mis en relation les différents éléments qui composent l'entreprise?
- Comment sont répartis les facteurs de production utilisés par l'entreprise?

Il faut alors définir les tâches qui doivent être accomplies dans l'entreprise et concevoir une structure organisationnelle permettant la coordination de ces tâches entre les différents membres. La formalisation de la structure organisationnelle est souvent représentée par un organigramme (Présentation de la répartition des responsabilités et du pouvoir, de l'organisation de la hiérarchie et de la distribution des tâches au sein d'une structure).

2.2.1 Caractéristiques d'une structure

La division des tâches au sein d'une structure organisationnelle suppose que celles-ci sont ensuite reliées par un ensemble de liens qui peuvent être :

Des liens hiérarchiques : qui impliquent alors la définition de liens de subordination entre les différents éléments.

Des liens fonctionnels : les décisions d'un élément de la structure doivent pouvoir s'appliquer aux autres éléments dépendant de ce centre de compétence.

Des liens de conseil : un élément de la structure peut contribuer au bon fonctionnement d'un autre élément.

2.2.2 Structures del'Entreprise

Les entreprises peuvent adopter différents types de structures selon la manière dont elles organisent la division interne du travail (degré de départementalisation).

On distingue généralement deux grands types de structures qui se distinguent par le fait que l'une est centrée sur la notion de fonction alors que l'autre repose sur l'idée de produit.

a. La structurefonctionnelle

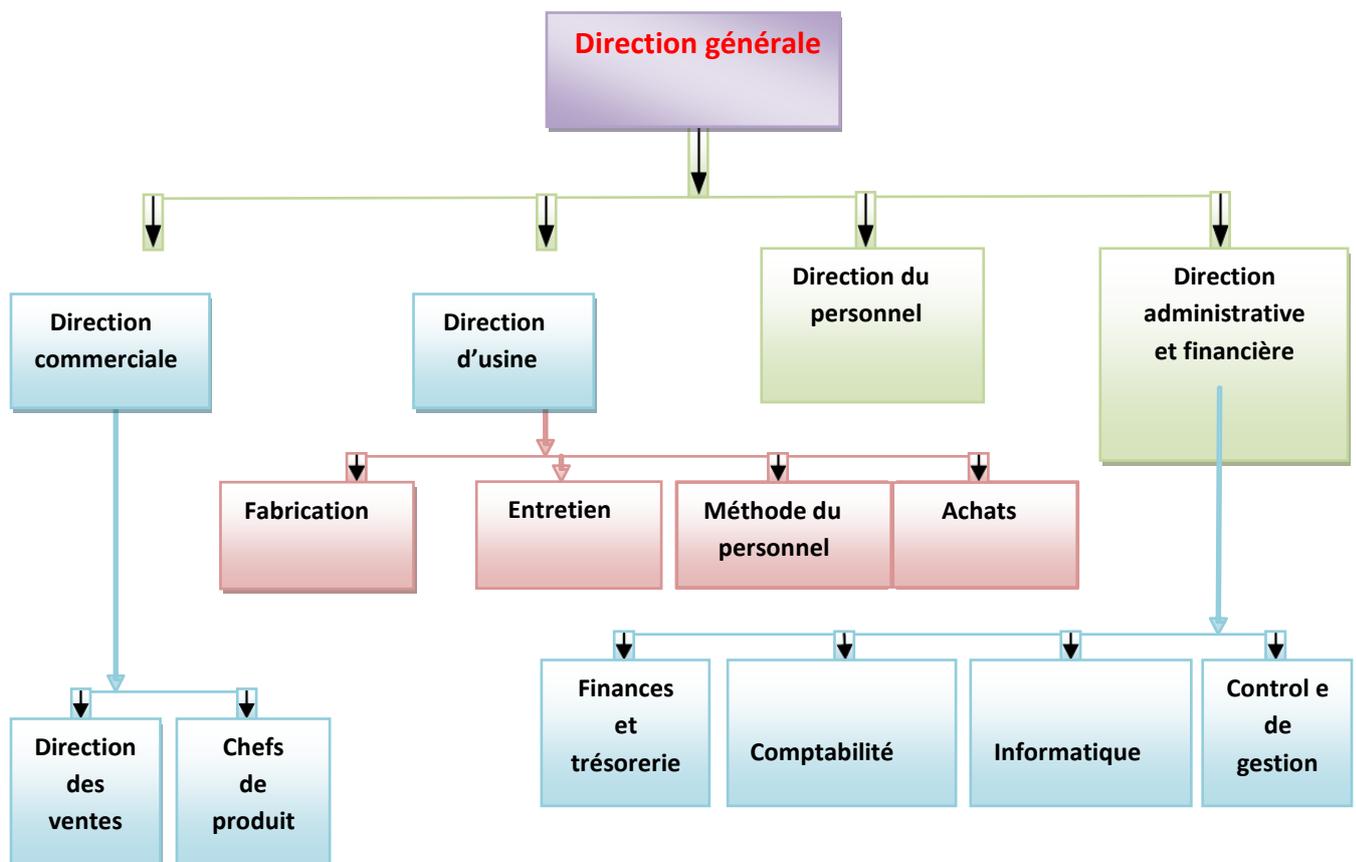


Figure 2.1 : La structure fonctionnelle de l'Entreprise

Ce type de structure repose sur deux principes essentiels :

Unité de commandement : la voie hiérarchique constituée se traduit par le fait que tout membre de l'entreprise ne dépend que d'un seul supérieur.

Modes de communication : la communication entre les membres est à la fois verticale (Selon la voie hiérarchique définie) et horizontale (coopération entre les niveaux hiérarchiques parallèles).

b. La structure divisionnelle

L'entreprise est ici organisée autour du bien ou service final qu'elle produit. Chacune des divisions de la structure organisationnelle de l'entreprise peut à son tour être structurée selon le modèle de la structure fonctionnelle.

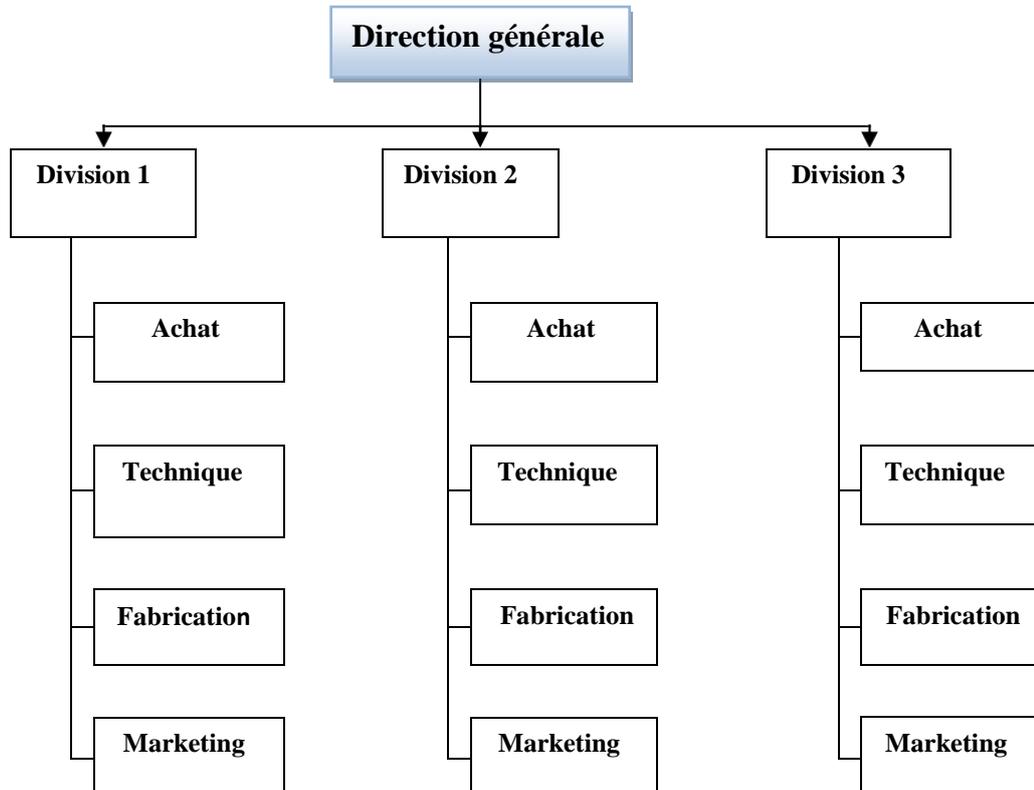


Figure 2.2 : La structure divisionnelle de l'Entreprise

Ce type de structure est de plus en plus utilisée par les grandes entreprises - qui dans le même ordre d'idée adoptent une structure organisationnelle géographique que l'on peut assimiler à une structure divisionnelle puisque les grandes fonctions sont dupliquées dans les différentes divisions géographiques.

Ce type de structure repose sur quatre principes essentiels :

- Focalisation de la structure sur le produit final : on regroupe sous une autorité unique l'ensemble des activités relatives à une gamme de produits homogènes ;
- dissocier la gestion des diverses lignes de produits entre différents responsables ;
- déléguer le pouvoir de décision aux responsables de produits ;
- faire de ces lignes de produits des centres de profits autonomes.

c. La Structure matricielle (multidivisionnelle)

Dans certains cas, l'entreprise peut adopter une structure organisationnelle qui combine à la fois une approche fonctionnelle et une approche divisionnelle.

Cette approche repose sur deux principes essentiels :

- **Dissocier le côté opérationnel** (l'activité proprement dite) des fonctions de gestion courante ce qui permet de lancer de nouvelles activités sans bouleverser la structure initiale.
- **Dualité de commandement** : un membre de l'entreprise se trouve de fait confronté à un double commandement exercé par un responsable fonctionnel et par un responsable de produit.

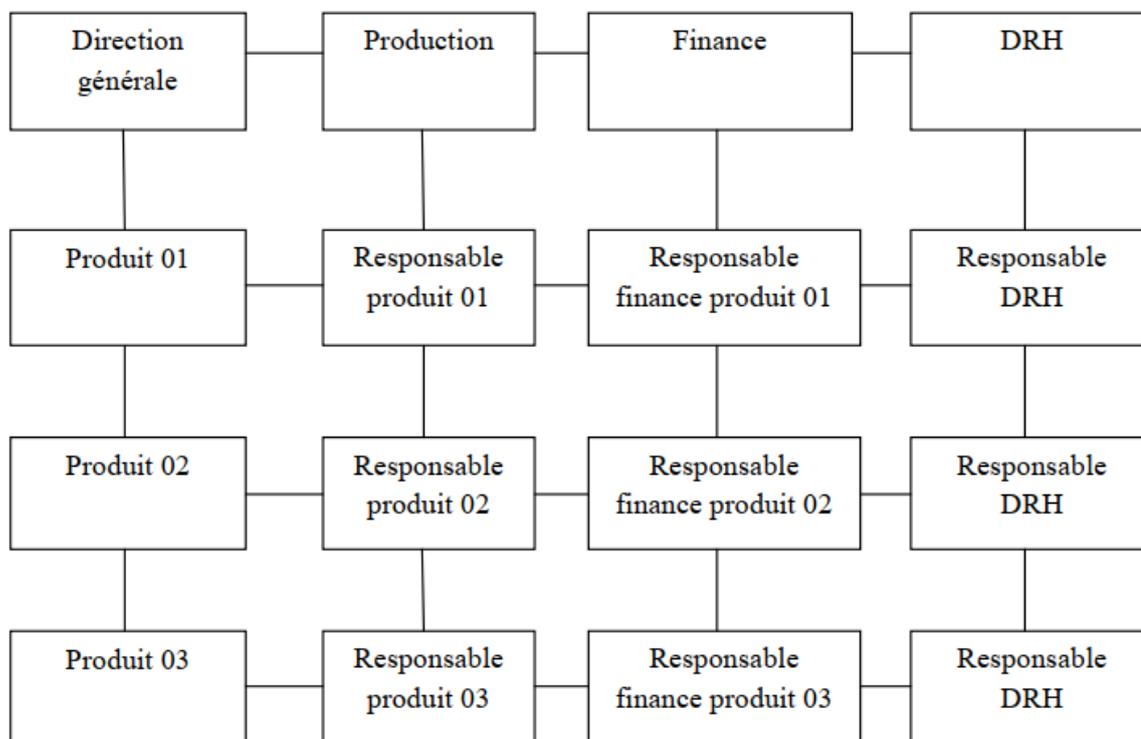


Figure 2.3 : la Structure matricielle (multidivisionnelle) de l'Entreprise

2.3 Localisation du B.E. dans l'unité et la relation avec les autres services

Le principal service mis en jeu dans une entreprise de fabrication est le Bureau d'Etudes, sa mission est de :

- Concevoir avec les services marketing et commercial, pour développer de nouveaux produits et nouveaux processus ;
- Etudier et résoudre les problèmes liés aux nouveaux produits, d'applications nouvelles ou de perfectionnement des produits de l'entreprise ;
- Superviser une équipe d'ingénieurs et de technicien d'étude qui réalise ou étudient les plans ou spécifications des produits ou les équipements fabriqués par l'entreprise ;
- Travailler en relation avec la fonction commerciale pour tenir compte de l'impératif du marché ;
- En lien avec la fonction technique et le bureau des méthodes pour proposer des produits économiquement rentables et mieux adaptés aux possibilités techniques de l'entreprise ;
- Fournir au bureau des méthodes des éléments qui permettent de réaliser de nouveaux produits.

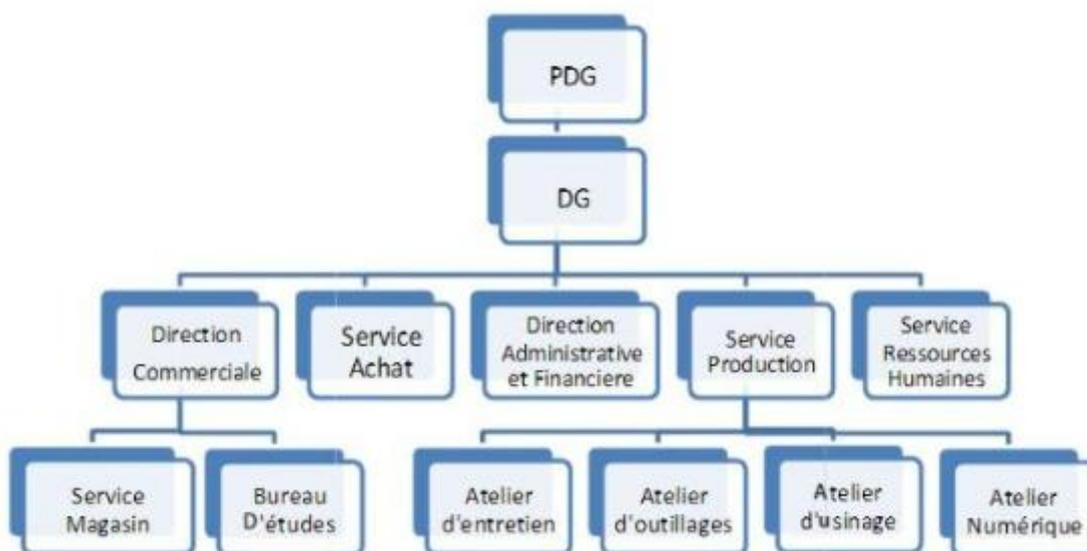


Figure 2.4 : Exemple de structure d'une unité de fabrication mécanique

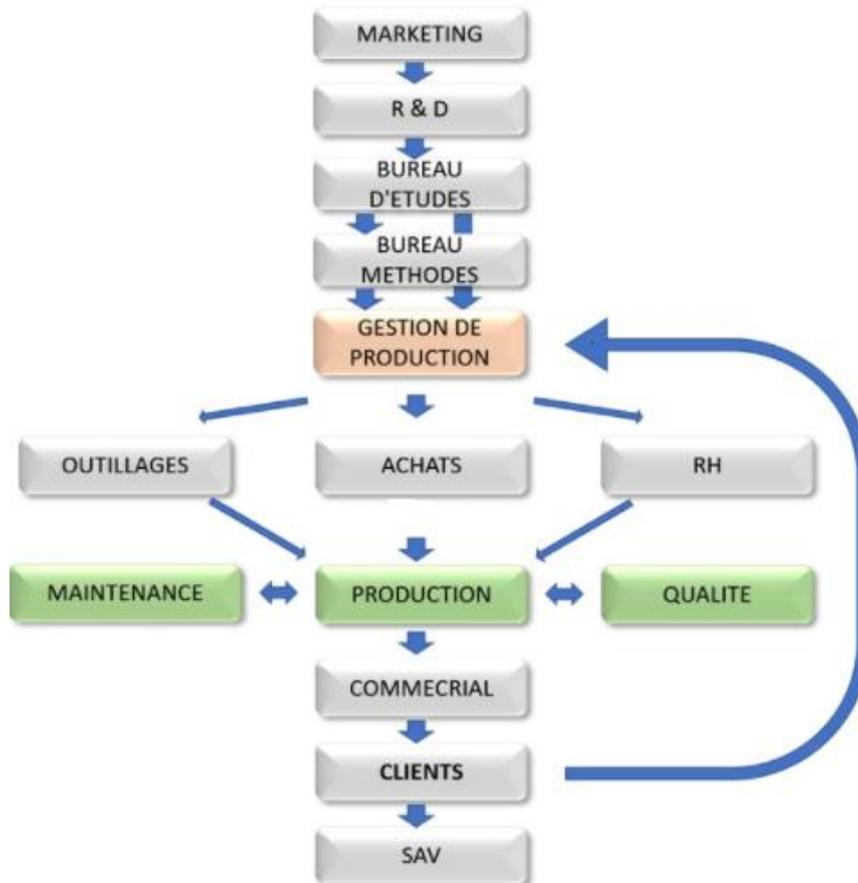


Figure 2.5 : Exemple de structure d'une unité de fabrication

La figure 2.4 montre l'organigramme structurel qui définit les relations fonctionnelles entre les services (et non les relations hiérarchiques).

Comme l'indique son nom, un Bureau d'Etude c'est le lien entre les études relatives au produit, il doit travailler sur la conception d'un produit qui lui a été commandé par la société.

Parmi ses fonctions :

- La conception de la précision géométrique de produit ;
- La création du cahier de charge ;
- La proposition des solutions les mieux adaptées ;
- L'optimisation d'une chaîne de production ;

2.4 Documentation du Bureau d'études

2.4.1 Conception d'un produit nouveau

2.4.1.1 Généralités

Par le passé, la concurrence était connue et limitée. La durée de vie des produits industrialisés était grande, les délais étaient fixés par l'entreprise, ceci permettait une phase d'industrialisation sans contraintes. Le client n'avait guère le choix, de ce fait, la qualité n'était pas un critère de production.

Aujourd'hui, le besoin d'amélioration se fait primordiale sur les procédés que dans le domaine des processus et de leur mise en œuvre.

2.4.1.2 Définition de conception d'un produit nouveau

- La conception c'est la recherche des concepts qui permettent d'atteindre les prestations que l'on souhaite offrir à ses clients.
- La conception d'un produit fait appel à des connaissances dans des domaines divers, tels que la mécanique, l'électricité, l'électronique, physique, chimie, productique.... mais aussi économie, et relations humaines.

2.4.1.3 Le processus de conception d'un produit

Un produit (ou objet produit) est fabriqué par l'homme par opposition à un objet naturel. Cet objet artificiel peut être très divers mais nous nous limiterons ici dans le cadre de la CAO à un objet 3D réel (produit mécanique : pièce mécanique, automobile, avion, mobilier, produit de design industriel).

Le processus de conception/réalisation est le passage de l'idée à l'objet. Plus l'objet à fabriquer est complexe, plus une méthodologie est nécessaire et plus les objets intermédiaires de conception, en particulier les plans, sont indispensables. On assiste ainsi à une rationalisation de la production qui permet de faire baisser le temps et le coût de la construction du produit.

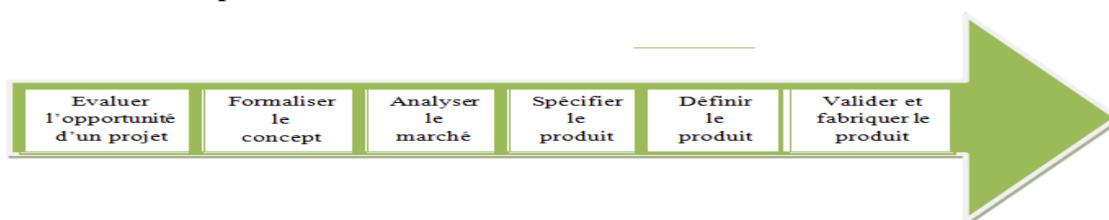


Figure 2.6 : processus de conception de produit

2.4.1.4 Le modèle hiérarchique de processus de conception

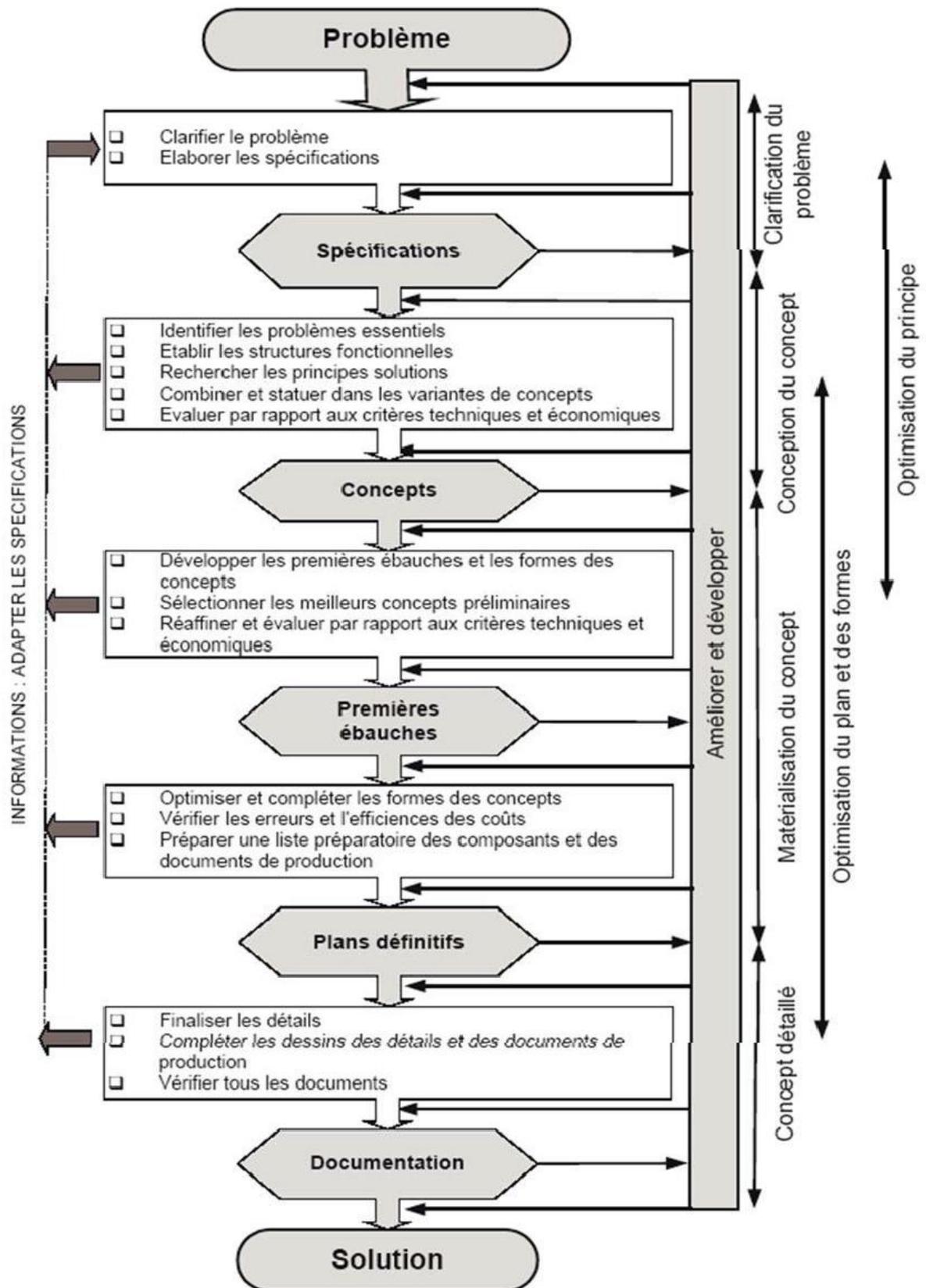
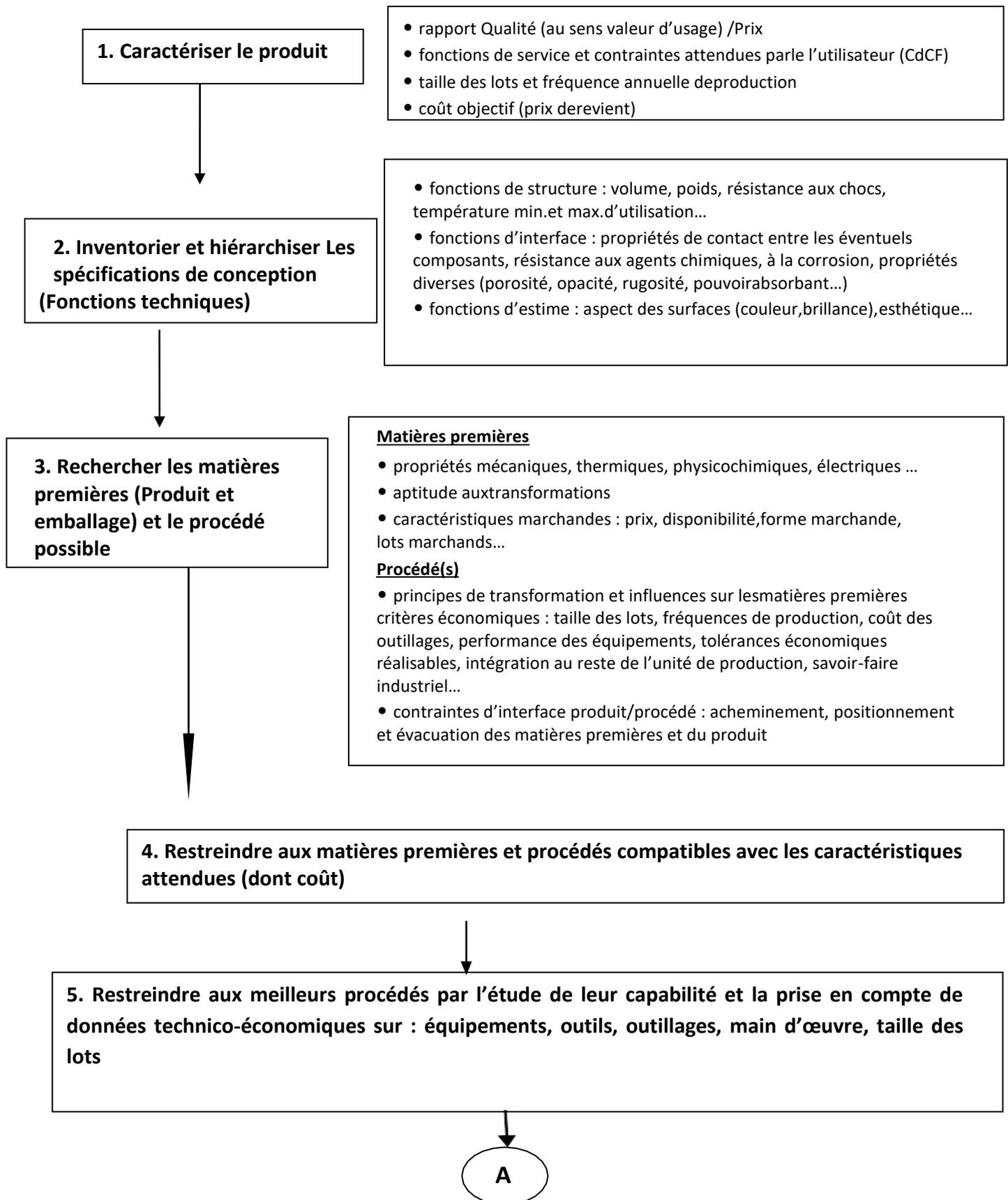


Figure 2.7 : hiérarchie de processus de conception

2.1.4.5 Une démarche possible pour la conception d'un produit



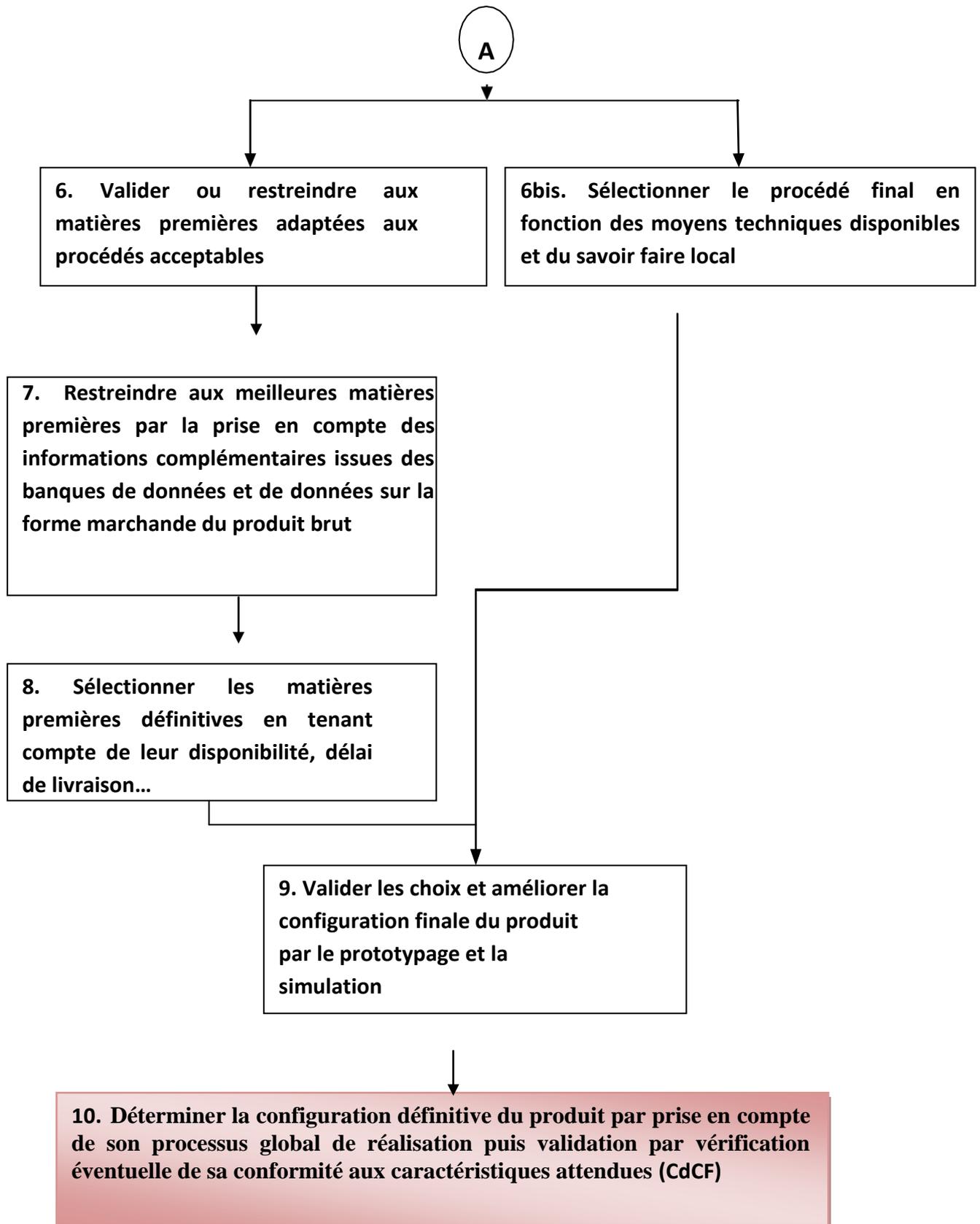


Figure 2.8 : Organigramme d'une démarche possible pour la conception d'un produit

2.4.1.6 Les étapes de la conception

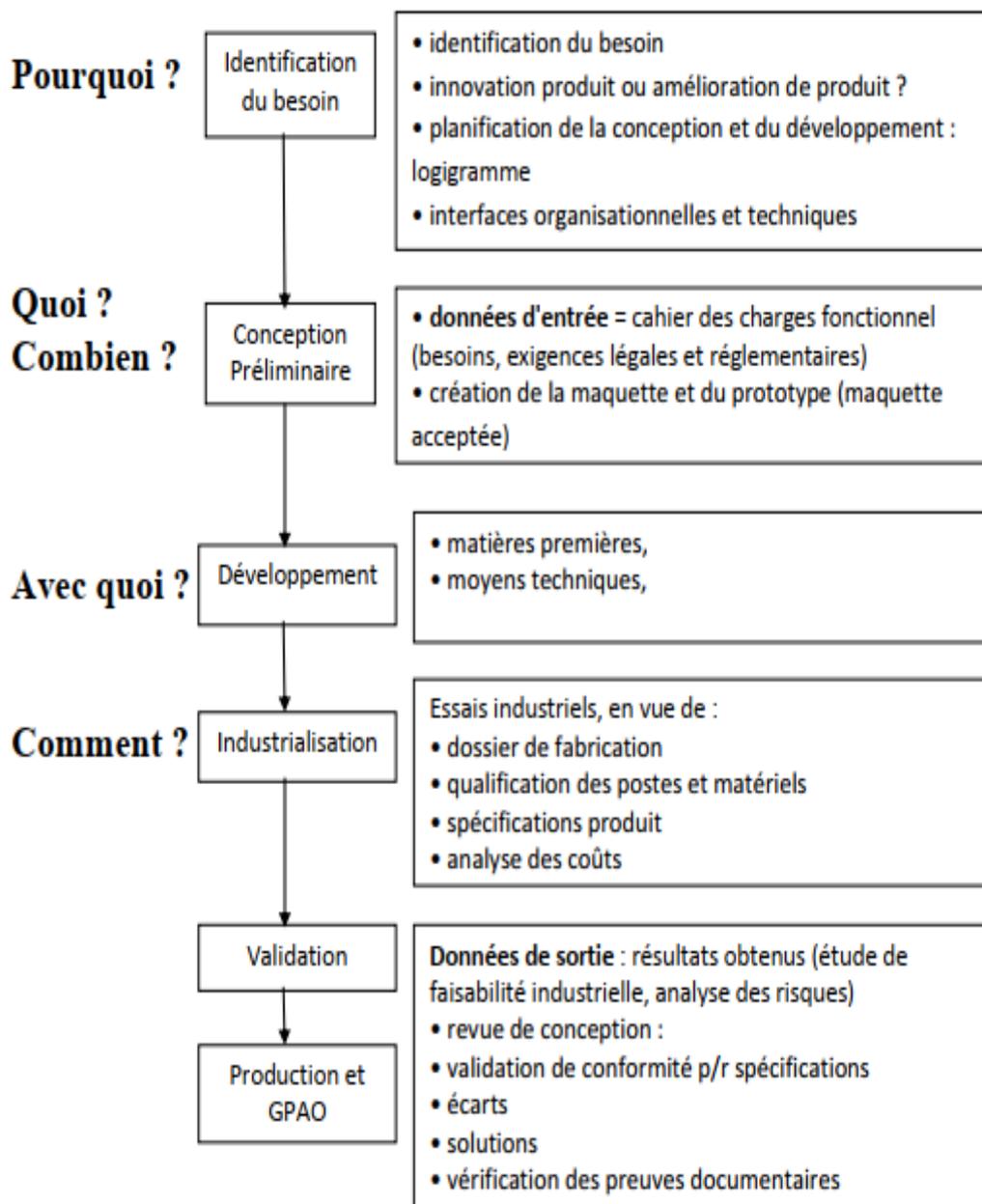


Figure 2.9 : Organigramme des étapes de la conception

2.5 Documentation du Bureau d'Etudes (Cahier des charges)

Le cahier des charges, c'est la définition, l'expression écrite des besoins à satisfaire.

Cahier des charges → Conception → Spécifications → Réalisation

Le terme "**cahier des charges**" désigne un document qui fera office de contrat entre deux parties. Il décrit les besoins d'un utilisateur en termes de fonctions à assurer et d'objectifs à atteindre.

Le cahier des charges est un document identifiant une performance, une caractéristique physique, ou un niveau de qualité, définissant un produit, ou un procédé, pour lesquels une action sera développée.

Selon AFNOR norme NF X 50 151, 1984 : Document par lequel le demandeur exprime son besoin (ou celui qu'il est chargé de traduire) en terme de fonctions de services et de contraintes.

Cahier des Charges et Spécifications :

- Le cahier des charges est l'expression d'un besoin à satisfaire, Le cahier des charges n'indique pas la manière de réaliser le besoin, ni un produit à fournir. Le cahier des charges est en amont de la conception.
- Les spécifications indiquent comment réaliser le besoin. Les spécifications sont en aval de la conception, et en amont de la réalisation.

Le cahier des charges indique :

- Les fonctions à remplir (voir analyse fonctionnelle) ;
- La (les) performances (objectifs) associées aux fonctions à remplir.

Le cahier des charges donne :

- L'enveloppe budgétaire ;
- Les contraintes (réglementation, sécurité, maintenance, etc..) ;
- L'objectif en temps.

Le Cahier des Charges Fonctionnel d'un produit est un document établi entre le demandeur et le concepteur-utilisateur. Le demandeur, responsable du financement, exprime

son besoin et les performances, coûts... attendus. Le CdCF n'exprime aucune idée technique.

C'est un document contractuel, qui engage la responsabilité des deux parties. Il ne peut être modifié sans accord mutuel. La rédaction d'un cahier des charges s'appuie sur la structure ci-dessous.

2.5.1 Présentation du besoin

➤ Le besoin et son marché

Origine du besoin, idée générale qui a créé le besoin. Produits déjà existant, s'il y en a, étude de marché.

➤ Les objectifs

Suite à donner lors de l'industrialisation (aspect économique, importance de la série...).

➤ Identification du service

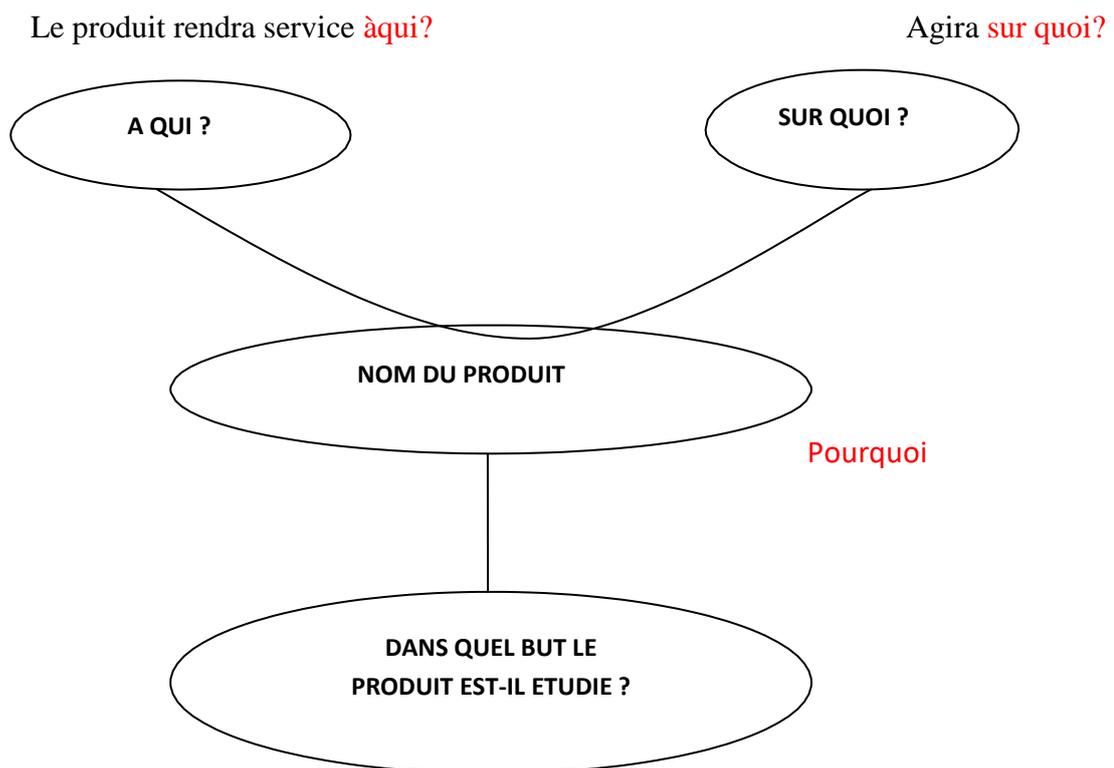


Figure 2.10 : la bête à corne du produit

2.5.2 Structure du cahier des charges type

Il est indispensable de partager certaines informations avec les fournisseurs et sous-traitants potentiels afin de leur permettre de répondre de la manière la plus adéquate possible à la demande et d'augmenter les chances de succès. Ce cahier des charges type doit être pris

comme une check-list des postes à prendre en compte, des données à transmettre et des questions à ne pas omettre.

- **Ressources disponibles :**

Ressources humaines

Ressources matérielles

- **Profil du public cible :** le public visé par le cahier de charges.

- **Analyse des besoins :**

L'analyse des besoins (souvent couplée à une analyse de l'existant) consiste à évaluer les forces et faiblesses du projet en regard des objectifs poursuivis, du profil du public cible et de divers paramètres (contexte du projet et contraintes multiples: institutionnelles, économiques, politiques, techniques, etc.). Les résultats de l'analyse des besoins sont déterminants dans la réussite ou l'échec du projet puisqu'ils vont permettre de l'orienter, d'identifier les priorités et d'effectuer le choix technique opportun.

Selon Bénard (1990), le besoin c'est la nécessité ou le désir éprouvé par un utilisateur. Ce besoin peut être explicite ou implicite, potentiel, avoué ou inavoué.

- **L'étude de l'existant :**

L'étude de l'existant consiste à mettre à plat, de façon aussi claire que possible, l'analyse qualitative et quantitative du fonctionnement actuel. Une analyse de l'existant comprend trois parties distinctes :

1. La première consiste à recueillir les informations ; elle est réalisée à partir d'entretiens ou de questionnaires, tableaux de bords, catalogues, études, données statistiques etc.
2. La seconde consiste à analyser, classer et donner une vue synthétique de l'ensemble des informations collectées par domaine fonctionnel.
3. La troisième consiste à esquisser une modélisation à grosses mailles des données et des retraitements. L'état des lieux peut aboutir à une critique de l'existant qui analyse les points positifs et négatifs.

- **Les caractéristiques fonctionnelles**

Dans le cahier des charges le service de documentation a exprimé ses besoins et ses attentes. Il attend en retour une réponse du prestataire. Le cadre de réponse est l'appellation globale des tableaux que le prestataire doit remplir : tableaux cadre des caractéristiques fonctionnelles et techniques. Ces tableaux seront des instruments très utiles à trois niveaux :

1. Pour comparer et sélectionner le prestataire ou la solution ;
2. Pour obliger le prestataire à s'engager sur toutes les questions ;

3. Pour permettre de réaliser la vérification d'aptitude (recette).

Le cadre de réponse est souvent mis en annexe au cahier des charges, mais dans le cadre d'un appel d'offre il est préférable de l'annexer à l'acte d'engagement, premier document constituant le marché.

▪ Le cadre juridique

Tout projet, une fois lancé, possède un caractère contractuel. Ce contrat engage client et prestataire sur la base du cahier des charges. Si la prestation est externalisée, le cahier des charges intégrera un cadre juridique contraignant et spécifique : un contrat de droit privé si le projet est lancé par une entreprise, un marché dans le cadre du Code des Marchés Publics s'il s'agit d'un établissement public. Le professionnel de l'information n'a pas à formaliser le contrat, ceci sera affaire du service administratif ou juridique. Néanmoins, quelques notions lui seront utiles pour bien préparer le cahier des charges et pour choisir la procédure la plus adéquate :

L'objet du contrat - Les lieux d'exécution et de livraison - La durée du contrat/marché - Les caractéristiques principales - Les critères d'attribution du marché - Appel d'offres ouvert - Appel d'offres restreint.

2.6 Quelques indications

a- rôle du bureau des méthodes

Il est responsable de l'étude et de la préparation de la fabrication.

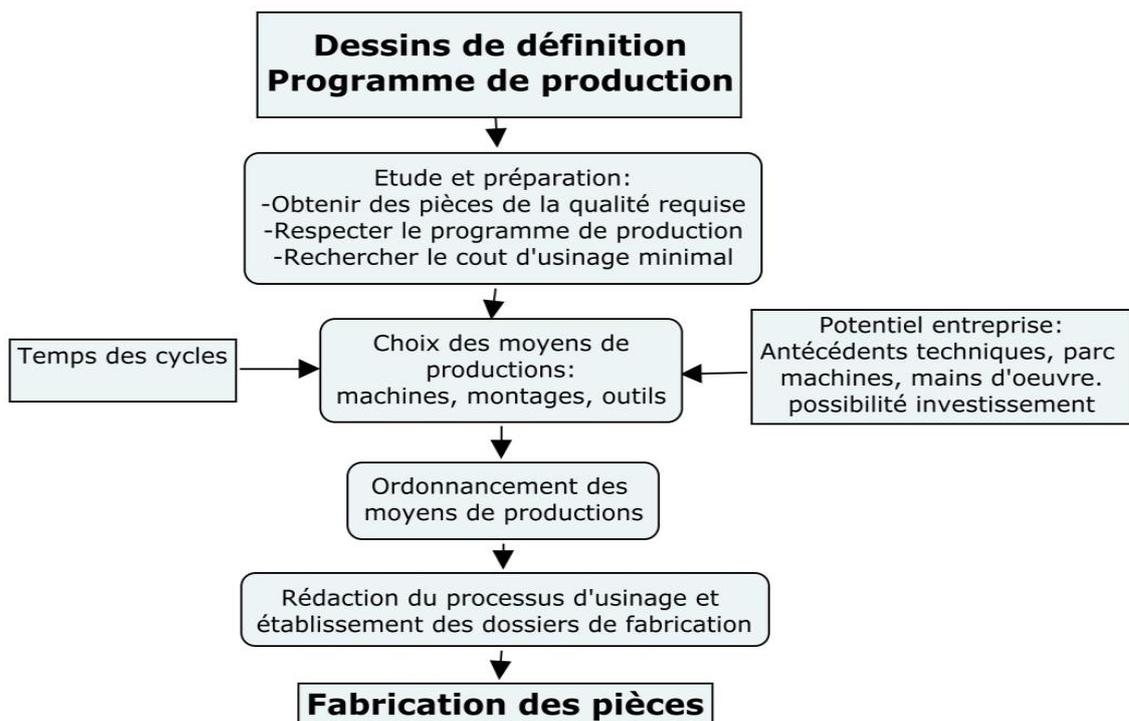


Figure 2.11 : Processus d'étude d'avant projet

b- Le prix forfaitaire d'une étude

Le prix forfaitaire de revient d'une étude est calculé sur la base suivante :

$$X_{cout} = K. \left[(p. t_p + d. t_d) + r. \left(\frac{n}{N} \right) . F_g + F_o \right]$$

Avec :

k : coefficient de correction (1,1 : 1,5).

n : nombre de jours ouvrables nécessaires pour faire l'étude.

N : nombre de jours ouvrables dans l'année.

p : charge payé par jours ouvrables pour un projeteur (ingénieur).

d : charge payé par jours ouvrables pour un dessinateur (Technicien Supérieur).

r : coefficient de réajustement de la conception (0 : 1).

Fg : somme totale des frais généraux pour une année (N : jours ouvrables).

Fo : frais occasionnels ou spéciaux (déplacement, mission, documentation particulière,...etc.).

tp, td : temps totale de l'étude pour le projeteur et le dessinateur.

Cependant, on ne peut pas évaluer la productivité du Bureau d'Etude et Méthode par des formules ou des procédés mathématiques, c'est un travail purement intellectuel, long et intensif car sa valeur n'est pas liée simplement à une quantité mais à la qualité. Tandis que, ce que l'on peut évaluer c'est l'accroissement de la productivité qui dépend de:

- l'organisation rigoureuse (répartition des taches, collaboration,etc.) ;
- le comportement et compétence du personnel ;
- les moyens matériels (quantité, diversité, qualité,...etc.).

Néanmoins, il est à souligner que la maîtrise du coût dépend en grande partie de la clairvoyance avec laquelle ces implications seront comprises et gérées.

2.7 Exemple de réalisation d'un cahier de charges fonctionnel

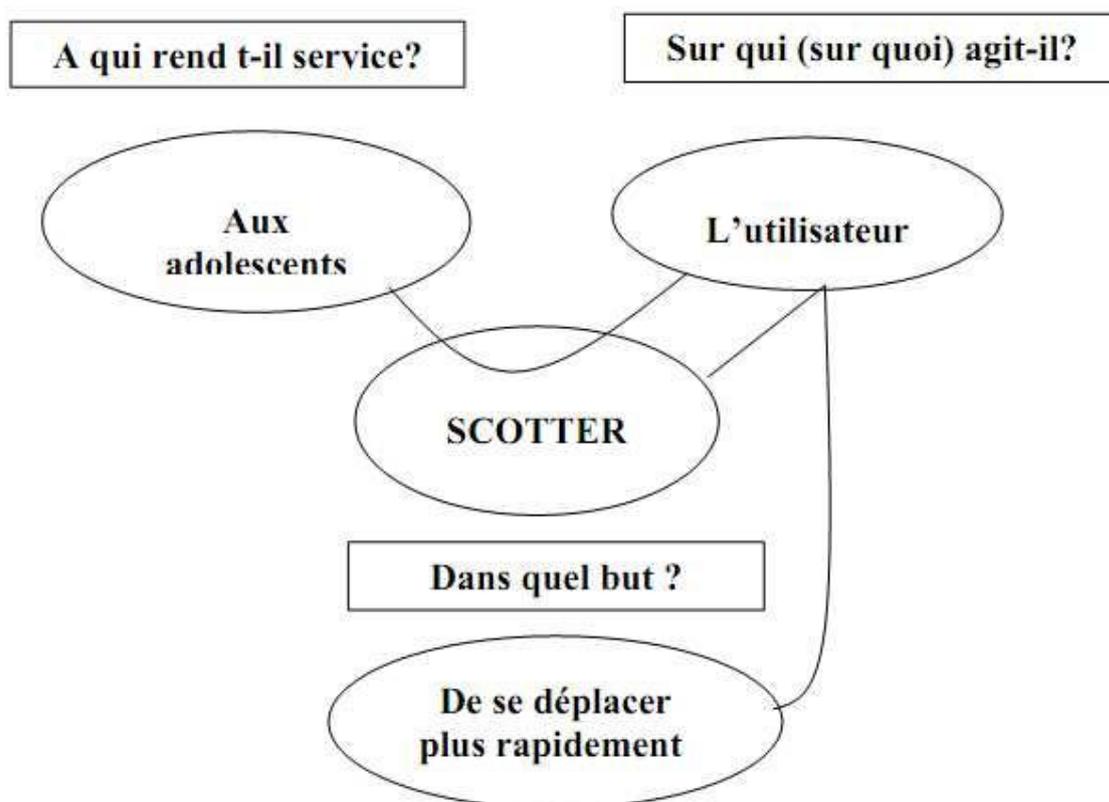
2.7.1 Elaboration du cahier des charges fonctionnel

Avant de rédiger un cahier des charges, il faut suivre différentes étapes :

- Etablir la « bête à corne » pour énoncer le besoin ;
- Placer le produit dans son environnement ;
- Représenter le diagramme pieuvre.

2.7.2 Enoncer du besoin

Pour identifier le besoin principal ou le but de l'étude on utilise un outil « la bête à corne ».



2.7.3 Expression fonctionnelle du besoin

Pour formuler les différentes fonctions que doit satisfaire le produit, on peut utiliser la méthode de la pieuvre. Pour cela on doit :

Placer le produit dans son environnement (Faire la liste de tout ce qui entoure le produit).

Exemple : LE SCOOTER



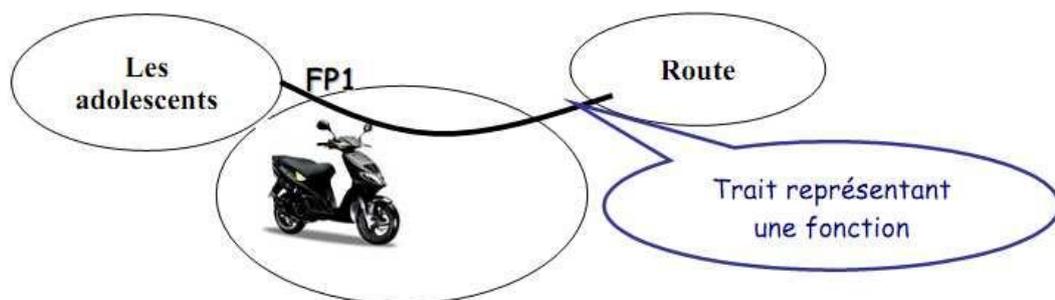
Figure 2.12 : Les fonctions pour le SCOOTER

a- Les fonctions principales

Elles correspondent aux actions qui peuvent être réalisées grâce au produit.

Exemple : le scooter doit permettre aux adolescents de se déplacer sur la route.

Représentation des fonctions principales sur le diagramme pieuvre



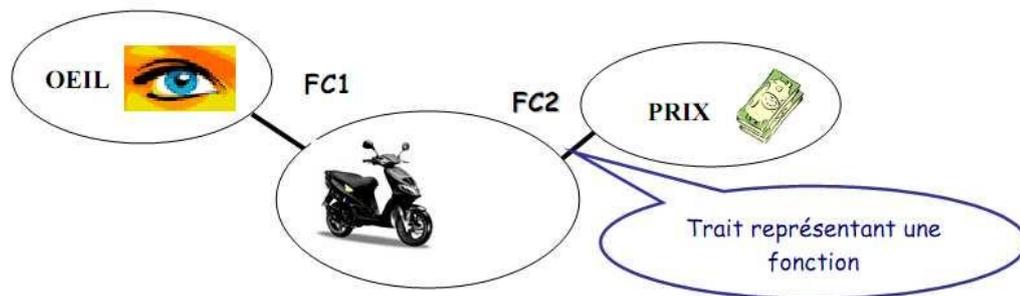
- **FP1** « fonction principale n°1 » : le scooter doit permettre aux adolescents de se déplacer sur la route.

b- Les fonctions complémentaires

Elles correspondent aux relations que le produit entretient avec son environnement.

Exemple : le scooter doit satisfaire l'œil de l'utilisateur.

Représentation des fonctions complémentaires sur le diagramme pieuvre



- **FC1** « fonction complémentaire n°1 » : le scooter doit satisfaire l'œil de l'utilisateur.
- **FC2** « fonction complémentaire n°2 » : le scooter doit correspondre au prix fixé.

2.7.4 Le Cahier des Charges Fonctionnel

Le CDF, rédigé par le demandeur, est destiné à guider le concepteur dans la création d'un nouveau produit ou dans l'adaptation d'un produit existant.

Fonction	Désignation	Critères	Niveau
FP1	<ul style="list-style-type: none"> Le scooter doit permettre aux adolescents de se déplacer 	<ul style="list-style-type: none"> Vitesse Qualité de route Confort Conducteur 	<ul style="list-style-type: none"> 60Km/h Irréprochable Adolescent
FC1	<ul style="list-style-type: none"> Le scooter doit satisfaire l'œil de l'utilisateur 	<ul style="list-style-type: none"> Forme Couleur 	<ul style="list-style-type: none"> Discret (arrondi) Au choix (différentes couleurs)
FC2	<ul style="list-style-type: none"> Le scooter doit correspondre au prix fixé 	<ul style="list-style-type: none"> Dinars 	120.000DA

Chapitre 3 : Conception d'un mécanisme de Transmission de Puissance

3.1- Définition des paramètres d'entrée et de sortie

3.2- Choix du mode de transmission

3.3 - Conception et Dimensionnement des pièces

3.4 - Normalisation des pièces

3.5 - Assemblage et mise en plan du produit.

Chapitre 3 : CONCEPTION D'UN MECANISME DE TRANSMISSION DE PUISSANCE

Introduction

Pour une machine dans laquelle une pièce doit être mise en rotation, lorsque l'actionneur choisi pour créer un mouvement de rotation est un moteur, cinq principales technologies de transmission s'offrent alors au concepteur : les réducteurs et engrenages, les courroies, chaînes et accouplements.

Les réducteurs assurent l'entraînement entre un moteur et une machine, et permettent la transmission et la régulation d'un mouvement. Ils permettent de ralentir ou d'accélérer un mouvement, de modifier un rapport de vitesse. Ils servent à transmettre un couple plus important. Lorsqu'un moteur qui crée un mouvement est combiné au réducteur, on parle de motoréducteur. Quand on accélère un mouvement, on parle de multiplicateur. Noter qu'il y a toujours des engrenages dans les réducteurs. L'un ne va pas sans l'autre.

Les réducteurs sont compacts et permettent d'utiliser des moteurs plus petits : ils autorisent un gain important de poids et de place dans les machines. Grâce à la mécatronique, les réducteurs s'adaptent aux conditions d'utilisation. En effet, ceux-ci doivent être robustes afin de résister aux conditions extrêmes : froid, poussière, corrosion, nettoyages, fonctionnement en continu, etc. De plus, les réducteurs réalisent des économies d'énergie : en réduisant les frottements, ils consomment moins d'énergie.

On trouve des réducteurs dans de nombreux domaines d'application : les machines de production (industrie papetière, imprimerie, agroalimentaire, etc.), le tapis-roulant d'aéroport, les remontées mécaniques (la télécabine monte rapidement et ralentit avant l'arrivée grâce à un réducteur associé à un moteur), les panneaux urbains à affichage variable et silencieux, etc.

Le monde des courroies est constitué de plusieurs familles (plates, poly-V, trapézoïdales et dentées). Elles sont utilisées pour transmettre de la puissance, mais de plus en plus pour convoyer des objets ou pour déplacer des charges. Les courroies apportent des solutions performantes à moindre coût dans de nombreux métiers car l'utilisation de ce matériel est

simple et fiable. Les nouveaux produits et les derniers développements techniques sur ces courroies font de ces produits une aide indispensable à toutes les industries concevant des machines avec cinématique. Les domaines d'application sont les industries de pointe tels que le nucléaire ou le spatial, mais également l'agroalimentaire, le transfert ou le convoyage. La quasi-totalité des courroies peuvent être customisées à la demande.

Les chaînes font partie du quotidien : elles entraînent les escaliers roulants présents dans le métro, dans les gares et les grandes surfaces. On les trouve également dans les parcs d'attraction, dans des machines présentes dans les cimenteries, la sidérurgie, les barrages, les sucreries, l'industrie du bois et l'agroalimentaire notamment. Il s'agit de chaînes de transmission de puissance, mais également de chaînes de manutention pour les transports de personnes ou de produits, de levage pour les chariots élévateurs ou des plateformes télescopiques.

Les accouplements ont des applications tout aussi variées. De la micromécanique de précision aux industries lourdes, les applications sont multiples. On peut citer notamment les éoliennes, les hydroliennes, les véhicules hybrides, mais aussi les engins de travaux publics, les machines agricoles, l'agroalimentaire, les pompes et les compresseurs, les machines-outils et d'autres machines de précision.

3.1 Définition des paramètres d'entrée et de sortie

Dans un mécanisme de Transmission de Puissance, l'énergie mécanique de rotation en sortie de l'actionneur est rarement directement utilisable par l'effecteur. Lorsque l'on souhaite adapter les caractéristiques cinématiques de cette énergie, on utilise un mécanisme de Transmission (transmetteur) permettant de modifier la vitesse angulaire et le couple.



Les boîtes de vitesses sont des composants mécaniques essentiels à tout mécanisme. Ils permettent la transmission de mouvement et de puissance. La particularité d'un réducteur est qu'il réduit la fréquence de rotation (n) mais augmente dans les mêmes proportions le couple.

Le coefficient de transmission du réducteur c est un coefficient qui multiplie ou divise les données d'entrées. Pour calculer le rapport de réduction noté r à partir du coefficient de transmission il suffit de : $r = 1 / k$ où $1 / i$. Ce rapport peut aussi se déterminer à partir des vitesses de sortie et d'entrée : $r = \omega_s / \omega_e$ où n_s / n_e

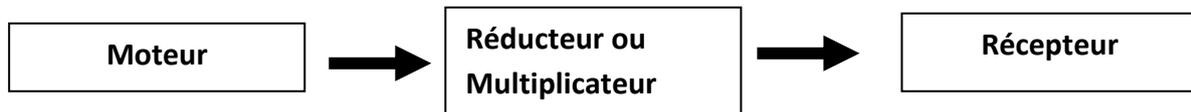
En fonction du résultat obtenu, on peut qualifier le type du système de :

- réducteur si nous avons $r < 1$.
- multiplicateur si nous avons $r > 1$.

3.2 Choix du mode de transmission

Dans de nombreuses applications industrielles, on est amené à choisir, pour des raisons économiques, comme actionneur un moteur dont le couple nominal et/ou la vitesse nominale ne correspondent pas aux conditions de l'application.

On est amené à utiliser Les réducteurs ou multiplicateurs sont et leur place dans la chaîne d'énergie est la suivante :



3.2.1 Réducteurs à roue et vis

C'est un type de réducteur, où le système de roue/vis sans fin peut aussi être utilisé dans des systèmes asservis. Ce système est souvent utilisé dans les cas où une très grande démultiplication est recherchée ou lorsque l'irréversibilité du système assure un fonctionnement correct.

Caractéristiques techniques	<ul style="list-style-type: none"> → Les arbres d'entrée et de sortie sont perpendiculaires, → Rapport de réduction compris entre 2,5 et 100, → Arbre de sortie plein ou creux traversant, → Irréversibilité pour les rapports élevés.
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> ↗ Compacité notamment pour les rapports élevés, ↗ Niveau sonore réduit, exempt de vibration, donnant une bonne qualité d'entraînement, ↗ Charge radiale admissible élevée en sortie, ↗ Rapport performance/prix intéressant, ↗ Bonne capacité d'absorption des surcouples, ↗ Peut être utilisé en combiné - double roue vis - pour des grands rapports de réduction (vitesse très faible), ↗ De plus en plus utilisés en combinaison avec d'autres réducteurs d'une part, et d'autres trains d'autre part afin d'améliorer le rendement.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> ↘ Rendement variable en fonction du rapport de réduction et de la vitesse, ↘ Échauffement plus important que dans d'autres technologies, ↘ Roue bronze pouvant engendrer une usure.

Tableau 3.1 : Avantages et inconvénients des réducteurs à roue et vis sans fin

3.2.2 Réducteurs à engrenages cylindriques / à arbres parallèles

La fonction de ce réducteur est de relier un arbre moteur et un arbre à entraîner parallèles, en réduisant ou en multipliant la vitesse motrice.

Caractéristiques techniques	<ul style="list-style-type: none"> → Les arbres d'entrée et de sortie sont parallèles ou coaxiaux, → Arbre de sortie plein ou creux traversant (pour les arbres parallèles).
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> ↗ Adaptés pour les fortes puissances, ↗ Charge radiale admissible élevée en sortie, ↗ Rendement élevé proche de 1, ↗ Simplicité de la technologie, ↗ Facilité de maintenance.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> ↘ Faible rapport de réduction par train.

Tableau 3.2 : Avantages et inconvénients des réducteurs à engrenages cylindriques

3.2.3 Réducteurs à couple conique

Les réducteurs à couple conique ont un rendement élevé quel que soit le sens du couple et la vitesse d'entrée. Ils sont peu gourmands en énergie et nécessitent peu d'entretien. D'une utilisation universelle, ils ont une grande longévité grâce à la robustesse de leur denture qui leur confère puissance et résistance à l'usure, tant avec des moteurs asynchrones triphasés qu'avec des servomoteurs asynchrones ou synchrones.

Caractéristiques techniques	<ul style="list-style-type: none"> → Souvent constitué d'un couple conique et d'une autre technologie d'engrenages, → Les arbres d'entrée et de sortie sont perpendiculaires, → Rapport de réduction compris entre 1 et 5 du couple conique, → Rapport de réduction global composé, avec un ou plusieurs trains à engrenages cylindriques, → Arbre de sortie plein ou creux traversant.
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> ↘ Renvoi d'angle, ↘ Adaptés également pour les fortes puissances, ↘ Charge radiale admissible élevée en sortie, ↘ Rendement élevé, ↘ Utilisation de ce type de réducteurs pour les applications les plus sévères : inversion de charge, cadences de démarrage/freinage élevées.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> ↘ Technologie plus onéreuse, ↘ Maintenance délicate (réglage couple conique).

Tableau 3.3 : Avantages et inconvénients des réducteurs à couple conique

3.2.4 Réducteurs planétaires

L'orientation de l'axe moteur est dans l'axe de sortie pour le réducteur à engrenages planétaires. C'est la solution d'entraînement idéale pour les machines avec couples élevés et espacements réduits.

Caractéristiques techniques	<ul style="list-style-type: none"> → Epicycloïdaux, → Coaxial, → Rapport par train : 3 à 10, → Souvent plusieurs trains, → Possibilité de carter tournant, → Possibilité d'arbre creux.
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> ↗ Compacité : rapport puissance/dimension très favorable, ↗ Adaptés également pour les fortes puissances, ↗ Rendement élevé, ↗ Faible inertie des éléments tournants.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> ↘ Technologie élaborée, ↘ Maintenance plus spécialisée, ↘ Échauffement dû à la compacité,

Tableau 3.4 : Avantages et inconvénients des réducteurs planétaires

3.2.5 Technologies poulie - courroie

La courroie est une pièce utilisée pour la transmission du mouvement. Elle est construite dans un matériau souple. Par rapport à d'autres systèmes, elle présente l'avantage d'une grande souplesse de conception (le concepteur a une grande liberté pour placer les organes moteur et récepteur).

Caractéristiques techniques	<p>→ La courroie est utilisée avec des poulies, et parfois avec un galet tendeur.</p> <p>→ L'entraînement s'effectue par adhérence pour les courroies plates, rondes, trapézoïdales et striées ; ces courroies sont qualifiées d'asynchrones car le glissement et éventuellement le « patinement », ne permettent pas de garantir la position et la vitesse de sortie.</p> <p>→ L'entraînement s'effectue par obstacle pour les courroies dentées, qui sont également qualifiées de synchrones.</p> <p>Ces dernières permettent une transmission de mouvement avec positionnement : comme par exemple les chaînes et les engrenages.</p> <p>→ La courroie synchrone de transmission de puissance, de transfert ou de transport reste un élément indispensable à toutes les machines.</p>
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> ↗ Adaptée pour les machines fonctionnant sans à-coup, et lorsque l'on veut réduire les vibrations, ce qui augmente la durée de vie de certaines autres pièces, ↗ Adaptée pour une grande plage de vitesses et de couples, ↗ Coût de fabrication initial faible, ↗ Économique en énergie, ↗ Rendement élevé, ↗ Degré de fiabilité extrêmement élevé et nécessite peu de maintenance si ce n'est la vérification de la tension et le changement régulier du fait de l'usure.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> ↘ rapport de réduction parfois limité sur la transmission de puissance.

Tableau 3.5 : Avantages et inconvénients des réducteurs avec poulies et courroie

3.2.6 Technologies pignon-chaîne

Ce sont des composants mécaniques destinés à assurer les transmissions de mouvement ou à être intégrés dans des systèmes plus complexes qui servent à :

- Transmettre un mouvement permanent pour les chaînes et les courroies ;
- Sécuriser le système de transmission en évitant les retours en arrière pour les roues libres ;
- Freiner et à déclencher l'arrêt automatique d'un système pour les freins.

Caractéristiques techniques	<p>Produits et systèmes extrêmement variés pour répondre à la très grande diversité d'utilisations et d'exigences de la transmission de mouvement : des chaînes à rouleaux, des chaînes de levage, des chaînes de manutention, des chaînes de transmission, des pignons et roues, qui sont accompagnées d'un cortège d'accouplements, de roues libres, de limiteurs de couple, de coupleurs, de freins, d'embrayages, de variateurs, de paliers à coussinets et autres courroies.</p>
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> ↗ Capacité de travailler dans des conditions très particulières, ↗ Leur technicité met les opérateurs et les installations à l'abri des possibilités d'accidents, ↗ Rendement élevé, ↗ Puissance transmissible importante, ↗ Longue durée de vie.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> ↘ Elles sont essentiellement utilisées pour des vitesses réduites, ↘ Elles sont relativement bruyantes.

Tableau 3.6 : Avantages et inconvénients des réducteurs avec pignons et chaîne

3.2.7 Technologies d'accouplements

Sur une ligne de transmission de puissance, entre chaque élément, comme un réducteur, un moteur ou un palier,... on peut trouver un accouplement. Le montage est toujours en ligne. L'accouplement a pour fonction d'assurer la liaison entre deux éléments menant et mené, et de transmettre un couple et une vitesse de rotation sans perte de rendement (ou négligeable) et en autorisant des désalignements.

Caractéristiques techniques	On distingue 3 types d'accouplements : → L'accouplement à anneau : élastique, c'est le plus utilisé. Cette technologie permet notamment d'amortir les chocs et vibrations pour une meilleure durée de vie des installations. → L'accouplement à lamelle : flexible, sans jeu angulaire, il nécessite peu d'entretien. → Frette de serrage mécanique (moyeu conique) ou hydraulique (principe de Pascal) : rigide, elle n'admet aucun déplacement des éléments.
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> ↗ Perte de rendement quasi nulle, ↗ Plages de couple et vitesse très étendues, ↗ Adapté à des conditions de travail et environnements agressifs, ↗ Solutions technologiques variées
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> ↘ Respect des limites de désalignements.

Tableau 3.7 : Avantages et inconvénients des accouplements

3.3 Conception et dimensionnement des pièces

3.3.1 Généralités

Une machine mise à l'étude doit satisfaire aux divers impératifs énoncés par le cahier de charges. Ces impératives sont :

- **La productivité de la machine ;**
- **Le prix ;**
- **Les frais d'exploitation ;**
- **Les spécifications de poids ;**
- **La durée de service garantie.**

Parfois le cahier de charges impose des prescriptions supplémentaires concernant :

- **L'encombrement ;**
- **L'insonorisation ;**
- **La simplicité et la facilité de manœuvre ;**
- **La présentation.**

Chaque pièce doit satisfaire rigoureusement à toutes les prescriptions suivantes :

- **La résistance ;**
- **La rigidité ;**
- **L'aptitude à la fabrication et à l'assemblage ;**

- La tenue aux vibrations ;
- La possibilité de fabrication à partir de matériaux facilement disponible ;
- Le prix minimal.

3.3.2 Etude des éléments de machines

L'étude des éléments de machines s'effectue généralement dans l'ordre suivant :

- A.** Dresser un croquis en simplifiant au maximum la forme de la pièce, et ses liaisons avec les autres pièces, et en admettant qu'elle est sollicitée par des forces concentrées ou réparties suivant des lois données ou admises par convention.
- B.** Déterminer la valeur des charges supportées par la pièce. Pour réaliser les calculs on établit des charges nominales et pratiques.
 - 1) **Par charge nominale** : on entend une charge constante conventionnelle choisie parmi les sollicitations en action ; les plus souvent c'est une charge maximale ou celle qui agit longtemps, parfois c'est une charge de valeur moyenne.
 - 2) **Sous le terme de charge pratique** : on entend une charge constante dans le temps par laquelle on peut remplacer la charge variable en supposant que par leur influence sur les critères correspondants d'aptitude au fonctionnement.
- C.** Choisir la matière en fonction de ses caractéristiques physiques et mécaniques de son aptitude à l'usinage et des facteurs économiques (prix, facilité d'achat)
- D.** Etablir par calcul certaines dimensions (les plus caractéristiques) de la pièce et rendre ces dimensions conformes aux normes en vigueur.

Le plus souvent, ce sont des calculs préliminaires, car ils s'effectuent sur la base des croquis et ne permettent donc pas d'apprécier d'une manière précise l'aptitude au service réelle de la pièce.

Le calcul précis n'est possible que lorsqu'on connaît la géométrie et les dimensions absolues de la pièce, ainsi que les autres éléments qui définissent sa fonction dans un ensemble. C'est pourquoi ces calculs ne permettent d'établir que les dimensions de départ nécessaires pour l'établissement d'une pièce ou d'un ensemble.

- E.** Etablir les dessins des pièces au sein de la vue générale de l'ensemble, puis dresser les dessins d'exécution de ces pièces en indiquant sur ces dessins toutes les cotes, tolérances, classes d'état de surface, spécifications de fabrications (traitement thermique, etc...), etc.

Effectuer les calculs de vérifications, c'est-à-dire définir les coefficients de sécurité pour les sections de référence les plus sollicitées, déformations (flèches, angles de

rotation), vitesses critiques (nombres de tr/min), etc., et comparer les valeurs ainsi obtenues avec les valeurs admissibles. Lorsque ces valeurs ne s'accordent pas, apporter des corrections nécessaires à la construction, puis reprendre les calculs de vérification, etc. En procédant ainsi par approximations successives, on parvient à rendre conformes les valeurs pratiques aux valeurs admissibles des coefficients de sécurité, flèches, etc.

3.3.3 Contraintes admissibles

Une résistance insuffisante aux charges supportées en service par les pièces d'une machine peut amener des déformations résiduelles inadmissibles et entraîner la rupture de diverses parties de la machine.

Les détériorations observées pratiquement en mécanique sont les ruptures ou la formation des défauts de surface active qui se manifestent sous forme de piqûres, d'usure, etc.

Les ruptures survenant avant le délai prévu et la détérioration progressive des surfaces actives des éléments de machines sont inadmissibles.

Ainsi, le problème de la résistance des pièces d'une machine doit être examiné à la lumière du facteur de temps qui définit la durée de leur service.

Pour assurer la résistance nécessaire et suffisante, il faut établir les dimensions et les formes des éléments de machines susceptibles de rendre impossibles les déformations résiduelles inadmissibles, les ruptures prématurées et les détériorations superficielles. Le mode d'appréciation de la résistance des éléments de machines est la confrontation des contraintes (σ_0) produites par les charges avec les contraintes admissibles (σ_{adm}).

Les conditions qui vérifient la résistance sont : $\sigma_0 \leq \sigma_{adm}$ et $\tau_0 \leq \tau_{adm}$ avec :

$$\sigma_{adm} = \sigma_{lim} / k_s \text{ et } \tau_{adm} = \tau_{lim} / k_s \text{ où :}$$

σ_0 : contrainte normale produite par la charge.

τ_0 : contrainte tangentielle produite par la charge (cisaillement).

σ_{adm} : contrainte admissible normale.

τ_{adm} : contrainte admissible tangentielle.

σ_{lim} : contrainte limite normale.

τ_{lim} : contrainte limite tangentielle.

k_s : coefficient de sécurité.

Les conditions de résistance des éléments de machines sont vérifiées lorsque les calculs des contraintes supportées et le choix des valeurs des contraintes admissibles sont corrects.

Les états limitent des pièces : c'est le terme qui caractérise l'état dans lequel l'utilisation normale de la pièce devient impossible. Pour chaque état limite, ils-existent une condition rendant impossible son apparition.

Lorsque les sollicitations provoquent dans les sections des contraintes statiques, le choix de σ_{lim} vérifiant les conditions de résistance, est guidé par l'état du matériau (plastique ou fragile).

Pour les matériaux plastiques, la contrainte limite correspond aux limites d'élasticité du métal R_e .

$$\sigma_{lim} = R_e$$

Pour les matériaux cassants à structure hétérogène (fonte, par exemple), il convient d'adopter comme contrainte limite la charge de rupture R .

$$\sigma_{lim} = R.$$

3.3.4 Coefficient de sécurité

La valeur du coefficient de sécurité k_s est influencée par plusieurs considérations :

- La possibilité que la faille entraîne des blessures graves ou des pertes de vis ;
- La possibilité que la faille entraîne des réparations très coûteuses ou un arrêt prolongé de la machine ;
- L'incertitude de la charge et de la résistance.

Valeurs indicatives				
S	Charge exercée sur la structure	Contraintes dans la structure	Comportement du matériau	Observation
1 < S < 2	Régulières et connues	connues	Testé et connu	Fonctionnement constant sans-à-coups
2 < S < 3	Régulières et assez bien connues	assez bien connues	Testé et connu moyennement	Fonctionnement usuel avec légers chocs et surcharges modérées
3 < S < 6	Moyennement connues	Moyennement connues	Non testé	
	Mal connues ou incertaines	Mal connues ou incertaines	connu	

Tableau 3.8: Valeurs de coefficient de sécurité en mécanique

3.3.5 Coefficient de forme

Les formes usuelles employées pour déterminer des contraintes induites ont été établies en supposant une distribution uniforme ou linéaire de contraintes à travers la section. Cette hypothèse exige que la pièce soit exempte de changements brusques de section.

En pratique, les pièces possèdent souvent des discontinuités, et la distribution des contraintes n'est plus uniforme ou linéaire. Ces changements de section peuvent être:

- Des congés pour positionner des engrenages ou des poulies ;
- Des chemins de clavette ;
- Des cannelures ;
- Des rainures pour bagues de blocage ;
- Des trous pour boulons ou goupilles.

Ces discontinuités amènent des augmentations de contraintes, et les zones dans lesquelles se produisent s'appellent « zones de concentration de contraintes ».

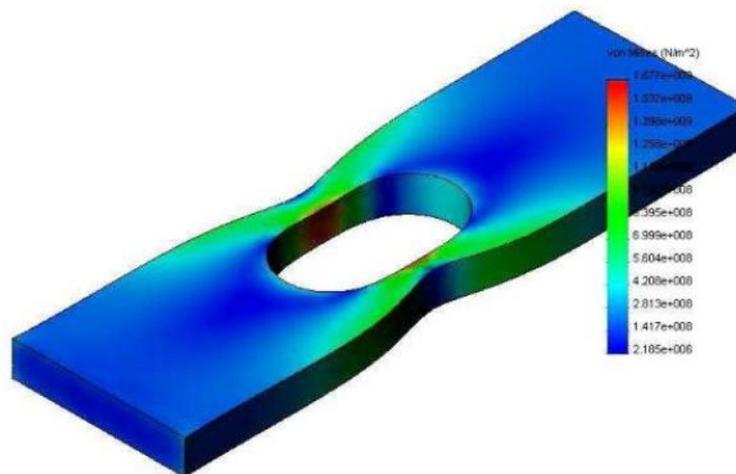


Figure 3.1: Concentration de contraintes au niveau de changement de section

Grâce à des méthodes analytiques ou expérimentales, il est possible de déterminer les contraintes réelles maximales à un changement de section.

A partir des contraintes maximales (σ_{max} ou τ_{max}) et des contraintes nominales (σ_0 ou τ_0), un coefficient de forme k_t peut être défini comme suit :

$$k_{tt} = \sigma_{max}/\sigma_0 \quad \text{et} \quad k_{ts} = \tau_{max}/\tau_0$$

Généralement le coefficient de forme est déterminé d'après des abaques, la connaissance des dimensions géométrique des pièces à calculer est indispensable.

Application :

L'arbre représenté dans la figure ci-dessous est soumis à un couple de torsion M_T égale à **120Nm**. Sachant que l'arbre possède une gorge au niveau de sa partie centrale, déterminer la valeur maximale de la contrainte.

On donne : **D = 25 mm ; d = 20 mm ; r = 3 mm.**

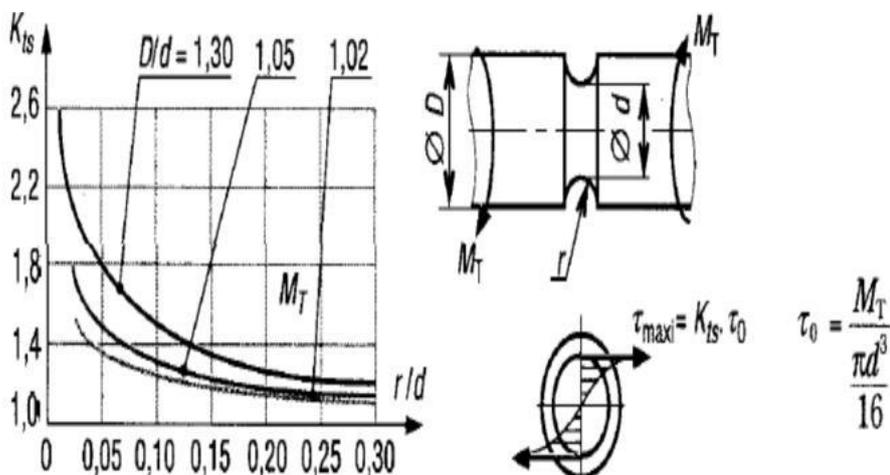


Figure 3.2: Facteur de concentration de contrainte (Arbre avec gorge)

Solution :

A cause du changement de la géométrie, la contrainte maximale est à fibre extérieure de la petite section. Le coefficient de forme en torsion k_{ts} est obtenu à partir de l'abaque (figure 3.2) :

$$\left. \begin{aligned} \frac{r}{d} &= \frac{3}{20} = 0.15 \\ \frac{D}{d} &= \frac{25}{20} = 1.25 \end{aligned} \right\} \text{Donc } K_{ts} = 1.35$$

La contrainte maximale en torsion est t_{max} obtenue par la formule suivante :

$$t_{max} = K_{ts} * t_0 = K_{ts} * \frac{M_T}{I_0} I_0 \quad I_0 \text{ le moment d'inertie polaire : } I_0 = \frac{\pi D^4}{32}$$

ρ : est la plus grande distance entre l'extrémité de la section de l'arbre et son axe.

Après une démarche soignée de calcul on trouve : $t_{max} = 103 \text{ MPa}$.

3.3.6 Calcul d'arbre

3.3.6.1 Introduction

Un arbre est une pièce de révolution, normalement de section circulaire, qui supporte généralement des éléments de transmission tels qu'engrenages, poulies, volants, manivelles, pignons de chaînes etc.

L'arbre est un des éléments de machines le plus fréquemment utilisé. Son rôle est multiple : en général, il sert à transmettre la puissance d'une partie de la machine à une autre, mais il peut aussi servir à assurer le positionnement d'un élément par rapport à un autre. A cause de sa géométrie et de ses fonctions, un arbre peut porter différents noms tels que :

- Arbre de transmission : il transmet un couple d'un moteur à une machine ou à un élément de machine.
- Arbre de renvoi : il supporte des éléments de machines (engrenages, poulies, ...) et il transmet un couple entre chaque élément.
- Essieu : arbre stationnaire ou rotatif, qui ne transmet pas de couple, mais qui sert au positionnement.

Suivant le rôle qui lui est dévolu, l'arbre est soumis à des contraintes de flexion, à des contraintes de torsion, ou à un chargement complexe de torsion, de flexion et charge axiale de traction ou compression. On conçoit un arbre en considérant un de ces critères :

- la résistance.
- la rigidité (déformation).
- la vitesse critique.

Le critère choisi dépend de la géométrie et des spécifications imposées par la fonction éventuelle de l'arbre.

3.3.6.2 Montage des éléments sur arbre

Lorsque l'on conçoit un arbre, l'objectif visé, quelque soit le critère choisi, consistera toujours à chercher à obtenir la construction la plus économique possible et la plus sûre. En d'autres termes, il s'agira d'obtenir l'arbre ayant le plus petit diamètre possible. Quelles que soient les données qui ont servi de base au calcul (résistance, rigidité ou vitesse critique), le

diamètre de l'arbre est grandement influencé par la distribution des moments fléchissant. Afin de réduire le plus possible ces moments, il est avantageux de monter les éléments de transmission le plus près possible des supports de l'arbre (ou des paliers).

Les arbres sont positionnés transversalement et axialement par des coussinets ou des roulements. A noter que plusieurs éléments de transmission (embrayages, engrenages hélicoïdaux, engrenages coniques ainsi que les dilatations thermiques, produisent des charges axiales qui peuvent, dans certains cas, être très importantes. Des butées doivent être prévues pour reprendre ces charges.

3.3.6.3 Matériaux pour arbre

En général, des aciers ordinaires au carbone, laminés à chaud, entrent dans la fabrication des arbres de transmission et des arbres qui n'ont pas besoin de caractéristiques de résistance particulières ; un pourcentage de carbone variant de 0,15 à 0,30 % peut être utilisé. Par contre, les arbres de machines soumis à des charges variables et les arbres tournant à grande vitesse nécessitent des aciers de plus grande résistance, donc des aciers pouvant subir des traitements thermiques : le pourcentage en carbone varie de 0,35 à 0,55%.

Il est à remarquer que la rigidité (de flexion ou de torsion) d'un arbre augmente seulement avec l'augmentation du diamètre de l'arbre, étant donné la rigidité est proportionnelle au module d'élasticité E ou G et au moment d'inertie I de la section considérée.

Pour remplir certaines fonctions particulières, les arbres peuvent être fabriqués en matériaux autres que les aciers : alliages d'aluminium ou de titane, matières plastiques renforcées de fibres, alliages de cuivre ...

3.3.6.4 Démarche à suivre pour calculer ou vérifier le diamètre d'un arbre

Quelle que soit la méthode de calcul employée, la démarche à suivre pour résoudre un problème est simplement et sensiblement la même. Les étapes sont :

- ❖ Calculer les actions mécaniques, dans les différentes sections droites de la poutre ;
- ❖ Déterminer les torseurs des efforts de cohésion ;
- ❖ Tracer les diagrammes des efforts de cohésion ;
- ❖ Déterminer la section critique de la poutre (la plus dangereuse ou la plus sollicitée) ;
- ❖ Déterminer le moment idéal M_i :

$$M_i = \sqrt{M_f^2 + M_t^2}$$

- ❖ Calculer le diamètre nécessaire de la section critique pour résister à ces efforts, ou vérifier la sécurité à cette section critique (si son diamètre est connu).

Le calcul de la contrainte nominale se fait avec la formule suivante :

$$\sigma = \frac{yM_i}{I_{GZ}} = \frac{Y}{I_{GZ}} \sqrt{M_f^2 + M_t^2} \leq \sigma_{\max adm}$$

Où $\sigma_{\max adm}$ est la contrainte maximale admissible à la traction.

I_{GZ} : Moment quadratique de la section de l'arbre.

M_f : Moment de flexion maxi.

M_t : Moment de torsion maxi.

Y : Distance du point considéré par rapport à la fibre neutre.

$$Y = \frac{d}{2} \quad ; \quad I_{GZ} = \frac{\pi D^4}{64}$$

Pour un arbre de section circulaire :

$$\text{Donc : } \sigma = \frac{32}{\pi D^3} \sqrt{M_f^2 + M_t^2} \leq \sigma_{\max adm}$$

On peut alors déduire la relation donnant le diamètre d d'un arbre plein :

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32}{\pi \sigma_{mad}} \sqrt{M_f^2 + M_t^2}}$$

3.3.6.5 Critères de résistance

Il existe plusieurs méthodes pour calculer le diamètre de l'arbre ou pour vérifier sa résistance ou d'un diamètre choisi. Les méthodes que nous verrons sont sûres et leur degré d'exactitude est fonction des facteurs considérés. Toutefois, ces méthodes ne donnent pas nécessairement des résultats identiques.

Critère de cisaillement maxi (code ASME) :

Cette méthode est simple à employer. C'est un outil très utile lors de la conception car il permet d'évaluer rapidement le diamètre des arbres en utilisant une théorie de limitation statique basée sur le cisaillement maximal. Elle définit la contrainte de cisaillement admissible comme étant la plus petite des valeurs suivantes :

$$\sigma_{\max adm} = b * 0.18 * \sigma_r \text{ où } b = 1 \text{ sans concentration de contrainte ;}$$

Ou $\sigma_{\max adm} = b * 0.30 * \sigma_e$ $b=0.75$ avec concentration de contrainte ;

La valeur de σ_c peut être réduite de 25% si la fiabilité de l'arbre est susceptible d'entraîner des conséquences catastrophiques.

Le calcul de la contrainte maximale de cisaillement basé sur le cercle de Mohr se fait avec la formule suivante : pour une section circulaire pleine :

$$\sigma_{compression} = \frac{16}{\pi d_n^3} \sqrt{(K_f M_f)^2 + (K_t M_t)^2} \leq \sigma_{\max adm}$$

Facteurs de chargement du code ASME:

Chargement	K_f	K_t
Arbre stationnaire		
• Charge appliquée lentement	1	1
• Charge appliquée rapidement	1,5 - 2	1,5 - 2
Arbre de transmission ou de renvoi		
• Charge constante ou appliquée lentement	1,5	1
• Chocs mineurs	1,5 - 2	1 - 1,5
• Chocs majeurs	2 - 3	1,5 - 3

Critère de Von Mises :

Pour les arbres de transmission, on ne tient compte que des effets des moments de flexion et de torsion. Les effets de concentration des contraintes ne sont pas aussi considérés, mais on doit vérifier ces arbres aux sollicitations dynamiques. La relation suivante est très utilisée pour une prédétermination du diamètre de l'arbre :

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \sigma_{\max adm}$$

Où:

$$\sigma \text{ est la contrainte normale effective : } \sigma = K_{\sigma} \frac{M_f}{I_{GZ}} y \text{ avec } I_{GZ} = I_{GY} = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{64} \text{ et } y = \frac{D}{2}$$

K_{σ} et K_{τ} sont des coefficients de concentration de contraintes

$$\tau \text{ est la contrainte tangentielle effective } \tau = K_{\tau} \frac{M_t}{I_G} r \text{ avec } I_0 = I_{GY} = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32} \text{ et } r = \frac{D}{2}$$

$\sigma_{\max adm}$: Contrainte maximale admissible du matériau en traction.

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\left(K_{tt} \frac{4N}{\pi d^2} + K_{tf} \frac{32M_f}{\pi d^3}\right)^2 + 3\left(K_{t0} \frac{16M_t}{\pi d^3}\right)^2} \leq \sigma_{\max adm}$$

Critère de Tresca :

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \leq \sigma_{\max adm}$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\left(K_{tt} \frac{4N}{\pi d^2} + K_{tf} \frac{32M_f}{\pi d^3}\right)^2 + 3\left(K_{t0} \frac{16M_t}{\pi d^3}\right)^2} \leq \sigma_{\max adm}$$

3.3.7 Vérification de l'arbre à la déformation :

En plus de transmettre la puissance, les arbres servent à maintenir les positions relatives des divers éléments de machines. La déformation latérale est plus critique lorsque des engrenages sont montés sur un arbre ou lorsque ce dernier est supporté par des paliers. La déformation en torsion peut affecter le synchronisme ou le déphasage des machines entraînées. Dans de tels cas, on détermine en général la dimension de l'arbre en tenant compte d'abord de sa rigidité et en vérifiant en suite sa résistance.

Cas de flexion :

La déformation en flexion s'exprime par :

$$Y'' = \frac{Mf_{GZ}}{EI_{gz}} Y \iff \frac{Mf_{GZ}}{E \frac{\pi d^4}{64}} d \geq \sqrt[4]{\frac{64}{E\pi y_{lim}}} \iint Mf_{GZ} dy$$

Avec :

Mf_{GZ} : Moment de flexion dans une section de l'arbre ;

I_{gz} : Moment quadratique de la section de l'arbre ;

E : Module d'élasticité longitudinale du matériau ;

Y'' : dérivée seconde de l'équation de la déformée .

Pour déterminer la flèche y il faut intégrer deux fois l'équation précédente.

Avec $y \leq y_{lim}$

Cas de torsion :

La déformation en torsion s'exprime par :

$$\theta = \frac{M_t L}{I_G G} \leq \theta_{lim} \iff \frac{M_t L}{\frac{\pi d^4}{32} G} \iff d \geq \sqrt[4]{\frac{32}{\pi \theta_{lim} G}} M_t L$$

Avec :

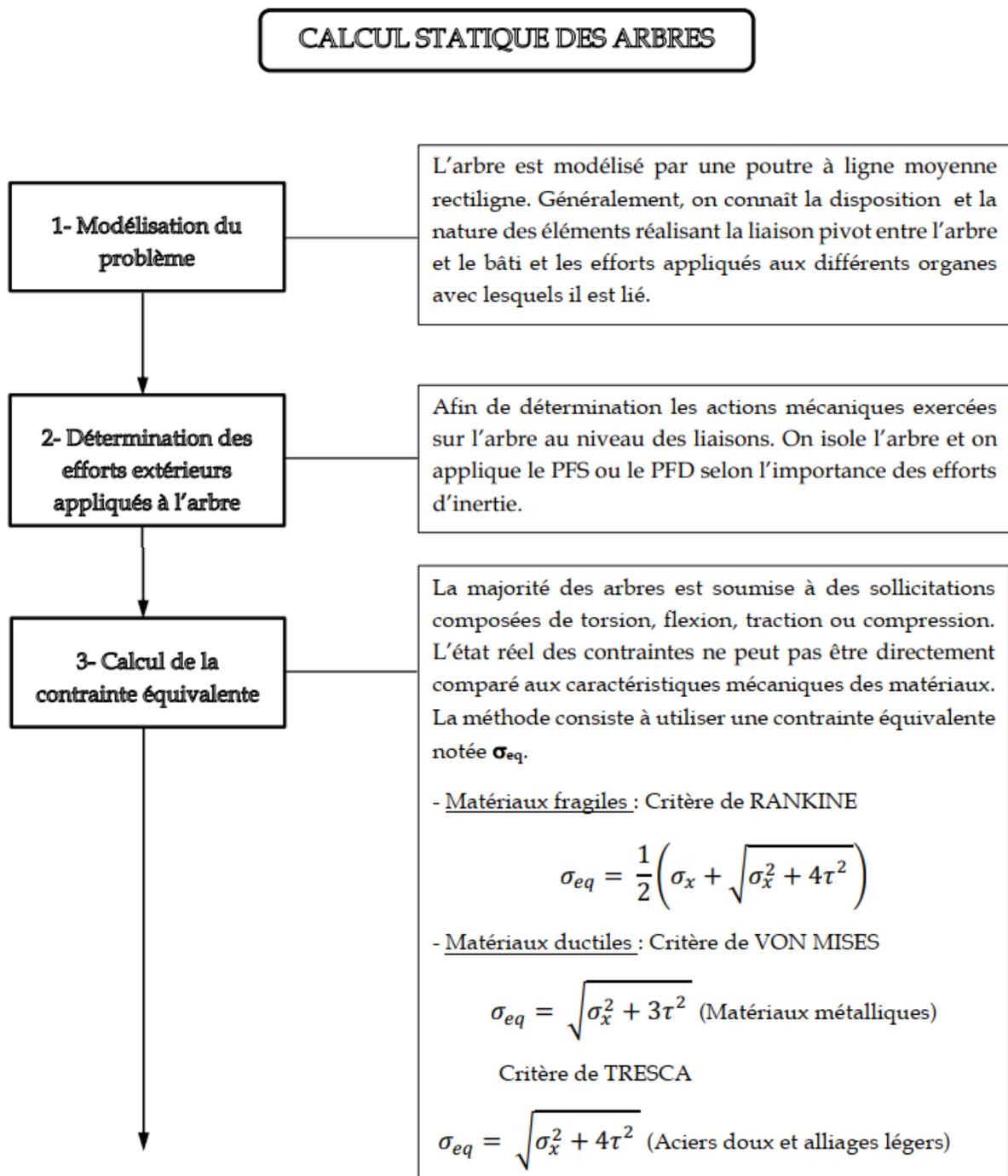
M_t : Couple ou moment de torsion ;

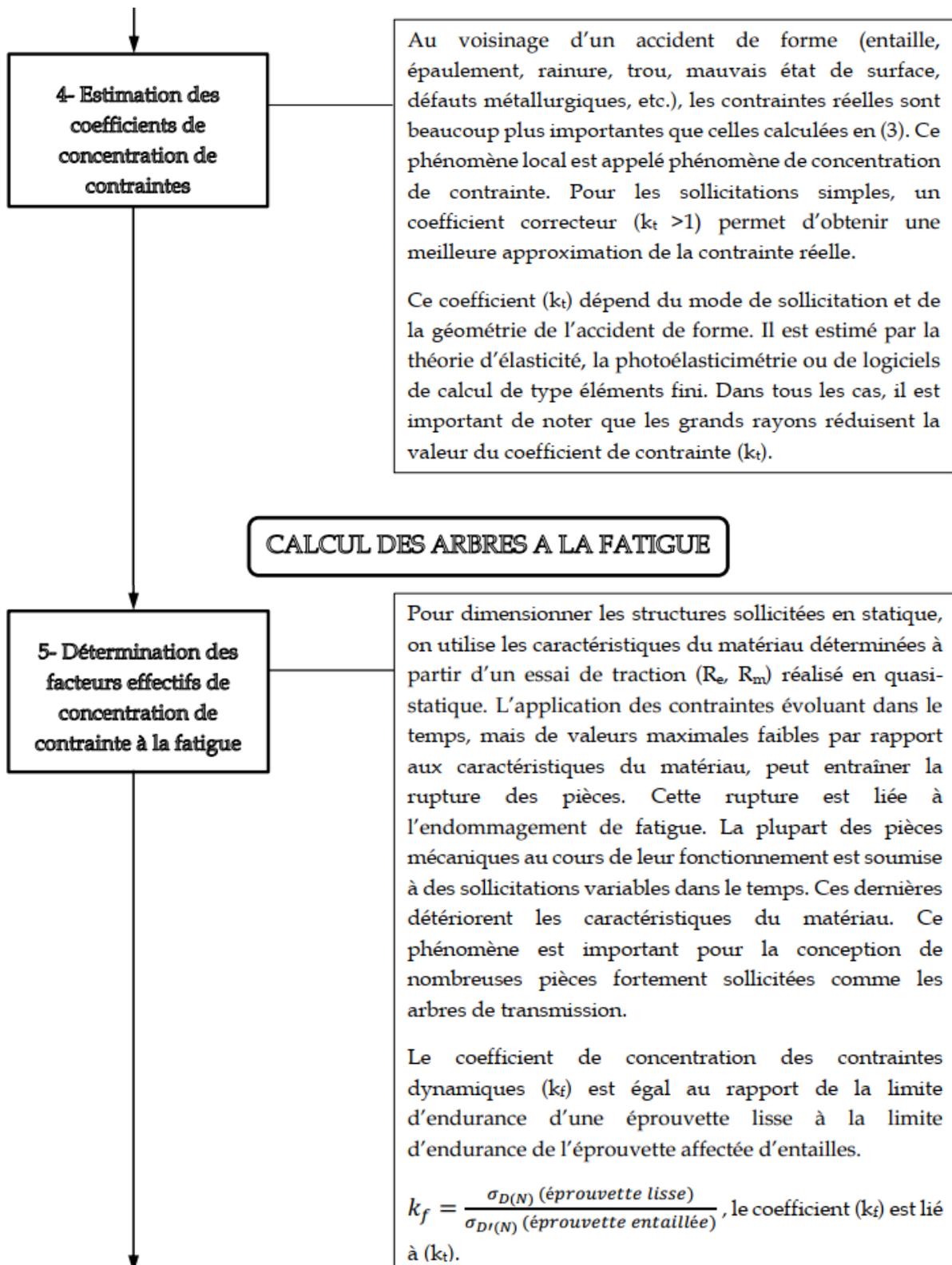
I_G : Moment quadratique polaire de la section de l'arbre ;

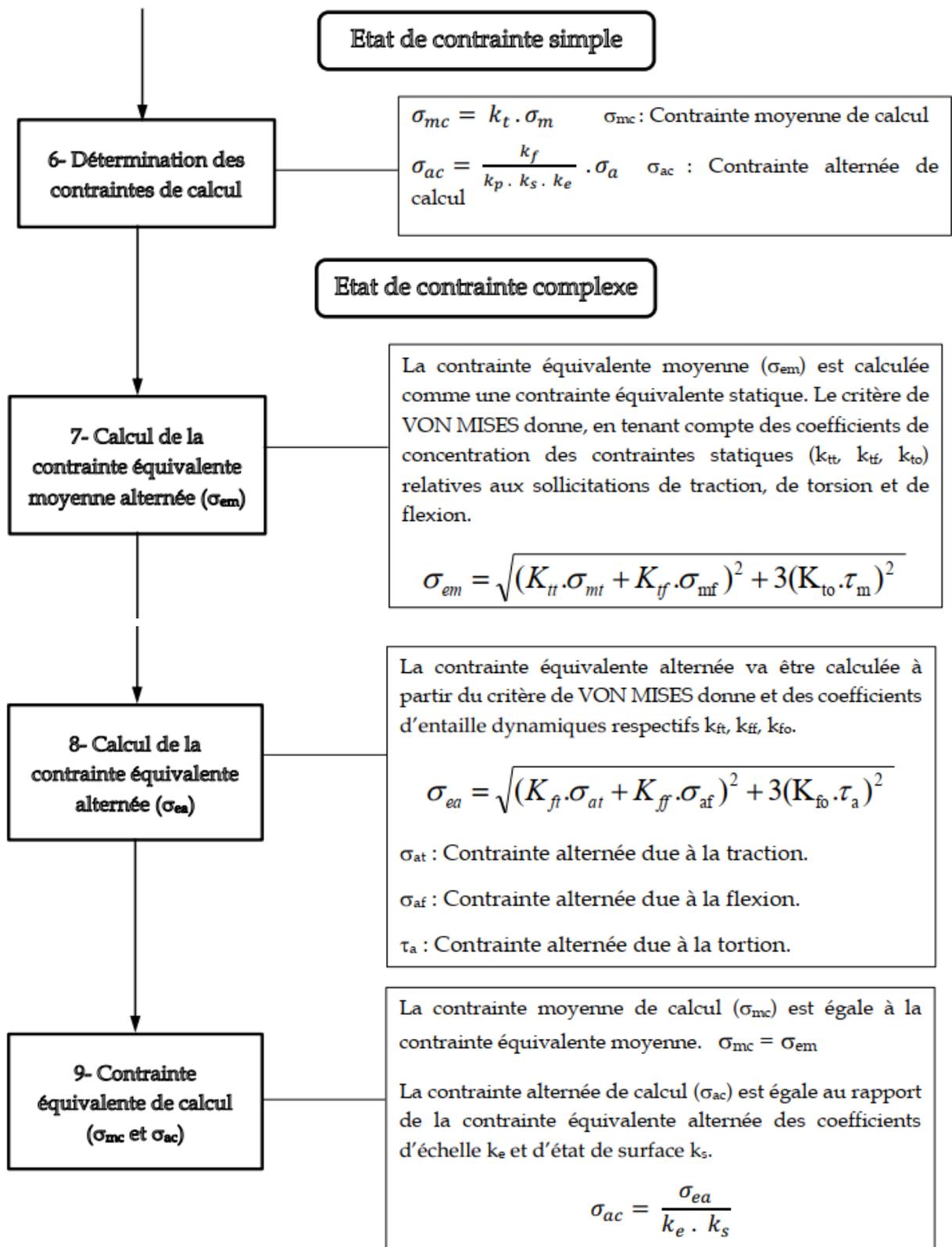
G : Module d'élasticité transversale du matériau ;

L : Longueur du tronçon d'arbre sollicité à la traction.

Organigramme de vérification du dimensionnement des arbres







3.4 Normalisation des pièces

3.4.1 Introduction

Les engrenages sont des composants mécaniques essentiels. Ils font partie des systèmes de transmission de puissance les plus utilisés, les plus résistants et les plus durables.

Ils sont normalisés et fabriqués avec la norme internationale ISO présentent l'avantage d'être facilement interchangeables et permettent des possibilités de fabrication plus économiques (conception type, méthodes de calcul normalisées, taillage et contrôle automatisés, équipements standard).

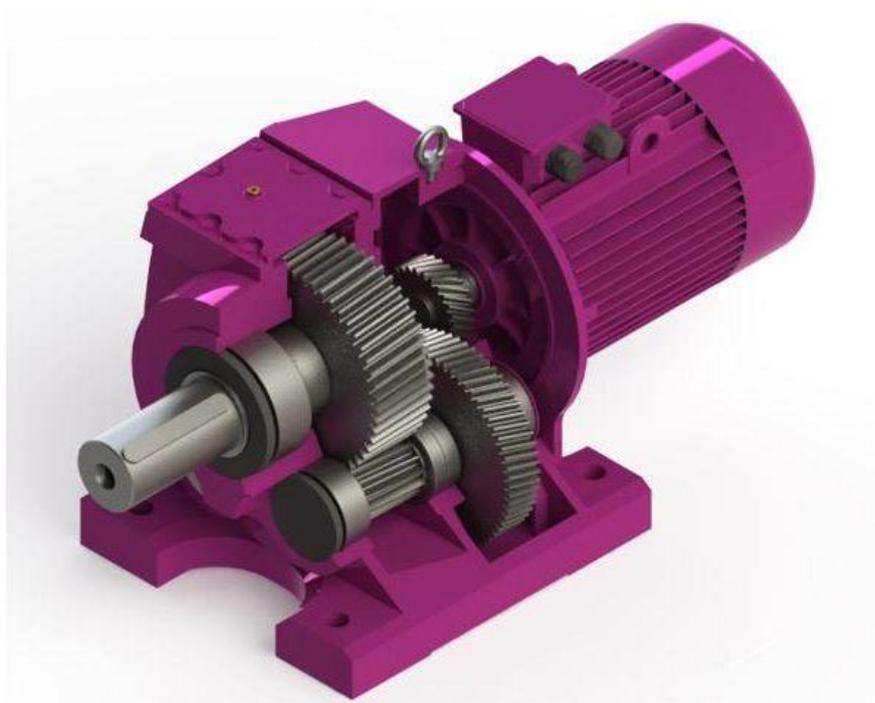


Figure 3.3 : Moto-réducteur

3.4.2 Différents Types D'engrenages –Dessins Normalisés- Schématisations

3.4.2.1 Les engrenages droits (ou parallèles) à denture droite

Ce sont les plus simples et les plus économiques. Ils sont utilisés pour transmettre la puissance entre deux arbres parallèles. Les dents des deux roues de l'engrenage sont parallèles à l'axe de rotation des arbres.

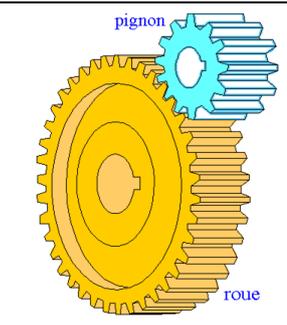
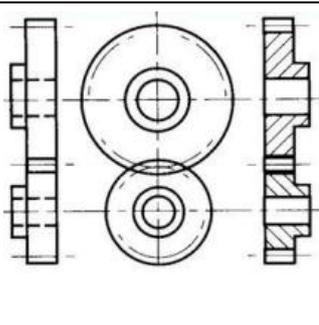
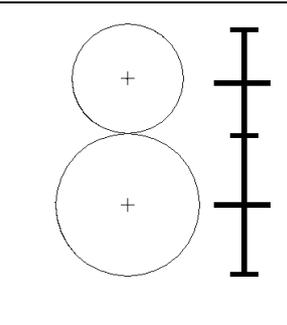
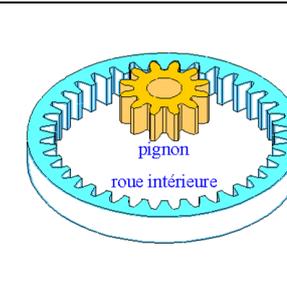
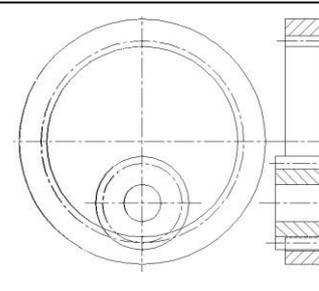
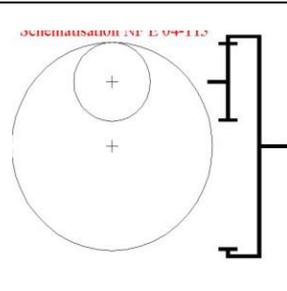
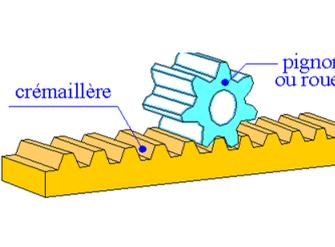
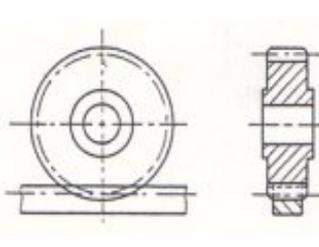
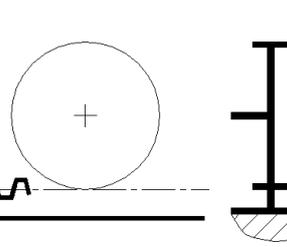
Nom		Dessin normalisés	Schématisation
Engrenage extérieur			
			
			

Tableau 3.9 : Les engrenages droits à dentures droites

3.4.2.2 Les engrenages droits (ou parallèles) à denture hélicoïdale

De même usage que les précédents, ils sont très utilisés en transmission de puissance ; les dents des roues sont inclinées par rapport à l'axe de rotation des deux arbres. Ils sont plus performants que les précédents et aussi plus silencieux.

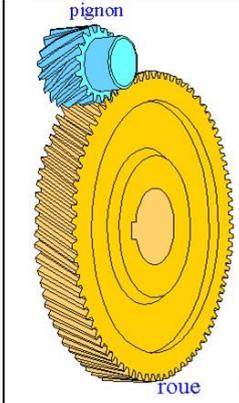
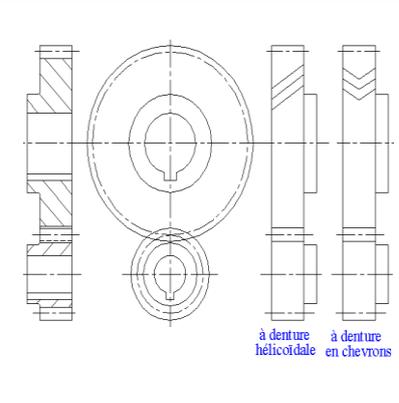
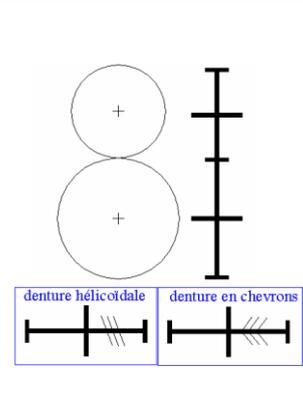
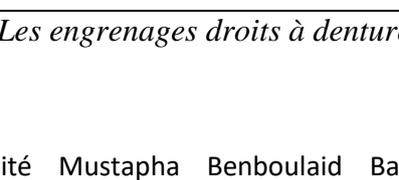
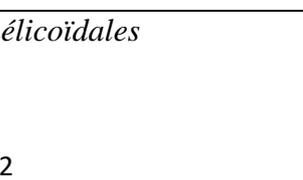
Nom		Dessin normalisé	Schématisation
Engrenage droit à denture hélicoïdale			
			

Tableau 3.10 : Les engrenages droits à dentures hélicoïdales

3.4.2.3 Les engrenages coniques ou concourants

Les dents sont taillées dans des surfaces coniques. Ils sont utilisés pour transmettre la puissance entre des arbres concourants, perpendiculaires ou non (engrenages dont les axes sont concourants). La denture peut être droite mais aussi hélicoïdale ou spirale.

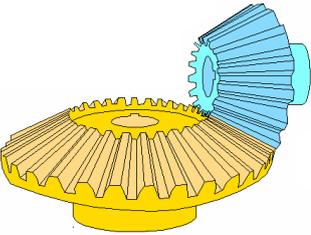
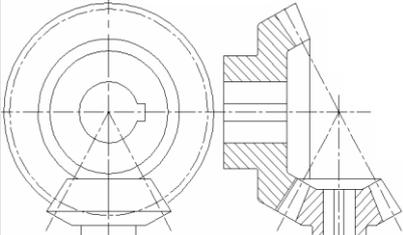
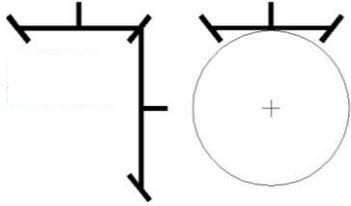
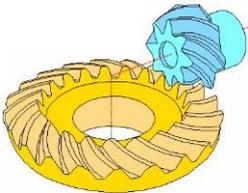
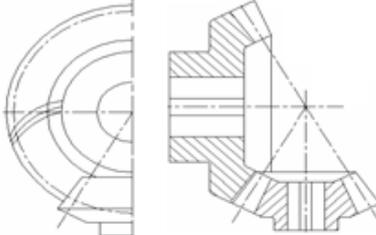
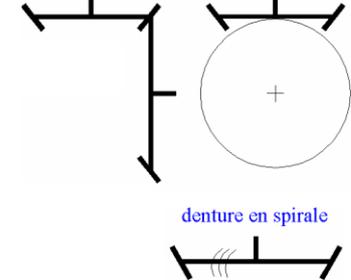
Nom		Dessin normalisé	Schématisation
Engrenage conique à denture droite			
			

Tableau 3.11 : Les engrenages coniques ou concourants

3.4.2.4 Les engrenages roue et vis sans fin

La transmission est effectuée entre deux arbres orthogonaux (perpendiculaires mais non concourants). Ces engrenages permettent de grands rapports de réduction (jusqu'à 1/200).

En contrepartie : un glissement et un frottement important provoquent un rendement médiocre. Ils exigent une bonne lubrification et des couples de matériaux à faible frottement (exemple : vis en acier avec roue en bronze).

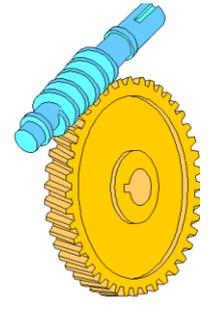
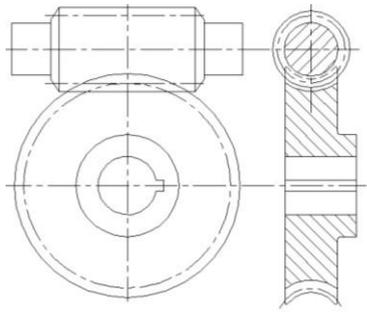
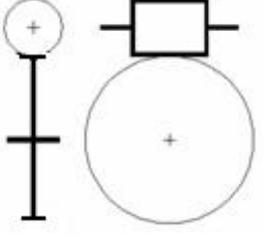
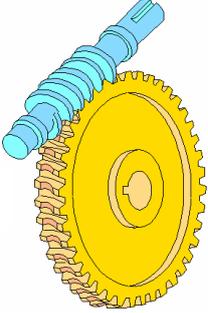
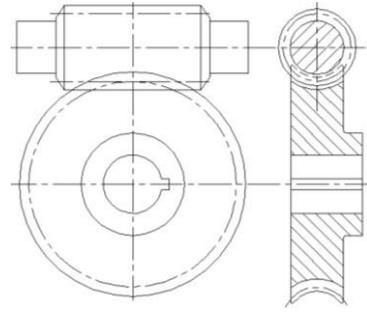
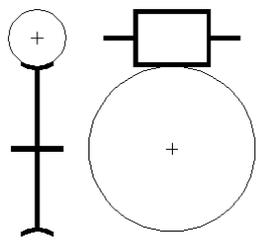
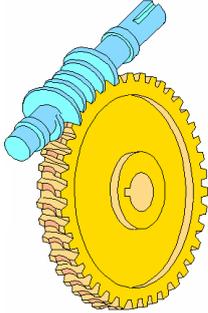
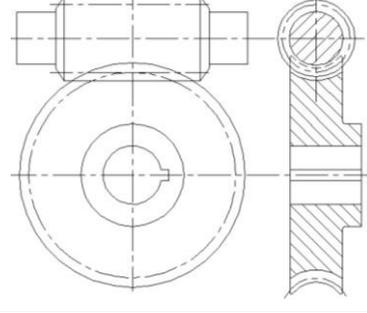
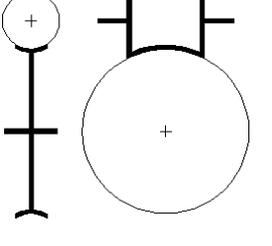
Nom		Dessin normalisé	Schématisation
Vis sans fin avec roue cylindrique			
Vis sans fin tangente avec roue creuse			
Vis sans fin globique avec roue creuse			

Tableau 3.12 : Roues et vis sans fin

3.4.2.5 Les engrenages hypoides

Ils sont à mi-chemin entre les engrenages coniques et les systèmes roue et vis sans fin. Les axes des roues sont orthogonaux (perpendiculaires mais non concourants). Les surfaces primitives sont des hyperboloïdes et non des cônes. Le glissement entre les dents étant élevé, ces engrenages exigent une bonne lubrification.

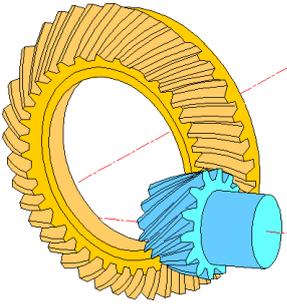
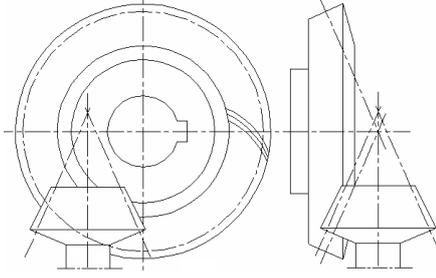
	Nom	Dessin normalisé	Schématisation
Engrenage hypôide			<p>Elle est analogue à celle des engrenages coniques.</p>

Tableau 3.13 : Les engrenages hypôides

3.4.2.6 Les engrenages gauches

Les engrenages gauches réalisent la transmission entre des arbres perpendiculaires ou obliques situés dans des plans différents. Ils sont surtout utilisés pour transmettre un mouvement ou de très faibles charges.

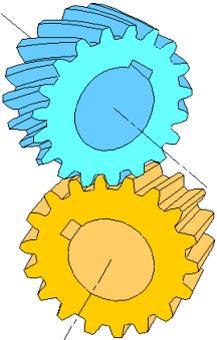
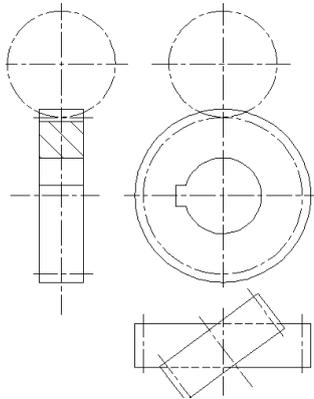
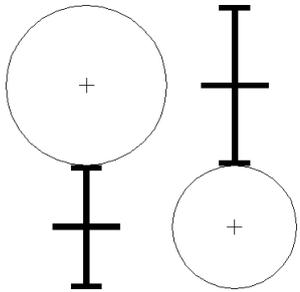
	Nom	Dessin normalisé	Schématisation
Engrenage gauche			

Tableau 3.14 : Les engrenages gauches

3.4.3 Définitions - terminologie et principaux symboles normalisés (NF ISO 701)

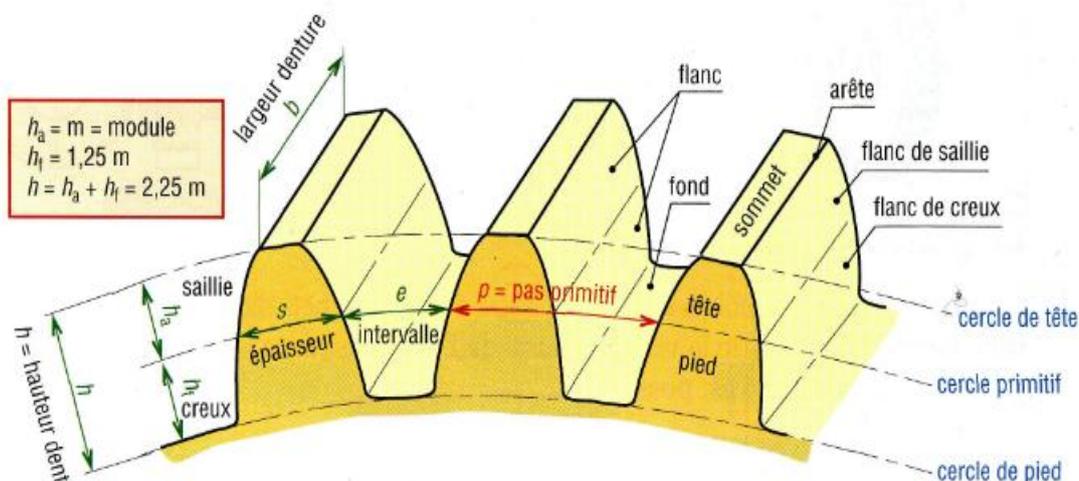


Figure 3.3 : Symboles et vocabulaire utilisés pour décrire la forme de la denture (denture normale)

➤ **Module m:**

Le **module m** choisi parmi les modules normalisés est déterminé par un calcul de résistance des matériaux. (La dent est sollicitée à la flexion simple).

La relation permettant le calcul du module:
$$m \geq 2.34 \cdot \sqrt{\frac{F_t}{k \cdot R_{pe}}}$$

F_t : effort tangentiel sur la dent k : coefficient de largeur de denture R_{pe} : Résistance pratique en traction

Valeurs normalisées du module m									
Valeurs principales en mm					Valeurs secondaires en mm				
0,06	0,25	1,25	5	20	0,07	0,28	1,125	5,5	22
0,08	0,30	1,5	6	25	0,09	0,35	1,375	7	28
0,10	0,40	2	8	32	0,11	0,45	1,75	9	36
0,12	0,50	2,5	10	40	0,14	0,55	2,75	11	45
0,15	0,75	3	12	50	0,18	0,7	3,5	14	55
0,20	1,0	4	16	60	0,22	0,9	4,5	18	70

Tableau 3.15 : Les valeurs normalisées du module m

➤ **Caractéristiques des engrenages droits à denture droite:**

Les caractéristiques sont récapitulées dans le tableau suivant :

Caractéristique ou terme	Symbole normalisé (NF ISO 701)*	Observations et formules usuelles
entraxe	a	$a = r_1 + r_2 = \frac{1}{2} (d_1 + d_2) = \frac{1}{2} m (Z_1 + Z_2)$
largeur de denture	b	$b = km$ (avec $7 \leq k \leq 12$)
vitesse angulaire	ω	en rad.s^{-1} ; $\omega = \pi N / 30$
nombre de tours	n	n en tours par minute ou tr.min^{-1}
nombre de dents	Z	Z_1 (roue1) et Z_2 (roue 2)
module	m	nombre normalisés; voir tableaux des valeurs
pas (pas primitif)	p	$p = \pi m$ (remarque $p_1 = p_2 = p$)
diamètre primitif	d	$d_1 = m Z_1$; $d_2 = m Z_2$
diamètre de tête	d_a	$d_a = d + 2m = d + 2h_a$
diamètre de pied	d_f	$d_f = d - 2,5m = d - 2h_f$
Saillie	h_a	$h_a = m$
Creux	h_f	$h_f = 1,25m$
hauteur de dent	h	$h = 2,25m = h_a + h_f$
épaisseur de la dent	s	$s_1 = e_1 = s_2 = e_2 = \frac{1}{2} \pi m$ (si jeu nul...)
intervalle	e	$s_1 + e_1 = s_2 + e_2 = p$
angle de pression	α	valeur usuelle: $\alpha = 20^\circ$
diamètre de base	d_b	$d_b = d \cdot \cos \alpha$
pas de base	p_b	$p_b = p \cdot \cos \alpha$

Tableau 3.16 : Principales caractéristiques des engrenages droits à denture parallèle

➤ **Ligne d'engrènement ou ligne de pression T_1T_2 :**

Tangente aux deux cercles de base, c'est la ligne qui porte (en permanence) l'effort de contact s'exerçant entre les deux roues. Le point de contact (M) entre les dents est toujours situé sur cette ligne. La tangente en M aux deux profils en contact est toujours perpendiculaire à $T_1 T_2$.

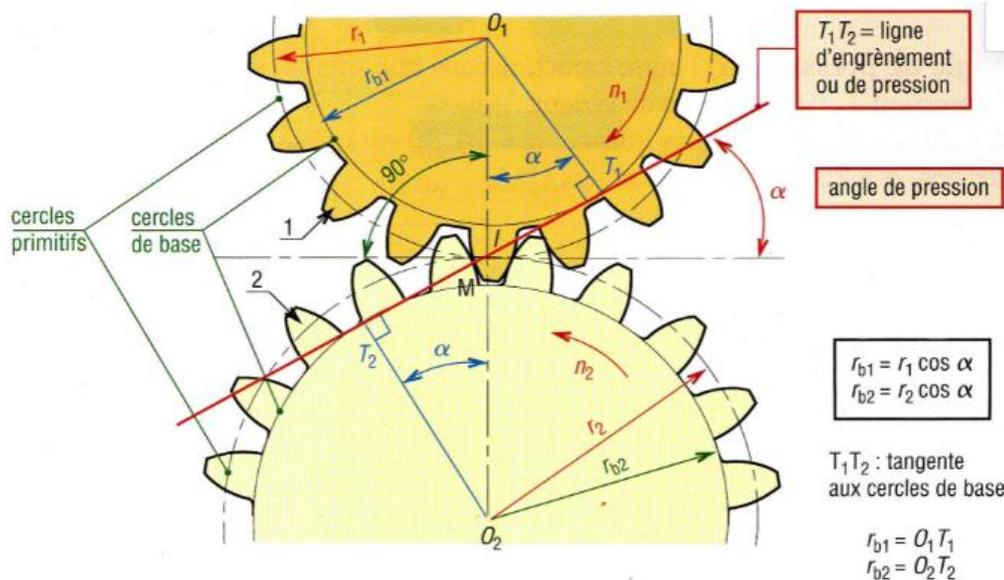


Figure 3.4: Ligne d'engrènement

➤ **Angle de pression α :**

Autre caractéristique importante, il définit l'inclinaison de la droite de pression T_1T_2 (ainsi que l'action de contact exercée entre les roues), mais aussi la forme de la dent.

$\alpha = 20^\circ$ est la valeur la plus utilisée, $\alpha = 14^\circ 30'$ est utilisé en remplacement d'engrenages anciens, $\alpha = 25^\circ$ est un standard aux USA.

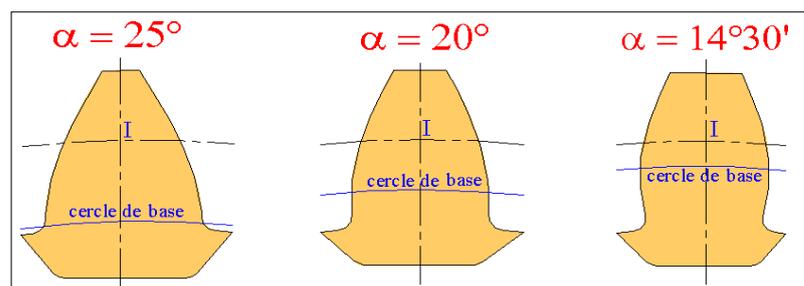


Figure 3.5: L'angle de pression

➤ **Problèmes de l'engrènement, phénomène d'interférence :**

Il y a interférence lorsque le sommet de la dent d'une roue rencontre le fond d'une dent de l'autre roue. Au moment du taillage ce défaut est caractérisé par un usinage parasite du pied de la dent.

Avec $\alpha = 20^\circ$, si les deux roues ont plus de 17 dents, il n'y a pas de risque

d'interférence. Pour un système pignon-crémaillère, l'interférence est évitée si $Z_1 \geq 18$. Un nombre de dents Z_1 inférieur à 13 est à éviter.

Nombre de dents évitant le phénomène d'interférence ($\alpha=20^\circ$, dentures non corrigées)					
Nombre de dents du pignon Z_1	13	14	15	16	17
Nombre maximum de dents pour la roue Z_2	16	26	45	101	1309

Tableau 3.17 : Nombre de dents évitant le phénomène d'interférence

Cas des roues intérieures et des crémaillères:

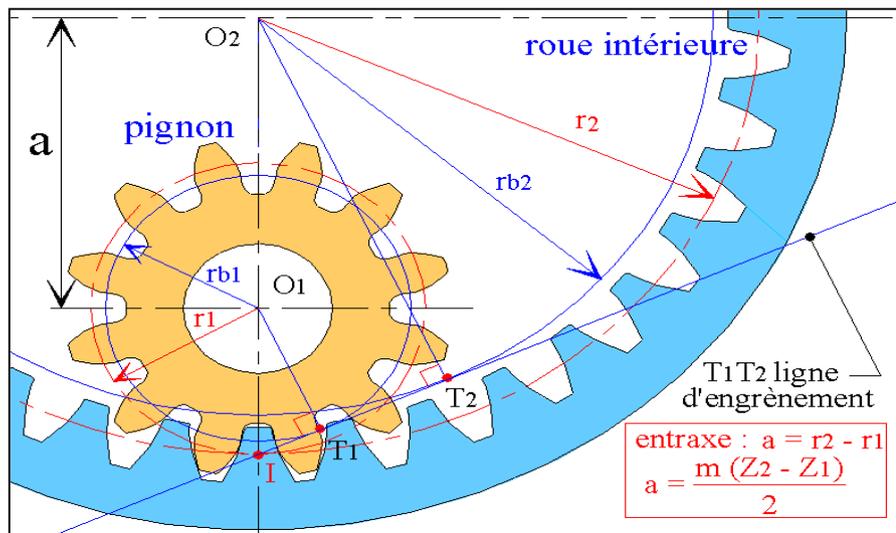


Figure 3.6: Cas d'un pignon et d'une roue intérieure

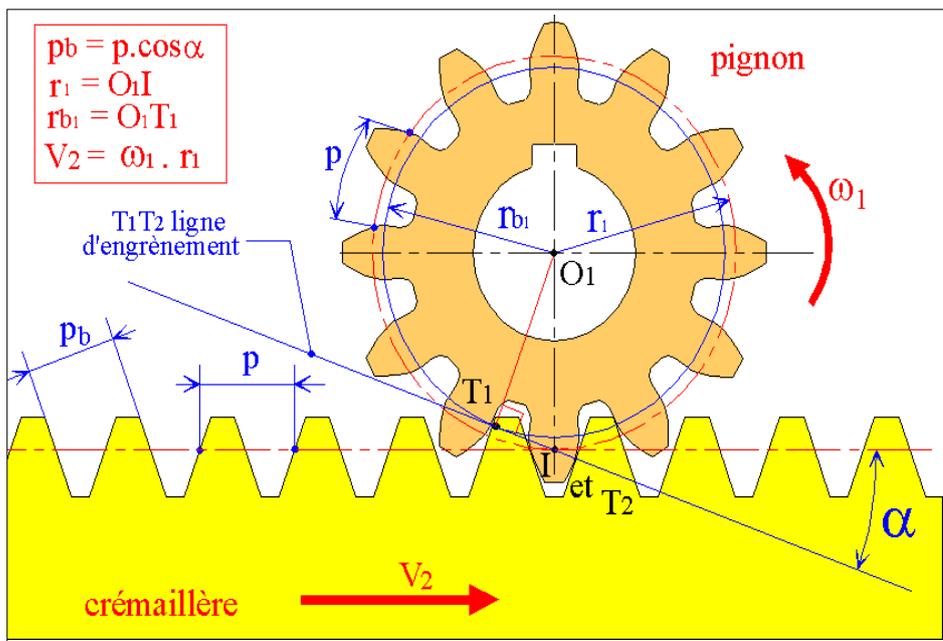


Figure 3.7: Cas d'un pignon et d'une crémaillère

3.4.3.2 Engrenages droits (ou parallèles) à denture hélicoïdale

Définitions et caractéristiques :

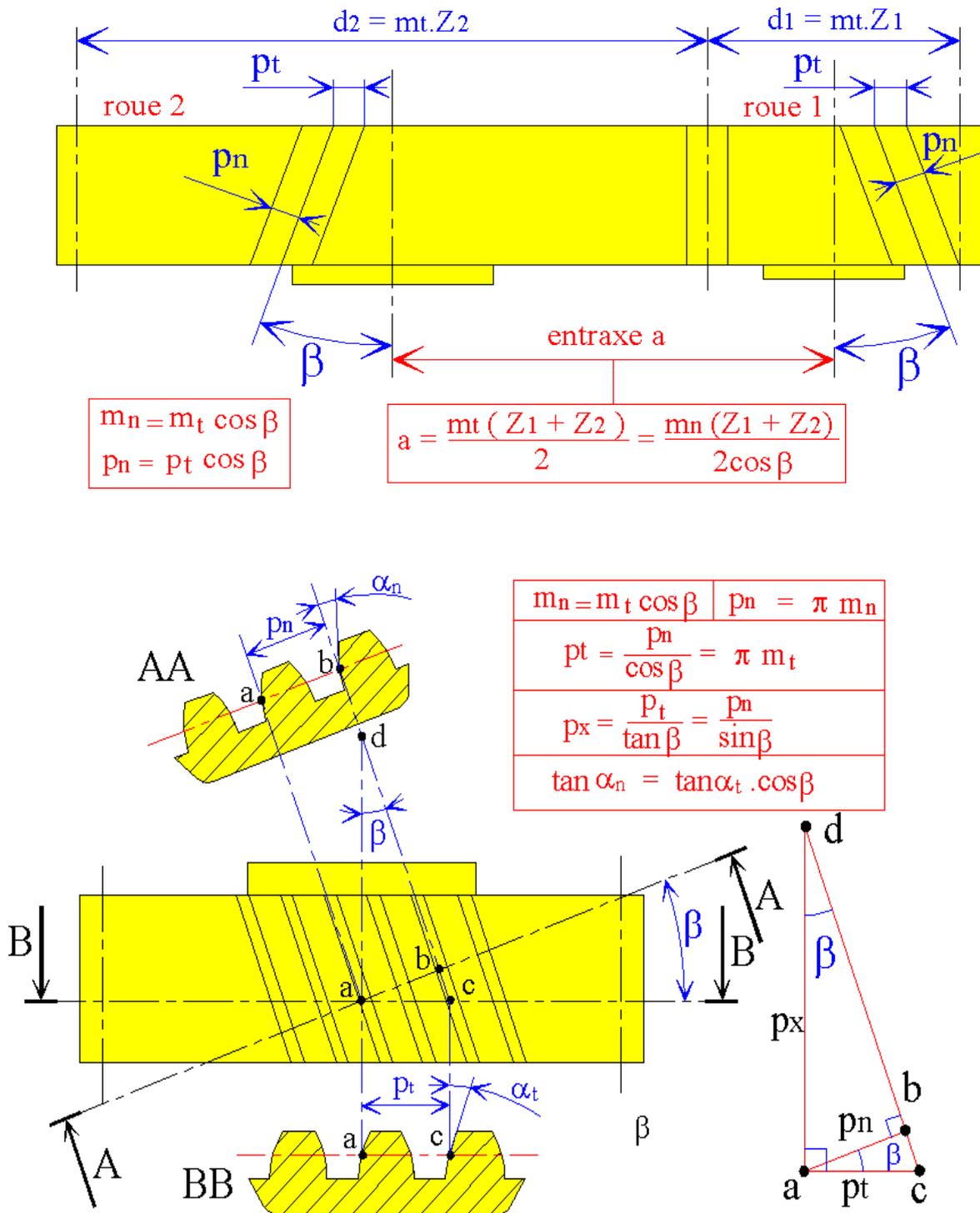


Figure 3.8: Définition des principales caractéristiques

Caractéristiques	Symbole ISO	Observations et formules usuelles
angle d'hélice	β	$\beta_1 = -\beta_2$; valeurs usuelles: $15^\circ < \beta \leq 30^\circ$
sens de l'hélice		si la roue 1 à une hélice à droite, alors la roue 2 à une hélice à gauche, d'où $\beta_1 = -\beta_2$
vitesse angulaire	ω	en rad.s^{-1} ; $\omega = \pi N / 30$
nombre de tours	n	n en tours par minute ou tr.min^{-1}
Entraxe	a	$a = r_1 + r_2 = \frac{1}{2}(d_1 + d_2)$ $= \frac{1}{2} m_t (Z_1 + Z_2) = \frac{1}{2} m_n (Z_1 + Z_2) / \cos\beta$
nombre de dents	Z	Z_1 (roue1) et Z_2 (roue 2)
module réel (ou normal)	m_n	nombre normalisés; voir tableaux des valeurs
pas réel (ou normal)	p_n	$p_n = \pi m_n$ (remarque $p_{n1} = p_{n2} = p_n$)
module apparent	m_t	$m_t = m_n / \cos\beta$ (augmente avec la valeur de β)
pas apparent	p_t	$p_t = p_n / \cos\beta = \pi m_t$
diamètre primitif	d	$d_1 = m_t \cdot Z_1$; $d_2 = m_t \cdot Z_2$
diamètre de tête	d_a	$d_a = d + 2m_n = d + 2h_a$
diamètre de pied	d_f	$d_f = d - 2,5m_n = d - 2h_f$
Saillie	h_a	$h_a = m_n$
Creux	h_f	$h_f = 1,25m_n$
hauteur de dent	h	$h = 2,25m_n = h_a + h_f$
épaisseur de la dent	s	$s_1 = e_1 = s_2 = e_2 = \frac{1}{2} \pi \cdot m$ (si jeu nul...)
Intervalle	e	$s_1 + e_1 = s_2 + e_2 = p$

angle de pression réel	α_n	valeur usuelle: $\alpha = 20^\circ$
angle de pression apparent	α_t	$\tan\alpha_n = \tan\alpha_t \cdot \cos\beta$
diamètre de base	d_b	$d_b = d \cdot \cos\alpha_t$
pas de base réel	p_{bn}	$p_{bn} = p_n \cdot \cos\alpha_n$
pas de base apparent	p_{bt}	$p_{bt} = p_t \cdot \cos\alpha_t$
pas axial	p_x	$p_x = p_t / \tan\beta = p_n / \sin\beta = p_z / Z$
pas de l'hélice primitive	p_z	$p_z = \pi d / \tan\beta = Z \cdot p_x$
largeur de denture	b	$b > 2\pi m_n / \sin\beta = 2p_x$

Tableau 3.18 : Principales caractéristiques des engrenages droits à denture hélicoïdale

Comparaison entre dentures droites et dentures hélicoïdales

Avantage de la denture hélicoïdale : transmission plus souple, plus progressive et moins bruyante. Conduite plus grande (2,3 ou 4 couples de dents toujours en prise). Transmission d'efforts importants, vitesses élevées.

Inconvénients : efforts parasites supplémentaires dus à l'angle d'hélice (force axiale sur les paliers de l'arbre) et rendement un peu moins bon.

3.4.3.3 Caractéristiques des engrenages coniques à denture droite

La taille et la forme de la dent (module m, pas p, d, da, df, h, ha, hf) sont définies à partir du plus grand cercle ou sur l'extrémité la plus large de la denture.

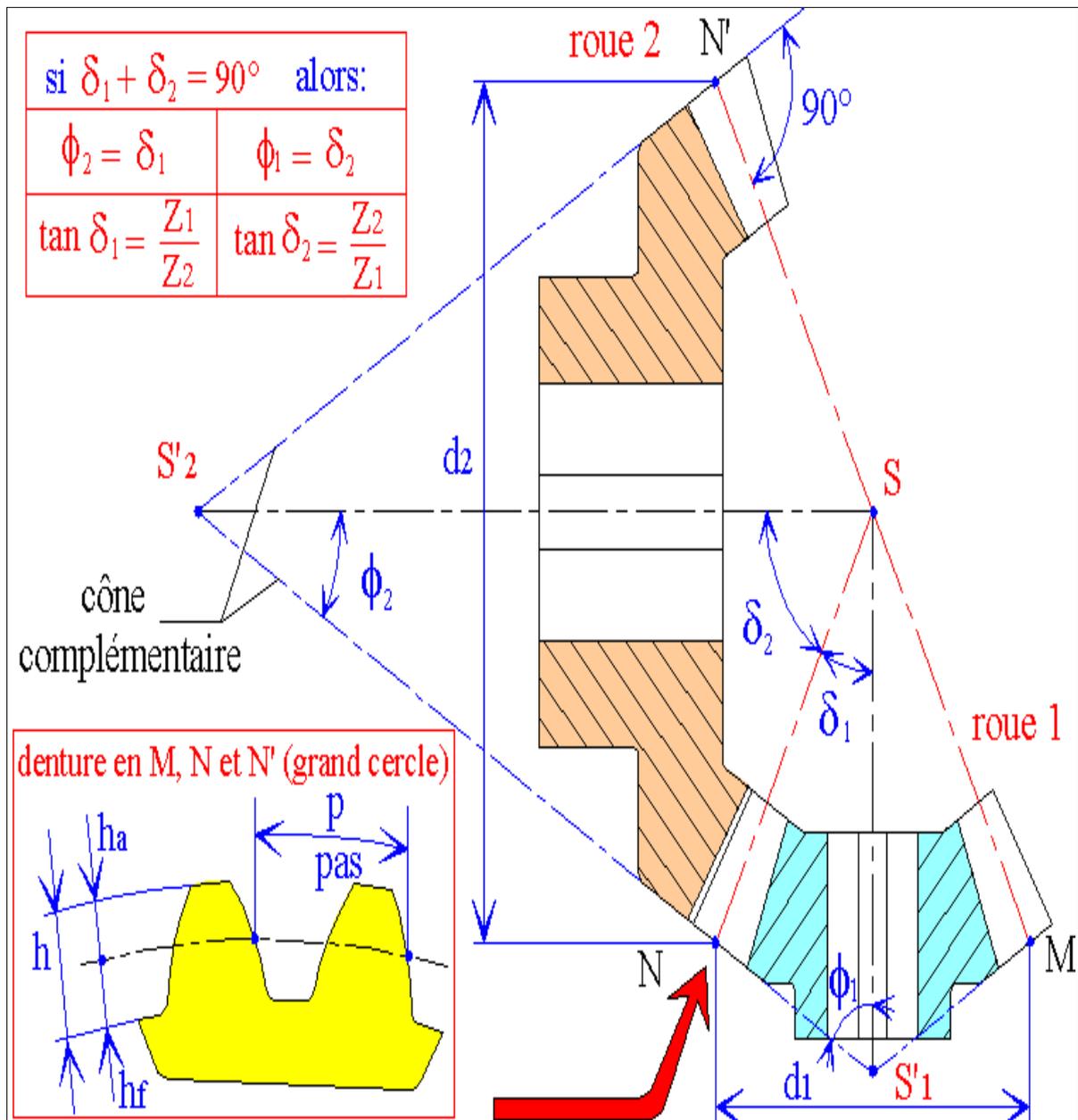


Figure 3.9: Définition des principales caractéristiques

Caractéristique	Symbole ISO	Observations et formules usuelles
nombre de dents	Z	Z_1 (roue1) et Z_2 (roue 2)
module	m	nombre normalisés; voir tableaux des valeurs des engrenages droits à dentures droites
pas (pas primitif)	p	$p = \pi m$ (remarque $p_1 = p_2 = p$)
angle primitif	δ	δ_1 (roue1) , δ_2 (roue 2)
rayon primitif	r	$r_1 = \frac{1}{2}mZ_1 = \frac{1}{2}d_1$; $r_2 = \frac{1}{2}mZ_2 = \frac{1}{2}d_2$
diamètre primitif	d	$d_1 = mZ_1$; $d_2 = mZ_2$
angle de pression	α	valeur usuelle: $\alpha = 20^\circ$
angle de tête	δ_a	$\delta_a = \delta + \theta_a$
angle de pied	δ_f	$\delta_f = \delta - \theta_f$
angle saillie	θ_a	$\tan\theta_a = 2m.\sin\delta/d$
angle de creux	θ_f	$\tan\theta_f = 2.5m.\sin\delta/d$
angle de hauteur	θ	$\theta = \theta_a + \theta_f$
diamètre de tête	d_a	$d_a = d + 2m.\cos\delta$
diamètre de pied	d_f	$d_f = d - 2,5m.\cos\delta$
Saillie	h_a	$h_a = m$
Creux	h_f	$h_f = 1,25m$
hauteur de dent	h	$h = 2,25m = h_a + h_f$
Longueur génératrice primitive	L	$L = d_1/2\sin\delta_1 = d_2/2\sin\delta_2$
largeur de dent	b	$L/4 \leq b \leq L/3$ (raisons de taillage)

$\delta_1 + \delta_2 = 90^\circ$	$\delta_1 + \delta_2 < 90$	$\delta_1 + \delta_2 > 90$
$\phi_1 = \delta_2$	$\phi_1 = 90 - \delta_1$	$\phi_1 = 90 - \delta_1$
$\phi_2 = \delta_1$	$\phi_2 = 90 - \delta_2$	$\phi_2 = 90 - \delta_2$

Tableau 3.19 : Principales caractéristiques des engrenages coniques à denture droite

Caractéristique	Symbole ISO	Observations et formules usuelles
nombre de dents de la vis	Z_V	$Z_V = 1, 2, 3 \dots$
nombre de dents de la roue	Z_R	$Z_V + Z_R > 40$
angle d'hélice de la roue	β_R	$\beta_R + \beta_V = 90^\circ$
angle d'hélice de la vis	β_V	irréversibilité si $\beta_V < 6$ à 10°
sens des hélices		le même pour la vis et la roue
module réel roue	m_n	normalisé (voir tableau): $m_n \text{ vis} = m_n \text{ roue}$
module axial vis	m_x	$m_x = p_x / \pi = m_n / \cos \beta_R = m_n / \sin \beta_V$
pas réel roue	p_n	$p_n = \pi m_n$
pas apparent roue	p_t	$p_t = p_n / \cos \beta_R = \pi m_t$
pas axial de la vis	p_x	$p_x = p_t$ (pas axial vis = pas apparent roue)
pas de l'hélice	p_Z	$p_Z = Z_V \cdot p_x$
diamètre primitif vis	d_V	$d_V = p_Z / \pi \cdot \tan \beta_R$ et $a^{0,875} / 3 \leq d_V \leq a^{0,875} / 1,7$
diamètre primitif roue	d_R	$d_R = m_t Z_R$
Entraxe	a	$a = \frac{1}{2} (d_V + d_R)$
angle de pression réel	α_n	valeur usuelle: $\alpha_n = 14^\circ 30', 20^\circ, 25^\circ$ et 30° ;
angle de pression axial vis	α_x	$\alpha_x = \alpha_t$ (roue)
diamètre de tête vis	d_{aV}	$d_{aV} = d_V + 2m_n$
diamètre de pied vis	d_{fV}	$d_{fV} = d_V - 2,5m_n$
Saillie	h_a	$h_a = m_n$
Creux	h_f	$h_f = 1,25m_n$
hauteur de dent	h	$h = 2,25m_n = h_a + h_f$
Longueur de la vis	L	$L \approx 5p_x$ à $6p_x$

Tableau 3.20 : Principales caractéristiques des engrenages à roue et vis sans fin

➤ **Irréversibilité du système roue et vis sans fin :**

La vis peut toujours entraîner la roue, par contre l'inverse n'est pas toujours possible. Si l'angle d'inclinaison de l'hélice β est suffisamment petit (moins de 6° à 10°) le système devient irréversible et la roue ne peut pas entraîner la vis, il y a blocage en position. Cette propriété est intéressante pour des dispositifs exigeant un non-retour.

3.4.3.5 Trains classiques

➤ **Trains à un engrenage à roues extérieures :**

Un seul couple de roues en prise (Figure 4.8), le rapport de transmission ($r_{2/1}$) est égal au rapport inverse des nombres de dents. Le signe moins (cas de roues extérieures) indique une inversion du sens de rotation entre l'entrée et la sortie.

Le rapport des couples transmis, en supposant un rendement η est :

$$\eta \cdot \frac{C_1}{C_2} = r_{2/1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\omega_2}{\omega_1} \quad r_{2/1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\omega_2}{\omega_1}$$

$$= \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{d_1}{d_2}$$

C_1 est le couple sur la roue 1, menante ou motrice, C_2 est le couple sur la roue 2, menée ou réceptrice.

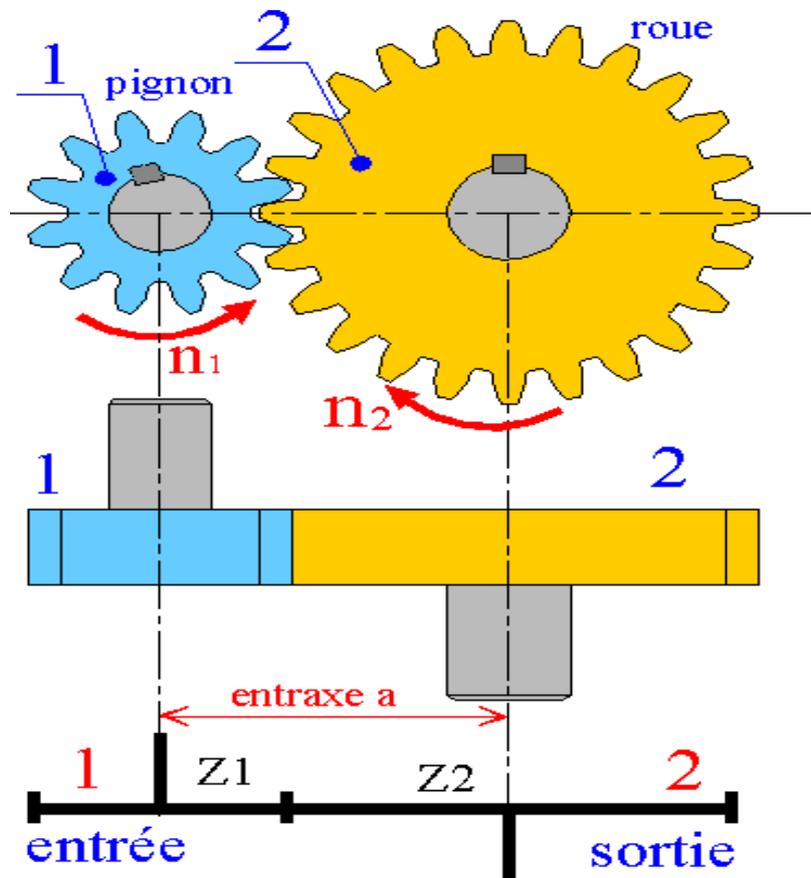


Figure 3.11: Trains à un engrenage

➤ **Trains à un engrenage intérieur :**

Un seul couple de roues en prise dont l'une est à denture intérieure (Fig. 9), le rapport de transmission ($r_{2/1}$) est égal au rapport inverse des nombres de dents. Pas de signe moins dans ce cas, ce qui indique

$$r_{2/1} = n_2/n_1 = \omega_2/\omega_1 = Z_1/Z_2 = d_1/d_2$$

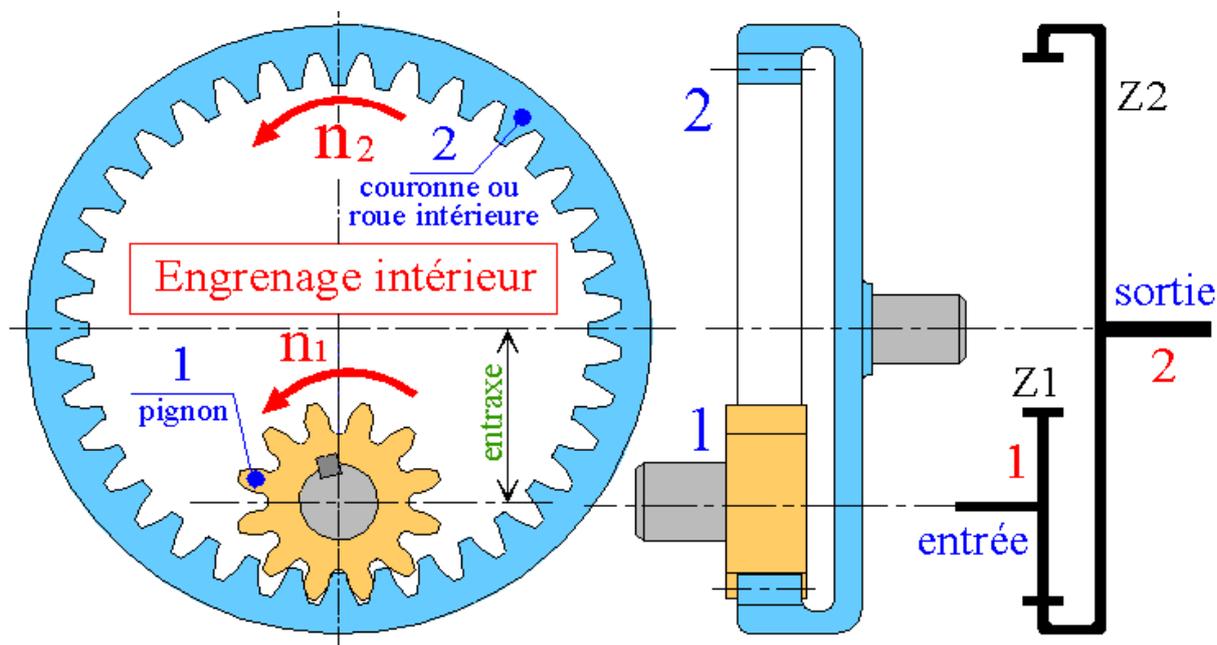


Figure 3.21: Trains à un engrenage intérieur

➤ **Trains à deux engrenages :**

Le train se compose de deux couples de roues montés en série (1 avec 2 et 3 avec 4) (Figure 3.12). Les roues 2 et 3 de l'arbre intermédiaire tournent à la même vitesse.

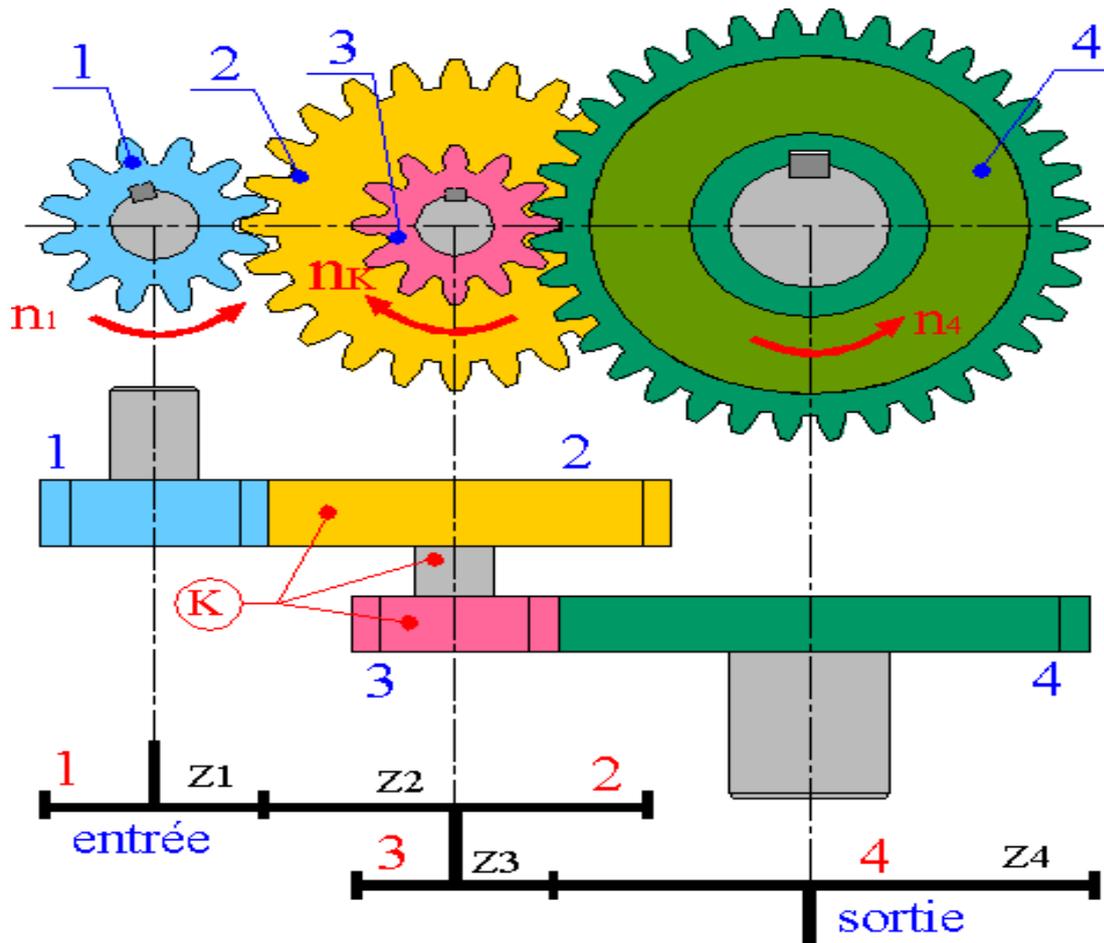


Figure 3.12: Trains à deux engrenages

$$r_{4/1} = n_4/n_1 = n_4 \cdot n_2/n_3 \cdot n_1 = \left(-z_3/z_2\right) \cdot \left(-z_1/z_2\right) = z_3 \cdot z_1/z_4 \cdot z_2$$

Le rapport des couples transmis est :

$$\eta \cdot C_1/C_4 = r_{4/1} = n_4/n_1 = \omega_4/\omega_1$$

➤ **Trains à n engrenages :**

Le train se compose de n couples de roues montés en série (Figure 3.13). Les roues menantes (1), (3) ... (N-1) sont les roues motrices de chaque couple de roues. Les roues menées (2), (4)...(N) sont les roues réceptrices correspondantes.

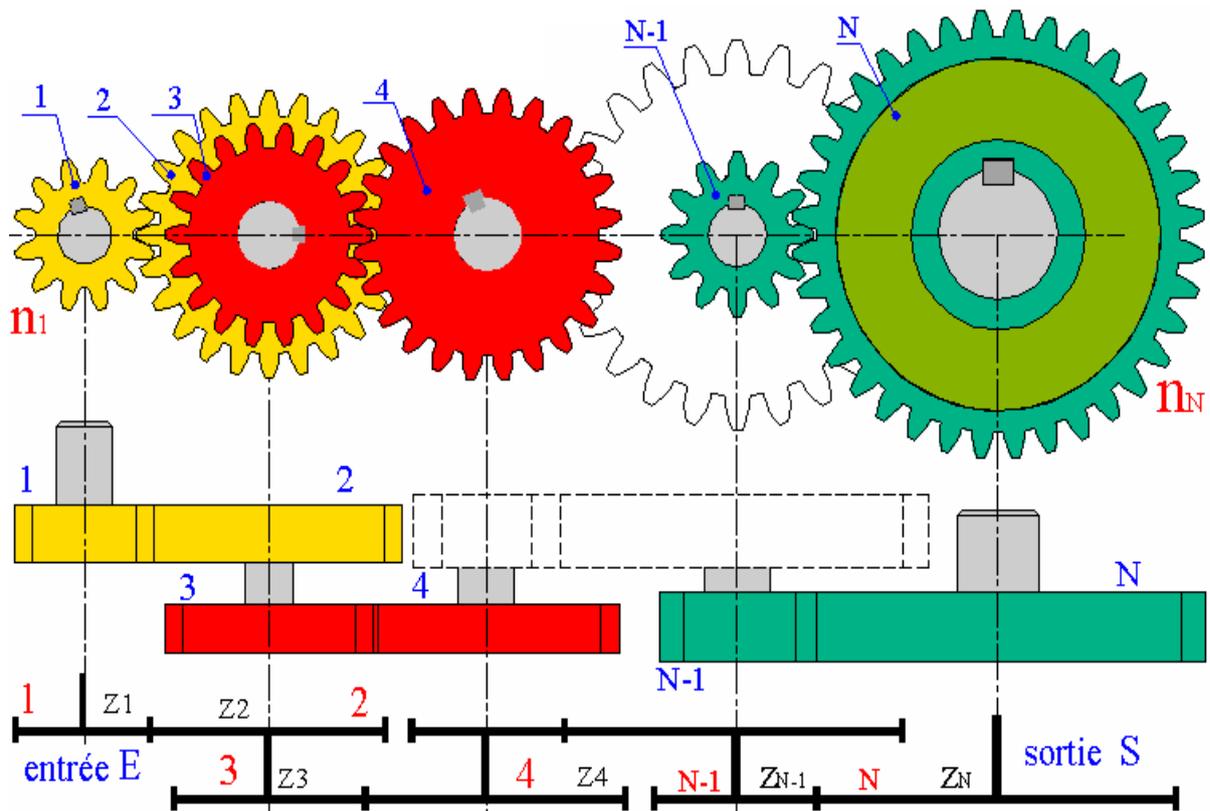


Figure 3.13: Trains à n engrenages

Le rapport des couples transmis est :

$$\eta \cdot \frac{C_1}{C_N} = r_{N/1} = \frac{n_N}{n_1} = \frac{\omega_N}{\omega_1}$$

3.5 Assemblage et mise en plan du produit

3.5.1 Application 1 : Palan électrique a chaîne

Le palan électrique a chaîne est composé de:

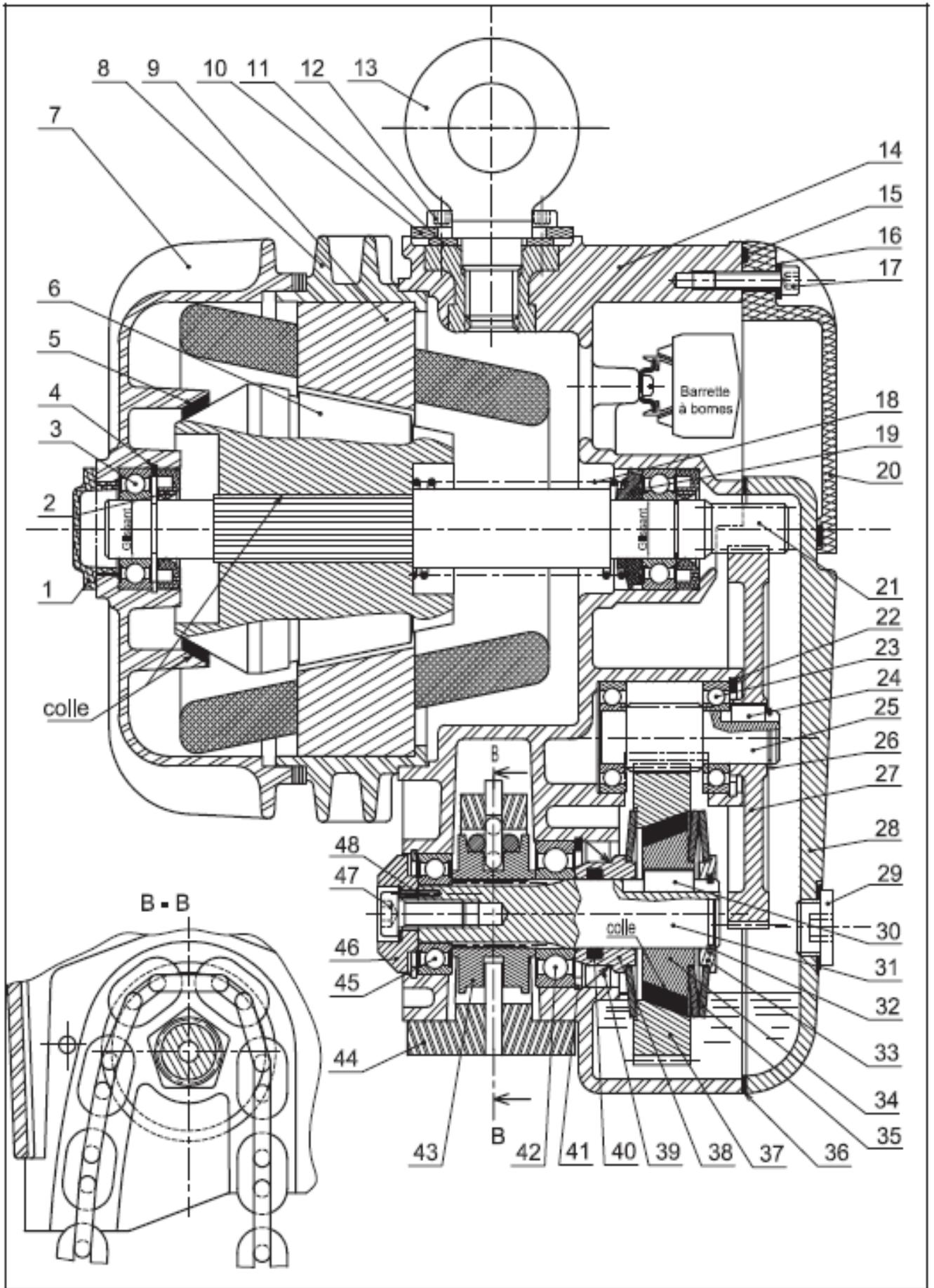
- un moteur frein (puissance: $P_m = 300 \text{ W}$ a 1775 trs/mn) a rotor coulissant et frein incorpore. Le frein, débraye par la mise sous tension du moteur à rotor conique, fonctionne à sec.
- un réducteur à engrenages compose de deux couples de roues cylindriques à denture droites (21, 27) et (25,37).
- un limiteur de couple à friction évite toute surcharge et remplace efficacement les interrupteurs de fin de course électriques pour les positions extrêmes du crochet.
- une chaîne calibrée à maillons d'acier à haute résistance.

a- Fonctionnement :

L'alimentation du moteur en courant électrique provoque la translation vers la droite du rotor coulissant (6) avec l'arbre moteur (21) (le rotor coulissant (6) est colle sur l'arbre moteur (21) et les bagues intérieures des roulements (3) sont glissantes). Ce déplacement permet à l'ensemble d'être en position de travail.

Les deux couples d'engrenages (21,27) et (25,37) assurent la transmission du mouvement de rotation de l'arbre moteur à la noix (43) qui entraine la chaîne a l'extrémité de laquelle est attachée la charge à soulever.

La coupure du courant électrique provoque l'arrêt et le freinage du moteur par déplacement du rotor coulissant (6) et l'arbre moteur (21) vers la gauche.



b- Etude cinématique

Puissance moteur est $P_m = 300W$

La vitesse de rotation de l'arbre moteur (21) est $N_{21} = 1775$ tr/min.

Le diamètre moyen d'enroulement de la chaîne sur la noix (43) est $d_{43} = 50mm$.

a- Compléter le tableau des caractéristiques des roues dentées du réducteur :

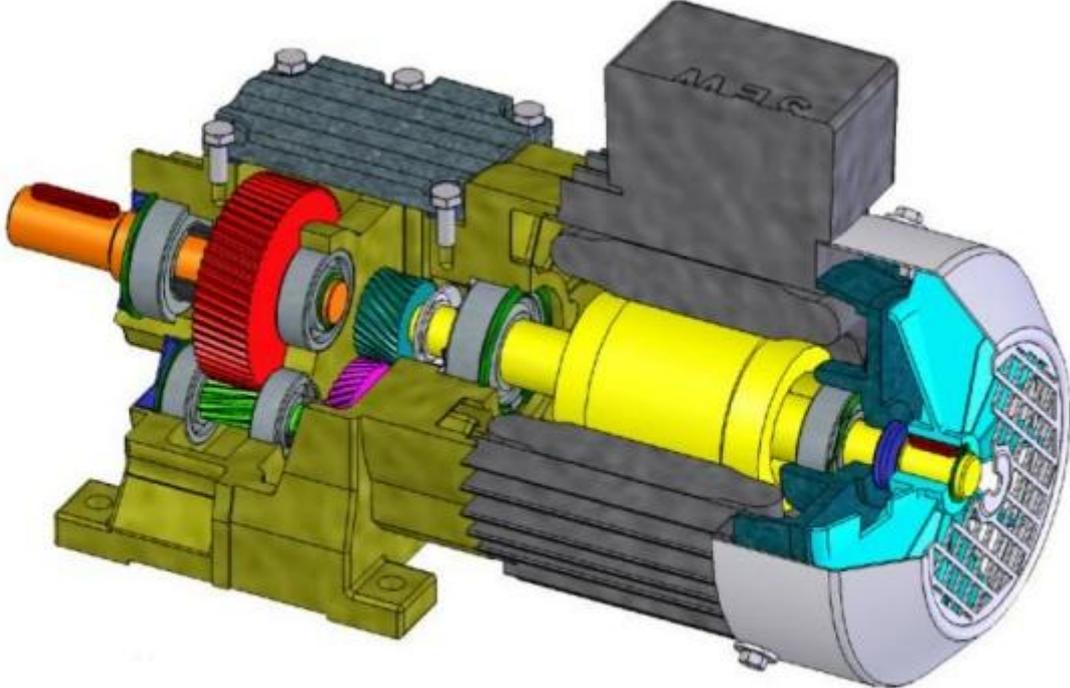
Pignon/Roue	Nombre de dents Z	Module m (mm)	Diamètre primitif (mm)	Entraxe (a) (mm)
Pignon arbré (21)	14			
Roue (27)		1	110	
Pignon arbré (25)		1.5		
Roue (37)	70			69

b- Calculer la vitesse de rotation de la noix (43) en tr/min

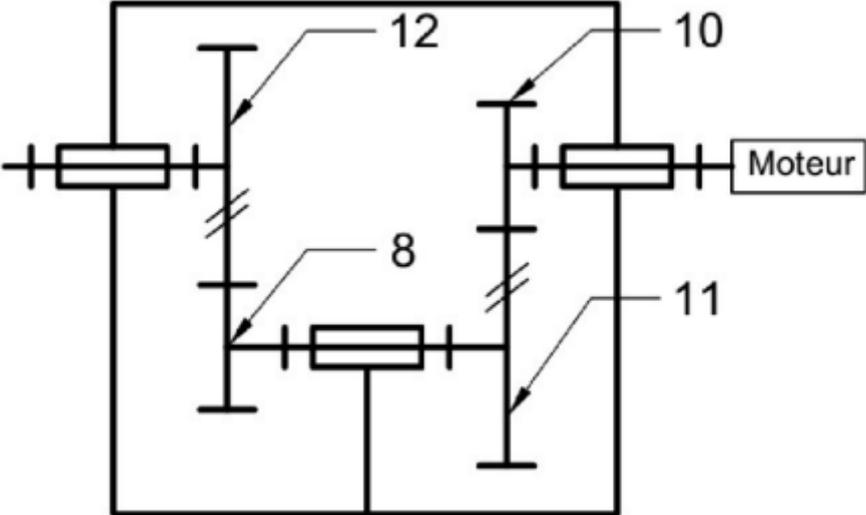
c- Calculer la vitesse de la montée de la charge en m/s

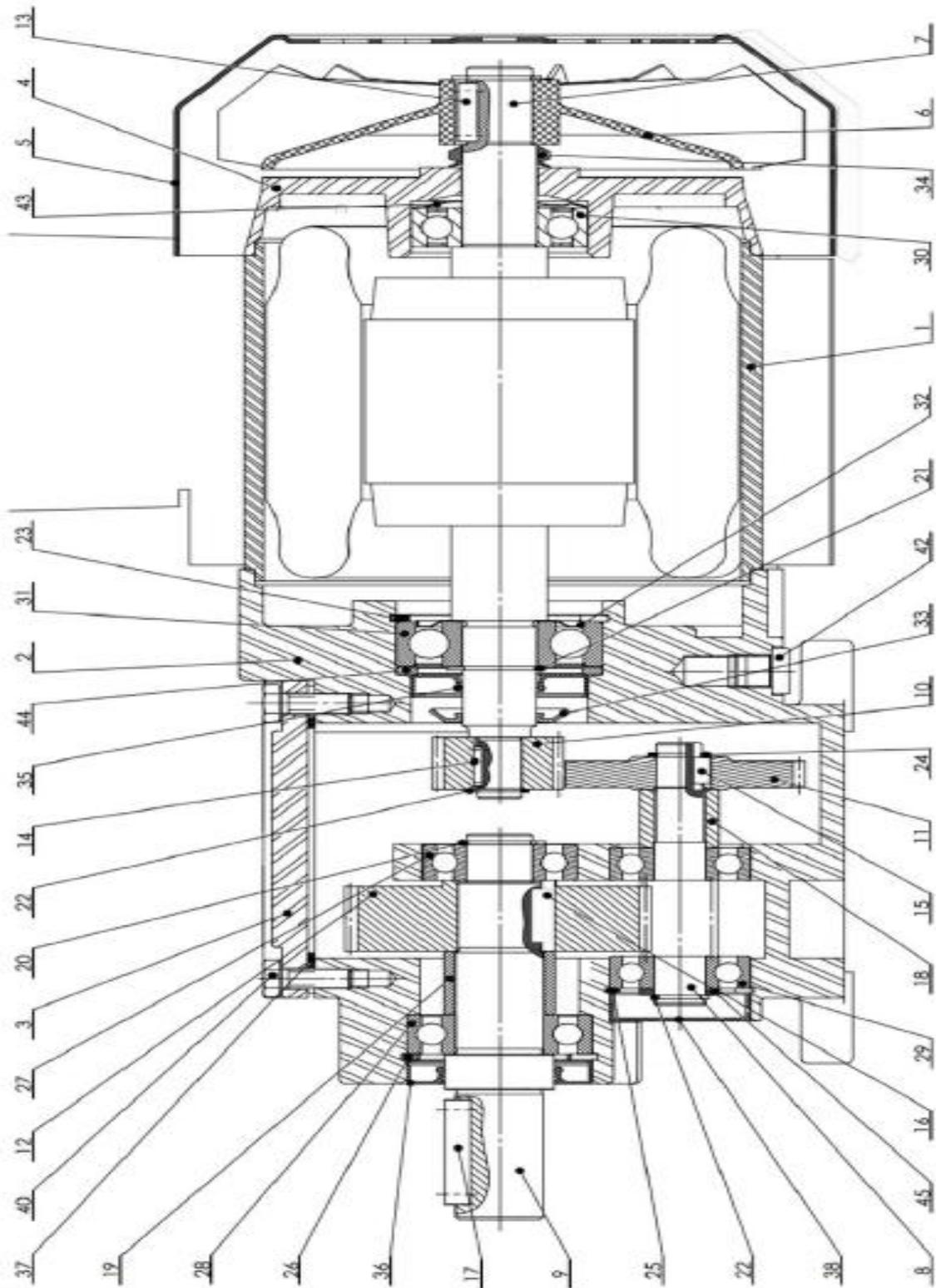
d- Calculer la valeur de la charge maximale soulevée en N sachant que le rendement du palan $\eta = 0,75$

3.5.2 Application 2 : Réducteur à trains d'engrenages



a- Schémas cinématique :



b- Dessin d'ensemble :

Le moteur électrique à une puissance KW et un rendement $\eta_m = 0.96$ et le réducteur à un rendement $\eta_r = 0.95$.

Sachant que :

$Z_{10} = 23$	$Z_{11} = 46$	$Z_8 = 17$	$Z_{12} = 85$	$\beta = 20$	$m = 2$
---------------	---------------	------------	---------------	--------------	---------

- 1- Calculer le couple disponible sur l'arbre moteur
- 2- Calculer le rapport de transmission
- 3- Calculer la puissance à la sortie du réducteur
- 4- Calculer les entraxes des engrenages
- 5- Compléter les caractéristiques de la roue 11

$d =$	$d_a =$	$d_f =$	$h_a =$	$h_f =$	$h =$
-------	---------	---------	---------	---------	-------

Chapitre 4 : Etudes et Gestion de Projets

4.1- Définition du projet

4.2 - Etude de l'environnement et rentabilité du projet

4.3 - Choix de l'implantation du projet

4.4 - Conception du projet

4.5 - Répartition des taches sur les services du Bureau d'études

4.6- Les principales activités, connaissances et compétences du chef de projet dans un BE.

Chapitre 4 : ETUDES ET GESTION DE PROJETS

4.1 Définition du projet

La norme NF EN ISO 9000 définit le projet comme suit :

« Processus unique, qui consiste en un ensemble d'activités coordonnées et maîtrisées comportant des dates de début et de fin, entrepris dans le but d'atteindre un objectif conforme à des exigences spécifiques, incluant des contraintes de délais, de coûts et de ressources ».

Un projet est un effort ponctuel et coordonné pour atteindre un objectif unique, incluant une dose d'incertitude quant à sa réalisation (petit Larousse). On appelle projet l'ensemble des actions à entreprendre afin de répondre à un besoin défini dans des délais fixés (un début et une fin). Le projet mobilise des ressources identifiées (humaines et matérielles) durant sa réalisation, celui-ci possède également un coût et fait donc l'objet d'une budgétisation de moyens.

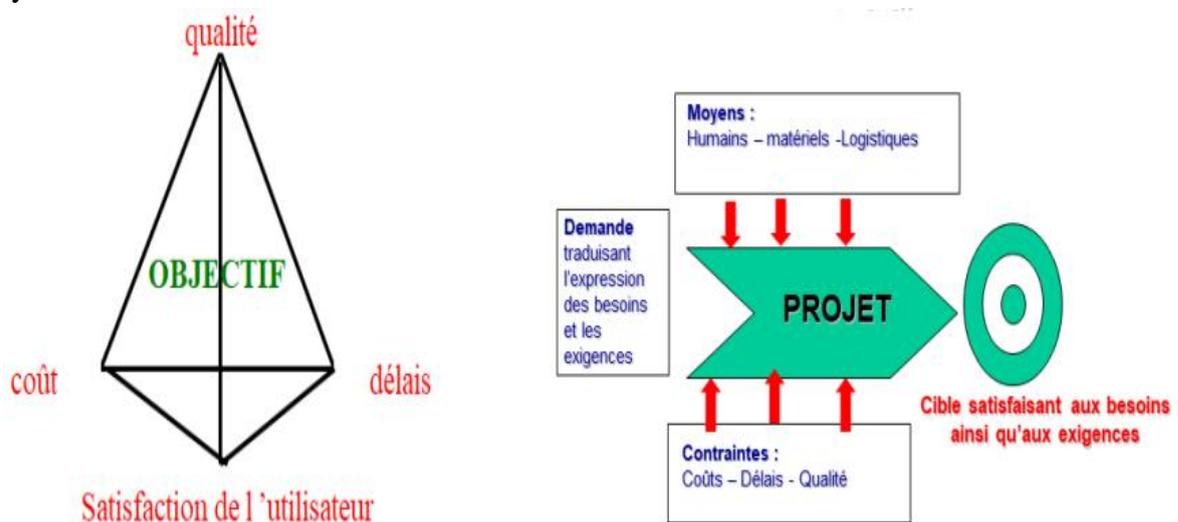


Figure 4.1 : Objectif d'un projet

On distingue souvent deux types : - le projet «ouvrage», dont la finalité est d'obtenir un résultat considéré pour lui-même (par exemple, ouvrage d'art, bâtiment, usine, navire,...) - le projet « produit », dont la finalité est la mise au point d'un produit, qui fera par la suite l'objet d'une production répétitive, destinées à un marché (par exemple, automobile, électroménager, produit chimique...), qu'est appelé « projet de développement » ou « projet marché ».

Cette définition pose de façon complète la problématique de la gestion de projet en citant les termes clés suivants :

Processus unique : la démarche de projet s'inscrit dans le champ de la création et de l'innovation. On différencie les activités « projet » non récurrentes des activités « opérations » récurrentes.

Ensemble d'activités coordonnées et maîtrisées : le projet est caractérisé par de nombreuses tâches, de natures différentes qui devront être maîtrisées sur toute sa durée (analyse de risques).

Dates de début et de fin : le projet s'inscrit dans une durée, il a un début et une fin.

Exigences spécifiques : le projet répond à un cahier des charges, une spécification de besoins.

Ressources : le projet mobilise des ressources humaines et matérielles

4.1.1 Les caractéristiques du projet

Contrairement aux activités industrielles classiques dont les processus et opérations sont :

Stabilisés ;

Ritualisés ;

Répétitifs ;

Réversibles ;

A faibles niveaux d'incertitudes.

L'activité « projet », elle, s'inscrit dans un modèle à fortes incertitudes où le produit développé est unique et nécessite des solutions novatrices non récurrentes.

On peut caractériser l'activité « projet » par :

- des activités non répétitives ;
- des décisions irréversibles ;
- des variables exogènes fortes (économiques, politiques, stratégiques...);
- des équipes mobilisées temporairement en « équipes projet » ;
- des objectifs qui peuvent évoluer en cours de développement ;
- une organisation matricielle (axe métier – axe projet) ;
- une double autorité (client – entreprise) ;
- une coordination complexe d'acteurs multiples.

4.1.2 Les aspects de projet

Le projet est un objectif extraordinaire qui combine cinq aspects :

- Fonctionnel : réponse à un besoin ;
- Technique : respect des spécifications et des contraintes de mise en œuvre ;
- Organisationnel : respect d'un mode de fonctionnement de la structure cible ;
- Délais : respect des échéances (planning) ;
- Coûts : respect du budget ;
- Contraintes :
 - Contraintes de délais: Fenêtre temporelle à l'intérieur de laquelle le projet doit être réalisé (contrainte externe absolue, fixe ou variable, contraintes dues aux clients...)
 - Contraintes de coûts : Budget pour réaliser le projet (contrainte de

rentabilité, contrainte pour l'équilibre financier de l'entreprise)

- Contraintes de qualité : contraintes fortes, des impératifs de nature commerciale

4.2 Etude de l'environnement et rentabilité du projet

La place du projet dans l'entreprise est variable. Examinons schématiquement des différentes situations.

Le projet représente l'enjeu essentiel de l'entreprise :

Dans ce premier cas, l'entreprise est engagée dans plusieurs grands projets (A ; B ; C). Exposée à une forte concurrence dans son marché, elle peut voir son avenir compromis par l'échec de l'un d'eux. La relation « projet-entreprise » est, dans ce cas, très forte.

Le projet fédère un ensemble d'entreprises :

On est dans le cas d'un grand projet de coopération internationale qui a sa structure juridique propre et qui fédère autour de lui de nombreuses entreprises ayant chacune une implication plus ou moins forte dans le projet.

Dans ce cas, l'image des entreprises qui participent au projet s'efface devant celle du projet qui est forte et reconnue.

L'entreprise réalise un nombre important de différents projets :

L'entreprise réalise de nombreux projets de tailles variables dans des secteurs d'activité différents. L'échec de l'un des projets ne met pas en péril l'entreprise. La relation « projet-entreprise » est, dans ce cas, faible.

Le groupe de projet

Conduire un projet, c'est conduire un groupe, ce qui nécessite de la part de celui qui en est chargé, le chef de projet, d'intégrer dans sa démarche les aspects psychologiques, affectifs et sociaux du groupe (dynamique des groupes).

Les phases d'évolution du groupe projet

Le modèle de Tuckman proposé en 1965 est un cycle qui décrit en cinq phases l'évolution d'un groupe. Ce modèle nous instruit sur l'évolution du groupe de projet.

- **la phase de forming**

Cette phase de « socialisation » correspond à la constitution du groupe projet. Les membres du groupe ne connaissent encore ni leur rôle ni leur mission. Cette phase préliminaire est une phase de découverte et d'incertitude.

- **la phase de storming**

Cette phase, dite « d'assaut », correspond à une phase de détermination des objectifs du

projet. C'est aussi une phase de conflits et de débats entre les membres du groupe qui recherchent un « statut » au sein du groupe, mais aussi son contrôle (leadership).

- **la phase de norming**

Le groupe étant formé, les rôles et les missions de chacun sont répartis pour réaliser le projet. Les membres appartiennent à un groupe qui a une cohésion et qui fonctionne suivant des normes et des règles explicites ou implicites.

- **La phase de performing**

Les tensions au sein du groupe n'existent plus. Le projet est en cours de développement et de réalisation. Le groupe devient opérationnel et peut se concentrer pour réaliser les objectifs attendus.

- **la phase d'adjourning**

Les tâches confiées sont réalisées. Le groupe projet peut se démanteler.

4.3 Choix de l'implantation du projet

Le projet est organisé en phases. À l'issue de chaque phase, une revue client autorise, ou pas, ou sous certaines conditions, le franchissement de la phase suivante. En segmentant le cycle de vie du projet, on segmente les risques. A chaque phase correspond :

- un objectif ;
- un contenu technique précis ;
- une documentation contractuelle ;
- des livrables ;
- une revue.

Phase 0	C'est une phase de cadrage organisationnel et d'analyse technique sommaire. Cette phase d'avant-projet a pour principal objectif de valider la viabilité du concept et de définir le contexte du projet.
Phase A phase de faisabilité	Au cours de cette phase, il faudra pour chaque solution : <ul style="list-style-type: none"> - évaluer les risques ; - identifier les éléments critiques ; - réaliser une description technique et fournir les dossiers justificatifs ; - évaluer les performances, les coûts et les délais ; - juger de la faisabilité.
Phase B phase projet	Au cours de cette phase, il faudra : <ul style="list-style-type: none"> - établir le dossier de définition préliminaire ; - réaliser le cahier des charges fonctionnelles (CdCf) ;

	<ul style="list-style-type: none"> - réaliser l'organigramme technique (WBS) ; - réaliser le planning détaillé des tâches (PERT) ; - réaliser le plan de développement détaillé ; - rédiger le plan qualité système ; - consulter les fournisseurs ; - préparer la phase de réalisation (moyens).
Phase C phase développement	<p>Au cours de cette phase, il faudra :</p> <ul style="list-style-type: none"> - réaliser le dossier de définition détaillée ; - réaliser les prototypes ; - réaliser des essais élémentaires ; - finaliser la spécification technique de besoin ; - finaliser les clauses techniques et les clauses qualité ; - finaliser le dossier de fabrication et de contrôle qui débloquera les réalisations ; - mettre en place les systèmes de gestion des évolutions techniques et de configuration ; - choisir les fournisseurs
Phase D phase série	<p>Au cours de cette phase, on mettra en place :</p> <ul style="list-style-type: none"> - les moyens de gestion des évolutions techniques et des dérogations ; - le traitement des anomalies et des non-conformités ; - la formation des utilisateurs.
Phase E phase d'exploitation	<p>Les produits sont en phase opérationnelle. L'industriel doit répondre à toute panne éventuelle. C'est la phase d'après-vente. La traçabilité des exemplaires livrés est organisée. Une structure industrielle est mise en place pour appliquer d'éventuelles modifications et pour les répercuter sur les exemplaires livrés ou en cours de réalisation. Toutes les pannes et anomalies, tous les faits techniques et incidents seront répertoriés, gérés, et devront systématiquement donner lieu à des analyses qui pourront éventuellement engendrer des améliorations de la conception du projet. C'est le retour d'expérience.</p>
Phase F	<p>Dans certains cas, on doit retirer un projet du service. On établit alors le plan de retrait de service ou de démantèlement qui prévoit les récupérations et la destruction des produits</p>

4.4 Conception du projet

Le suivi de la réalisation d'un projet comprend plusieurs éléments (ordonnancement des phases, coordination des actions, affectation des moyens, calcul des coûts). Le contrôle de la réalisation et l'évaluation sont intéressants et utilisent plusieurs moyens et documents.

4.4.1 Fiche de projet

Une fiche de projet, également appelée plan de projet, est un document permettant de construire et présenter les bases d'un projet, avec une image claire des phases de production de ce dernier et de tout le travail à réaliser.

Exemple d'une fiche de projet pour l'extension à une autre production :

FICHE DE PROJET

Titre du Projet:	<i>Société</i> :	Code du Projet :.....	Année :.....	
Description du projet : Ce projet, dont la production a démarré en janvier, entre dans le cadre d'une extension. Actuellement cette entreprise fabrique des Machines-Outils mais son promoteur, doté de années d'expérience professionnelle dans le domaine de la fabrication mécanique, projette de se lancer dans la production de, mais il n'a pas les moyens financiers suffisant pour mettre en œuvre cette activité. A cet effet il souhaite créer un partenariat avec un promoteur qui l'assistera en termes de financement. Son unité est située sur m ² réservé aux ateliers et m ² aux bureaux, ce qui ne lui permet pas de réaliser ses prévisions de produire par an et pour ce il projette de s'installer au sein d'une ZONE industrielle.				
Produits à fabriquer:	Capacité nominale de production T/an	Ventes annuelles (DA)	% locales	% à l'exportation
1.				
2.				
Total:				
Lieu/Endroit:	Siège Social :			
Estimation du montant de l'investissement				
Classification du Projet:	Nouveau projet	Extension X	Réhabilitation	
Contribution locale:	- Participation en Capital (Joint-venture)		- Expertise Technique - Autres :	
	- Accès au marché			

Contribution étrangère souhaitée:	- Participation en Capital (Joint-venture) - Financement (emprunts à long et à moyen terme)
Etudes à disposition:	Etude de faisabilité Description du projet Autres (spécifier):

I. INFORMATIONS SUR L'INVESTISSEUR / ENTREPRISE EXISTANTE

1. Nom de l'entreprise/ Nom du promoteur :		
2. Nationalité : Algérienne		
3. Adresse :		
4. Tel :	5. Fax :	6. E-mail:@.....
7. Personne à contacter :		8. Fonction :
9. Activité courante: FABRICATION MECANIQUE.		
10. Année de création :.....		11. Nombre d'employés :
12. Total des ventes annuelles :.....		13. Exportation :.....%
14. Répartition du capital social: Local Privé: % Local Publique : % Etranger : %		
15. Banques:		

16. Résumé des précédentes expériences professionnelles de l'Investisseur:

Documentation Complémentaire:

II. DESCRIPTION DU PROJET

1. DESCRIPTION DES PRODUITS

(Fournir une liste des produits et expliquer brièvement)

Fabrication de

2. DESCRIPTION ET ETUDE DE PRE-FAISABILITE DU PROJET

(Quels sont les objectifs du projet et les raisons de son succès?)

Exemple : c'est un projet de fabrication de, situé sur une superficie de m² en location, dontm² pour les ateliers et m² pour les bureaux. le promoteur projette de fabriquer C'est un projet non polluant mais qui nécessite des moyens financiers importants et un agrément du Ce projet répond à la forte demande du marché national et toute la matière première sera acquise localement.

3. ACCES AUX MARCHES

(Existait-il un marché déjà établi ? Quelle part du marché local le projet envisage-t-il d'acquérir ? Quels sont les marchés cibles à l'exportation ? Existe-il des études de marché ?)

En premier lieu, le promoteur vise le marché régional et national

4. DISPONIBILITE DE MATIERES PREMIERES

(Est-ce que le volume de matières premières sur le marché local suffit? Est-ce que sa qualité et son prix sont indiqués pour la production des produits finaux ? Existe-il des nécessités d'importation? Si oui, quels produits ? D'où ? Est-ce que la devise étrangère est aisément accessible ? Etc.)

Tout le matériel sera acquis sur le marché national

5. **DISPONIBILITE DE TECHNOLOGIE ET D'EXPERTISE TECHNIQUE**

(Décrire les cycles du procès de production proposé. Existe-t-il une étude technique ? Est-ce que l'expertise technique est déjà existante ? Quelle est la durée prévue pour la formation du personnel?)

Disponible

6. **PRESENCE DE SERVICES D'INFRASTRUCTURE LOCAUX**

(Est-ce que les voies routières et maritimes sont appropriées aux besoins ? Est-ce que la distribution d'énergie, d'eau et les voies de télécommunications sont suffisantes aux nécessités du projet?).

7. **DISPONIBILITE DE MAIN-D'OEUVRE LOCALE**

(Existe-il un personnel qualifié ou en formation pour les fonctions de gestion et de production?)

Disponible

8. **RESSOURCES LOCALES POUR L'INVESTISSEMENT**

(Types d'apport de l'investisseur national en capital (fonds de roulement, terrains, équipement, autres...) Quelles sont les sources de financement locales et étrangères disponibles ou potentiellement disponibles?)

Manque de financement

9. **AIDES FINANCIERES ET FISCALES**

(Le projet est-il bénéficiaire d'accords commerciaux ou est-il éligible à des aides financières ou des facilitations?)

Projet éligible aux avantages de

Suivi du projet

- Suivi interne: des réunions régulières de l'équipe sont organisées entre le chef de projet et les membres de l'équipe.
- un journal de bord, est tenu à jour et permet de garder une trace des informations communiquées, des problèmes rencontrés, des décisions prises, des responsables désignés pour mener à bien les actions

L'ordre du jour de la réunion est le suivant :

- passage en revue des points non encore clos du journal de bord ;
- informations diverses du chef de projet ;
- présentation de l'avancement des activités de l'équipe ;
- examen des différents problèmes et reports dans le journal de bord.

4.5 Répartition des tâches sur les services du Bureau d'Etudes

On compare souvent le chef de projet à un chef d'orchestre. En effet, si le chef d'orchestre est au centre d'un triptyque : Œuvre – Public - Orchestre, le chef de projet est au centre du triptyque : Projet – Client – Équipe projet.

Désigné par le maître d'œuvre le chef de projet est en charge de :

- conduire le projet sous les aspects suivants : performance, coûts, délais ;
- faire respecter les engagements contractuels ;
- assurer une relation commerciale avec le client ;
- assurer le suivi technique et contractuel des sous-traitants ;
- organiser les revues d'avancement contractuelles.

Il devra réaliser un reporting périodique du projet (Tableau de bord) au profit de la direction générale permettant de :

- procéder à l'état d'avancement « à date » du projet ;
- attirer l'attention sur les risques à venir : techniques, calendaires et de coûts ;
- prendre des mesures préventives et/ou correctives ;
- prendre des décisions stratégiques pour l'entreprise ;
- capitaliser les expériences acquises pour procéder aux retours d'expérience nécessaires vis-à-vis des futurs projets.

Pour mener à bien sa mission, il sera assisté d'un juriste, d'un responsable commercial, d'un responsable qualité, d'une secrétaire, et aura directement sous sa responsabilité :

- un responsable technique chargé d'animer le pôle technique du projet (études, réalisation, essais) ;
- un contrôleur de projet chargé d'animer le pôle gestion du projet (planning coûts, suivi de modifications, documentation).

Les intervenants dans un projet, il existe autour et au cœur des projets un nombre important d'acteurs. Tous les acteurs clés de projet sont concernés et ont un rôle à jouer.

- Chef de projet (négociateur, diplomate, communicateur ...) ;
- Ingénieur d'affaire (établit les devis, les délais, budgets ...) ;
- Responsable de planification (ordonne les tâches ...) ;
- Chef de département (fournit les compétences nécessaires) ;
- Directeur qualité (documenter le projet ...) ;
- Contrôleur de gestion (gestion des coûts réels, prévus ...) ;

- Directeur général (clarifier, organiser le rôle de chacun ...) ;
- Associés au projet (Programmeurs, analystes, testeurs, clients,...).

On peut ajouter ainsi : le commanditaire, le client, l'équipe projet, les experts, le planificateur, l'organisateur, le contrôleur, l'innovateur, l'investigateur, les utilisateurs....

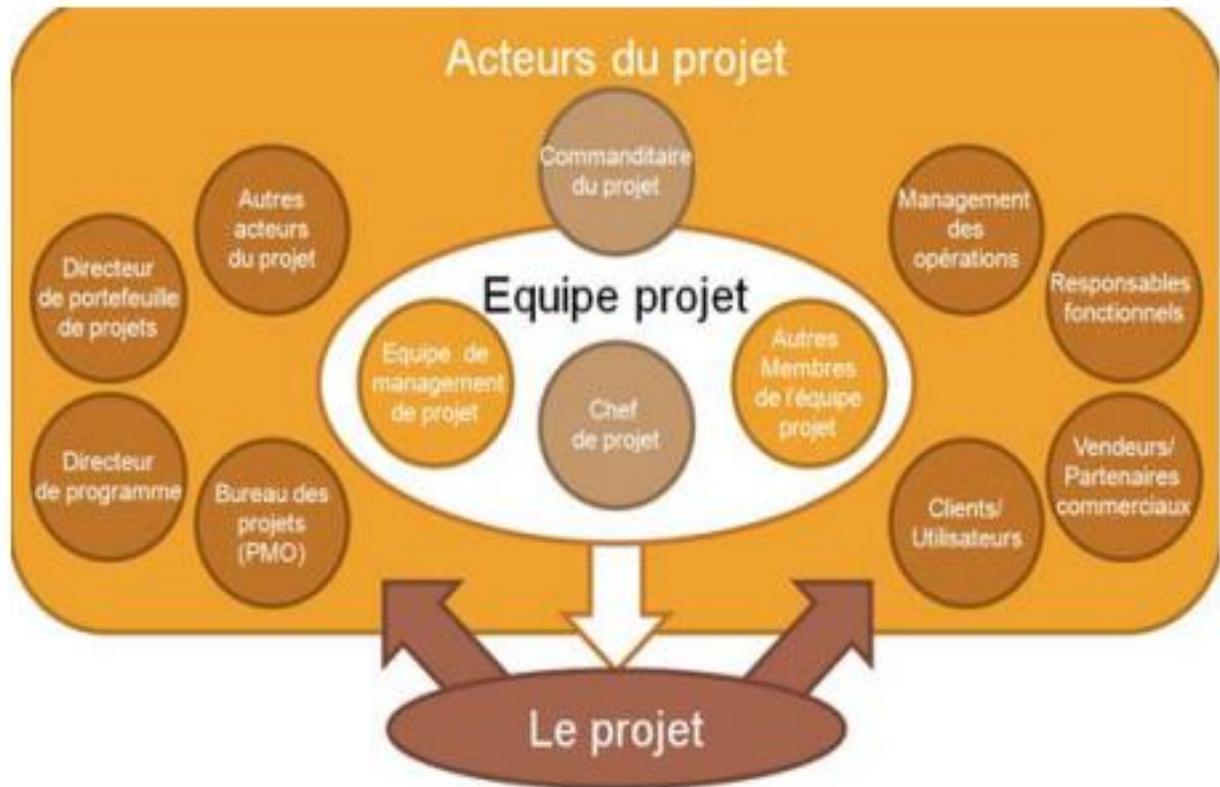


Figure 4.2 : Les acteurs d'un projet

4.6 Les principales activités, connaissances et compétences du chef de projet dans un BE.

Le chef de projet en conception mécanique est responsable du management et/ou de l'activité et de l'organisation des travaux de conception mécanique.

➤ **Activités principales**

- Manager les ressources humaines d'un service d'études en conception mécanique et organiser les moyens de conception et modélisation ;
- Gérer les ressources financières d'un service ;
- Piloter, coordonner et suivre la conception d'ensembles mécaniques complexes ;
- Établir avec les demandeurs la définition et la faisabilité des projets ou des instruments, finaliser sous forme d'un cahier des charges fonctionnelles ;

- Traduire les cahiers des charges en spécifications techniques ;
- Réaliser la conception des appareillages en intégrant les techniques de simulations ;
- Rédiger et/ou contrôler les dossiers de calculs de structures (mécaniques, thermiques...);
- Intégrer dans la conception, les spécialités connexes à la mécanique (vide, thermique, optique, génie civil...);
- Assurer et maîtriser la gestion de la documentation produite ;
- Collaborer à la mise en place et appliquer les processus qualité ;
- Négocier et rédiger la partie technique des marchés d'études ou de travaux ;
- Présenter et rendre compte de l'activité de son service ;
- Apporter son expertise en interne et/ou assurer des missions auprès des tutelles ou partenaires ;
- Réaliser une veille technologique sur les matériaux et les méthodes de conception ;
- Choisir et évaluer les entreprises pour les travaux externalisés ;
- Valoriser les compétences et les technologies du service ;
- Rédiger, appliquer et faire appliquer le règlement interne au service ;
- Participer à un réseau professionnel.

➤ **Connaissances**

- Connaissance approfondie des principes et méthodes de la conception mécanique ;
- Connaissance approfondie des lois et techniques de calcul de structure (mécaniques, structure, RDM , thermiques...);
- Connaissance approfondie des règles, normes et techniques du dessin industriel ;
- Connaissance approfondie des règles de l'assurance produit ;
- Connaissance générale de la méthode aux éléments finis et les principales méthodes de calcul numérique ;
- Connaissance générale des différents procédés de fabrication, des matériaux utilisés dans la construction mécanique et de leurs conditions de mise en œuvre ;
- Connaissance générale des domaines scientifiques ;
- Connaissance générale des règles de base de la gestion financière et comptable, et la réglementation des marchés publics ;
- Connaissance des règles d'hygiène et de sécurité ;

- Connaissance approfondie de l'organisation et du fonctionnement de l'établissement afin d'y contribuer.

➤ **Compétences opérationnelles**

- Appliquer les concepts de base des techniques connexes à la mécanique ;
- Maîtriser les règles et les normes du dessin industriel ;
- Utiliser un logiciel de CAO ;
- Utiliser un ou des logiciels de modélisation numérique du domaine (calcul de structure...);
- Utiliser un langage de programmation et des logiciels de calcul mathématique ou numérique (Matlab, Maple, Mathematica, MatCad, Excel, C++, etc...);
- Maîtriser les outils de gestion, de planification (GPAO,...);
- Maîtriser les techniques de management d'équipe, de communication, d'animation de réunion et de conduite de négociation ;
- Maîtriser les techniques de management de projet ;
- Evaluer les coûts réels de conception et les optimiser ;
- Transmettre son savoir et ses savoir-faire dans le cadre de, tutorats, formations initiales ou continues ;
- Appliquer et faire appliquer un plan d'assurance qualité & d'assurance produit ;
- Anglais : compréhension orale et écrite niveau II ; expression orale et écrite niveau II.

➤ **Tendances d'évolution**

- Utilisation de nouveaux logiciels (modélisation, simulation, ingénierie collaborative) ;
- Recours aux techniques d'allègement des structures et de stabilité dimensionnelle et structurelle.

Exercices

Exercice 1 : La pompe à pied

La pompe à pied figure ci-dessous permet d'emmagasiner dans une enceinte fermée un fluide (air) sous une pression maximale de 6 bars, comme chambre à air, bateau pneumatique, etc.



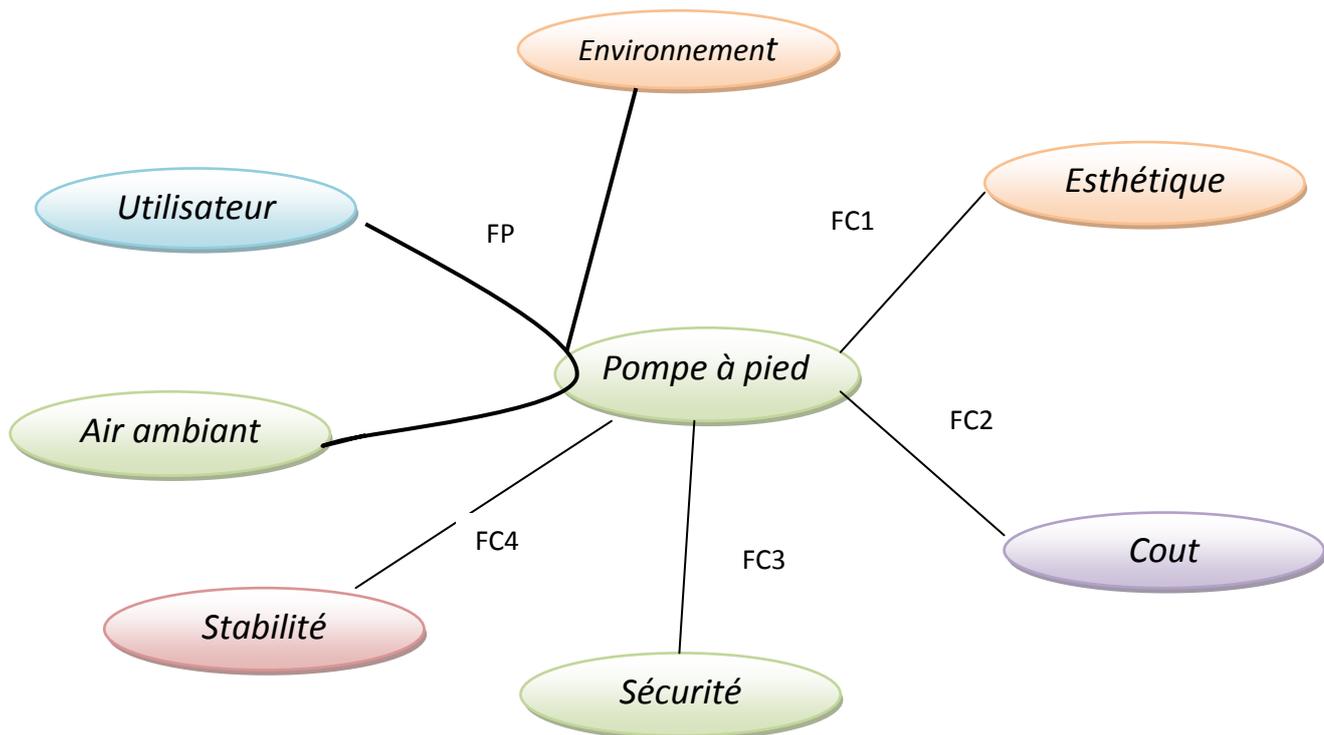
POMPE A PIED

Le diagramme pieuvre (ou graphe des interactions)

Ce diagramme est constitué du produit, au centre, et, autour, des éléments de son environnement (milieu extérieur). Il sert à l'expression de fonctions, et donc permet la représentation graphique d'une partie du Cahier des Charges. Il permet également de bien identifier l'environnement d'évolution du système, de déterminer avec précision et concision les relations entre ce système et les éléments du milieu environnant et les relations entre couples d'éléments extérieurs.

Le diagramme pieuvre ne remplace pas un cahier des charges, il permet uniquement d'en représenter certains points avec une grande rapidité de compréhension.

On fait apparaître les relations (fonctions) entre le produit et le milieu extérieur. Ces relations correspondent au service rendu par le produit et permettent d'élaborer un cahier des charges.

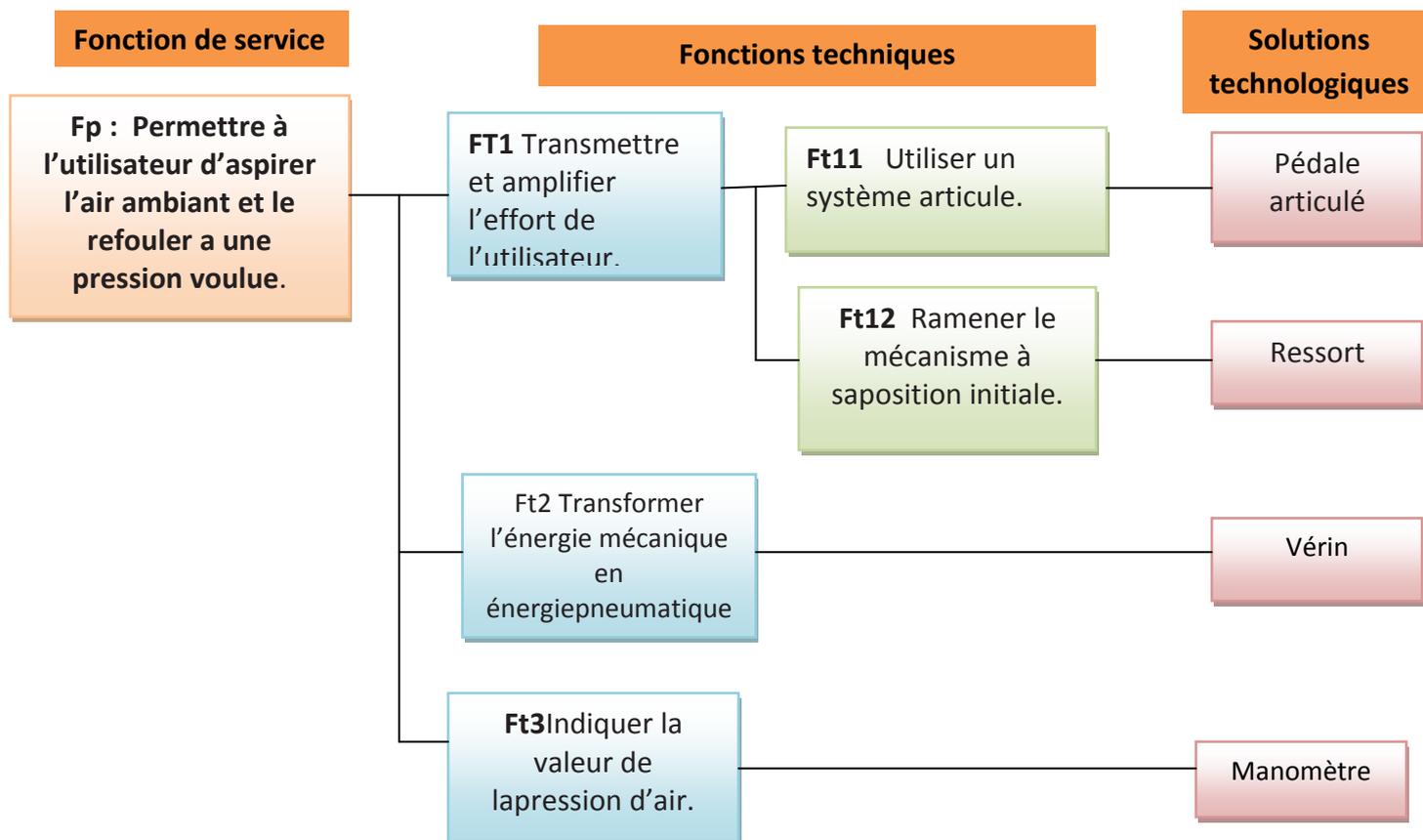


Deux types de fonctions sont en jeu :

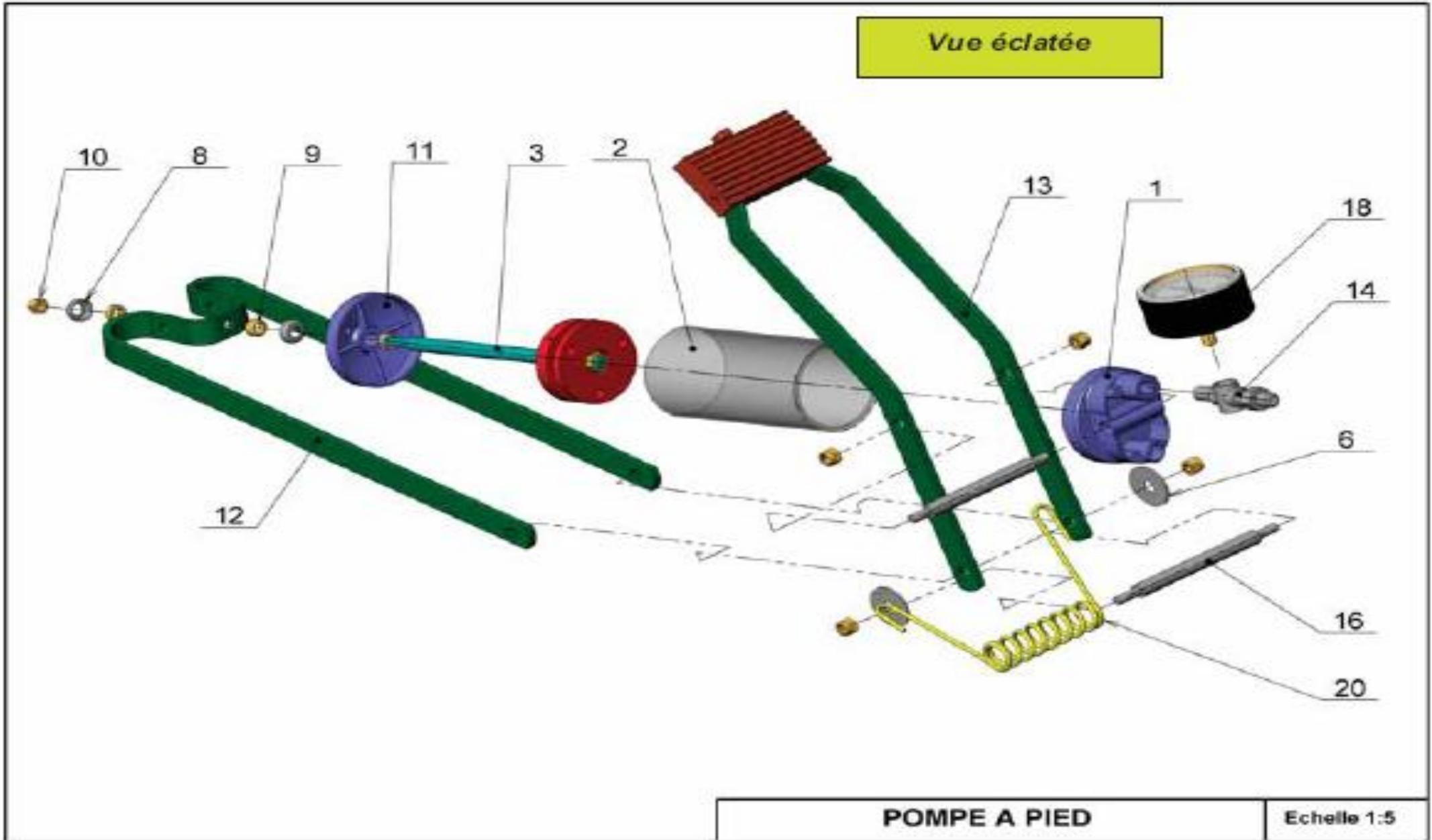
- **les fonctions principales (FP)** : ce sont les fonctions pour lesquelles le produit est élaboré, donc en fait celles qui pourraient répondre aux exigences de l'utilisateur. On les dessine par des liens entre deux éléments de l'environnement, liens passant par le système ;
- **les fonctions contraintes (FC)** : elles sont un lien entre le produit et un élément de l'environnement. Elles naissent d'une contrainte imposée par un élément extérieur, de l'existence d'un produit déjà existant ou encore d'une exigence particulière de l'utilisateur voire de la présence de normes et de législations.

Extrait du Cahier des Charges :

FS	Expressions	Critères	Niveaux-Flexibilité
FP	Permettre à l'utilisateur d'aspirer l'air ambiant et le refouler à une pression voulue dans une enceinte	- L'effort de l'utilisateur - Pression d'air - Durée de vie	- Effort mini - ≤ 6 bars - ≥ 10 ans ± 5 ans
FC1	Etre stable	- Centre de gravité - Surface d'appui	- Le plus bas possible - 3 points mini
FC2	Ne pas présenter de danger pour l'utilisateur	- Sécurité	Respect des normes de sécurité
FC3	Coût minimal	- Prix abordable	≤ 300 DA
FC4	Plaire à l'œil.	- Couleur - Forme	Choix en fonction de la sensibilité de l'utilisateur

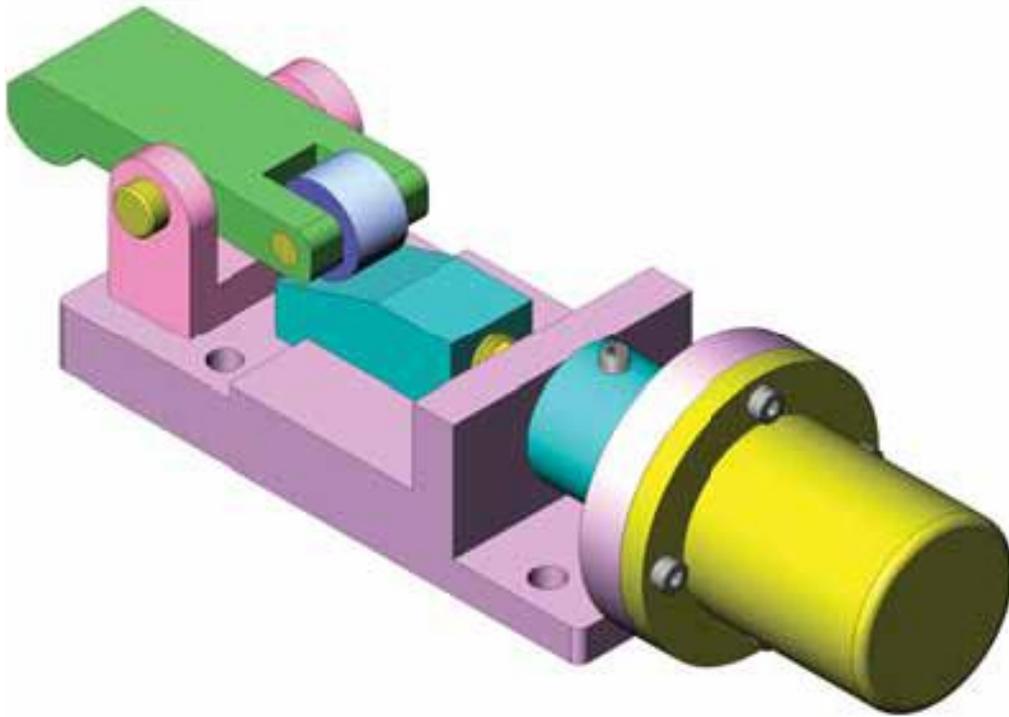
**Travail demandé :**

- Proposer d'autres solutions techniques (technologiques) avec schémas et justification
- Etablir la chaîne cinématique du système

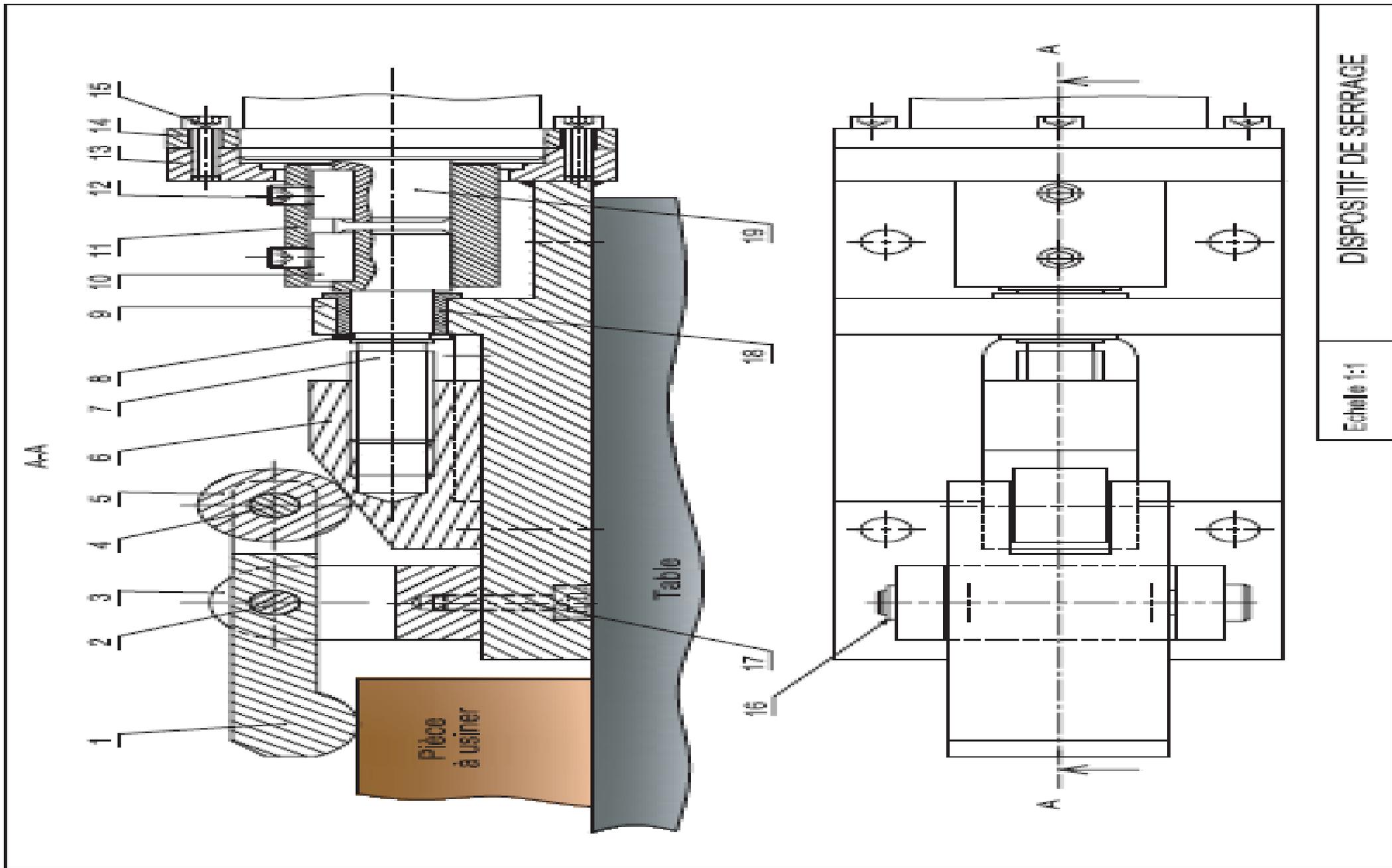


Exercice 2 : Dispositif de serrage

Le dispositif de serrage est utilisé dans un poste automatique de fraisage en vue de fixer une pièce à usiner. Le dispositif est fixé sur la table de la fraiseuse par quatre vis non représentées. Le serrage et le desserrage de la pièce à usiner sont obtenus grâce à la rotation de la vis de manœuvre (7) (liée à l'arbre moteur (19)) qui provoque la translation de la cale (6) assurant le pivotement de la bride (1) autour de l'axe (2).



Dispositif de serrage en 3D



DISPOSITIF DE SERRAGE

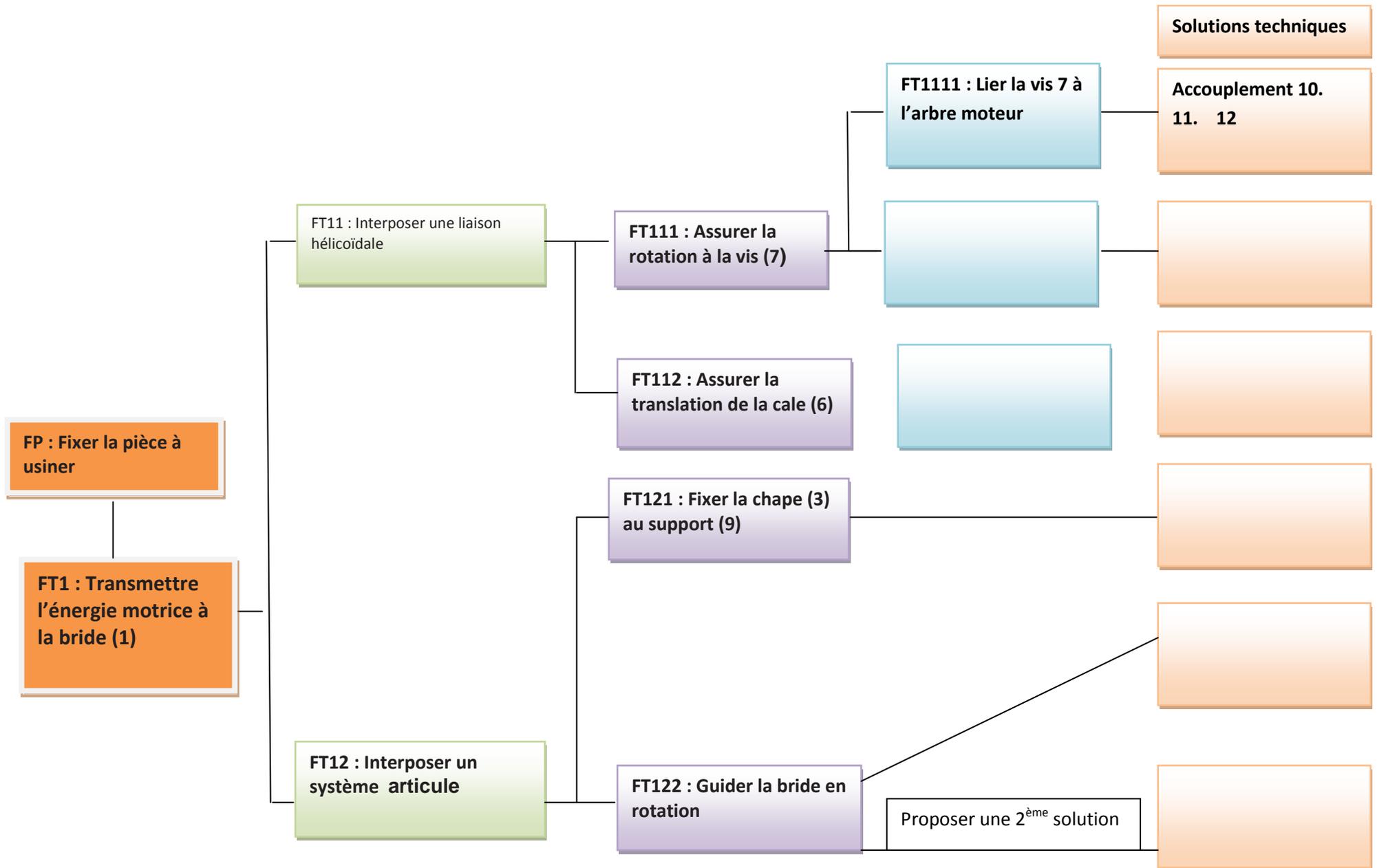
Echelle 1:1

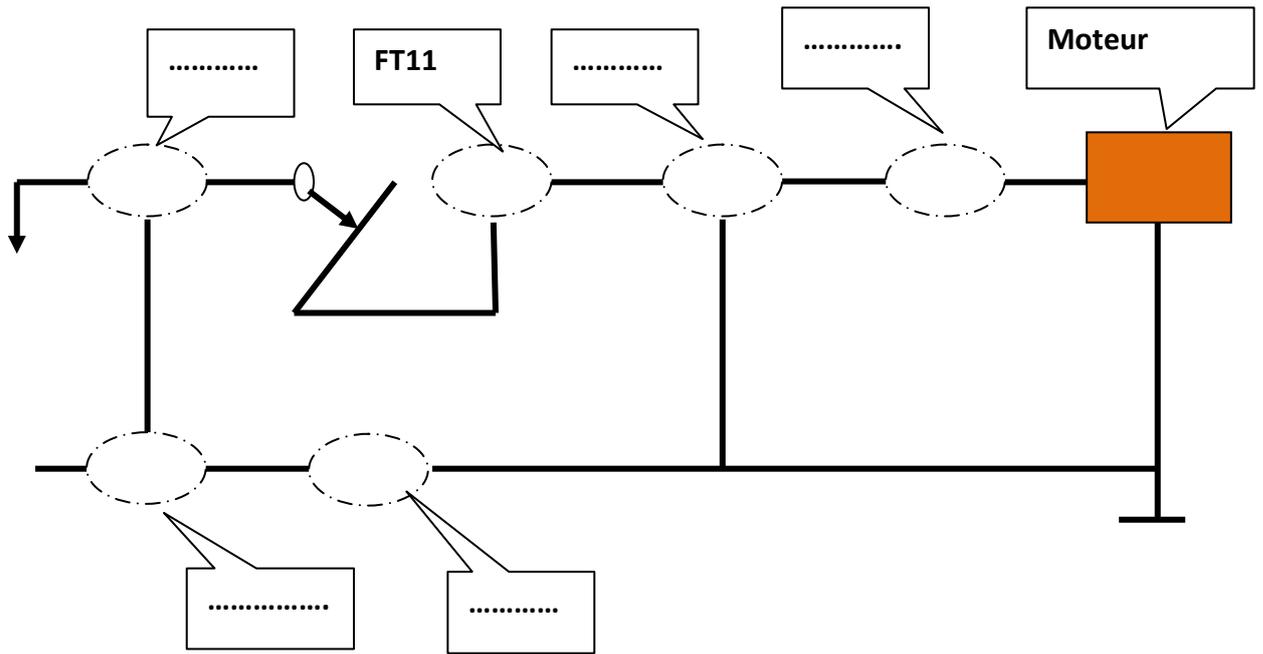
			19	1	Arbre moteur
9	1	Support	18	1	Coussinet
8	1	Anneau élastique pour arbre	17	2	Vis à tête cylindrique
7	1	Vis de manœuvre	16	1	Anneau élastique pour arbre
6	1	Cale oblique	15	4	Vis à tête cylindrique
5	1	Galet	14	1	Moteur
4	1	Axe	13	1	Boitier
3	1	Chape	12	2	Vis sans tête
2	1	Axe	11	1	Douille
1	1	Bride	10	2	Clavette parallèle
Rep	Nb		Rep	Nb	
DISPOSITIF DE SERRAGE					

Travail demandé

En se référant au dessin d'ensemble fourni du dispositif de serrage, on demande de :

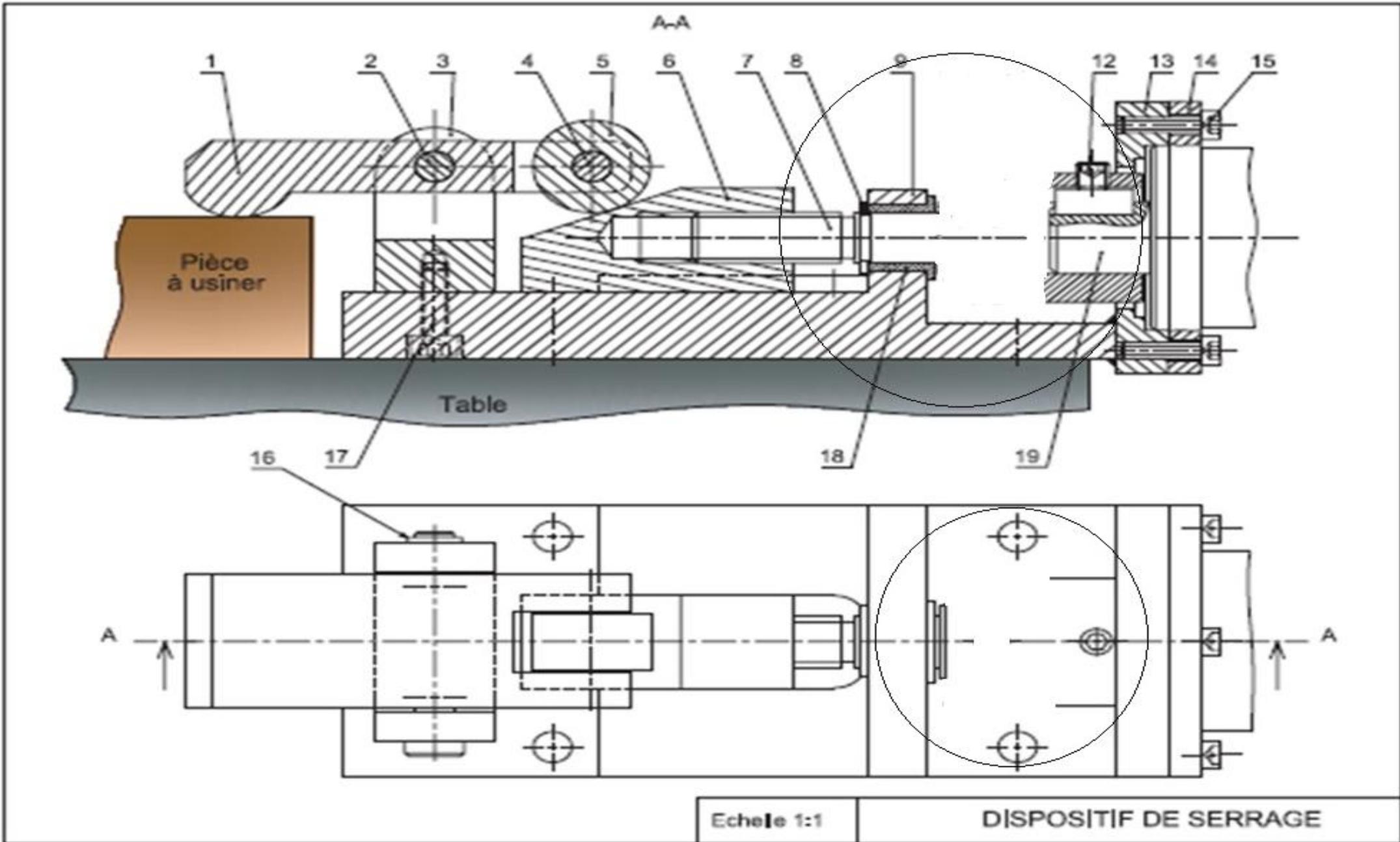
- Réaliser le diagramme d'interaction
- Compléter le diagramme des fonctions. relatif à la fonction principale : **FP** : *fixer la pièce à usiner*
- Compléter le schéma cinématique en précisant l'emplacement de chaque fonction technique figurant dans le F.A.S.T.
- Proposer d'autres solutions techniques (composants) pour la fonction manquante sur le dessin (à l'intérieur du cercle).





Les symboles des liaisons

Liaisons mécaniques NF EN ISO 3952-1 et NF E 04-015					
Liaison	schéma plan	schéma espace			
			Sphérique à doigt		
Encastrement			Sphérique ou rotule		
Pivot			Appui plan		
Glissière			Linéaire rectiligne		
Hélicoïdale			Sphère cylindre ou Linéaire annulaire		
Pivot glissant			Sphère plan ou ponctuelle		



Exercice 3: Tour semi automatique

1- Fonction

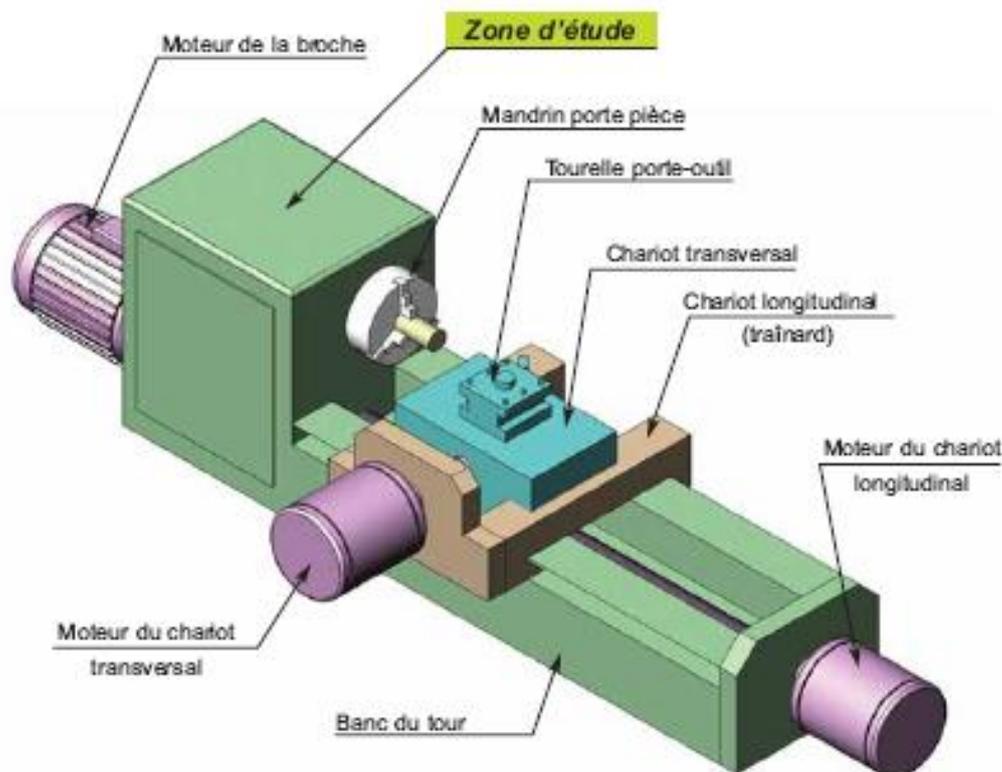
Produire des pièces de révolution par enlèvement de matière.

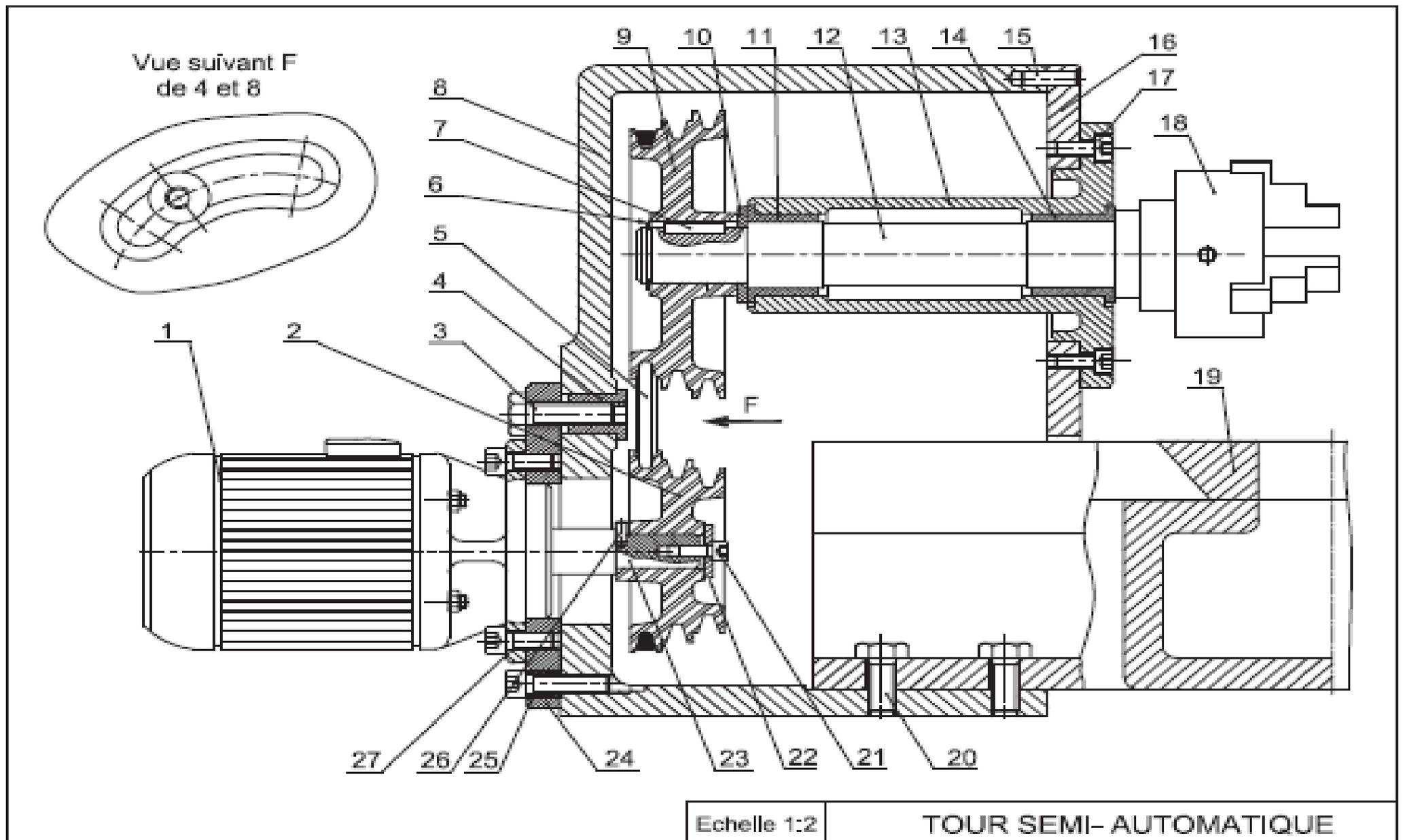
2- Description

Voir dessin d'ensemble page suivante.

La rotation du moteur de broche (1) est transmise au mandrin porte-pièce (18) par l'intermédiaire des deux poulies (9-2) et la courroie (5).

- La pièce, fixée dans le mandrin est entraînée en rotation par le moteur de broche.
- Deux chariots (un chariot longitudinal et un chariot transversal) guidés en translation par queue d'aronde permettent à l'outil de se déplacer dans deux directions perpendiculaires.
- Les deux chariots sont entraînés par des vis commandées par des moteurs pas à pas





14	1	Coussinet			
13	1	Boitier	27	4	Vis à tête cylindrique à six pans
12	1	Broche	26	1	Ergot
11	1	Coussinet	25	1	Bague de centrage
10	1	Rondelle	24	1	Support moteur
9	1	Poulie réceptrice	23	1	Arbre moteur
8	1	Carter	22	1	Rondelle plate
7	1	Clavette parallèle	21	1	Vis à tête cylindrique a six pans
6	1	Anneau élastique pour arbre	20	4	Vis à tête Hexagonale
5	1	Courroie trapézoïdale	19	1	Glissière
4	1	Ecrou	18	1	Mandrin
3	1	Vis à tête Hexagonale	17	4	Vis à tête cylindrique a six pans
2	1	Poulie motrice	16	1	Plaque
1	1	Moteur	15	2	Pied de centrage
Rep	Nb		Rep	Nb	
TOUR SEMI-AUTOMATIQUE					

Extrait du cahier des charges fonctionnel

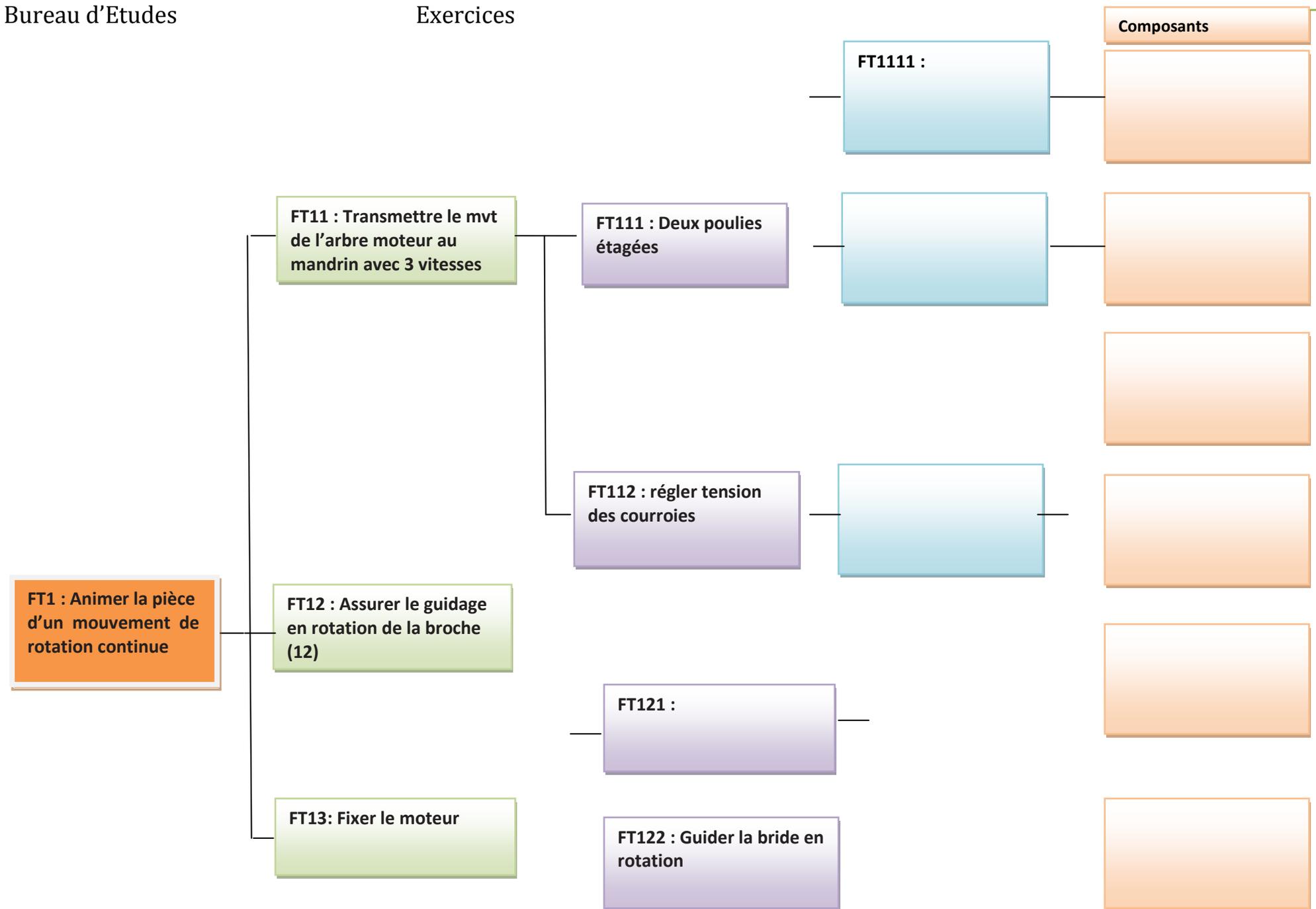
FS	Expressions	Critères
FP	Permettre à l'utilisateur d'usiner des pièces.	- Avoir 3 vitesses différentes de la broche - La puissance
FC1	Supporter les actions mécaniques développées pendant l'usinage.	- Rigidité - Stabilité
FC2	Respecter l'environnement.	- L'encombrement - L'étanchéité - Déchets
FC3	Plaire à l'œil.	- Couleur - Forme



3- Travail demandé

En se référant au dessin d'ensemble du tour semi-automatique (page 2), on demande de :

- Compléter le diagramme **des fonctions pour (FT1)** relatif à la fonction technique ;
- Etablir le schéma cinématique ;
- Proposer d'autres composants ;
- Proposer un diagramme des fonctions pour **FT2**.



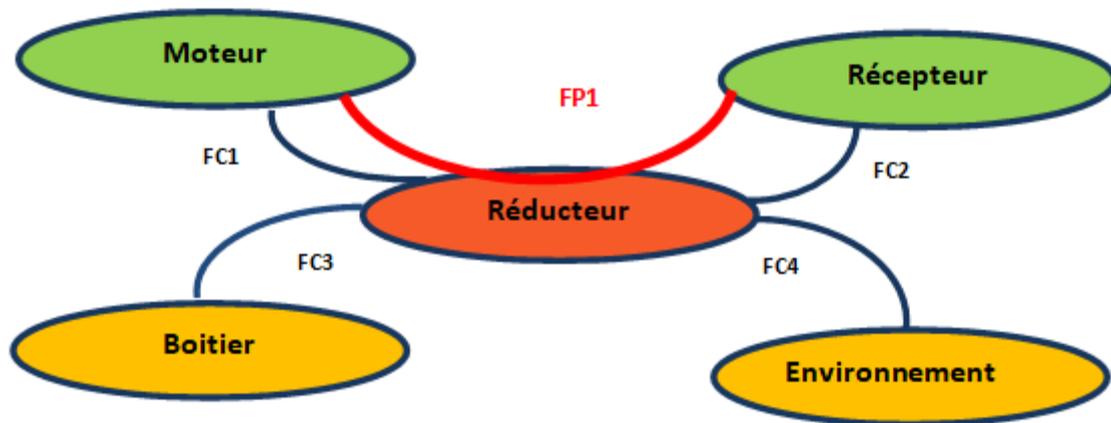
Exercice 4: Conception d'un réducteur

Objectif :

- Concevoir un mécanisme à partir d'un cahier des charges
- Objectif technique : Concevoir un réducteur

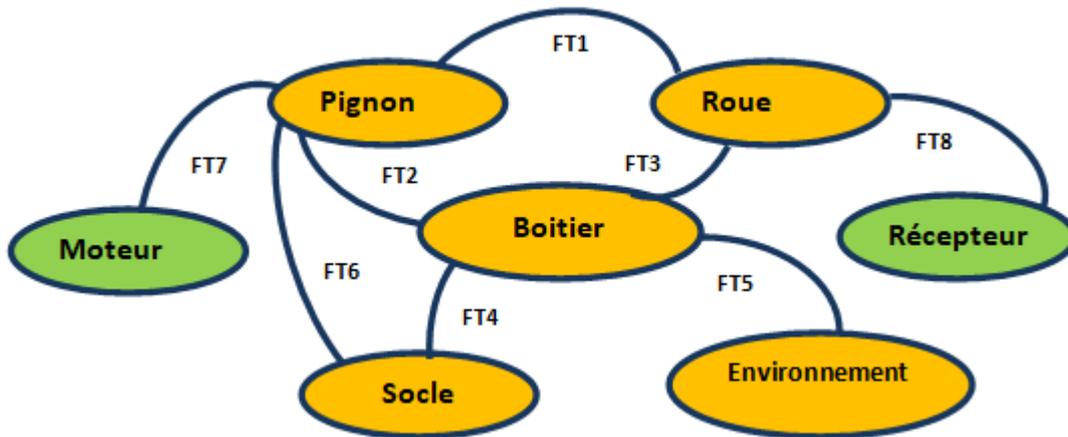
Présentation :

Afin de réduire la vitesse de sortie d'un moteur électrique, on désire concevoir un réducteur à engrenage. L'entreprise prévoit de vendre un volume de 10 réducteurs / an.



Extrait du Cahier Des Charges :

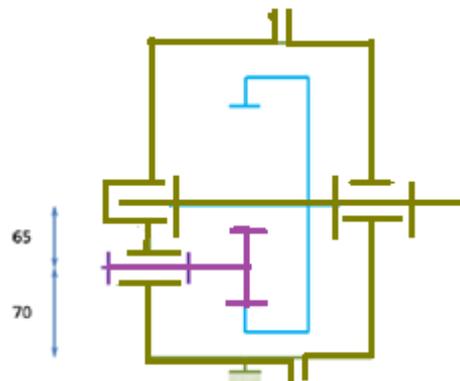
Fonction	Intitulé	Critères	Niveaux
FP1	Réduire la vitesse de rotation de l'arbre moteur	Rapport de réduction	0.3
FC1	S'assembler avec l'arbre moteur		
FC2	S'assembler avec l'arbre récepteur		
FC3	Réaliser une liaison encastrement démontable		
FC4	Etanchéité totale		



Fonction	intitulé	observation
FT1	Réduire la vitesse de rotation de l'arbre moteur	Rapport de réduction 3/10 Pignon et roue à denture intérieure
FT2	Assurer une liaison pivot avec le boitier	
FT3	Assurer une liaison pivot avec le boitier	
FT4	Garantir une distance entre l'arbre d'entrée et le socle	
FT5	Garantir l'étanchéité statique et dynamique	Lubrification à l'huile
FT6	Dispositif de fixation sur le socle	
FT7	Montage avec l'arbre du moteur	Vitesse 1500 tr/min Puissance 5 KW
FT8	Montage avec l'arbre du récepteur	Vitesse 450 tr/min

FT11	Assurer l'entraxe	Entraxe 70 mm
FT12	Assurer la transmission du couple	Puissance 5 KW

Une étude préliminaire a conduit à se tourner vers l'architecture suivante.



Travail demandé :**Conception du réducteur avec l'outil Solid-Works en prenant compte de :**

- Calcul des caractéristiques du pignon et de la roue ;
- Le carter sera réalisé en fonderie au sable. Il sera conçu en 2 parties ;
- le réducteur complet en coupe passant par le plan contenant les 2 axes ;
- la mise en place de tous les ajustements notamment au niveau des roulements, des joints, de l'assemblage des carters ;
- d'indiquer les jeux fonctionnels ;
- indicateur du niveau d'huile ainsi que les éléments permettant l'alimentation et la vidange ;
- l'arbre d'entrée est monté en porte a faux ;
- le pignon d'entrée est démontable;
- la couronne d'entrée est également démontable ;
- le support de couronne est en liaison à appui plan prépondérant avec l'arbre ;
- l'entraînement en rotation se fait par obstacle.

Bibliographie

- 1 - DEJEAN_GARASA : étude et conception d'un réducteur à deux trains d'engrenage.
- 2 - J. BOZET : Dimensionnement des Eléments de Machines, Etude d'un réducteur.
- 3 - M.hamou, «organisation de l'entreprise»,cours de 3^{ème} année, département de génie mécanique, UBB Tlemcen, 2013.
- 4 - Module optionnel (Conception Mécanique) ISET Rades.
- 5 - M. RICHARD «Le dossier de fabrication 1pco05v3.doc Révisé le 07 oct. 2004»,
Cours n... : version professeur Lycée P. Duez Cambrai.
- 6 - Patrick Monassier (cours entreprise organisation et fonctionnement).
- 7 - Robert Lane, « président de la kellogg of management, 2003».

Table des matières

AVANT-PROPOS	01
Objectifs de l'enseignement	02
Chapitre 1 : Organisation générale du bureau d'études	03
1.1 Introduction générale	03
1.2 Etude du marché	03
1.3 Les principales fonctions	05
1.3.1 Fonction conception	05
3.2 Fonction gestion de production	05
1.3.3 Fonction Méthodes	06
1.3.4 Fonction Production (Fabrication)	06
Chapitre 2 : Application pratique	07
2.1 Choix d'une unité de fabrication mécanique	08
2.2 Etablissement de l'organigramme de l'unité	07
2.2.1 Caractéristiques d'une structure	08
2.2.2 Structures de l'Entreprise	09
2.3 Localisation du B.E. dans l'unité et la relation avec les autres services	12
2.4 Documentation du Bureau d'études	14
2.4.1 Conception d'un produit nouveau	14
2.5 Documentation du Bureau d'Etudes (Cahier des charges)	19
2.5.1 Présentation du besoin	20
2.5.2 Structure du cahier des charges type	20
2.6 Quelques indications	22
2.7 Exemple de réalisation d'un cahier de charges fonctionnel	24
2.7.1 Elaboration du cahier des charges fonctionnel	24
2.7.2 Enoncer du besoin	24
2.7.3 Expression fonctionnelle du besoin	24
2.7.4 Le Cahier des Charges Fonctionnel	26
Chapitre 3 : conception d'un mécanisme de transmission de puissance	28
3.1 Définition des paramètres d'entrée et de sortie	29
3.2 Choix du mode de transmission	30
3.2.1 Réducteurs à roue et vis	31
3.2.2 Réducteurs à engrenages cylindriques / à arbres parallèles	31
3.2.3 Réducteurs à couple conique	31
3.2.4 Réducteurs planétaires	32
3.2.5 Technologies poulie - courroie	32
3.2.6 Technologies pignon-chaine	33
3.2.7 Technologies d'accouplements	34
3.3 Conception et dimensionnement des pièces	34
3.3.1 Généralités	34
3.3.2 Etude des éléments de machines	35
3.3.3 Contraintes admissibles	36
3.3.4 Coefficient de sécurité	37
3.3.5 Coefficient de forme	38

3.3.6	Calcul d'arbre	40
3.3.7	Vérification de l'arbre à la déformation	44
3.4	Normalisation des pièces	49
3.4.1	Introduction	49
3.4.2	Différents Types D'engrenages –Dessins Normalisés- Schématisations	49
3.4.3	Définitions - terminologie et principaux symboles normalisés (NF ISO 701)	54
3.5	Assemblage et mise en plan du produit	69
3.5.1	Application 1 : Palan électrique à chaîne	69
3.5.2	Application 2 : Réducteur à trains d'engrenages	72
Chapitre 4 : Etudes et Gestion de Projets		75
4.1	Définition du projet	76
4.1.1	Les caractéristiques du projet	77
4.1.2	Les aspects de projet	77
4.2	Etude de l'environnement et rentabilité du projet	78
4.3	Choix de l'implantation du projet	79
4.4	Conception du projet	81
4.4.1	Fiche de projet	81
4.5	Répartition des tâches sur les services du Bureau d'Etudes	85
4.6	Les principales activités, connaissances et compétences du chef de projet dans un BE.	86
Exercices		89
Exercice 1 :	La pompe à pied	90
Exercice 2 :	Dispositif de serrage	94
Exercice 3 :	Tour semi automatique	100
Exercice 4:	Conception d'un réducteur	105

Bibliographie