

---

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR  
ET  
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

---

UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN DE TIARET  
FACULTÉ DES SCIENCES ET SCIENCES DE L'INGENIEUR  
DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE

## PROJET DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par  
**GHECIL Karim**  
En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur  
Spécialité: Construction mécanique

---

---

### THÈME

## CONCEPTION ET DÉFINITION D'UN BANC DE TEST D'USURE POUR BOULET DE BROYAGE

---

---

Soutenu publiquement le **18 Novembre 2007**  
Devant la commission d'examen

Membres du jury

Président:	Mr BEKKOUCHE BEkkayé	MA.CC	U.I.K.Tiaret
Examineurs:	Mr EL-GUERRI Mohamed	MA.CC	U.I.K.Tiaret.
	Mr AISSAT Sahraoui	MA.CC	U.I.K.Tiaret.
Encadreur:	Mr GUEMMOUR Mohamed	MA.	U.I.K.Tiaret..

---

## **R E M E R C I E M E N T S**

*Je tiens à remercier avant tout Monsieur GUEMMOUR Mohamed Boutkhil maître assistant à l'université d'Ibn-Khaldoun de Tiaret pour avoir accepté d'encadrer mon projet de fin d'études et pour m'avoir consacré un grand nombre d'heures de travail lors de réunions très constructives. Il m'a ainsi conforté dans mon désir de poursuivre ma carrière dans l'ingénierie et la recherche.*

*J'adresse mes plus vifs remerciements à Messieurs les membres du jury, BEKKOUCHE Bekkayé, EL-GUERRI Mohamed et AISSAT Sahraoui, enseignants au département de Génie Mécanique de l'université Ibn-Khaldoun de Tiaret pour avoir accepté d'examiner mon projet de fin d'études et de rapporter sur mon travail avec une grande efficacité et une grande rapidité, ainsi que pour la patience et la pertinence dont ils ont fait preuve à la lecture de ce document.*

*Enfin, je tiens à remercier ma famille et mes proches, dont les encouragements et le soutien ont été indispensables à l'aboutissement de mes études*

---

## SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION</b> .....	1
<b>CHAPITRE 01 : PROCESSUS DE CONCEPTION D'UN PRODUIT INDUSTRIEL</b> .....	3
<b>1.1. L'activité de conception</b> .....	4
<b>1.2. Objet de la conception</b> .....	4
<b>1.3. Typologie de conception</b> .....	4
1.3.1. Type 1: conception routinière .....	4
1.3.2. Type 2: re-conception .....	4
1.3.3. Type 3: conception innovante .....	6
1°. L'innovation.....	6
a. l'innovation produit.....	6
b. l'innovation procédé.....	6
c. l'innovation organisationnelle.....	6
2°. L'invention.....	7
1.3.4. Type 4: conception créative .....	7
1.4. Les approches de la conception.....	7
1.4.1. Approche axiomatique .....	7
1.4.2. Approche algorithmique .....	9
1.4.3. Comparaison entre les deux approches.....	13
1.5. Processus de conception et processus d'innovation.....	13
1.5.1. Processus de conception.....	13
1.5.2. Processus d'innovation.....	14
<b>1.6. Créativité</b> .....	14
1.6.1. Définition.....	14
1.6.2. Postulats.....	15
1.6.3. Processus créatif .....	15
<b>1.7. Outils et méthodes supports pour la conception</b> .....	16
<b>1.8. Diagramme F.A.S.T</b> .....	16
1.8.1. Objectifs .....	16
1.8.2. Méthode d'élaboration :.....	16
1.8.3. Le module élémentaire du FAST.....	16
1.8.4. Diagramme fonctionnel (ou Arbre des fonctions) .....	17
<b>CHAPITRE 02 : ÉTUDE DE FESABILITÉ DU BANC D'USURE</b> .....	18
<b>2.1. Perception du besoin</b> .....	19
2.1.1. Clarification de la tâche.....	19
2.1.2. Détection du besoin.....	19
2.1.3. Enoncé du besoin.....	19
2.1.4. Validation du besoin.....	20
2.2. Expression fonctionnelle du besoin.....	21
2.2.1. Diagramme des interacteurs.....	21
2.2.2. Définition des fonctions de service.....	22
2.2.2.1. Notion de fonction.....	22
2.2.2.2. Classification des fonctions.....	23
2.2.2.3. Fonction de service.....	23
1°. Fonctions principales.....	23
2°. Fonctions contraintes.....	23

2.2.3. Validation des fonctions.....	24
2.2.3.1. Validation des fonctions d'interaction.....	25
2.2.3.2. Validation des fonctions d'adaptation.....	26
2.2.4. Caractérisation des fonctions.....	32
1°. Critère d'appréciation.....	32
2°. Niveau d'acceptation d'un critère.....	32
3°. Flexibilité d'un critère.....	33
a. Classe de flexibilité.....	33
b. Limites d'acceptation.....	33
c. Taux d'échange.....	33
2.2.5. Hiérarchisation des fonctions.....	36
1°. Ordonner les fonctions.....	36
a. Echelle d'importance.....	36
b. La méthode du tri croisé.....	36
2°. Sélection des fonctions.....	37
<b>CHAPITRE 03 : ÉTUDE DE CONCEPTION DU BANC D'USURE.....</b>	<b>39</b>
<b>3.1. RECHERCHE DES SOLUTIONS.....</b>	<b>40</b>
3.1.1. Présentation.....	40
3.1.2. F.A.S.T de créativité relatif au banc d'usure.....	41
<b>3.2. CHOIX DES SOLUTIONS.....</b>	<b>44</b>
1°. Matrice multicritères.....	44
2°. La méthode F.A.R.E.....	44
3°. Le tableau Avantages/ Inconvénients.....	44
3.2.1. Évaluation et sélection des solutions.....	45
1°. Evaluation des solutions relatives à FP.....	45
2°. Evaluation des solutions relatives à FC1.....	46
3°. Evaluation des solutions relatives à FC2.....	46
4°. Evaluation des solutions relatives à FC31.....	46
5°. Evaluation des solutions relatives à FC4.....	46
3.2.2. Présentation des solutions.....	47
3.2.2.1. Le modèle produit.....	47
1°. Représentation structuro-fonctionnelle du produit.....	47
2°. Entités de base.....	47
a. Composant.....	47
b. Interface.....	47
c. Fonction.....	47
3.2.2.2. Modélisation cinématique du banc d'usure.....	48
1°. Traduction du diagramme des interacteurs.....	48
2°. Traduction du diagramme F.A.S.T.....	50
a. Formalisation cinématique du système presseur.....	54
b. Formalisation cinématique du système d'entraînement.....	57
c. Formalisation cinématique du porte-boulet.....	59
<b>3.3. PRÉDIMENSIONNEMENT.....</b>	<b>60</b>
3.3.1. Détermination des encombrements.....	60
1°. Encombrement du système presseur.....	60
a. Exigences.....	60
b. Dispositions.....	60
2°. Encombrement du réducteur à courroie.....	61
a. Exigences.....	61
b. Dispositions.....	61

3°. Encombrement boulet et galets entraîneurs.....	62
a. Exigences.....	62
b. Dispositions.....	62
4°. Encombrement boulet et Porte-boulet.....	63
3.3.2. Détermination des efforts.....	66
Phase 01: Étude mécanique du Boulet.....	66
Phase 02: Sélection du moteur électrique.....	73
Phase 03: Étude de la transmission par courroie.....	74
Phase 04: Étude mécanique du bloc entraîneur.....	79
Phase 05: Étude du système presseur.....	83
<b>CHAPITRE 04 : ÉTUDE DE DÉFINITION DU BANC D'USURE.....</b>	<b>87</b>
<b>4.1 DIMENSIONNEMENT DU BLOC ENTRAINEUR.....</b>	<b>88</b>
<b>4.2. ANALYSE TECHNIQUE DU BLOC ENTRAINEUR.....</b>	<b>92</b>
Phase 100: Identification des groupes fonctionnels.....	92
Phase 200: Définition dimensionnelle.....	93
Phase 210: graphe des liaisons et flux d'efforts.....	93
Phase 220: analyse des liaisons.....	94
Phase 230: conditions de fonctionnement.....	95
Phase 240: résolution des conditions de fonctionnement.....	96
Phase 300: Définition géométrique.....	98
Phase 310: étude de l'isostatisme.....	98
Phase 320: quantification géométrique.....	99
<b>4.3. MODÈLE ET ANALYSE C.A.O.....</b>	<b>100</b>
4.3.1. Modèle CAO du bloc entraîneur.....	100
4.3.2. Analyse CAO.....	101
1°. Matériaux.....	101
2°. Informations sur les chargements et les déplacements imposés.....	101
3°. Propriété d'étude.....	101
4°. Contraintes.....	102
5°. Déplacements.....	103
6°. Déformées.....	104
7°. Conclusion.....	104
<b>CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES.....</b>	<b>105</b>
<b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>107</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>109</b>

## LISTE DES ABRÉVIATIONS

- CAO : **C**onception **A**ssisté par **O**rdinateur
  - CDCF : **C**ahier **d**es **C**harges **F**onctionnel
  - FARE : **F**aisabilité – **A**ceptabilité – **R**entabilité – **E**fficacité
  - PFD : **P**incipe **F**ondamental de la **D**ynamique
  - FR : **F**onctional **R**equirements
  - DP : **D**esign **P**arameters
  - QFD : **Q**uality **F**onction **D**eployment
  - FAST : **F**onction **A**nalysis **S**ystem **T**echnique
  - APTE : **A**Pplication aux **T**echniques d'**E**ntreprise
  - AFB : **A**nalyse **F**onctionnelle
  - AFG : **A**nalyse **F**onctionnelle **G**lobale
  - AFI : **A**nalyse **F**onctionnelle **I**nterne
  - FS : **F**onction de **S**ervice
  - FT : **F**onction **T**echnique
  - FP : **F**onction **P**rincipal
  - FC : **F**onction **C**ontrainte
  - AFNOR : Association **F**rançaise de **N**ORmalisation
  - RDV : **R**éducteur **D**e **V**itesse
  - DD : **D**entures **D**roites
  - DH : **D**entures **H**élicoïdales
  - DS : **D**entures **S**phériques
  - MDV : **M**ultiplicateur **D**e **V**itesse
  - BV : **B**oite de **V**itesse
  - VV : **V**ariateur de **V**itesse
  - CDG : **C**entre **D**e **G**ravité
  - MAYA : **M**ost **A**dvanced but **Y**et **A**ceptable
  - MTBF : **M**ean **T**ime **B**etween **F**ailure
-

---

---

# **INTRODUCTION GÉNÉRALE**

---

Ayant besoin d'un banc d'usure pour tester les boulets utilisés dans les broyeurs de cimenteries, et vu la non disponibilité de ce type d'appareil sur le marché national; l'équipe de recherche, "surfaces et interfaces matériaux" rattachée au laboratoire L.R.T.I du Département de Génie Mécanique de l'université Ibn Khaldoun de Tiaret, c'est vue contrainte de proposer et cela en tant que projet de fin d'étude pour les ingénieurs en construction mécanique, le développement d'un système mécanique non automatisé qui pourrait répondre à ses attentes en matière d'expérimentation sur les boulets de broyages.

Une fois les sujets des projets de fin d'études proposés et attribués, le thème " Conception et définition d'un banc de test d'usure pour boulets de broyage " a été saisi par notre équipe de travail et deux principaux objectifs ont été établis. Le premier objectif, répondre à la demande formulée par une proposition portant sur une définition de produit industriel à développer qui pourrait satisfaire le besoin fondamental de l'équipe de recherche. Le deuxième objectif, Comprendre le processus de conception des systèmes mécaniques non automatisés et de faire des propositions pour sa mise en œuvre dans une démarche de projet de fin d'études, ainsi que son enseignement dans le cycle de graduation.

La démarche de développement d'un produit industriel est une interaction de trois processus majeurs. Un processus de gestion de produit, un processus de gestion de projet et un processus de gestion de la qualité. En remarquant, que dans le groupe nominal projet de fin d'étude figure le terme projet, on a vue qu'il était intéressant d'appliquer les méthodes et les techniques de gestion de projet dans notre gestion de l'état d'avancement du mémoire. Ce dernier étant une synthèse du processus technique, la stratégie adoptée est de faire calquer l'architecture de notre travail sur la démarche du processus de gestion de produit. En outre, vu que le développement est fastidieux et long, notre travail sera essentiellement axé sur la mise en œuvre des trois premiers stades du processus de gestion de produit. A savoir l'étude de faisabilité, l'étude de conception et l'étude de définition. Pour ce faire, la rédaction de notre mémoire sera planifiée sous forme de quatre chapitres principaux.

Le premier chapitre présente un aperçu sur l'activité de conception ainsi que les méthodes et les outils associés.

Le deuxième chapitre sera consacré au stade de l'étude de faisabilité, dans lequel seront abordées ces deux phases. La phase perception du besoin et la phase expression fonctionnelle du besoin.

Le troisième chapitre, traite la phase étude de conception à travers la mise en œuvre des techniques, méthodes et outils dédiés à la recherche de nouveaux concepts ou des solutions à des problèmes techniques. Plus les outils qui permettent d'évaluer, de choisir et de prédimensionner des solutions constructives afin de dégager des avant-projets.

Le quatrième chapitre quant à lui, aborde la phase étude de définition à travers le dimensionnement des solutions technologiques, leur tolérancement ainsi que leur modélisation en CAO.

Enfin, pour clore notre mémoire, une conclusion générale sur notre travail a été dégagée et des perspectives futures ont été spécifiées.

---

*Chapitre I*

---

**PROCESSUS DE CONCEPTION  
D'UN  
PRODUIT INDUSTRIEL**

---

## **1.1. L'ACTIVITE DE CONCEPTION**

La conception est une étape déterminante dans le cycle de vie d'un produit. Elle constitue, la phase initiale durant laquelle l'ensemble des paramètres du produit va être défini de façon à assurer les fonctionnalités qui lui ont été assignées dans le cahier des charges fonctionnel. Cette phase, se déroule généralement dans les bureaux d'études. Elle est confiée à des ingénieurs experts, dont le rôle est de spécifier complètement le produit avant de le livrer aux ateliers de production [LAV 97].

Cette activité, s'opère suivant une dialectique entre des buts et des possibilités. Elle est soumise à des conditions nombreuses et variées (lois du domaine, contraintes de fabrication, critères fonctionnels), et revêt également un caractère social, dans la mesure où elle fait intervenir de nombreux acteurs ayant des langages, des règles, des objectifs et des contraintes différents. Dans ces conditions, on peut affirmer que la conception est une activité complexe, non réductible à un modèle unique quelle que soit sa taille, le nombre de ses composants et l'intensité de leur interaction [DEN 02].

## **1.2. OBJET DE LA CONCEPTION**

L'objet de la conception est l'élaboration de produits et systèmes techniques, afin de satisfaire les besoins des utilisateurs et usagers du produit, tout en garantissant le respect de l'environnement, de la législation et de la rentabilité de l'entreprise [TOL 98]. Les exigences liées au triptyque "coût délai qualité", sont de plus en plus présentes dans les entreprises, et leur prise en compte se renforce de plus en plus dans la phase conception. Dans le contexte économique actuel, cet objet se traduit par:

- la baisse des prix ;
- le raccourcissement des délais de développement ;
- le raccourcissement des délais de mise sur le marché (Time To Market) ;
- les performances et la qualité de produit.

## **1.3. TYPOLOGIE DE CONCEPTION**

On distingue quatre catégories de conception, celle-ci étant vue comme une activité de résolution de problème [DEN 02]:

### **1.3.1. Type 1: conception routinière**

Dans ce type de conception, un plan de conception existe a priori. Pour tout nouveau problème, l'ensemble des sous problèmes et leurs solutions candidates sont connues à l'avance. La conception routinière consiste à déterminer, pour chaque sous-problème, les alternatives adéquates (figure 1-1).

### **1.3.2. Type 2: re-conception**

Dans ce type de conception, une conception existante est modifiée pour satisfaire de nouvelles exigences fonctionnelles.

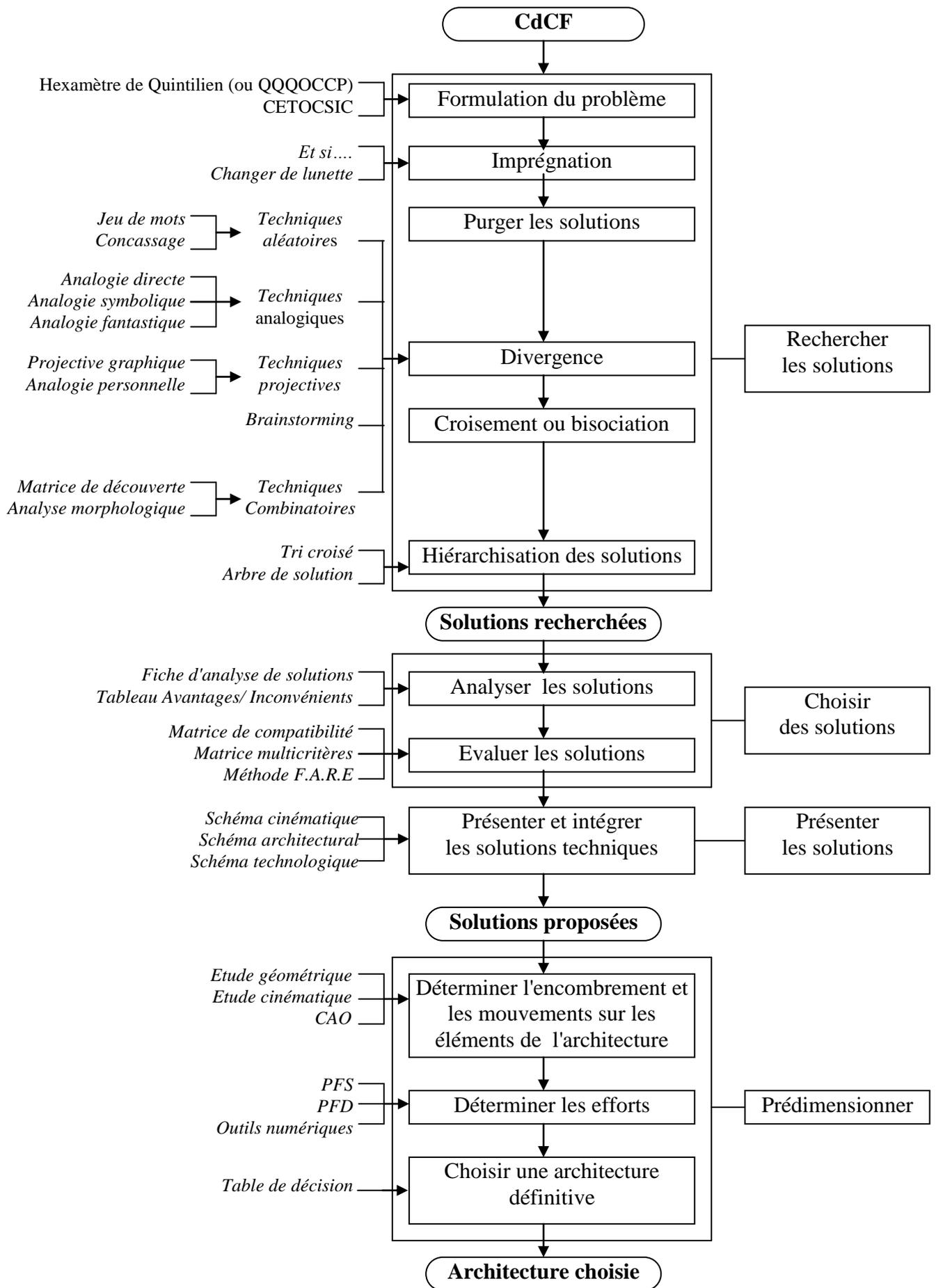


Fig 1-1: Séquences du processus de la conception routinière

### 1.3.3. Type 3: conception innovante

Dans ce type de conception, la décomposition du problème est connue, mais il n'existe pas d'alternative connue pour tous les sous-problèmes. La conception innovante fait en général appel à la créativité, quoique le résultat de la conception puisse s'avérer être une nouvelle combinaison de solutions existantes. Dans le domaine de la conception innovante, on distingue l'innovation et l'invention.

#### 1°. L'innovation

Elle relève du champ de l'analyse économique, c'est un processus discontinu. Selon [Bellon 94], l'innovation est l'introduction avec succès d'un nouveau produit, d'un nouveau procédé ou d'une nouvelle organisation. L'auteur insiste sur la différence fondamentale entre invention, souvent géniale mais aussi parfois inutile ou (temporairement) inexploitée, et innovation, qui est une réponse efficace et originale à un réel besoin. On distingue trois types d'innovation:

##### a. L'innovation produit

Elle consiste à proposer aux clients "autre chose" que ce que le marché propose déjà, on distingue:

- les améliorations substantielles (référentiel existant dans l'entreprise);
- les produits nouveaux pour le marché (pas de référentiel);
- les produits nouveaux pour l'entreprise (un référentiel existe hors de l'entreprise).

##### b. L'innovation procédé

Elle consiste à mettre en œuvre, et d'une manière indifférente un ou plusieurs procédés de transformation physique subis par le produit mis sur le marché, au cours de son cycle de vie (usinages, assemblages, contrôles, réparations, évolutions, recyclage).

En innovation de procédé, on distingue les améliorations substantielles (un référentiel existe) et les premières de procédés (pas de référentiel connu ou accessible). On distingue en outre les innovations de conditionnement, qui sont à la fois des innovations de produit et de procédé.

##### c. L'innovation organisationnelle

Elle consiste à structurer différemment l'activité humaine pour mettre en œuvre les processus de l'entreprise, on distingue:

- les innovations organisationnelles pures (seule l'organisation interne est modifiée, sans que cela soit perceptible de l'extérieur);
- les innovations organisationnelles globales (visibles de l'extérieur car incluant l'innovation commerciale).

On mentionne par ailleurs deux axes possibles pour l'innovation organisationnelle: l'action verticale (en général simplification des niveaux de hiérarchie) et l'action horizontale (amélioration de la communication au sein des niveaux).

Ces catégories d'innovations ne sont pas totalement dissociées, dans la mesure où les innovations de produit s'accompagnent souvent d'innovations de procédés, et que ces dernières impliquent presque toujours des innovations organisationnelles. Lorsque nous nous sommes intéressés à l'innovation, nous avons donc implicitement abordé l'ensemble de ces catégories.

## **2°. L'invention**

L'invention relève du domaine scientifique et technique, et suit un processus continu et extra-économique (c'est-à-dire qu'elle n'obéit pas à des objectifs d'économie).

### **1.3.4. Type 4: conception créative**

Elle consiste en une décomposition abstraite d'un problème en un ensemble de niveaux de sous-problèmes. Il n'existe pas de plan de solution a priori. L'élément clé de ce type de conception est la transformation de l'inconscient en conscient.

## **1.4. LES APPROCHES DE LA CONCEPTION**

L'étude de l'activité de conception ou d'innovation en recherche et développement, fait apparaître deux catégories d'approches: les approches algorithmiques et les approches axiomatiques.

### **1.4.1. Approche axiomatique**

Les principales approches axiomatiques ont été développées par Yoshikawa, Suh et Sohlenius [DEN 02]. Elles considèrent que le concepteur fait constamment un parallèle mental entre différents domaines (le client, le fonctionnel, le physique et le processus) et reposent d'une part sur l'utilisation d'axiomes généraux (par exemple : l'indépendance des fonctions de service), susceptibles de mener à une "bonne conception", et d'autre part sur l'adoption d'un cheminement récurrent entre les différents domaines, sans toutefois imposer d'étapes rigoureuses.

L'approche axiomatique de Suh est développée dans "The principles of design" [Suh 1990]. Elle fait suite aux travaux de Yoshikawa [Yoshikawa 1981] qui a proposé une théorie de la conception s'appuyant sur le fait qu'il existe une bijection entre un espace fonctionnel, caractérisant le besoin, et un espace attributs, caractérisant (physiquement, mécaniquement, géométriquement ...) des entités. Il définit une entité comme le plus petit élément sur lequel on peut travailler. Sa théorie montre que, s'il existe une solution, le besoin en conception dans l'espace fonctionnel a une solution dans l'espace des attributs.

Suh, présente d'abord la conception comme un processus de transformations entre un univers fonctionnel et un univers structurel. Il l'étend ensuite à la prise en compte d'un univers de fabrication [PRU 99] (figure 1-2). Pour Suh, l'efficacité d'une conception est caractérisable par deux axiomes:

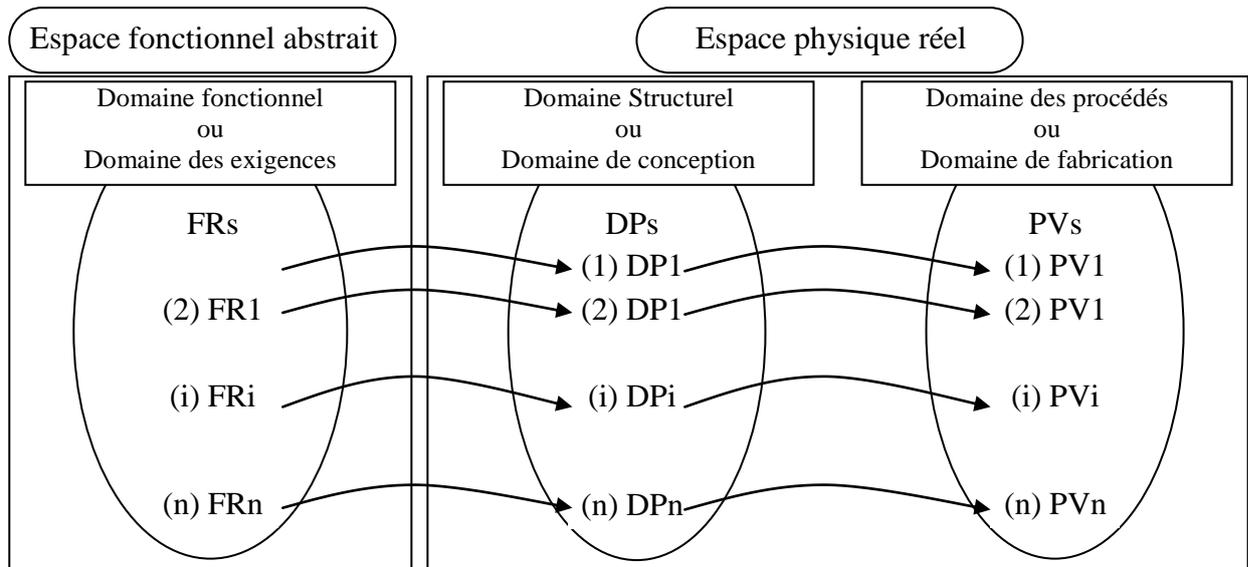


Figure 1-2: les domaines de la conception dans l'approche axiomatique [PRU 99]

### Axiome 1 : axiome d'indépendance

Il est basé sur deux recommandations:

- 1° - Une conception optimale devra à tout moment maintenir l'indépendance des fonctions FRs (Functional Requirements) exprimant le besoin, qui sont des éléments du domaine fonctionnel.
- 2° - Dans une conception acceptable, les relations entre les fonctions FRs et les paramètres de conception DPi (Design Parameters), qui sont des éléments du domaine physique, sont telles que l'on peut modifier un paramètre de conception particulier DPi pour qu'il puisse satisfaire sa fonction FRi correspondante sans que les autres fonctions en soient affectées.

### Axiome 2 : Axiome d'information

La meilleure conception est celle qui est fonctionnellement découplée, c'est à dire dont le contenu d'information est minimum.

A partir de ces axiomes, sept corollaires (de manière non exhaustive) sont construits, qui deviennent des règles de conception plus opératoires pour les concepteurs :

- Corollaire 1 : "*Découpler les aspects de la solution si les FRi sont couplés ou s'ils sont interdépendants dans la conception proposée*".

Cela peut se traduire par la création de plusieurs pièces, chacune assurant une fonction, mais aussi parfois par un découplage fonctionnel sur une même pièce.

- Corollaire 2 : "*Minimiser le nombre de FRi et de contraintes*".

Plus ce nombre devient important et plus le système à réaliser devient complexe.

- Corollaire 3 : "*Intégrer les entités de conception sur une seule pièce physique dans la mesure où il y a indépendance entre les FRi*".
- Corollaire 4 : "*Utiliser pièces standard ou interchangeables si leur utilisation est compatible avec les FRi et les contraintes*".

- Corollaire 5 : "*Utiliser les formes ou les assemblages symétriques s'ils sont compatibles avec les FRi et les contraintes*"
- Corollaire 6 : "*Spécifier la tolérance admissible la plus grande pour les FRi*"
- Corollaire 7 : "*Chercher une conception qui nécessite le moins d'information possible, par rapport à celle qui est couplée, tout en assurant le respect de l'ensemble des FRi*"

La conception est alors définie comme un processus de transformations entre le domaine fonctionnel et le domaine physique. L'axiome d'indépendance permet d'envisager un formalisme mathématique de la relation entre ces domaines. Une matrice [A], appelée matrice de conception, permet alors de relier les Functional Requirements aux Design Parameters:  $\{FR\} = [A] \{DP\}$ . Si [A] est diagonale, l'axiome 1 est vérifié, sinon la conception est couplée et un certain nombre de théorèmes permettent d'envisager le découplage. La prise en compte du domaine du processus de fabrication amène ensuite Suh à développer, en prenant en compte l'axiome d'indépendance, les conditions nécessaires à une conception en pensant fabricabilité. Pour cela il définit des PVs (Process Variables) qu'il relie avec les DPs (Design parameters) suivant la même démarche que précédemment. Une matrice [B] permet de relier les Design Parameters aux Process Variables:  $\{DP\} = [B] \{PV\}$ .

La conception d'un produit comprend alors deux étapes:

- la première consiste à concevoir un produit qui satisfasse les FRs, en développant un ensemble acceptable de DPs comme décrit ci-dessus;
- le deuxième est de concevoir un processus de fabrication qui satisfasse les DPs du produit, en développant des PVs comme décrit ci dessus.

Ce qui revient à combiner les deux matrices [A] et [B] pour obtenir une matrice  $[C] = [A] [B]$  qui, pour satisfaire l'axiome d'indépendance doit aussi être diagonale.

### 1.4.2. Approche algorithmique

La rationalisation du processus de conception suit quelque peu le même chemin que l'approche scientifique du travail, tracé un demi-siècle plus tôt par Taylor. Les chercheurs et les ingénieurs tentent de définir formellement ce qu'est l'acte de concevoir. Ils décomposent le processus en différentes phases, correspondant à différentes configurations. Chacune de ces phases est caractérisée par la précédente, c'est à dire par l'état du processus à son démarrage; ainsi que par la suivante qui détermine les objectifs à atteindre. A l'intérieur de ces différentes phases, ces chercheurs décrivent les tâches à entreprendre et les résultats à atteindre [POV 01].

Les approches de conception algorithmiques se caractérisent par un ensemble de tâches de conception distinctes . A chaque tâche est associé un ensemble d'étapes permettant de fournir les résultats indispensables à l'enclenchement de la tâche avale.

Une démarche algorithmique tente d'identifier ou d'imposer un processus de conception conduisant à la concrétisation d'un produit répondant aux besoins. On distingue les approches algorithmiques empiriques et orientées analyse.

Parmi toutes les méthodes très structurées, celle de Gerhard Pahl et Wolfgang Beitz qui, à partir de la fin des années 70, fait office de référence dans l'approche systématique de la conception (Figure 1-3). Leur ouvrage édité en 1977 a subi depuis plusieurs rééditions et demeure encore la base de l'enseignement de la conception dans de nombreux pays anglo-saxons. Leurs travaux ont conduit ces chercheurs à décomposer le processus de conception en quatre phases distinctes désignées par les termes:

- Specification (*Clarification of the task*);
- Conception conceptuelle (*conceptual design*);
- Conception préliminaire (*embodiment design*);
- Conception détaillée (*detail design*).

Chacune de ces phases est décomposée en différentes activités comme la collecte d'information, la création d'idée, l'évaluation et la validation.

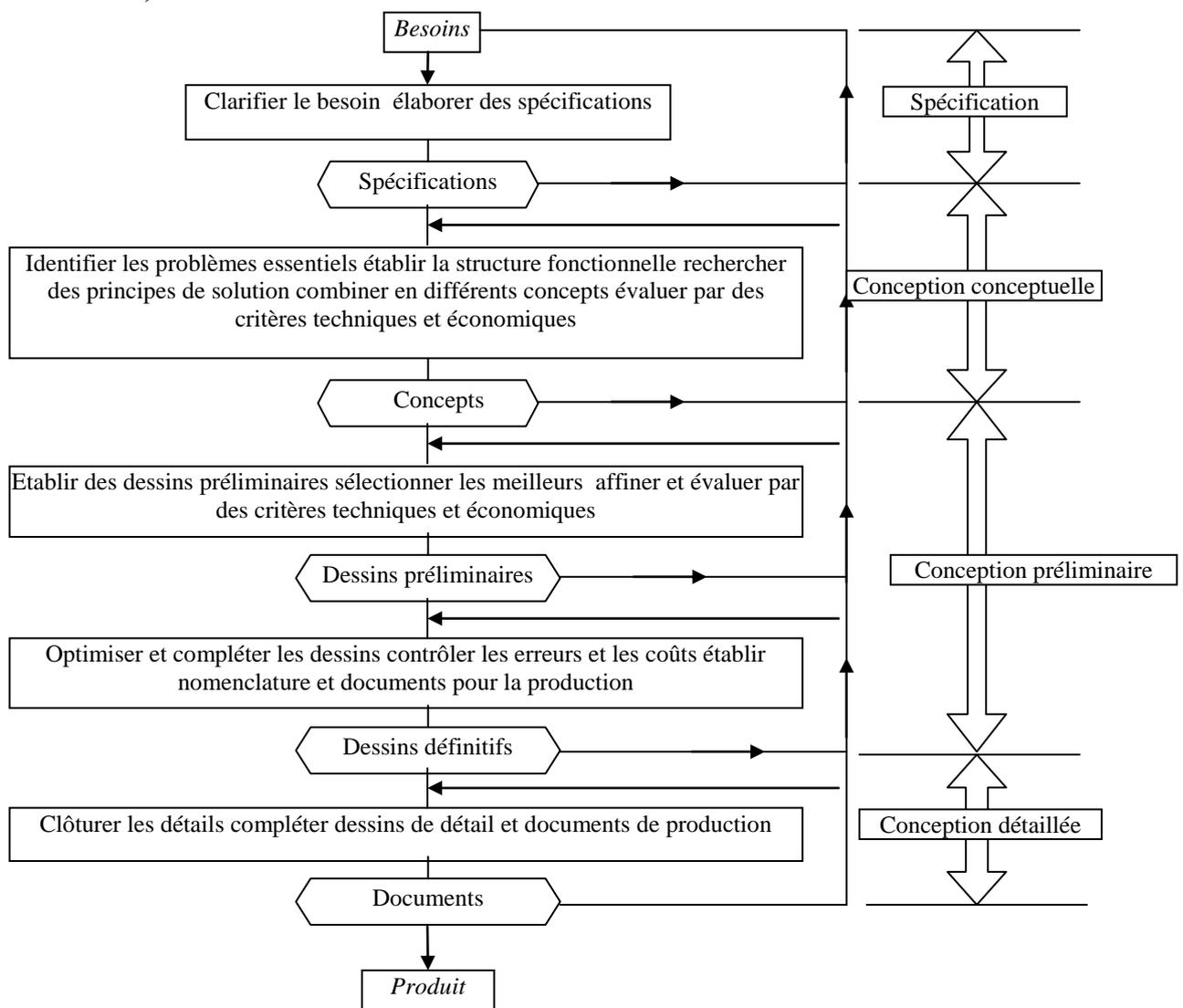


Figure 1-3: Approche algorithmique de la conception [DEN 02]

**Phase 01: Elaboration du cahier des charges fonctionnel**

La phase d'élaboration du cahier des charges fonctionnel (CdCF) ou spécification d'information (*Clarification of the task*), représente la phase initiale du processus de développement d'un produit. Durant cette phase, l'information sur le marché, l'entreprise et l'économie, sont prises en compte par les concepteurs pour définir un ensemble d'idées sur le produit. A la fin de cette première phase, les concepteurs proposent une spécification détaillée du produit, établie à partir d'une liste des besoins et des contraintes sur le produit. Dans cette première étape de spécification du produit, à partir de certaines données sur le marché comme la concurrence et le développement technologique par exemple, les outils de conception aident à définir la stratégie à suivre en indiquant par exemple les taux de produits à fabriquer pour le marché ou la raison de la reconception du produit ou de sa remise en cause. Dans cette étape, seront proposés aussi des critères qu'il s'agira impérativement de satisfaire pour que le produit soit réalisable.

**Phase 02: Conception conceptuelle**

La phase de la conception conceptuelle c'est la recherche des principes (*conceptual design*), elle a comme objectif de déterminer les principes de solution et de les spécifier. Les concepteurs commencent cette phase avec l'analyse des spécifications du cahier des charges initial qui permet d'identifier les éléments les plus importants à résoudre. Ainsi, les concepteurs affinent et corrigent le contenu de la première phase, ce qui revient à structurer, hiérarchiser et caractériser les différents besoins fonctionnels exprimés. Durant cette phase conceptuelle, le concepteur va rechercher et évaluer des principes physiques envisageables. Ces pistes de solutions doivent correspondre aux besoins fonctionnels identifiés auparavant et tenter d'y répondre au mieux. Ainsi avec l'information disponible les outils de conception proposent aux concepteurs des plages de valeurs acceptables concernant les aspects durée de vie, cycle de réutilisation, cycle de technologies, cycle de reconception du produit ou encore pourcentages de composants à fabriquer dans le produit. C'est au terme de cette phase que les décisions sont prises pour définir les premières représentations graphiques et maquettes du produit et pour évaluer ces solutions selon les aspects technique, économique, environnemental,...

**Phase 03: Conception préliminaire**

La phase de la conception préliminaire c'est la phase de conception de l'ensemble (*Embodiement design*) des concepts associés au produit sont développés pour la définition de la description technique complète et pour la structure finale du produit.

Les concepteurs élaborent la structure physique du produit par le choix, le dimensionnement et l'agencement d'un ensemble de composants. La solution produit se raffine concrètement par des représentations et des vues géométriques d'ensemble de plus en plus évoluées et par une nomenclature de composants. Ici, les concepteurs évaluent souvent plusieurs solutions possibles de structures et d'architectures. Pendant cette phase de conception les outils de conception proposent des valeurs sur des critères afin d'aider les concepteurs à faire des choix sur les aspects techniques du produit: type de technologie, type d'architecture, pourcentages de composants à changer dans le produit ... Ainsi avec l'outil, les concepteurs évaluent plusieurs solutions possibles de structures ou d'architectures parmi lesquelles sera choisi le meilleur compromis.

#### Phase 04: Conception détaillée

Dans phase conception détaillée (*detail design*) les concepteurs définissent complètement et en détail chaque composant du produit en spécifiant ses dimensions, ses caractéristiques physiques, son coût et une description de son processus d'industrialisation (fabrication, assemblage, distribution, fin de vie.....).les outils de la conceptions aident à valider la structure interne du produit. Ainsi, à partir de la dimension du produit, les outils de conception proposent un nombre de composants pour le produit, le nombre et le type de fixations, ainsi que le nombre de modules acceptables pour le produit. En ce qui concerne le processus.

Dans cette dernière phase il y a la validation de la définition finale qui comprend toutes les informations relatives au produit et celles qui décrivent ses modes d'industrialisation. Ainsi le produit est entièrement décrit de telle sorte que les informations générées peuvent être exploitées par tous les acteurs. Sa définition finale comprend toutes les informations relatives au produit (schémas d'ensemble, plans des composants et pièces, nomenclature détaillée, agencement des composants et évaluation économique) et celles qui décrivent ses modes d'industrialisation (technologie de fabrication, gammes et outils).

Beaucoup d'autres auteurs suivent cette voie et décomposent le processus de conception en une succession de tâches spécifiques. Ainsi Ullman définit la conception comme la succession de trois phases proches de celles précédemment décrites. Pour cet auteur, la conception débute par une définition des objectifs à atteindre et des moyens qui seront mis en jeu (phase de *specification developpement/planning*). Puis les concepteurs travaillent à la recherche de principes permettant de satisfaire ces besoins (phase de *conceptual design*) et enfin ils définissent le produit de manière de plus en plus précise (phase de *product design*). Il existe bien d'autres méthodes qui, comme les précédentes, abordent l'activité de conception par un découpage du processus en phases et en tâches élémentaires.

### 1.4.3. Comparaison entre les deux approches

Dans les deux approches [DEN 02], étudier l'activité de conception revient à étudier son processus, défini comme un ensemble plus ou moins prescrit d'étapes conduisant de l'idée à la définition du produit.

L'approche algorithmique est plus adaptée à guider le concepteur dans son travail car elle détermine plus précisément les opérations nécessaires au passage du domaine fonctionnel vers le domaine physique. De plus, les opérations préconisées dans l'approche algorithmique sont spécifiques à chaque tâche de conception.

L'approche axiomatique, les opérations sont génériques et identiques pour chaque "mapping". Néanmoins, un des intérêts de l'approche axiomatique est l'axiome d'indépendance car il permet de décomposer un problème complexe en sous-problèmes indépendants, de complexité acceptable. Par rapport au processus de conception, les deux approches sont assez similaires dans le sens où elles sont toutes deux séquentielles monotones, contrairement à l'approche que nous défendons.

## 1.5. PROCESSUS DE CONCEPTION ET PROCESSUS D'INNOVATION

### 1.5.1. Processus de conception

De nombreuses définitions existent pour caractériser le processus de conception, telles que [DEN 02]:

- **Définition 1** [Castellani, 93]: *"le processus de conception se présente comme une ou plusieurs démarches qui permettent d'analyser et de concevoir, de retro-concevoir ou de refondre les systèmes d'objets"*. Une démarche est un ensemble de tâches ordonnées avec un déroulement séquentiel ou parallèle.
- **Définition 2** [Finkelstein, 95]: *"Le processus de conception se présente comme un processus de création qui débute par le recensement d'un besoin et s'achève par la définition d'un système (physique ou abstrait) qui répond au besoin, ainsi que la méthode de sa réalisation"*.
- **Définition 3** [Nadler, 95]: *"Le processus de conception se présente comme un re-bouclage continu sur des séquences analytiques, synthétiques et d'évaluation jusqu'à la détermination d'une solution adéquate"*.
- **Définition 4** [Simon, 95]: *"Le processus de conception se présente comme une activité de synthèse dans le sens de création des objets, des processus (le processus est récursif) et des idées en vue d'atteindre des objectifs. Il débute par des primitives et des composants et consiste en une suite de combinaisons entre ces primitives et composants"*.
- **Définition 5** [Sobiesh, 95]: *"Le processus de conception est un large enchaînement de changements d'états et de création d'une structure dynamique"*.

- **Définition 6 [Gauss, 95]** : "Le processus de conception est un processus de résolution des problèmes et/ou de création des opportunités. Il est caractérisé par l'examen de la perception des objets tels qu'ils sont et des objets tels qu'ils doivent être".

Si les différentes définitions semblent s'accorder, à quelques variations de langage près, une analyse plus détaillée de ces travaux permet de dégager deux tendances :

- La première regroupe ceux qui considèrent que la nature du processus de conception est plutôt séquentiel [Nadler 95], [Pahl 94], [Gauss, 95], [Finkelstein, 95] et organisé en une séquence de tâches ordonnées chronologiquement.
- La seconde concerne ceux qui considèrent que le processus de conception est mixte (séquentiel - parallèle) [Castellani, 93], [Suh, 90]. Le parallélisme exprime la simultanéité des tâches.

### 1.5.2. Processus d'innovation

Le processus d'innovation, correspond au passage de l'invention à l'innovation. Il mobilise de nombreuses activités telles que le marketing, la recherche et développement, la production etc. Pour [Cooper, 79] « le processus d'innovation débute par une idée, développée par des activités techniques et de marketing ». Pour [Xuereb, 91], le processus d'innovation comprend « l'ensemble des activités mises en oeuvre pour transformer une idée de produit nouveau en une réalisation effective ».

## 1.6. CREATIVITE

### 1.6.1. Définition

La créativité consiste en un ensemble de méthodes et de techniques qui permettent de rendre systématique le processus de l'invention, qui été jusqu'alors un processus aléatoire [J.-C. Wydouw, "Les Techniques de créativité", [www.education.gouv.fr](http://www.education.gouv.fr)]. Etre créatif c'est:

- 1 accepter de quitter, à certains moments, les sentiers battus;
- 2 se ménager le temps de diverger, de s'éloigner des données contraignantes du problème;
- 3 considérer que chaque problème admet un grand nombre de solutions;
- 4 accepter de ne pas rejeter immédiatement une idée, même si elle paraît, a priori, totalement inadaptée au problème posé;
- 5 considérer qu'une image évoquée ne l'est jamais par hasard et faire l'effort de décoder cette image;
- 6 accepter, donc, de différer la rationalisation et le jugement critique pour laisser aux images le temps de se développer.

### 1.6.2. Postulats

Il faut se soustraire aux données explicites et contraignantes du problème pour "penser à côté" et collecter, dans des domaines apparemment étrangers à celui-ci, des informations qui seront à l'origine de constructions nouvelles." *Pour bien penser, il faut penser à côté*", [Jean-Marie Souriau].

La notion de créativité, repose sur un certain nombre de postulats qui permettent d'assainir

- 1 Nous possédons tous un potentiel créatif important mais insuffisamment sollicité et exploité.
- 2 Le mécanisme de la découverte peut être reproduit à volonté et ne plus être laissé au seul fait du hasard.
- 3 Une grande partie des découvertes implique l'intervention de l'imaginaire.
- 4 L'invention peut être le fait de non-spécialistes car souvent l'expertise stérilise.
- 5 Le groupe est la situation créative privilégiée.

### 1.6.3. Processus créatif

Dans un processus de créativité, quatre phases clé permettent de rechercher les idées et les voies de solutions:

1. **Formulation du problème:** Inventaire exhaustif du problème posé: organisation de toute l'information qui lui est afférente, dégagement des contraintes et des variables.
2. **Imprégnation:** Prise en charge affective du problème par le chercheur ou le groupe de recherche. S'approprier le problème.
3. **Divergence:** Evocation de symboles, d'images, de stimulus dont les rapports avec le problème sont extrêmement ténus mais qui recèlent, compte tenu de la phase Imprégnation, une forte possibilité d'utilité.
4. **Croisement ou bissociation:** Mise en relation successive de chacun des matériaux évoqués, avec le champ du problème. Cette phase consiste dans le décodage de la production symbolique précédente, en terme de solutions.

Les solutions brutes, évoquées en phase Croisement, seront confrontées aux contraintes esquissées en phase Formulation. La figure 2-4 donne les différentes séquences de créativité lors de la recherche d'idées ainsi que les différents outils qui leur sont associés.

## 1.7. OUTILS ET METHODES SUPPORTS POUR LA CONCEPTION

Les outils et les méthodes sont très nombreux même si, d'un point de vue opérationnel, leur usage est loin d'être généralisé dans les bureaux d'études. [Vadcard, 95], a distingué sept catégories d'activités du concepteur (tableau 2-1), pour lesquelles il a recensé plus d'une centaine d'outils et de méthodes divers et variés pouvant être mobilisés [DEN 02].

N°	Outil	Méthodes
1	Caractérisation du besoin	analyse fonctionnelle, QFD, FAST, APTE, [AFAV, 89].
2	Recherche de solution	brainstorming, concassage, matrices de découvertes.
3	Définition du produit	graphe de démontage, architecture produit, dessins techniques.
4	Matérialisation de solution	Maquette ou prototype, logiciels de CAO, de synthèse
5	Analyse de solution	AMDEC, bloc diagrammes, arbres de défaillances, analyse de la valeur, [AFAV, 89].
6	Gestion du projet	compte-rendu, organigrammes, diagrammes (Gantt) et réseaux (PERT et MPM), documents de coûts (suivi financier de projet).
7	Gestion de la qualité	diagrammes cause-effets, diagrammes d'affinité, PARETO, plans d'expériences, [Périgord, 93].

Tableau 1-1: les outils et les méthodes de conception

## 1.8. DIAGRAMME F.A.S.T

### 1.8.1. Objectifs

D'origine américaine, le FAST, c'est un outil analytique et schématique pour pratiquer l'analyse fonctionnelle technique. Il présente l'avantage d'ordonner graphiquement les fonctions en respectant un ordre logique. Il permet en outre :

- 1 d'ordonner la présentation des fonctions.
- 2 de contrôler la logique fonctionnelle.
- 3 de préfigurer le produit à travers la logique de satisfaction des fonctions.

### 1.8.2. Méthode d'élaboration :

La méthode consiste, à partir des fonctions des fonctions externes issues de l'AFB, à :

1. Identifier et sélectionner les fonctions d'ordre général (celles qui n'apportent rien à la logique de satisfaction des fonctions et de les séparer de celles qui figurent sur le diagramme FAST.
2. Organiser les fonctions restantes pour une solution technologique donnée, ce diagramme permet de représenter de façon synthétique un enchaînement hiérarchisé des fonctions techniques.

### 1.8.3. Le module élémentaire du FAST

A partir d'une fonction donnée, le module élémentaire du FAST s'établit en se posant les trois questions suivantes :

- 1 **Pourquoi?** : Cette question concerne la fonction précédente, la réponse commence par "*pour faire*".
- 2 **Comment?** : Cette question s'adresse à la fonction suivante, la réponse commence par "*en faisant*".
- 3 **Quant?** : Cette question s'applique à une ou à des fonctions situées au même niveau, la réponse commence par "*si simultanément, on fait*".

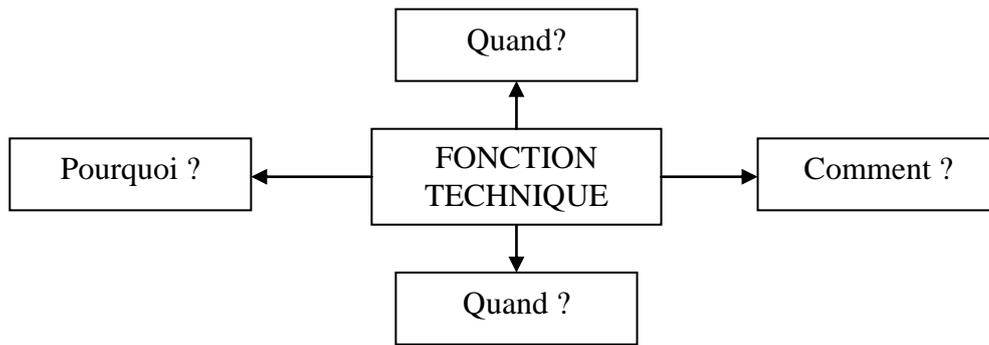


Figure 1-4: Présentation du module F.A.S.T

### 1.8.4. Diagramme fonctionnel (ou Arbre des fonctions)

L'arbre des fonctions s'élabore progressivement. Il existe 03 méthodes résumées dans le tableau ci-dessous:

<b>1<sup>ère</sup> méthode:</b>	<b>2<sup>ème</sup> méthode</b>	<b>3<sup>ème</sup> méthode:</b>
Issue de l'analyse des systèmes	Issue des techniques de créativité	indirecte, ou à l'envers
<i>L'objet est une boîte noire dans l'environnement. Les fonctions traduisent comment l'objet agit et réagit dans l'environnement : Il relie les éléments extérieur deux à deux et il s'oppose à d'autres éléments extérieurs. Avantage : Méthode rationnelle. Inconvénient : Impraticable sur des objet complexes</i>	<i>L'objet est un être vivant. On s'identifie à l'objet «On est»cet objet « On vit » comment l'objet agit et sur quoi il agit. Avantage : Méthode directe, rapide, efficace, qui centre très vite les fonctions au bon niveau.</i>	<i>Les analyses sur l'objet existant ou en projet, sa conception, sa fabrication, ses insatisfactions, révèlent les fonctions à assurer, dans le détail. Avantage : Méthode complémentaire et obligatoire qui enrichit l'arbre des fonctions.</i>

Tableau 1-2: Méthodes d'élaboration de l'arbre fonctionnel

---

*Chapitre II*

---

**ÉTUDE DE FAISABILITÉ  
DU  
BANC D'USURE**

---

De par leur concision, nous avons décidé de regrouper au sein de ce chapitre les deux premières étapes de notre démarche de conception, à savoir la perception du besoin et l'Analyse fonctionnelle.

## **2.1. PERCEPTION DU BESOIN**

### **2.1.1. Clarification de la tâche**

Faisant suite à la décision de lancer le développement d'un nouveau produit, cette première étape marque le début du processus de conception. Son objectif est de dégager, sur base de la définition initiale du problème, l'ensemble des spécifications auxquelles doit satisfaire le nouveau produit. Ces spécifications, réparties en trois catégories que sont les fonctions, les performances et les contraintes, sont reprises dans un cahier des charges permettant d'identifier par qui et à quel moment elles ont été introduites. Afin de laisser la plus grande latitude possible durant les étapes ultérieures de la conception, ce cahier des charges doit être fonctionnel. Autrement dit, il doit éviter toute allusion, explicite ou implicite, à des solutions particulières.

### **2.1.2. Détection du besoin**

Dans notre cas, les recherches effectuées au sein des laboratoires L.R.T.I dans le domaine "surface et interface des matériaux" ont fait apparaître un besoin, celui d'un banc d'usure de fabrication locale ayant au moins les capacités de son équivalent fabriqué ailleurs. Ce besoin a ensuite été traduit sous la forme d'un problème : "conception un banc d'usure pour boulets de broyage dont le sous système d'entraînement actionné par un moteur électrique a une fréquence de rotation fixe, et le sous système de pression est articulé utilisant une charge de contre poids pour la création de l'effort d'usure". La décision effective d'entamer le développement de ce banc d'usure a été prise suite à la validation et l'attribution de ce problème en tant que projet de fin d'études par le Comité Scientifique de Département de Génie Mécanique.

### **2.1.3. Énoncé du besoin**

Avant d'imposer un comment ou une solution, il faut se tourner vers l'utilisateur et/ou le demandeur, pour aboutir de manière structurée à la solution, car un projet n'a de sens que s'il satisfait le besoin. La phase de l'énoncé du besoin, concerne les attentes de l'utilisateur potentiel d'un produit. Il s'agit d'exprimer avec rigueur le but et les limites de l'étude, de façon est ce que l'énoncé du besoin fondamental sera mené à travers la recherche de la fonction globale. Sachant que le produit visé par notre étude est un produit non automatisé, la fonction globale sera formulée par une **Analyse Fonctionnelle Globale (AFG)** à travers l'utilisation du diagramme de la bête à cornes (qui est un des éléments de la méthode **APTE**) en répondant à quatre questions fondamentales (Figure. 2-1). Cet outil définit le besoin auquel répond le système.

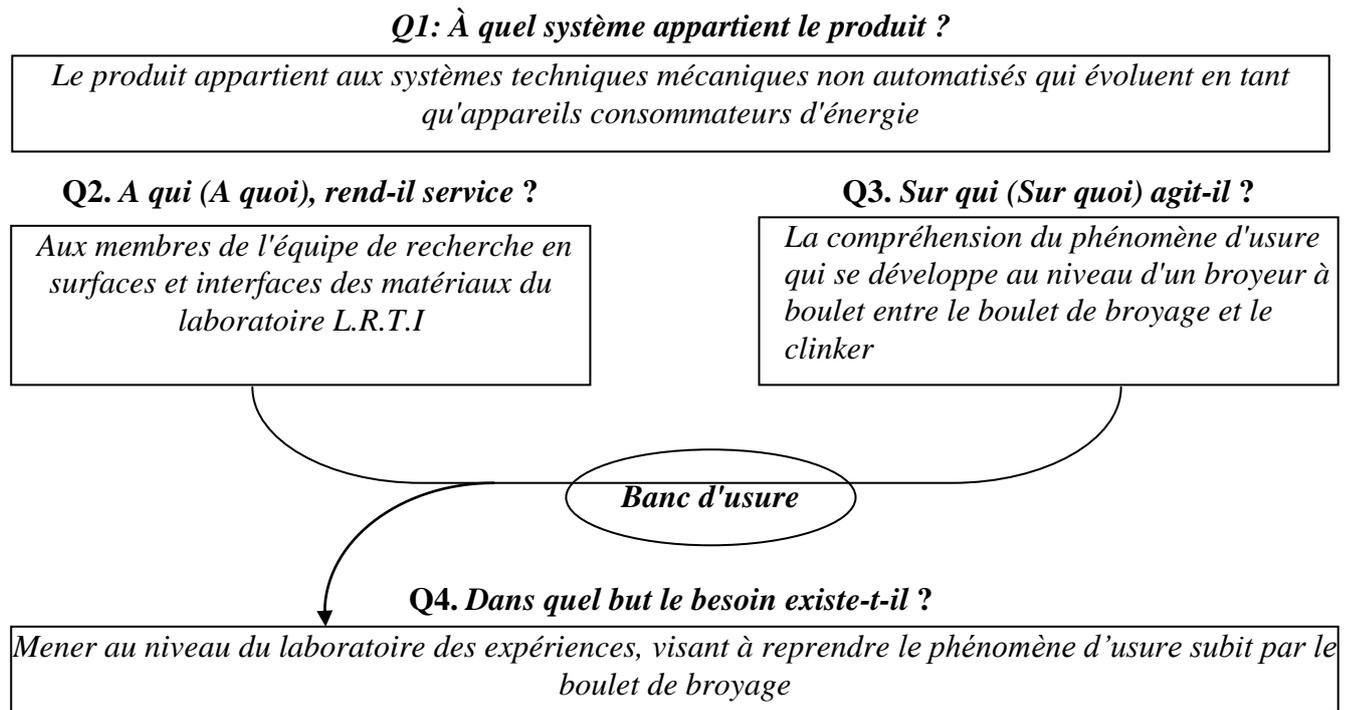


Figure 2-1. Diagramme de la bête à corne de la méthode APTE

#### 2.1.4. Validation du besoin

Le besoin fondamental sera validé s'il existe une réponse aux quatre questions suivantes :

**Q1: "Pourquoi ce système existe-t-il ?"** (La cause)

*PARCE QUE* il est difficile de réaliser des tests d'usure sur des boulets de broyage dans les conditions du processus réel

**Q2: "Pour quoi ce système existe-t-il ?"** (Le but)

*POUR* répéter autant qu'on veut le nombre de tests à mener sur les revêtements du boulet de broyage

**Q3: " Qu'est-ce qui pourrait faire évoluer ce système"**

- Le souhait de raffiner la compréhension des processus d'abrasion et d'usure pour boulet
- Le désir de valider les applications industrielles en coordination avec les utilisateurs industriels
- L'existence de la concurrence entre les principales variantes des systèmes de test qui son disponible actuellement
- Le besoin de produire une méthodologie concernant le test d'usure pour boulet

**Q4: "Qu'est ce qui pourrait faire disparaître le système"**

- L'application d'autres systèmes de test
- La disparition des revêtements de surface
- L'apparition d'une autre technologie pour les revêtements de surface

**Conclusion:** *Le banc d'usure rend service à l'équipe de recherche surfaces en ce sens qu'il agit sur le boulet de broyage pour provoquer l'usure entre le boulet, le ciment et le blindage du broyeur. Le besoin existe et il est réel.*

## 2.2. EXPRESSION FONCTIONNELLE DU BESOIN

Une étude n'est justifiée que si elle répond à un besoin validé; un besoin est validé que s'il est bien exprimé et un besoin est bien exprimé que s'il est bien analysé. A ce sujet, on a fait appel à un outil très utilisé dans la phase de conception et qui est l'Analyse Fonctionnelle.

L'analyse fonctionnelle est une démarche qui consiste à recenser, caractériser, hiérarchiser et valoriser les fonctions du produit (ou système). Suivant le cas, cette analyse peut être mise au service de deux types d'objectifs:

- a. L'expression fonctionnelle du besoin d'un système à concevoir. C'est ce qu'on dénomme communément l'Analyse Fonctionnelle Externe AFE (ou Analyse Fonctionnelle du Besoin AFB).
- b. L'étude et la compréhension d'un système existant associé à un besoin :
  - c'est ce qu'on dénomme communément l'Analyse Fonctionnelle Interne AFI (ou Analyse Fonctionnelle Technique AFT) qui permet la matérialisation des concepts de solutions techniques.
  - L'analyse fonctionnelle descendante permet la décomposition structurelle d'un système en sous-ensembles fonctionnels.

### 2.2.1. Diagramme des interacteurs

Le diagramme des interacteurs est un outil issu de la méthode APTE, et vise à identifier les fonctions d'un système ou d'un produit, et rechercher les fonctions attendues ainsi que leurs relations dans l'analyse fonctionnelle du besoin (ou analyse fonctionnelle externe).

Les relations entre les fonctions et l'objet vont être représentées dans "la pieuvre". Son avantage principal est de présenter synthétiquement et de manière conviviale ce que la littérature décrirait dans un document très long et peu explicite. Le diagramme des interacteurs de la Figure. 2-2, est la représentation graphique des milieux extérieurs associés au produit et dans lequel ils y sont inventoriés. Il met en évidence tous les éléments matériels ou immatériels qui constituent l'ensemble des composantes physiques, humaines, techniques et juridiques en relation avec le produit, et cela pendant soit son utilisation, sa mise en œuvre, ou sa réutilisation.

L'élaboration du diagramme des interacteurs, est fondée essentiellement sur l'inventaire systématique du milieu environnant à travers:

- L'identification de toutes les composantes du milieu environnant du produit;
- L'établissement de toutes les relations entre le produit et les composantes du milieu environnant;
- L'identification des relations entre le produit et une ou plusieurs composantes du milieu environnant en tant que fonctions de service devant être assurées par le produit en question.

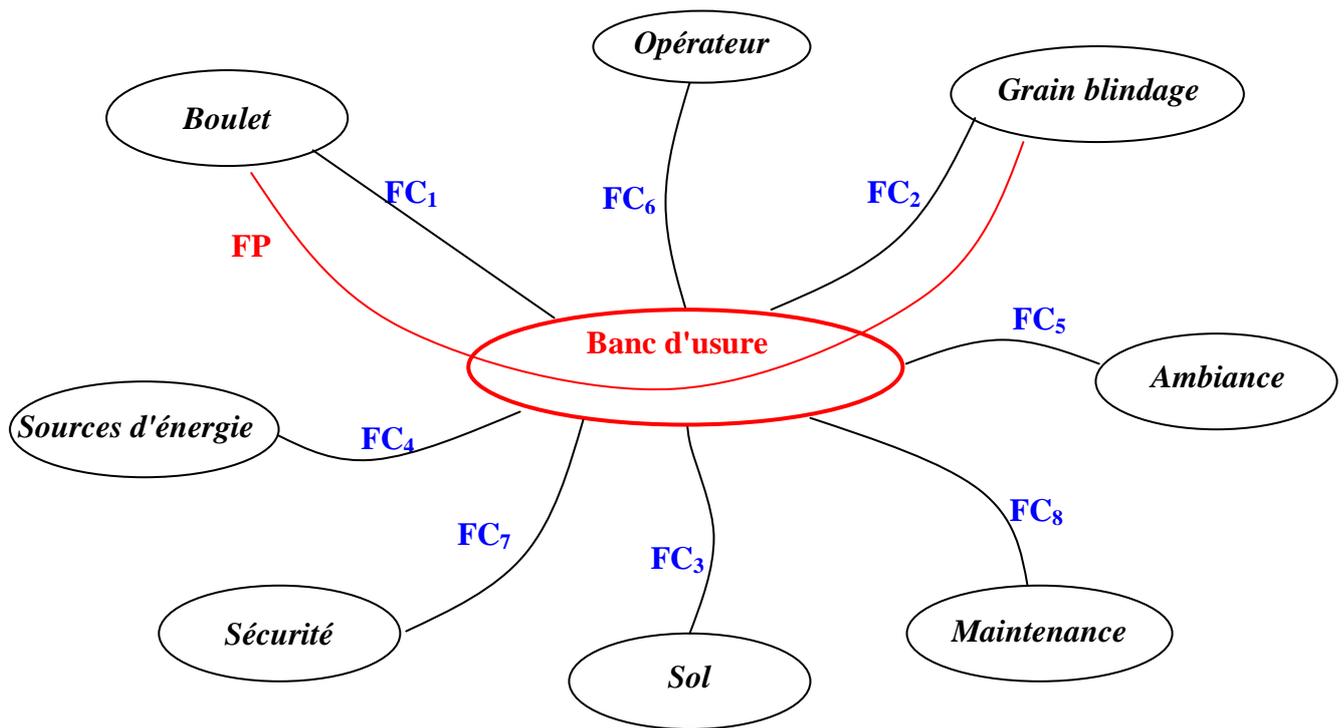


Figure 2-2. Diagramme des interacteurs de la méthode APTE

### 2.2.2. Définition des fonctions de service

La connaissance des fonctions découlant d'un besoin aide à mieux définir le produit qui satisfera ce besoin.

#### 2.2.2.1. Notion de fonction

L'analyse fonctionnelle fait appel à un vocabulaire normalisé qu'il faut maîtriser pour éviter toute confusion. Selon les normes AFNOR NF EN 1325 et NF X 50-150 →153, une fonction est définie comme suit:

*"La fonction l'action d'un produit ou l'un de ses constituants exprimée exclusivement en terme de finalité".*

La fonction est le critère de base dans l'analyse fonctionnelle, tel que :

- Les besoins et les CdCF sont *décrits* par fonction.
- Les éléments, les pièces et les opérations sont *classés* par fonction.
- Les coûts et les valeurs sont *estimés* par fonction.
- La recherche de solution est *menée* par fonction.

Tout "*produit*", en réponse à des "*besoins*" assure des "*fonctions*". La fonction est une notion abstraite, totalement indépendante des solutions.

### 2.2.2.2. Classification des fonctions

Selon les normes AFNOR NF EN 1325 et NF X 50-150 →153, on distinguera divers types de fonctions :

1. **Fonction de service [FS]** : action attendue d'un produit (ou réalisée par lui) pour répondre à un élément du besoin d'un utilisateur donné.
2. **Fonction technique [FT]**: Action interne au produit (entre ses constituants) choisie par le Concepteur-réalisateur, dans le cadre d'une solution pour assurer des fonctions de service.

Une fonction technique répond à un besoin technique du concepteur/réalisateur et peut être ignorée de l'utilisateur final du produit.

### 2.2.2.3. Fonction de service

Il faut souvent plusieurs fonctions de service pour répondre à un besoin. Les fonctions de service comprennent:

- Les fonctions d'usage [FU], qui représentent la partie rationnelle du besoin.
- Les fonctions d'estime [FE], qui représentent la partie subjective du besoin

On peut distinguer:

#### 1°. Fonctions principales

Ce sont les fonctions qui correspondent aux services rendus par le produit pour répondre aux besoins de l'utilisateur. Dans ce cas on parle de fonction d'interaction. Elles traduisent quelles sont les raisons pour lesquelles l'objet a été créé ? Pour chaque phase de son cycle de vie, il s'agit d'identifier les relations créées par l'objet entre deux ou plusieurs éléments de son milieu d'utilisation (extérieur à l'objet). Il faut ensuite exprimer le but de chaque relation créée, chaque but détermine ainsi une fonction principale. ***Une fonction principale est exprimée par 2 milieux extérieurs et un verbe.***

#### 2°. Fonctions contraintes

Ce sont les fonctions qui traduisent des réactions, des résistances ou des adaptations à des éléments du milieu extérieur. Dans ce cas on parle de fonction d'adaptation. Elles traduisent quelles sont les contraintes auxquelles l'objet doit satisfaire ? Pour chaque position d'utilisation, il s'agit de définir les contraintes imposées au produit par son milieu extérieur d'utilisation. Cela revient à identifier les relations entre l'objet et un élément du milieu d'environnement. Le but de ces relations est appelé fonction de contrainte. ***Une fonction de contrainte est exprimée par 1 milieu extérieur et un verbe.***

Les fonctions contraintes peuvent parvenir de façon différente :

- contrainte imposée par l'action d'un élément du milieu extérieur,
- contrainte d'interface avec un produit existant,
- exigence particulière (de l'utilisateur).

Fonctions d'interaction	Fonction	Énoncé
	FP	Le <b>[Banc d'usure]</b> doit permettre au <b>[grain de blindage]</b> <b>[d'abraser]</b> le <b>[Boulet de broyage]</b>
Fonctions d'adaptation	FC <sub>1</sub>	Il doit <b>[porter]</b> le <b>[boulet de broyage]</b>
	FC <sub>2</sub>	Il doit <b>[encastrer]</b> le <b>[grain de blindage]</b>
	FC <sub>31</sub>	Il doit <b>[être rigide]</b> par rapport au <b>[Sol]</b>
	FC <sub>32</sub>	Il doit <b>[être stable]</b> par rapport au <b>[Sol]</b>
	FC <sub>4</sub>	Il doit <b>[s'alimenter]</b> en <b>[énergie]</b>
	FC <sub>51</sub>	Il ne doit pas <b>générer d'agression sonore</b>
	FC <sub>52</sub>	Il doit <b>résister</b> aux <b>agressions chimiques</b>
	FC <sub>6</sub>	Il doit <b>être manoeuvré</b> par <b>l'opérateur</b>
	FC <sub>71</sub>	Il doit <b>se conformer</b> aux exigences réglementaires sur <b>la sécurité mécanique</b>
	FC <sub>72</sub>	Il doit <b>se conformer</b> aux exigences réglementaires sur <b>la sécurité électrique</b>
	FC <sub>81</sub>	Il doit <b>permettre</b> d'effectuer les <b>opérations de maintenance</b>
	FC <sub>82</sub>	Il doit <b>posséder</b> une <b>notice d'utilisation</b>
	FC <sub>83</sub>	Il doit <b>posséder</b> un <b>manuel d'entretien</b>

Tableau 2-1. Énoncé et formulation des fonctions de services

### 2.2.3. Validation des fonctions

Chaque fonction doit être validée en répondant aux questions suivantes :

- Pourquoi cette fonction ? *La réponse sera la cause, l'origine du besoin.*  
*On répond par : Parce que*
- Pour quoi cette fonction ? *La réponse donnera le but, la finalité du besoin.*  
*On répond par : Pour*
- Qu'est ce qui pourrait faire évoluer ou disparaître cette fonction ? *La réponse donnera les raisons de la non existence ou de la fonction.*
- La fonction est – elle stable ? *La réponse sera donnée sous forme d'une probabilité.*

## 2.2.3.1. Validation des fonctions d'interaction

Chaque fonction d'interaction, doit être validée en répondant aux questions suivantes :

FONCTION DE SERVICE	ENONCE	
	FP	FC1
CONTRÔLE DE VALIDITE	Le banc d'usure doit permettre au grain de blindage d'abraser le boulet de broyage	Le banc d'usure doit porter le boulet de broyage
Pourquoi cette fonction? (cause)	- Parce qu'il faut provoquer le phénomène d'usure par frottement sec entre le matériau du boulet de broyage et le matériau du grain de blindage	- Parce que le boulet doit être localisé et situé par rapport au banc lors des tests d'usure
Pour quoi ce pourquoi? (but)	- Pour quantifier la perte de matière par usure - Pour quantifier la perte d'énergie par frottement sec	- Pour assurer la mise en position du boulet en vue du test d'usure - Pour supporter le poids du boulet lors du test d'usure
Qu'est-ce qui pourrait faire disparaître la fonction?	- Disparition du phénomène d'usure par frottement sec	- Existence d'un système porte-boulet hors du banc d'usure
Probabilité de disparition	<i>improbable</i>	<i>Peu probable</i>
Conclusion	- La fonction existe, et elle est réelle - La fonction est stable sur le MTBF	- La fonction existe, et elle est réelle - La fonction est stable sur le MTBF

Tableau 2-2a. Validation des fonctions d'interaction

## 2.2.3.1. Validation des fonctions d'adaptation

Chaque fonction d'adaptation, doit être validée en répondant aux questions suivantes :

FONCTION DE SERVICE	ENONCE	
	FC2	FC31
CONTRÔLE DE VALIDITE	Le banc d'usure doit encasturer le grain de blindage	Le banc d'usure doit être rigide par rapport au sol
Pourquoi cette fonction? (cause)	- Parce qu'il faut localiser et situer le grain de blindage lors du test d'usure	- Parce qu'il doit recevoir et porter les organes qu'ils lui sont rapportés  - Parce qu'il ne doit pas bouger et se déformer par rapport au sol.
Pour quoi ce pourquoi? (but)	- Pour assurer la mise en position du grain en vue du test d'usure. - Pour assurer le maintien en position du grain lors du test d'usure	- Pour supporter le poids des organes qu'ils lui sont rapportés  - Pour positionner les organes du banc de test  - Pour assurer le guidage des organes mobiles
Qu'est-ce qui pourrait faire disparaître la fonction?	- Existence d'un système porte-grain hors du banc d'usure	- Absence d'organes rapportés au banc d'usure
Probabilité de disparition	Peu probable	impossible
Conclusion	- La fonction existe, et elle est réelle  - La fonction est stable sur le MTBF	- La fonction existe, et elle est réelle  - La fonction est stable sur le MTBF

Tableau 2-2b. Validation des fonctions d'adaptation

FONCTION DE SERVICE	ENONCE	
	FC32	FC4
CONTRÔLE DE VALIDITE	Le banc d'usure doit être stable sur le sol	Le banc d'usure doit s'alimenter en énergie électrique
Pourquoi cette fonction? (cause)	- Parce qu'il faut assurer la stabilité du banc d'usure par rapport au sol lors de son exploitation et de son utilisation	- Parce que le banc de test d'usure agit comme un système consommateur qui fonctionne à l'énergie électrique
Pour quoi ce pourquoi? (but)	Pour éviter le basculement et la perte d'équilibre du banc d'usure lors de sa manœuvre	- Pour modifier l'état du boulet de broyage en transformant l'énergie électrique en énergie mécanique.
Qu'est-ce qui pourrait faire disparaître la fonction?	- Maintenir le banc d'usure suspendu dans le laboratoire	- Existence d'une autre forme d'énergie
Probabilité de disparition	<i>improbable</i>	<i>Peu probable</i>
Conclusion	- La fonction existe, et elle est réelle  - La fonction est stable sur le MTBF	- La fonction existe, et elle est réelle  - La fonction est stable sur le MTBF

Tableau 2-2c. Validation des fonctions d'adaptation

FONCTION DE SERVICE	ENONCE	
	FC51	FC52
<b>CONTRÔLE DE VALIDITE</b>	Le banc d'usure ne doit pas générer d'agression sonore	Le banc d'usure doit résister aux agressions chimiques
Pourquoi cette fonction? (cause)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Parce qu'il ne doit pas occasionner des problèmes de santé à l'opérateur</li> <li>- Parce qu'il faut pas dépasser le seuil limite autorisé</li> </ul>	- parce qu'il doit résister aux actions de corrosion liées à l'humidité
Pour quoi ce pourquoi? (but)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pour ne pas dominer les capacités de l'opérateur au travail</li> <li>- Pour ne pas polluer le milieu environnant</li> <li>- Pour respecter les normes</li> </ul>	- Pour augmenter la durée de vie du banc d'usure
Qu'est-ce qui pourrait faire disparaître la fonction?	- Disposer d'un banc d'usure silencieux	- Utiliser des matériaux non métalliques
Probabilité de disparition	<i>Peu probable</i>	<i>Improbable</i>
Conclusion	<i>La fonction existe et elle est réelle</i>	<i>La fonction existe et elle est réelle</i>

Tableau 2-2d. Validation des fonctions d'adaptation

FONCTION DE SERVICE	ENONCE	
	FC6	FC71
<b>CONTRÔLE DE VALIDITE</b>	Le banc d'usure doit être manœuvré par l'opérateur.	Le banc d'usure doit se conformer aux exigences réglementaires sur la sécurité mécanique.
Pourquoi cette fonction? (cause)	<i>- Parce que le banc d'usure n'est pas automatisé</i>	<i>- Parce qu'il ne doit exposer l'utilisateur aux risques mécaniques.</i>
Pour quoi ce pourquoi? (but)	<i>Pour éviter le sur coût due au système automatisé</i>	<i>- Pour éviter à l'utilisateur des lésions produites par coups, chocs ou éléments coupants, piquants ou tranchants.</i>
Qu'est-ce qui pourrait faire disparaître la fonction?	<i>Automatise le banc d'usure</i>	<i>- Le banc d'usure ne doit pas être manipulé par l'opérateur</i>
Probabilité de disparition	<i>Peu probable</i>	<i>Impossible</i>
Conclusion	<i>- La fonction existe et elle est réelle</i>  <i>- La fonction est stable sur le MTBF</i>	<i>- La fonction existe et elle est réelle</i>  <i>- La fonction est stable sur le MTBF</i>

Tableau 2-2e. Validation des fonctions d'adaptation

FONCTION DE SERVICE	ENONCE	
	FC72	FC81
<b>CONTRÔLE DE VALIDITE</b>	Le banc d'usure doit se conformer aux exigences réglementaires sur la sécurité électrique.	Le banc d'usure doit permettre d'effectuer les opérations de maintenances
Pourquoi cette fonction? (cause)	- <i>Parce qu'il ne doit exposer l'utilisateur aux risques électriques.</i>	- <i>Parce qu'il faut conserver le potentiel du matériel</i>
Pour quoi ce pourquoi? (but)	- <i>Pour éviter à l'utilisateur des lésions produites par électrisation</i> - <i>Pour éviter à l'utilisateur le danger d'électrocution.</i>	- <i>Pour assurer la continuité et la qualité des tests</i>
Qu'est-ce qui pourrait faire disparaître la fonction?	- <i>Utiliser une autre forme d'énergie</i>	- <i>Absence de défaillance</i>
Probabilité de disparition	<i>Peu probable</i>	<i>Impossible</i>
Conclusion	<i>La fonction existe et elle est réelle</i>	<i>La fonction existe et elle est réelle</i>

Tableau 2-2f. Validation des fonctions d'adaptation

FONCTION DE SERVICE	ENONCE	
	FC82	FC83
<b>CONTRÔLE DE VALIDITE</b>	Le banc d'usure doit avoir un manuel d'entretien	Le banc d'usure doit avoir une notice d'utilisation
Pourquoi cette fonction? (cause)	- Parce qu'il doit subir des actions de maintenance préventive et corrective	- Parce qu'il faut indiquer à l'utilisateur comment se servir du banc d'usure
Pour quoi ce pourquoi? (but)	- Pour effectuer l'installation et la mise en route du banc d'usure  - Pour guider l'utilisateur dans les opérations de l'entretien courant et périodique, ainsi que dans les opérations de révision.	- Pour familiariser l'utilisateur avec le banc d'usure  - Pour tirer le maximum des avantages offerts par le banc d'usure.
Qu'est-ce qui pourrait faire disparaître la fonction?	- Si le banc d'usure na pas besoin d'entretien	- Utilisation anodine - Indications verbales
Probabilité de disparition	Peu probable	Peu probable
Conclusion	La fonction existe et elle est réelle	La fonction existe et elle est réelle

Tableau 2-2g. Validation des fonctions d'adaptation

### 2.2.4. Caractérisation des fonctions

Dans cette phase, la plus difficile, l'utilisateur met en évidence les performances que le produit fini devra atteindre. L'utilisateur devra caractériser le verbe qui exprime l'action sachant que, caractériser les fonctions de service revient à qualifier et quantifier ces fonctions.

A cet effet, Il s'agit pour l'utilisateur d'identifier la grandeur physique qui évolue et de préciser le critère qui va servir à son évaluation et le niveau que doit atteindre cette grandeur pour conclure quand à la réalisation de l'action concernée. Une fonction peut générer l'évolution de plusieurs grandeurs physiques. Pour chaque fonction de service, il faut:

- **qualifier** par des mots les critères de performances de l'action décrite par le verbe ou le groupe verbal: *ou?*; *quand?*; *comment?*; *combien?*
- **quantifier** pour chaque critère, le niveau de performance attendu et les limites d'acceptabilité
- **contrôler** la validité et la stabilité de ces critères et de ces valeurs

La caractérisation doit permettre d'apprécier une fonction ; ainsi chaque fonction sera caractérisée par un ou plusieurs critères, dont le niveau et la flexibilité associée seront précisés.

L'expression de la caractérisation est normalisée par la norme AFNOR. Dans cette norme, la flexibilité englobe la classe, les limites d'acceptation et le taux d'échange.

La classe relève du même concept que la hiérarchisation. Le taux d'échange injecte la notion de coût dans l'analyse. ( se reporter aux normes AFNOR NF EN 1325 et NF X 50-150 153)

#### 1°. Critère d'appréciation

C'est le caractère retenu pour apprécier la manière dont une fonction est remplie, ou une contrainte respectée. Dans la mesure du possible, le critère d'appréciation doit être accompagné d'une échelle permettant de situer son niveau.

- Pour chaque fonction externe, rechercher les critères d'appréciation de cette fonction.
- Pour chaque fonction, il faut souvent plusieurs critères d'appréciation de natures différentes

#### 2°. Niveau d'acceptation d'un critère

C'est une grandeur repérée dans l'échelle adoptée pour un critère d'appréciation d'une fonction. Cette grandeur peut être celle recherchée en tant qu'objectif, ou celle atteinte pour une solution proposée. Suivant le cas, la satisfaction du besoin de l'utilisateur croît ou décroît avec le niveau ou encore présente un optimum.

- Pour chaque critère d'appréciation, préciser le niveau d'acceptation.
- La formulation d'un critère en terme de qualité doit se compléter par son niveau, si possible qualitatif, pour acceptation ou refus du produit de la part de l'utilisateur.

### **3°. Flexibilité d'un critère**

C'est un ensemble d'indications exprimées par le demandeur sur les possibilités de moduler le niveau recherché pour un critère d'appréciation. La prise en compte de la flexibilité des niveaux est une des caractéristiques fondamentales du cahier des charges fonctionnel. Elle permet d'organiser le dialogue entre partenaires dans la recherche d'une véritable optimisation.

Tout niveau de critère d'appréciation est assorti d'une indication de flexibilité qui peut s'exprimer :

- Qualitativement par des classes de flexibilité.
- Quantitativement sous forme de limites d'acceptation.

La tolérance liée à la valeur nominale du niveau fait partie intégrante de ce niveau. Il ne faut pas la confondre avec la flexibilité.

La flexibilité est fondée sur trois paramètres : Classe de flexibilité, limite d'acceptation et le taux d'échange.

#### **a. Classe de flexibilité**

C'est une indication littérale, placée auprès d'un critère d'appréciation permettant de préciser son degré de négociabilité ou d'impérativité. On peut par exemple définir quatre classes de flexibilité :

- Flexibilité nulle (F0) : Niveau impératif
- Flexibilité faible (F1) : Niveau peu négociable.
- Flexibilité moyenne (F2) : Niveau négociable.
- Flexibilité forte (F3) : Niveau très négociable.

#### **b. Limites d'acceptation**

C'est un niveau de critère d'appréciation au delà duquel, ou en deçà suivant le cas, le besoin est jugé non satisfaisant. Toute solution ne respectant pas ou plus une limite d'acceptation est inacceptable. De ce fait, le demandeur doit être extrêmement conscient des conséquences du choix des limites.

#### **c. Taux d'échange**

C'est le rapport déclaré acceptable par l'utilisateur entre la variation du prix (ou du coût) et la variation correspondante du niveau d'un critère d'appréciation, ou entre les variations de niveau de deux critères d'appréciation.

	Caractéristiques des milieux extérieurs	Critères d'appréciation	Niveau d'acceptation du critère	Flexibilité		
				Classe de flexibilité	Limite d'acceptation	Taux d'échange
<b>FP</b>	Le banc d'usure doit permettre au grain de blindage d'abraser le boulet de broyage.	- <i>Durée</i> - <i>Effort de contact</i> - <i>Rotation du boulet</i>	- <i>8 H</i> - <i>150 N</i> - <i>900 tr/min</i>	2 3 0	$\pm 2 H$ $\pm 10 N$	
<b>FC<sub>1</sub></b>	Le banc d'usure doit porter le boulet de broyage.	- <i>Masse du boulet</i> - <i>Ø du boulet</i>	- <i>5 Kg</i> - <i>100 mm</i>	0 1	$\pm 10 mm$	
<b>FC<sub>2</sub></b>	Le banc d'usure doit encasturer le grain de blindage.	- <i>Effort de fixation</i> - <i>Surface d'encastrement</i>				
<b>FC<sub>31</sub></b>	Le banc d'usure doit être rigide par rapport au sol	- <i>Type de bâti</i> - <i>Mode réalisation</i> - <i>Matériau employé</i>	- <i>Châssis</i> - <i>Assemblage</i> - <i>Acier laminé</i>	1 3 1		
<b>FC<sub>32</sub></b>	Le banc d'usure doit être stable par rapport au sol	- <i>Surface au sol</i> - <i>Position du CdG / sol</i>	- <i>0.25 m<sup>2</sup></i> - <i>le plus bas possible</i>	2 3		
<b>FC<sub>4</sub></b>	Le banc d'usure doit s'alimenter en énergie électrique	- <i>Tension</i> - <i>Ampérage</i> - <i>Protection</i>	- <i>220 / 230 V</i> - <i>Conforme aux normes</i>	1 0		

Niveaux de flexibilité → 0=Impératif    1=Peu négociable    2=Négociable    3=Très négociable

Tableau 2-3a. Caractérisation des fonctions de service

	Caractéristiques des milieux extérieurs	Critères d'appréciation	Niveau d'acceptation du critère	Flexibilité		
				Classe de flexibilité	Limite d'acceptation	Taux d'échange
<b>FC<sub>51</sub></b>	Le banc d'usure ne doit pas générer d'agression sonore.	- <i>Seuil limite autorisé</i>	<i>85db/8h/jour</i> <i>NF EN 292-1</i>	0 0		
<b>FC<sub>52</sub></b>	Le banc d'usure doit résister aux agressions chimiques.	- <i>Qualité des composants</i>	<i>. NF EN 292-1</i>	0		
<b>FC<sub>6</sub></b>	Le banc d'usure doit être manœuvré par l'opérateur	- <i>Commande manuelle</i>	- <i>Directive machine.</i>	0		
<b>FC<sub>71</sub></b>	Le banc d'usure doit se conformer aux exigences réglementaires sur la sécurité mécanique		<i>NF EN 292-1</i>	0		
<b>FC<sub>72</sub></b>	Le banc d'usure doit se conformer aux exigences réglementaires sur la sécurité électrique		<i>NF EN 292-1</i>	0		
<b>FC<sub>81</sub></b>	Le banc d'usure doit permettre d'effectuer les opérations de maintenances		<i>NF EN 292-1</i>			
<b>FC<sub>82</sub></b>	Le banc d'usure doit posséder un manuel d'entretien.	- <i>Clarté de l'information.</i> - <i>Compréhension par néophyte.</i> - <i>Qualité nomenclatures et schémas.</i>	<i>NF EN 292-1</i>	0		
<b>FC<sub>83</sub></b>	Le banc d'usure doit posséder une notice d'utilisation.	- <i>Clarté de l'information.</i> - <i>Compréhension par néophyte.</i> - <i>Qualité nomenclatures et schémas.</i>	<i>NF EN 292-1</i>	0		

Niveaux de flexibilité → 0=Impératif      1=Peu négociable      2=Négociable      3=Très négociable

**Tableau 2-3b.** Caractérisation des fonctions de service

**2.2.5. Hiérarchisation des fonctions**

Toutes les fonctions n'ont pas la même importance, d'où la nécessité de les ordonner et de les classer. L'utilisateur commence tout d'abord par classer les fonctions en utilisant un outil approprié puis leur donner une poids relatif

**1°. Ordonner les fonctions**

Dans cette phase l'utilisateur, va classer toutes les fonctions externes c'est à dire établir leur ordre d'importance. Il est possible de préciser leur importance relative soit en utilisant une échelle d'importance, soit en utilisant la technique du tri croisé.

**a. Echelle d'importance**

En dressant une échelle de 1 à 5, on pourra utiliser le tableau suivant :

K	Importance
1	Utile
2	Nécessaire
3	Importante
4	Très importante
5	Vitale

Tableau 2-4. Echelle d'importance

**b. La méthode du tri croisé.**

Les tris croisés, permettent de mettre en évidence les différences de supériorités entre les fonctions étudiées. Le croisement des fonctions est obtenu sur une matrice carrée, où pour chaque fonction (en ligne) on note sa supériorité par rapport à toutes les autres fonctions (en colonne). La notation conseillée est la suivante (figure 2-3):

- 1 : Légèrement supérieure ou égale
- 2 : Moyennement supérieure.
- 3 : Très nettement supérieure.
- 0 : non admis en première cotation, utilisé si rééquilibrage.

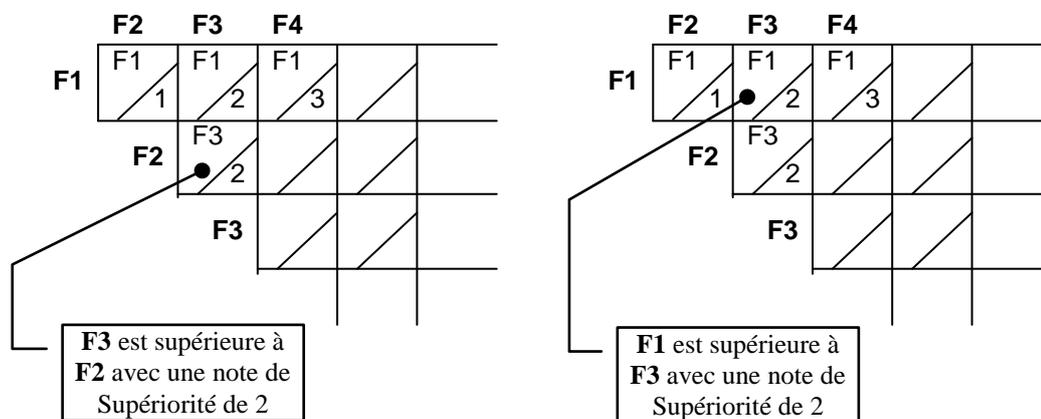


Figure 2-3. Principe du tri croisé

Pour notre étude, on a opté pour la méthode du tri croisé qui convient le mieux à ce type de problème. Une fois le barème adopté, une matrice triangulaire supérieure permet de faire le tri des fonctions en leur attribuant des notes qui jugent leur supériorité relative afin de dégager leur degré d'importance. Le tableau 2-5, expose la matrice du tri concernant les fonction de service su banc d'usure objet de notre étude.

→	FC <sub>1</sub>	FC <sub>2</sub>	FC <sub>31</sub>	FC <sub>32</sub>	FC <sub>4</sub>	FC <sub>51</sub>	FC <sub>52</sub>	FC <sub>6</sub>	FC <sub>71</sub>	FC <sub>72</sub>	FC <sub>81</sub>	FC <sub>82</sub>	FC <sub>83</sub>	Total	Taux
FP	FP 1	FP 1	FC <sub>31</sub> 1	FC <sub>32</sub> 1	FC <sub>4</sub> 1	FP 3	FP 2	FP 1	FC <sub>71</sub> 1	FC <sub>72</sub> 1	FP 1	FP 2	FP 3	14	8%
	FC <sub>1</sub>	FC <sub>1</sub> 1	FC <sub>31</sub> 1	FC <sub>32</sub> 1	FC <sub>4</sub> 2	FC <sub>1</sub> 3	FC <sub>1</sub> 2	FC <sub>1</sub> 1	FC <sub>71</sub> 3	FC <sub>72</sub> 3	FC <sub>1</sub> 1	FC <sub>1</sub> 2	FC <sub>1</sub> 2	12	6.86%
		FC <sub>2</sub>	FC <sub>31</sub> 1	FC <sub>32</sub> 1	FC <sub>4</sub> 2	FC <sub>2</sub> 3	FC <sub>2</sub> 2	FC <sub>2</sub> 1	FC <sub>71</sub> 3	FC <sub>72</sub> 3	FC <sub>81</sub> 1	FC <sub>2</sub> 2	FC <sub>2</sub> 2	10	5.71%
			FC <sub>31</sub>	FC <sub>32</sub> 1	FC <sub>4</sub> 1	FC <sub>31</sub> 3	FC <sub>52</sub> 2	FC <sub>31</sub> 1	FC <sub>71</sub> 3	FC <sub>72</sub> 3	FC <sub>31</sub> 1	FC <sub>31</sub> 1	FC <sub>31</sub> 2	11	6.29%
				FC <sub>32</sub>	FC <sub>4</sub> 1	FC <sub>32</sub> 3	FC <sub>32</sub> 2	FC <sub>32</sub> 1	FC <sub>71</sub> 3	FC <sub>72</sub> 3	FC <sub>32</sub> 1	FC <sub>32</sub> 1	FC <sub>32</sub> 2	14	8%
					FC <sub>4</sub>	FC <sub>4</sub> 3	FC <sub>4</sub> 2	FC <sub>4</sub> 2	FC <sub>71</sub> 3	FC <sub>72</sub> 3	FC <sub>4</sub> 1	FC <sub>4</sub> 2	FC <sub>4</sub> 2	19	10.85%
						FC <sub>52</sub>	FC <sub>51</sub> 2	FC <sub>71</sub> 2	FC <sub>72</sub> 3	FC <sub>81</sub> 3	FC <sub>82</sub> 1	FC <sub>83</sub> 2	FC <sub>83</sub> 1	2	1.14%
							FC <sub>52</sub>	FC <sub>71</sub> 2	FC <sub>72</sub> 3	FC <sub>81</sub> 3	FC <sub>82</sub> 2	FC <sub>52</sub> 1	FC <sub>52</sub> 3	9	5.14%
								FC <sub>6</sub>	FC <sub>71</sub> 3	FC <sub>72</sub> 3	FC <sub>6</sub> 2	FC <sub>82</sub> 2	FC <sub>83</sub> 2	2	1.14%
									FC <sub>71</sub>	FC <sub>71</sub> 1	FC <sub>71</sub> 1	FC <sub>71</sub> 3	FC <sub>71</sub> 3	33	18.86%
										FC <sub>72</sub>	FC <sub>72</sub> 1	FC <sub>72</sub> 3	FC <sub>72</sub> 3	32	18.29%
											FC <sub>81</sub>	FC <sub>81</sub> 1	FC <sub>81</sub> 2	7	4%
												FC <sub>83</sub>	FC <sub>83</sub> 2	5	2.86%
													FC <sub>83</sub>	5	2.86%
														175	100%

Tableau 2-5. Hiérarchisation des fonctions de service du banc d'usure

2°. Sélection des fonctions

Pour simplifier l'étude d'un problème en n'en retenant que les fonctions les plus significatives, on utilise un outil appelé "Diagramme de PARETO" (figure 2-4).

(Désignations similaires: Méthode 80/20, Carré de Gini Courbe ABC, Courbe des fréquences cumulées, Loi de Galton, Loi de l'effet proportionnel de Gibrat, Loi de distribution gaussio-logarithmique, Loi log-normale.)

Cet outil a pour but de sélectionner, dans une population, les fonctions les plus représentatives en regard d'un critère chiffrable. Néanmoins, il possède des contraintes d'utilisation tel que :

- le critère de sélection retenu soit chiffrable.
- Le nombre de sujet composant la population doit être supérieur à 10 pour être conforme à la notion de statistique.

La méthodologie adoptée pour l'établissement du diagramme de Pareto, est donnée par l'enchaînement des étapes suivantes:

- 1- Collecter les données relatives au problème
- 2- Définir un premier critère de sélection des sujets
- 3- Valoriser pour chaque sujet le critère
- 4- Classer les sujets dans l'ordre décroissant de la valeur du critère
- 5- Calculer les valeurs cumulées du critère (dans l'ordre de classement)
- 6- Confectionner le tableau ou tracer la courbe des fréquences cumulées
- 7- Interpréter le tableau ou la courbe
- 8- Répéter les étapes 2 à 7 avec un nouveau critère afin de confirmer les résultats

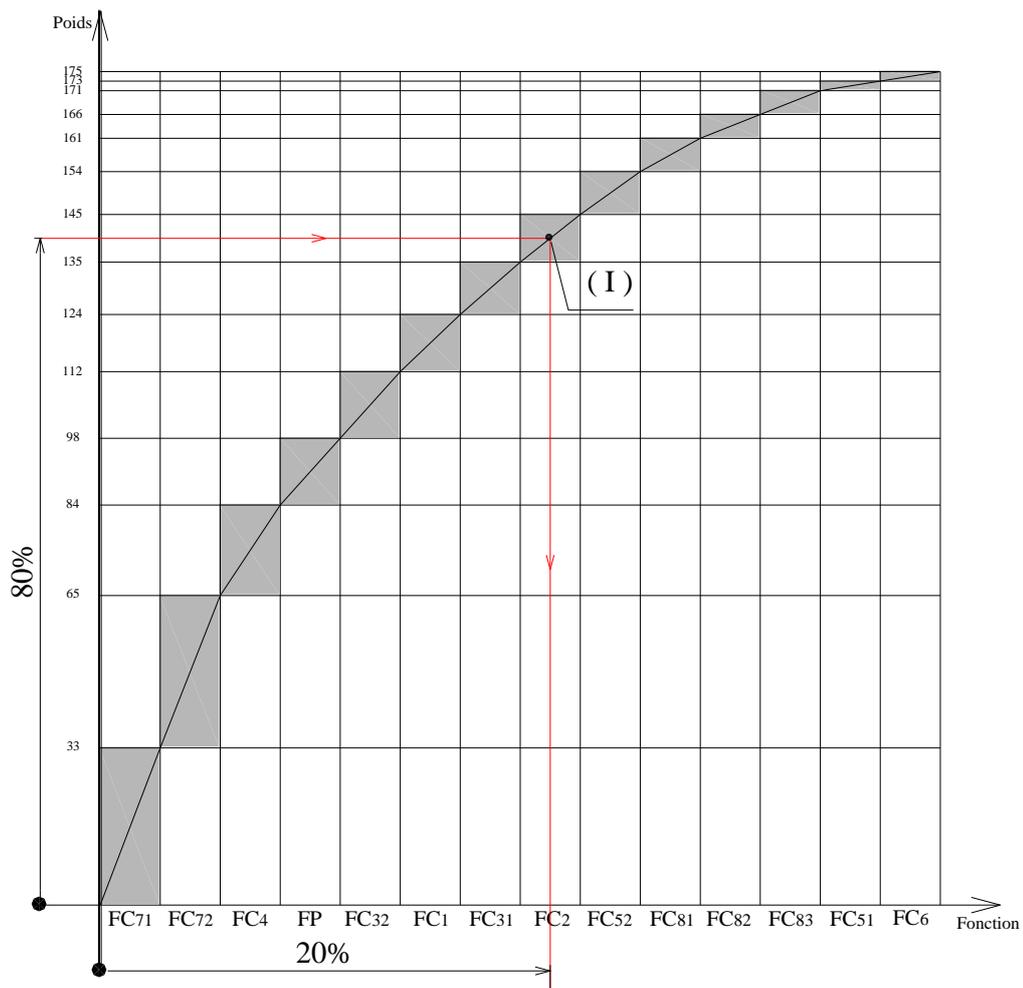


Figure 2-4. Sélection des fonctions de service les plus significatives

---

*Chapitre II*

---

**ÉTUDE DE FAISABILITÉ  
DU  
BANC D'USURE**

---

De par leur concision, nous avons décidé de regrouper au sein de ce chapitre les deux premières étapes de notre démarche de conception, à savoir la perception du besoin et l'Analyse fonctionnelle.

## **2.1. PERCEPTION DU BESOIN**

### **2.1.1. Clarification de la tâche**

Faisant suite à la décision de lancer le développement d'un nouveau produit, cette première étape marque le début du processus de conception. Son objectif est de dégager, sur base de la définition initiale du problème, l'ensemble des spécifications auxquelles doit satisfaire le nouveau produit. Ces spécifications, réparties en trois catégories que sont les fonctions, les performances et les contraintes, sont reprises dans un cahier des charges permettant d'identifier par qui et à quel moment elles ont été introduites. Afin de laisser la plus grande latitude possible durant les étapes ultérieures de la conception, ce cahier des charges doit être fonctionnel. Autrement dit, il doit éviter toute allusion, explicite ou implicite, à des solutions particulières.

### **2.1.2. Détection du besoin**

Dans notre cas, les recherches effectuées au sein des laboratoires L.R.T.I dans le domaine "surface et interface des matériaux" ont fait apparaître un besoin, celui d'un banc d'usure de fabrication locale ayant au moins les capacités de son équivalent fabriqué ailleurs. Ce besoin a ensuite été traduit sous la forme d'un problème : "conception un banc d'usure pour boulets de broyage dont le sous système d'entraînement actionné par un moteur électrique a une fréquence de rotation fixe, et le sous système de pression est articulé utilisant une charge de contre poids pour la création de l'effort d'usure". La décision effective d'entamer le développement de ce banc d'usure a été prise suite à la validation et l'attribution de ce problème en tant que projet de fin d'études par le Comité Scientifique de Département de Génie Mécanique.

### **2.1.3. Énoncé du besoin**

Avant d'imposer un comment ou une solution, il faut se tourner vers l'utilisateur et/ou le demandeur, pour aboutir de manière structurée à la solution, car un projet n'a de sens que s'il satisfait le besoin. La phase de l'énoncé du besoin, concerne les attentes de l'utilisateur potentiel d'un produit. Il s'agit d'exprimer avec rigueur le but et les limites de l'étude, de façon est ce que l'énoncé du besoin fondamental sera mené à travers la recherche de la fonction globale. Sachant que le produit visé par notre étude est un produit non automatisé, la fonction globale sera formulée par une **Analyse Fonctionnelle Globale (AFG)** à travers l'utilisation du diagramme de la bête à cornes (qui est un des éléments de la méthode **APTE**) en répondant à quatre questions fondamentales (Figure. 2-1). Cet outil définit le besoin auquel répond le système.

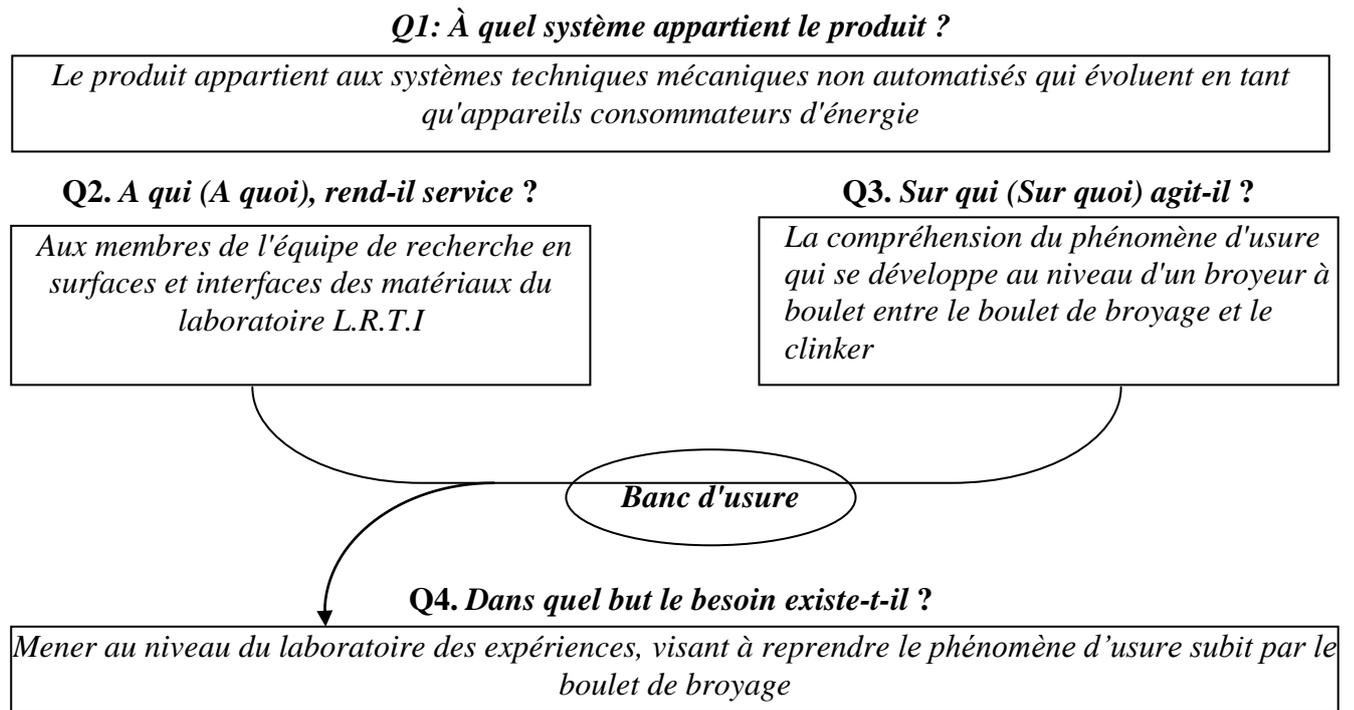


Figure 2-1. Diagramme de la bête à corne de la méthode APTE

#### 2.1.4. Validation du besoin

Le besoin fondamental sera validé s'il existe une réponse aux quatre questions suivantes :

**Q1: "Pourquoi ce système existe-t-il ?"** (La cause)

*PARCE QUE* il est difficile de réaliser des tests d'usure sur des boulets de broyage dans les conditions du processus réel

**Q2: "Pour quoi ce système existe-t-il ?"** (Le but)

*POUR* répéter autant qu'on veut le nombre de tests à mener sur les revêtements du boulet de broyage

**Q3: " Qu'est-ce qui pourrait faire évoluer ce système"**

- Le souhait de raffiner la compréhension des processus d'abrasion et d'usure pour boulet
- Le désir de valider les applications industrielles en coordination avec les utilisateurs industriels
- L'existence de la concurrence entre les principales variantes des systèmes de test qui son disponible actuellement
- Le besoin de produire une méthodologie concernant le test d'usure pour boulet

**Q4: "Qu'est ce qui pourrait faire disparaître le système"**

- L'application d'autres systèmes de test
- La disparition des revêtements de surface
- L'apparition d'une autre technologie pour les revêtements de surface

**Conclusion:** *Le banc d'usure rend service à l'équipe de recherche surfaces en ce sens qu'il agit sur le boulet de broyage pour provoquer l'usure entre le boulet, le ciment et le blindage du broyeur. Le besoin existe et il est réel.*

## 2.2. EXPRESSION FONCTIONNELLE DU BESOIN

Une étude n'est justifiée que si elle répond à un besoin validé; un besoin est validé que s'il est bien exprimé et un besoin est bien exprimé que s'il est bien analysé. A ce sujet, on a fait appel à un outil très utilisé dans la phase de conception et qui est l'Analyse Fonctionnelle.

L'analyse fonctionnelle est une démarche qui consiste à recenser, caractériser, hiérarchiser et valoriser les fonctions du produit (ou système). Suivant le cas, cette analyse peut être mise au service de deux types d'objectifs:

- a. L'expression fonctionnelle du besoin d'un système à concevoir. C'est ce qu'on dénomme communément l'Analyse Fonctionnelle Externe AFE (ou Analyse Fonctionnelle du Besoin AFB).
- b. L'étude et la compréhension d'un système existant associé à un besoin :
  - c'est ce qu'on dénomme communément l'Analyse Fonctionnelle Interne AFI (ou Analyse Fonctionnelle Technique AFT) qui permet la matérialisation des concepts de solutions techniques.
  - L'analyse fonctionnelle descendante permet la décomposition structurelle d'un système en sous-ensembles fonctionnels.

### 2.2.1. Diagramme des interacteurs

Le diagramme des interacteurs est un outil issu de la méthode APTE, et vise à identifier les fonctions d'un système ou d'un produit, et rechercher les fonctions attendues ainsi que leurs relations dans l'analyse fonctionnelle du besoin (ou analyse fonctionnelle externe).

Les relations entre les fonctions et l'objet vont être représentées dans "la pieuvre". Son avantage principal est de présenter synthétiquement et de manière conviviale ce que la littérature décrirait dans un document très long et peu explicite. Le diagramme des interacteurs de la Figure. 2-2, est la représentation graphique des milieux extérieurs associés au produit et dans lequel ils y sont inventoriés. Il met en évidence tous les éléments matériels ou immatériels qui constituent l'ensemble des composantes physiques, humaines, techniques et juridiques en relation avec le produit, et cela pendant soit son utilisation, sa mise en œuvre, ou sa réutilisation.

L'élaboration du diagramme des interacteurs, est fondée essentiellement sur l'inventaire systématique du milieu environnant à travers:

- L'identification de toutes les composantes du milieu environnant du produit;
- L'établissement de toutes les relations entre le produit et les composantes du milieu environnant;
- L'identification des relations entre le produit et une ou plusieurs composantes du milieu environnant en tant que fonctions de service devant être assurées par le produit en question.

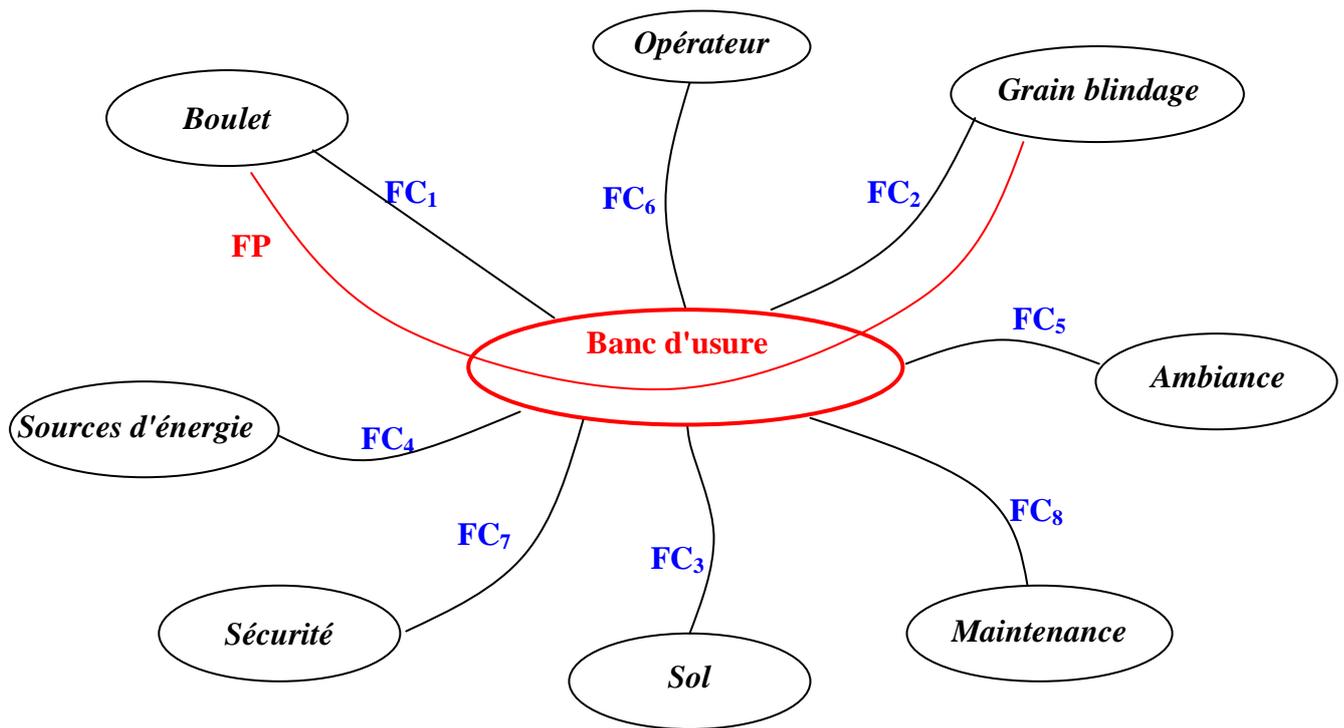


Figure 2-2. Diagramme des interacteurs de la méthode APTE

### 2.2.2. Définition des fonctions de service

La connaissance des fonctions découlant d'un besoin aide à mieux définir le produit qui satisfera ce besoin.

#### 2.2.2.1. Notion de fonction

L'analyse fonctionnelle fait appel à un vocabulaire normalisé qu'il faut maîtriser pour éviter toute confusion. Selon les normes AFNOR NF EN 1325 et NF X 50-150 →153, une fonction est définie comme suit:

*"La fonction l'action d'un produit ou l'un de ses constituants exprimée exclusivement en terme de finalité".*

La fonction est le critère de base dans l'analyse fonctionnelle, tel que :

- Les besoins et les CdCF sont **décrits** par fonction.
- Les éléments, les pièces et les opérations sont **classés** par fonction.
- Les coûts et les valeurs sont **estimés** par fonction.
- La recherche de solution est **menée** par fonction.

Tout **"produit"**, en réponse à des **"besoins"** assure des **"fonctions"**. La fonction est une notion abstraite, totalement indépendante des solutions.

### 2.2.2.2. Classification des fonctions

Selon les normes AFNOR NF EN 1325 et NF X 50-150 →153, on distinguera divers types de fonctions :

1. **Fonction de service [FS]** : action attendue d'un produit (ou réalisée par lui) pour répondre à un élément du besoin d'un utilisateur donné.
2. **Fonction technique [FT]**: Action interne au produit (entre ses constituants) choisie par le Concepteur-réalisateur, dans le cadre d'une solution pour assurer des fonctions de service.

Une fonction technique répond à un besoin technique du concepteur/réalisateur et peut être ignorée de l'utilisateur final du produit.

### 2.2.2.3. Fonction de service

Il faut souvent plusieurs fonctions de service pour répondre à un besoin. Les fonctions de service comprennent:

- Les fonctions d'usage [FU], qui représentent la partie rationnelle du besoin.
- Les fonctions d'estime [FE], qui représentent la partie subjective du besoin

On peut distinguer:

#### 1°. Fonctions principales

Ce sont les fonctions qui correspondent aux services rendus par le produit pour répondre aux besoins de l'utilisateur. Dans ce cas on parle de fonction d'interaction. Elles traduisent quelles sont les raisons pour lesquelles l'objet a été créé ? Pour chaque phase de son cycle de vie, il s'agit d'identifier les relations créées par l'objet entre deux ou plusieurs éléments de son milieu d'utilisation (extérieur à l'objet). Il faut ensuite exprimer le but de chaque relation créée, chaque but détermine ainsi une fonction principale. ***Une fonction principale est exprimée par 2 milieux extérieurs et un verbe.***

#### 2°. Fonctions contraintes

Ce sont les fonctions qui traduisent des réactions, des résistances ou des adaptations à des éléments du milieu extérieur. Dans ce cas on parle de fonction d'adaptation. Elles traduisent quelles sont les contraintes auxquelles l'objet doit satisfaire ? Pour chaque position d'utilisation, il s'agit de définir les contraintes imposées au produit par son milieu extérieur d'utilisation. Cela revient à identifier les relations entre l'objet et un élément du milieu d'environnement. Le but de ces relations est appelé fonction de contrainte. ***Une fonction de contrainte est exprimée par 1 milieu extérieur et un verbe.***

Les fonctions contraintes peuvent parvenir de façon différente :

- contrainte imposée par l'action d'un élément du milieu extérieur,
- contrainte d'interface avec un produit existant,
- exigence particulière (de l'utilisateur).

Fonctions d'interaction	Fonction	Énoncé
FP		Le <b>[Banc d'usure]</b> doit permettre au <b>[grain de blindage]</b> <b>[d'abraser]</b> le <b>[Boulet de broyage]</b>
Fonctions d'adaptation	FC <sub>1</sub>	Il doit <b>[porter]</b> le <b>[boulet de broyage]</b>
	FC <sub>2</sub>	Il doit <b>[encastrer]</b> le <b>[grain de blindage]</b>
	FC <sub>31</sub>	Il doit <b>[être rigide]</b> par rapport au <b>[Sol]</b>
	FC <sub>32</sub>	Il doit <b>[être stable]</b> par rapport au <b>[Sol]</b>
	FC <sub>4</sub>	Il doit <b>[s'alimenter]</b> en <b>[énergie]</b>
	FC <sub>51</sub>	Il ne doit pas <b>générer d'agression sonore</b>
	FC <sub>52</sub>	Il doit <b>résister</b> aux <b>agressions chimiques</b>
	FC <sub>6</sub>	Il doit <b>être manoeuvré</b> par <b>l'opérateur</b>
	FC <sub>71</sub>	Il doit <b>se conformer</b> aux exigences réglementaires sur <b>la sécurité mécanique</b>
	FC <sub>72</sub>	Il doit <b>se conformer</b> aux exigences réglementaires sur <b>la sécurité électrique</b>
	FC <sub>81</sub>	Il doit <b>permettre</b> d'effectuer les <b>opérations de maintenance</b>
	FC <sub>82</sub>	Il doit <b>posséder</b> une <b>notice d'utilisation</b>
	FC <sub>83</sub>	Il doit <b>posséder</b> un <b>manuel d'entretien</b>

Tableau 2-1. Énoncé et formulation des fonctions de services

### 2.2.3. Validation des fonctions

Chaque fonction doit être validée en répondant aux questions suivantes :

- Pourquoi cette fonction ? *La réponse sera la cause, l'origine du besoin.*  
*On répond par : Parce que*
- Pour quoi cette fonction ? *La réponse donnera le but, la finalité du besoin.*  
*On répond par : Pour*
- Qu'est ce qui pourrait faire évoluer ou disparaître cette fonction ? *La réponse donnera les raisons de la non existence ou de la fonction.*
- La fonction est – elle stable ? *La réponse sera donnée sous forme d'une probabilité.*

## 2.2.3.1. Validation des fonctions d'interaction

Chaque fonction d'interaction, doit être validée en répondant aux questions suivantes :

FONCTION DE SERVICE	ENONCE	
	FP	FC1
CONTRÔLE DE VALIDITE	Le banc d'usure doit permettre au grain de blindage d'abraser le boulet de broyage	Le banc d'usure doit porter le boulet de broyage
Pourquoi cette fonction? (cause)	- Parce qu'il faut provoquer le phénomène d'usure par frottement sec entre le matériau du boulet de broyage et le matériau du grain de blindage	- Parce que le boulet doit être localisé et situé par rapport au banc lors des tests d'usure
Pour quoi ce pourquoi? (but)	- Pour quantifier la perte de matière par usure - Pour quantifier la perte d'énergie par frottement sec	- Pour assurer la mise en position du boulet en vue du test d'usure - Pour supporter le poids du boulet lors du test d'usure
Qu'est-ce qui pourrait faire disparaître la fonction?	- Disparition du phénomène d'usure par frottement sec	- Existence d'un système porte-boulet hors du banc d'usure
Probabilité de disparition	<i>improbable</i>	<i>Peu probable</i>
Conclusion	- La fonction existe, et elle est réelle - La fonction est stable sur le MTBF	- La fonction existe, et elle est réelle - La fonction est stable sur le MTBF

Tableau 2-2a. Validation des fonctions d'interaction

## 2.2.3.1. Validation des fonctions d'adaptation

Chaque fonction d'adaptation, doit être validée en répondant aux questions suivantes :

FONCTION DE SERVICE	ENONCE	
	FC2	FC31
CONTRÔLE DE VALIDITE	Le banc d'usure doit encastrer le grain de blindage	Le banc d'usure doit être rigide par rapport au sol
Pourquoi cette fonction? (cause)	- Parce qu'il faut localiser et situer le grain de blindage lors du test d'usure	- Parce qu'il doit recevoir et porter les organes qu'ils lui sont rapportés  - Parce qu'il ne doit pas bouger et se déformer par rapport au sol.
Pour quoi ce pourquoi? (but)	- Pour assurer la mise en position du grain en vue du test d'usure. - Pour assurer le maintien en position du grain lors du test d'usure	- Pour supporter le poids des organes qu'ils lui sont rapportés  - Pour positionner les organes du banc de test  - Pour assurer le guidage des organes mobiles
Qu'est-ce qui pourrait faire disparaître la fonction?	- Existence d'un système porte-grain hors du banc d'usure	- Absence d'organes rapportés au banc d'usure
Probabilité de disparition	<i>Peu probable</i>	<i>impossible</i>
Conclusion	- La fonction existe, et elle est réelle  - La fonction est stable sur le MTBF	- La fonction existe, et elle est réelle  - La fonction est stable sur le MTBF

Tableau 2-2b. Validation des fonctions d'adaptation

FONCTION DE SERVICE	ENONCE	
	FC32	FC4
CONTRÔLE DE VALIDITE	Le banc d'usure doit être stable sur le sol	Le banc d'usure doit s'alimenter en énergie électrique
Pourquoi cette fonction? (cause)	- Parce qu'il faut assurer la stabilité du banc d'usure par rapport au sol lors de son exploitation et de son utilisation	- Parce que le banc de test d'usure agit comme un système consommateur qui fonctionne à l'énergie électrique
Pour quoi ce pourquoi? (but)	Pour éviter le basculement et la perte d'équilibre du banc d'usure lors de sa manœuvre	- Pour modifier l'état du boulet de broyage en transformant l'énergie électrique en énergie mécanique.
Qu'est-ce qui pourrait faire disparaître la fonction?	- Maintenir le banc d'usure suspendu dans le laboratoire	- Existence d'une autre forme d'énergie
Probabilité de disparition	<i>improbable</i>	<i>Peu probable</i>
Conclusion	- La fonction existe, et elle est réelle  - La fonction est stable sur le MTBF	- La fonction existe, et elle est réelle  - La fonction est stable sur le MTBF

Tableau 2-2c. Validation des fonctions d'adaptation

FONCTION DE SERVICE	ENONCE	
	FC51	FC52
CONTRÔLE DE VALIDITE	Le banc d'usure ne doit pas générer d'agression sonore	Le banc d'usure doit résister aux agressions chimiques
Pourquoi cette fonction? (cause)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Parce qu'il ne doit pas occasionner des problèmes de santé à l'opérateur</li> <li>- Parce qu'il faut pas dépasser le seuil limite autorisé</li> </ul>	- parce qu'il doit résister aux actions de corrosion liées à l'humidité
Pour quoi ce pourquoi? (but)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pour ne pas dominer les capacités de l'opérateur au travail</li> <li>- Pour ne pas polluer le milieu environnant</li> <li>- Pour respecter les normes</li> </ul>	- Pour augmenter la durée de vie du banc d'usure
Qu'est-ce qui pourrait faire disparaître la fonction?	- Disposer d'un banc d'usure silencieux	- Utiliser des matériaux non métalliques
Probabilité de disparition	<i>Peu probable</i>	<i>Improbable</i>
Conclusion	<i>La fonction existe et elle est réelle</i>	<i>La fonction existe et elle est réelle</i>

Tableau 2-2d. Validation des fonctions d'adaptation

FONCTION DE SERVICE	ENONCE	
	FC6	FC71
<b>CONTRÔLE DE VALIDITE</b>	Le banc d'usure doit être manœuvré par l'opérateur.	Le banc d'usure doit se conformer aux exigences réglementaires sur la sécurité mécanique.
Pourquoi cette fonction? (cause)	- Parce que le banc d'usure n'est pas automatisé	- Parce qu'il ne doit exposer l'utilisateur aux risques mécaniques.
Pour quoi ce pourquoi? (but)	Pour éviter le sur coût due au système automatisé	- Pour éviter à l'utilisateur des lésions produites par coups, chocs ou éléments coupants, piquants ou tranchants.
Qu'est-ce qui pourrait faire disparaître la fonction?	Automatise le banc d'usure	- Le banc d'usure ne doit pas être manipulé par l'opérateur
Probabilité de disparition	Peu probable	Impossible
Conclusion	- La fonction existe et elle est réelle  - La fonction est stable sur le MTBF	- La fonction existe et elle est réelle  - La fonction est stable sur le MTBF

Tableau 2-2e. Validation des fonctions d'adaptation

FONCTION DE SERVICE	ENONCE	
	FC72	FC81
<b>CONTRÔLE DE VALIDITE</b>	Le banc d'usure doit se conformer aux exigences réglementaires sur la sécurité électrique.	Le banc d'usure doit permettre d'effectuer les opérations de maintenances
Pourquoi cette fonction? (cause)	- <i>Parce qu'il ne doit exposer l'utilisateur aux risques électriques.</i>	- <i>Parce qu'il faut conserver le potentiel du matériel</i>
Pour quoi ce pourquoi? (but)	- <i>Pour éviter à l'utilisateur des lésions produites par électrisation</i> - <i>Pour éviter à l'utilisateur le danger d'électrocution.</i>	- <i>Pour assurer la continuité et la qualité des tests</i>
Qu'est-ce qui pourrait faire disparaître la fonction?	- <i>Utiliser une autre forme d'énergie</i>	- <i>Absence de défaillance</i>
Probabilité de disparition	<i>Peu probable</i>	<i>Impossible</i>
Conclusion	<i>La fonction existe et elle est réelle</i>	<i>La fonction existe et elle est réelle</i>

Tableau 2-2f. Validation des fonctions d'adaptation

FONCTION DE SERVICE	ENONCE	
	FC82	FC83
<b>CONTRÔLE DE VALIDITE</b>	Le banc d'usure doit avoir un manuel d'entretien	Le banc d'usure doit avoir une notice d'utilisation
Pourquoi cette fonction? (cause)	- Parce qu'il doit subir des actions de maintenance préventive et corrective	- Parce qu'il faut indiquer à l'utilisateur comment se servir du banc d'usure
Pour quoi ce pourquoi? (but)	- Pour effectuer l'installation et la mise en route du banc d'usure  - Pour guider l'utilisateur dans les opérations de l'entretien courant et périodique, ainsi que dans les opérations de révision.	- Pour familiariser l'utilisateur avec le banc d'usure  - Pour tirer le maximum des avantages offerts par le banc d'usure.
Qu'est-ce qui pourrait faire disparaître la fonction?	- Si le banc d'usure na pas besoin d'entretien	- Utilisation anodine - Indications verbales
Probabilité de disparition	Peu probable	Peu probable
Conclusion	La fonction existe et elle est réelle	La fonction existe et elle est réelle

Tableau 2-2g. Validation des fonctions d'adaptation

### 2.2.4. Caractérisation des fonctions

Dans cette phase, la plus difficile, l'utilisateur met en évidence les performances que le produit fini devra atteindre. L'utilisateur devra caractériser le verbe qui exprime l'action sachant que, caractériser les fonctions de service revient à qualifier et quantifier ces fonctions.

A cet effet, Il s'agit pour l'utilisateur d'identifier la grandeur physique qui évolue et de préciser le critère qui va servir à son évaluation et le niveau que doit atteindre cette grandeur pour conclure quand à la réalisation de l'action concernée. Une fonction peut générer l'évolution de plusieurs grandeurs physiques. Pour chaque fonction de service, il faut:

- **qualifier** par des mots les critères de performances de l'action décrite par le verbe ou le groupe verbal: *ou?*; *quand?*; *comment?*; *combien?*
- **quantifier** pour chaque critère, le niveau de performance attendu et les limites d'acceptabilité
- **contrôler** la validité et la stabilité de ces critères et de ces valeurs

La caractérisation doit permettre d'apprécier une fonction ; ainsi chaque fonction sera caractérisée par un ou plusieurs critères, dont le niveau et la flexibilité associée seront précisés.

L'expression de la caractérisation est normalisée par la norme AFNOR. Dans cette norme, la flexibilité englobe la classe, les limites d'acceptation et le taux d'échange.

La classe relève du même concept que la hiérarchisation. Le taux d'échange injecte la notion de coût dans l'analyse. ( se reporter aux normes AFNOR NF EN 1325 et NF X 50-150 153)

#### 1°. Critère d'appréciation

C'est le caractère retenu pour apprécier la manière dont une fonction est remplie, ou une contrainte respectée. Dans la mesure du possible, le critère d'appréciation doit être accompagné d'une échelle permettant de situer son niveau.

- Pour chaque fonction externe, rechercher les critères d'appréciation de cette fonction.
- Pour chaque fonction, il faut souvent plusieurs critères d'appréciation de natures différentes

#### 2°. Niveau d'acceptation d'un critère

C'est une grandeur repérée dans l'échelle adoptée pour un critère d'appréciation d'une fonction. Cette grandeur peut être celle recherchée en tant qu'objectif, ou celle atteinte pour une solution proposée. Suivant le cas, la satisfaction du besoin de l'utilisateur croît ou décroît avec le niveau ou encore présente un optimum.

- Pour chaque critère d'appréciation, préciser le niveau d'acceptation.
- La formulation d'un critère en terme de qualité doit se compléter par son niveau, si possible qualitatif, pour acceptation ou refus du produit de la part de l'utilisateur.

### **3°. Flexibilité d'un critère**

C'est un ensemble d'indications exprimées par le demandeur sur les possibilités de moduler le niveau recherché pour un critère d'appréciation. La prise en compte de la flexibilité des niveaux est une des caractéristiques fondamentales du cahier des charges fonctionnel. Elle permet d'organiser le dialogue entre partenaires dans la recherche d'une véritable optimisation.

Tout niveau de critère d'appréciation est assorti d'une indication de flexibilité qui peut s'exprimer :

- Qualitativement par des classes de flexibilité.
- Quantitativement sous forme de limites d'acceptation.

La tolérance liée à la valeur nominale du niveau fait partie intégrante de ce niveau. Il ne faut pas la confondre avec la flexibilité.

La flexibilité est fondée sur trois paramètres : Classe de flexibilité, limite d'acceptation et le taux d'échange.

#### **a. Classe de flexibilité**

C'est une indication littérale, placée auprès d'un critère d'appréciation permettant de préciser son degré de négociabilité ou d'impérativité. On peut par exemple définir quatre classes de flexibilité :

- Flexibilité nulle (F0) : Niveau impératif
- Flexibilité faible (F1) : Niveau peu négociable.
- Flexibilité moyenne (F2) : Niveau négociable.
- Flexibilité forte (F3) : Niveau très négociable.

#### **b. Limites d'acceptation**

C'est un niveau de critère d'appréciation au delà duquel, ou en deçà suivant le cas, le besoin est jugé non satisfaisant. Toute solution ne respectant pas ou plus une limite d'acceptation est inacceptable. De ce fait, le demandeur doit être extrêmement conscient des conséquences du choix des limites.

#### **c. Taux d'échange**

C'est le rapport déclaré acceptable par l'utilisateur entre la variation du prix (ou du coût) et la variation correspondante du niveau d'un critère d'appréciation, ou entre les variations de niveau de deux critères d'appréciation.

	Caractéristiques des milieux extérieurs	Critères d'appréciation	Niveau d'acceptation du critère	Flexibilité		
				Classe de flexibilité	Limite d'acceptation	Taux d'échange
<b>FP</b>	Le banc d'usure doit permettre au grain de blindage d'abraser le boulet de broyage.	- <i>Durée</i> - <i>Effort de contact</i> - <i>Rotation du boulet</i>	- <i>8 H</i> - <i>150 N</i> - <i>900 tr/min</i>	2 3 0	$\pm 2 H$ $\pm 10 N$	
<b>FC<sub>1</sub></b>	Le banc d'usure doit porter le boulet de broyage.	- <i>Masse du boulet</i> - <i>Ø du boulet</i>	- <i>5 Kg</i> - <i>100 mm</i>	0 1	$\pm 10 mm$	
<b>FC<sub>2</sub></b>	Le banc d'usure doit encasturer le grain de blindage.	- <i>Effort de fixation</i> - <i>Surface d'encastrement</i>				
<b>FC<sub>31</sub></b>	Le banc d'usure doit être rigide par rapport au sol	- <i>Type de bâti</i> - <i>Mode réalisation</i> - <i>Matériau employé</i>	- <i>Châssis</i> - <i>Assemblage</i> - <i>Acier laminé</i>	1 3 1		
<b>FC<sub>32</sub></b>	Le banc d'usure doit être stable par rapport au sol	- <i>Surface au sol</i> - <i>Position du CdG / sol</i>	- <i>0.25 m<sup>2</sup></i> - <i>le plus bas possible</i>	2 3		
<b>FC<sub>4</sub></b>	Le banc d'usure doit s'alimenter en énergie électrique	- <i>Tension</i> - <i>Ampérage</i> - <i>Protection</i>	- <i>220 / 230 V</i> - <i>Conforme aux normes</i>	1 0		

Niveaux de flexibilité → 0=Impératif    1=Peu négociable    2=Négociable    3=Très négociable

Tableau 2-3a. Caractérisation des fonctions de service

	Caractéristiques des milieux extérieurs	Critères d'appréciation	Niveau d'acceptation du critère	Flexibilité		
				Classe de flexibilité	Limite d'acceptation	Taux d'échange
<b>FC<sub>51</sub></b>	Le banc d'usure ne doit pas générer d'agression sonore.	- <i>Seuil limite autorisé</i>	<i>85db/8h/jour</i> <i>NF EN 292-1</i>	0 0		
<b>FC<sub>52</sub></b>	Le banc d'usure doit résister aux agressions chimiques.	- <i>Qualité des composants</i>	<i>. NF EN 292-1</i>	0		
<b>FC<sub>6</sub></b>	Le banc d'usure doit être manœuvré par l'opérateur	- <i>Commande manuelle</i>	- <i>Directive machine.</i>	0		
<b>FC<sub>71</sub></b>	Le banc d'usure doit se conformer aux exigences réglementaires sur la sécurité mécanique		<i>NF EN 292-1</i>	0		
<b>FC<sub>72</sub></b>	Le banc d'usure doit se conformer aux exigences réglementaires sur la sécurité électrique		<i>NF EN 292-1</i>	0		
<b>FC<sub>81</sub></b>	Le banc d'usure doit permettre d'effectuer les opérations de maintenances		<i>NF EN 292-1</i>			
<b>FC<sub>82</sub></b>	Le banc d'usure doit posséder un manuel d'entretien.	- <i>Clarté de l'information.</i> - <i>Compréhension par néophyte.</i> - <i>Qualité nomenclatures et schémas.</i>	<i>NF EN 292-1</i>	0		
<b>FC<sub>83</sub></b>	Le banc d'usure doit posséder une notice d'utilisation.	- <i>Clarté de l'information.</i> - <i>Compréhension par néophyte.</i> - <i>Qualité nomenclatures et schémas.</i>	<i>NF EN 292-1</i>	0		

Niveaux de flexibilité → 0=Impératif    1=Peu négociable    2=Négociable    3=Très négociable

**Tableau 2-3b.** Caractérisation des fonctions de service

**2.2.5. Hiérarchisation des fonctions**

Toutes les fonctions n'ont pas la même importance, d'où la nécessité de les ordonner et de les classer. L'utilisateur commence tout d'abord par classer les fonctions en utilisant un outil approprié puis leur donner une poids relatif

**1°. Ordonner les fonctions**

Dans cette phase l'utilisateur, va classer toutes les fonctions externes c'est à dire établir leur ordre d'importance. Il est possible de préciser leur importance relative soit en utilisant une échelle d'importance, soit en utilisant la technique du tri croisé.

**a. Echelle d'importance**

En dressant une échelle de 1 à 5, on pourra utiliser le tableau suivant :

K	Importance
1	Utile
2	Nécessaire
3	Importante
4	Très importante
5	Vitale

Tableau 2-4. Echelle d'importance

**b. La méthode du tri croisé.**

Les tris croisés, permettent de mettre en évidence les différences de supériorités entre les fonctions étudiées. Le croisement des fonctions est obtenu sur une matrice carrée, où pour chaque fonction (en ligne) on note sa supériorité par rapport à toutes les autres fonctions (en colonne). La notation conseillée est la suivante (figure 2-3):

- 1 : Légèrement supérieure ou égale
- 2 : Moyennement supérieure.
- 3 : Très nettement supérieure.
- 0 : non admis en première cotation, utilisé si rééquilibrage.

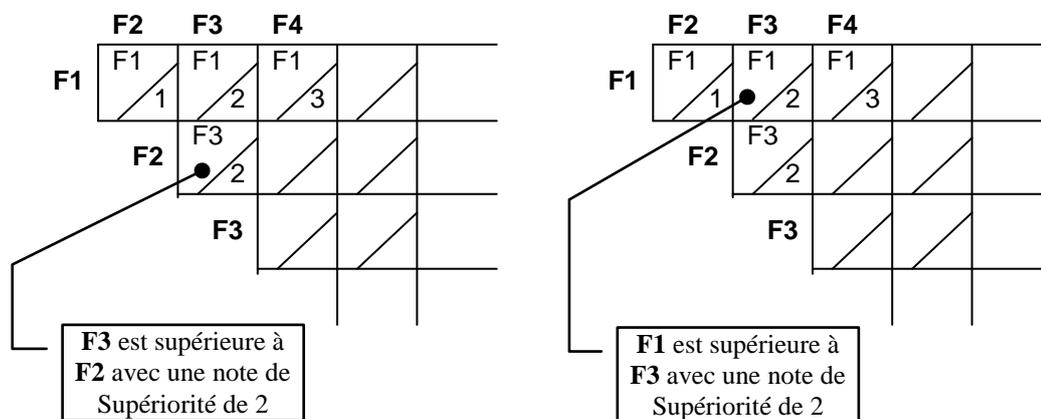


Figure 2-3. Principe du tri croisé

Pour notre étude, on a opté pour la méthode du tri croisé qui convient le mieux à ce type de problème. Une fois le barème adopté, une matrice triangulaire supérieure permet de faire le tri des fonctions en leur attribuant des notes qui jugent leur supériorité relative afin de dégager leur degré d'importance. Le tableau 2-5, expose la matrice du tri concernant les fonction de service su banc d'usure objet de notre étude.

→	FC <sub>1</sub>	FC <sub>2</sub>	FC <sub>31</sub>	FC <sub>32</sub>	FC <sub>4</sub>	FC <sub>51</sub>	FC <sub>52</sub>	FC <sub>6</sub>	FC <sub>71</sub>	FC <sub>72</sub>	FC <sub>81</sub>	FC <sub>82</sub>	FC <sub>83</sub>	Total	Taux
FP	FP 1	FP 1	FC <sub>31</sub> 1	FC <sub>32</sub> 1	FC <sub>4</sub> 1	FP 3	FP 2	FP 1	FC <sub>71</sub> 1	FC <sub>72</sub> 1	FP 1	FP 2	FP 3	14	8%
	FC <sub>1</sub>	FC <sub>1</sub> 1	FC <sub>31</sub> 1	FC <sub>32</sub> 1	FC <sub>4</sub> 2	FC <sub>1</sub> 3	FC <sub>1</sub> 2	FC <sub>1</sub> 1	FC <sub>71</sub> 3	FC <sub>72</sub> 3	FC <sub>1</sub> 1	FC <sub>1</sub> 2	FC <sub>1</sub> 2	12	6.86%
		FC <sub>2</sub>	FC <sub>31</sub> 1	FC <sub>32</sub> 1	FC <sub>4</sub> 2	FC <sub>2</sub> 3	FC <sub>2</sub> 2	FC <sub>2</sub> 1	FC <sub>71</sub> 3	FC <sub>72</sub> 3	FC <sub>81</sub> 1	FC <sub>2</sub> 2	FC <sub>2</sub> 2	10	5.71%
			FC <sub>31</sub>	FC <sub>32</sub> 1	FC <sub>4</sub> 1	FC <sub>31</sub> 3	FC <sub>52</sub> 2	FC <sub>31</sub> 1	FC <sub>71</sub> 3	FC <sub>72</sub> 3	FC <sub>31</sub> 1	FC <sub>31</sub> 1	FC <sub>31</sub> 2	11	6.29%
				FC <sub>32</sub>	FC <sub>4</sub> 1	FC <sub>32</sub> 3	FC <sub>32</sub> 2	FC <sub>32</sub> 1	FC <sub>71</sub> 3	FC <sub>72</sub> 3	FC <sub>32</sub> 1	FC <sub>32</sub> 1	FC <sub>32</sub> 2	14	8%
					FC <sub>4</sub>	FC <sub>4</sub> 3	FC <sub>4</sub> 2	FC <sub>4</sub> 2	FC <sub>71</sub> 3	FC <sub>72</sub> 3	FC <sub>4</sub> 1	FC <sub>4</sub> 2	FC <sub>4</sub> 2	19	10.85%
						FC <sub>51</sub>	FC <sub>52</sub> 2	FC <sub>51</sub> 2	FC <sub>71</sub> 3	FC <sub>72</sub> 3	FC <sub>81</sub> 1	FC <sub>82</sub> 2	FC <sub>83</sub> 1	2	1.14%
							FC <sub>52</sub>	FC <sub>71</sub> 2	FC <sub>72</sub> 3	FC <sub>81</sub> 3	FC <sub>82</sub> 2	FC <sub>52</sub> 1	FC <sub>52</sub> 3	9	5.14%
								FC <sub>6</sub>	FC <sub>71</sub> 3	FC <sub>72</sub> 3	FC <sub>6</sub> 2	FC <sub>82</sub> 2	FC <sub>83</sub> 2	2	1.14%
									FC <sub>71</sub>	FC <sub>71</sub> 1	FC <sub>71</sub> 1	FC <sub>71</sub> 3	FC <sub>71</sub> 3	33	18.86%
										FC <sub>72</sub>	FC <sub>72</sub> 1	FC <sub>72</sub> 3	FC <sub>72</sub> 3	32	18.29%
											FC <sub>81</sub>	FC <sub>81</sub> 1	FC <sub>81</sub> 2	7	4%
												FC <sub>82</sub>	FC <sub>83</sub> 2	5	2.86%
													FC <sub>83</sub>	5	2.86%
														175	100%

Tableau 2-5. Hiérarchisation des fonctions de service du banc d'usure

2°. Sélection des fonctions

Pour simplifier l'étude d'un problème en n'en retenant que les fonctions les plus significatives, on utilise un outil appelé "Diagramme de PARETO" (figure 2-4).

(Désignations similaires: Méthode 80/20, Carré de Gini Courbe ABC, Courbe des fréquences cumulées, Loi de Galton, Loi de l'effet proportionnel de Gibrat, Loi de distribution gaussio-logarithmique, Loi log-normale.)

Cet outil a pour but de sélectionner, dans une population, les fonctions les plus représentatives en regard d'un critère chiffrable. Néanmoins, il possède des contraintes d'utilisation tel que :

- le critère de sélection retenu soit chiffrable.
- Le nombre de sujet composant la population doit être supérieur à 10 pour être conforme à la notion de statistique.

La méthodologie adoptée pour l'établissement du diagramme de Pareto, est donnée par l'enchaînement des étapes suivantes:

- 1- Collecter les données relatives au problème
- 2- Définir un premier critère de sélection des sujets
- 3- Valoriser pour chaque sujet le critère
- 4- Classer les sujets dans l'ordre décroissant de la valeur du critère
- 5- Calculer les valeurs cumulées du critère (dans l'ordre de classement)
- 6- Confectionner le tableau ou tracer la courbe des fréquences cumulées
- 7- Interpréter le tableau ou la courbe
- 8- Répéter les étapes 2 à 7 avec un nouveau critère afin de confirmer les résultats

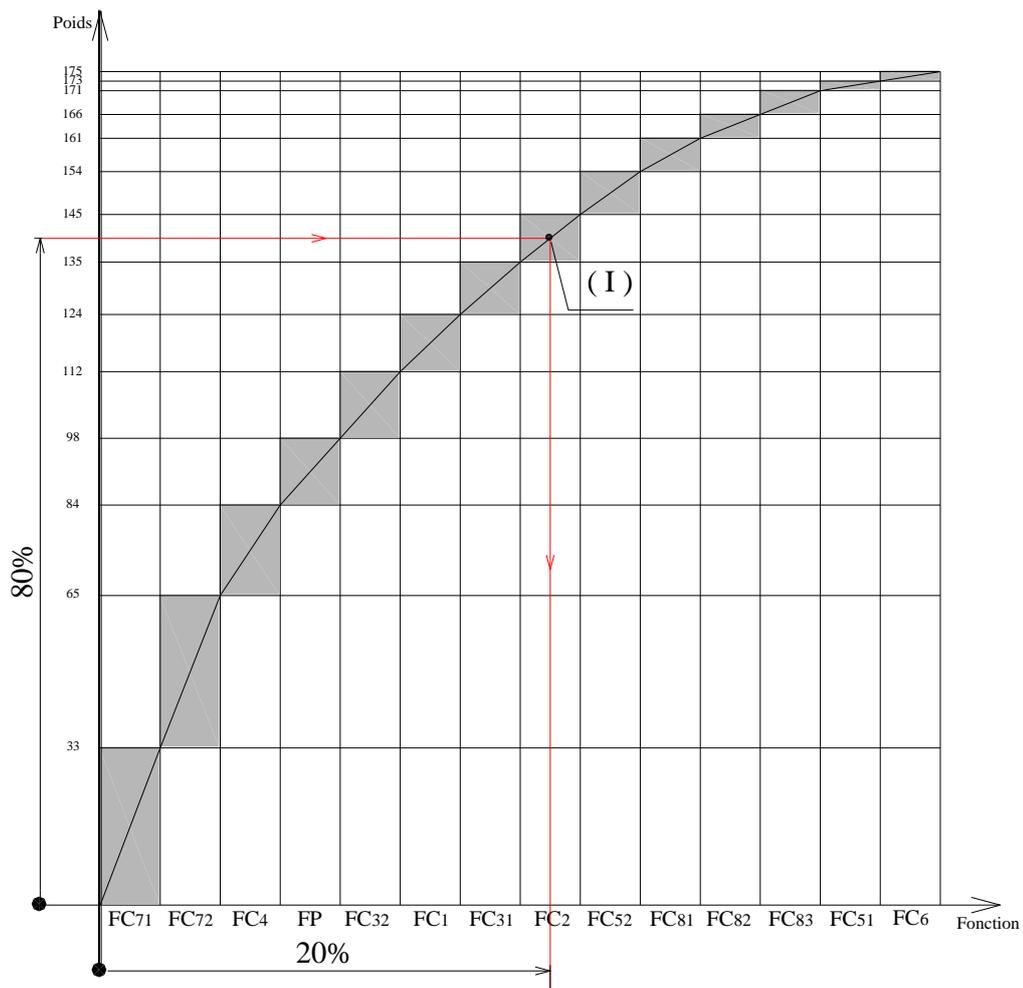


Figure 2-4. Sélection des fonctions de service les plus significatives

---

*Chapitre III*

---

**ETUDE DE CONCEPTION  
DU  
BANC D'USURE**

---

### 3.1. RECHERCHE DES SOLUTIONS

#### 3.1.1. Présentation

L'étape de la recherche des solutions doit utiliser les méthodes de "*créativité*" et de recherche d'idées qui permettent de trouver des idées novatrices en évitant l'a priori. Cette étape doit permettre d'élargir au maximum les possibilités de choix et recenser un maximum de solutions constructives.

En premier temps, les séances de réflexion réservées à la recherche des solutions doivent être des moments libre de tout jugement, de façon est ce que le tri, la critique ainsi que la sélection des solutions viennent en deuxième temps.

L'apparition des solutions est la concrétisation de notre problème, à savoir le produit autrement dit le banc d'usure. Pour ce faire, il est essentiel pour le bon déroulement de cette phase de mettre en cause les solutions existantes, d'identifier toutes les solutions fonctionnelles satisfaisant le problème et ensuite rechercher les principes qui sont des solutions répondant à ces fonctions techniques.

A cet effet, il faudra matérialiser, concrétiser et optimiser ces solutions lors de la création (ou l'amélioration) du produit. De ce fait, il convient de distinguer deux cas, selon que le produit existe ou non [GER 02].

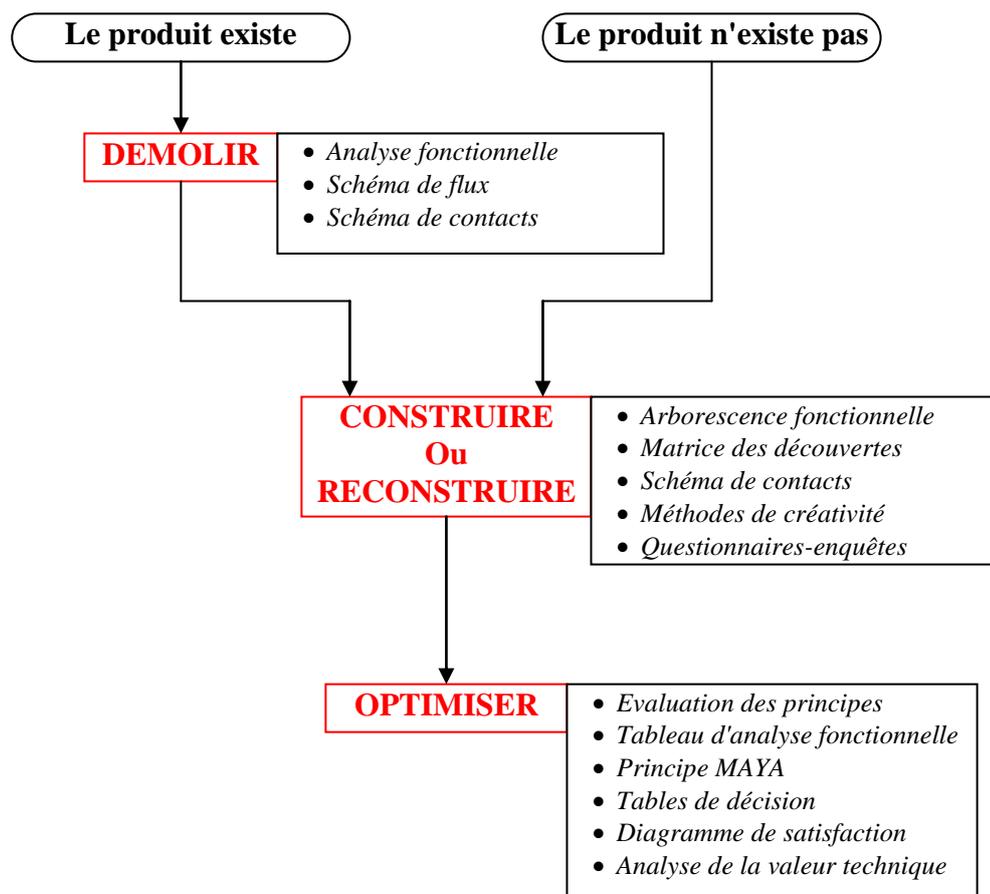


Figure 3-1: Stratégie adoptée pour la recherche des solutions [GER 02].

3.1.2. F.A.S.T de créativité relatif au banc d'usure

Fonction de service	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4	Solution Technologique	
FP	Presser grain contre boulet	Générer l'effort mécanique			Action de la pesanteur (S11)	
					Action électromagnétique (S12)	
					Action pneumatique (S13)	
					Action Hydraulique (S14)	
		Amplifier l'effort mécanique	Utiliser un mécanisme à levier			Mécanisme à 01 bras articulé (S15)
						Mécanisme à 02 bras articulés (S16)
						Mécanisme à 03 bras articulés (S17)
		Appliquer l'effort mécanique	Réaliser le contact Boulet/Grain		Adapter les surfaces	Mécanisme à 04 bras articulés d'EVANS (S18)
						Utiliser un contact plan / sphère (S19)
						Utiliser un contact cylindre / sphère (S110)
						Utiliser un contact sphère / sphère (S111)
	Déplacer le boulet par rapport au grain	Générer une rotation continue	Utiliser un moteur			Moteur électrique (S21)
						Commander le moteur
			Commande analogique (S22)			
				Commande numérique (S23)		
				RDV à courroie asynchrone (S24)		
			Réduire le taux de rotation du boulet			
		RDV à chaînes (S26)				
		RDV à engrenages cylindriques à DD (S27)				
		RDV à engrenages cylindriques à DH (S28)				
		RDV à engrenages coniques à DD (S29)				
		RDV à engrenages coniques à DH (S210)				
		RDV à engrenages coniques à DS (S211)				
		Augmenter le taux de rotation du boulet				MDV à courroie asynchrone (S212)
						MDV à courroie synchrone (S213)
						MDV à chaînes (S214)
						MDV à engrenages cylindriques à DD (S215)
						MDV à engrenages cylindriques à DH (S216)
						MDV à engrenages coniques à DD (S217)
		Varier discrètement le taux de rotation du boulet				MDV à engrenages coniques à DH (S218)
	MDV à engrenages coniques à DS (S219)					
	BV mécanique à commande manuelle (S220)					
BV électronique à commande manuelle (S221)						
BV mécanique à commande automatique (S222)						
BV électronique à commande automatique (S223)						
Varier progressivement le taux de rotation du boulet						
		VV mécanique à éléments rigides (S225)				
		VV mécanique hydrostatique (S226)				
		VV mécanique hydrodynamique (S227)				
		VV électrique à poudre (S228)				
		VV électrique à génératrice (S229)				
		VV élec avec convertisseur de fréq (S230)				
		VV élec avec convertisseur de fréq (S231)				
VV élec avec gradateur de fréq (S232)						

Fonction de service	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4	Solution Technologique
		(A) Entraîner le boulet en rotation continue	Entraîner le boulet par obstacles Entraîner le boulet par adhérence		Entraînement par tenons (S233) Entraînement par clavette (S234) Entraînement par galet conique (S235) Entraînement par plateau conique (S236) <b>Entraînement par galet cylindrique (S237)</b> Contact direct cylindre/ sphère (S238) Contact direct cône / sphère (S239) Contact direct plan/ sphère (S240)
FC1	Poser le Boulet sur le banc d'usure Fixer le Boulet au Banc d'usure	Utiliser un centreur fixe Assurer un assemblage permanent Assurer un montage temporaire			<b>Centreur à galets cylindrique (S11)</b> Centreur à galets conique (S12) Centreur à galets sphérique (S13) Assemblage avec clavetage parallèle (S14) Montage mandrin à plateau (S15) Montage mandrin expansif (S16)
FC2	Fixer le grain sur l'organe effecteur du Mec à levier	Assurer un assemblage temporaire Assurer un assemblage permanent			Agrafage (S21) <b>Vissage (S22)</b> Boulonnage (S23) Clipissage (S24) Ficelage (S25) Sertissage (S26) Collage (S27) Rivetage (S28) Clouage (S29) Emboutissage (S210) Soudage (S211)
FC3.1	Posséder un bâti rigide	Adopter un bâti en structure mince	Exploiter un matériau métallique Exploiter un matériau non métallique	Utiliser un acier doux Utiliser un alliage en aluminium Utiliser le bois Utiliser thermo-plastique Utiliser un composite	<b>Assemblage mécano soudé (S31)</b> Assemblage par éléments filetés (S32) Assemblage par éléments rivetés (S33) Assemblage mécano soudé (S34) Assemblage par éléments filetés (S35) Assemblage par éléments rivetés (S36) Assemblage par collage structural (S37) Assemblage par éléments filetés (S38) Assemblage par éléments cloués (S39) Assemblage par collage structural (S310) Moulage par injection (S311) Assemblage par collage structural (S312) Moulage à la presse à chaud (S313) Bobinage filamentaire (S314)
		(B)			

Fonction de service	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4	Solution Technologique
	(B)	Adopter un bâti en structure massive	Exploiter un matériau métallique Exploiter un matériau non métallique	Utiliser un acier doux Utiliser les fonte GL et GS Utiliser le bois	Moulage en sable silico-argileux à vert (S315) Moulage en sable silico-argileux à vert (S316) Façonnage d'un billot (S317)
FC3.2	Eviter de tomber				Abaisser la position du CDG Augmenter la surface au sol
FC4	Disposer d'une source d'énergie Assurer une connexion avec la source d'énergie	Source individuelle Source collective Utiliser une canalisation électrique	Alimentation TBT		Piles (S41) Accumulateur (S42) Photopiles (S43) Réseau SONEGAZ (S44) Câble électrique Transformateur BT/TBT Transformateur BT/TBT + mise à terre
	Assurer l'installation sous une tension $\leq$ tension dangereuse		Utiliser un matériel sans masse métallique externe		Appareillage en matériau moulé
	Assurer l'inaccessibilité des pièces métalliques sous tension		Placer le matériel hors porté Entourer les pièces métalliques avec un protecteur		Appareillage hors portée Coffret
	Assurer une protection contre le risque électrique	Assurer l'isolation entre les personnes et le sol			Planche isolé du sol+revêtement isolant Sol avec revêtement isolant
		Couper automatiquement le courant électrique	Séparer automatiquement la source d'énergie de l'installation		Disjoncteur différentiel
		Assurer la mise à terre	Relier les masses métalliques à la terre		Mise à la terre
			Mettre hors circuit la partie masse métallique		Disjoncteur différentiel
		Assurer une connexion équipotentielle	Empêcher le contact entre deux pièces métallique		Réunir toutes les masses métalliques

### 3.2. CHOIX DES SOLUTIONS

Le processus du choix d'une solution (figure 3-2) repose sur une analyse ainsi que sur une évaluation de chacune des solutions, selon des critères définis en fonction du but recherché. Chacune des solutions trouvées offre des avantages, mais peut présenter des inconvénients ou être incompatible avec d'autres. Il faut donc étudier ces solutions avant de retenir la ou les meilleures. Chaque critère est noté d'après un barème, par exemple : 1=insuffisant; 2 =médiocre; 3=assez bien; 4=très bien. Pour cela, il existe trois méthodes: *la matrice multicritère, la méthode F.A.R.E et le tableau avantages inconvénients.*

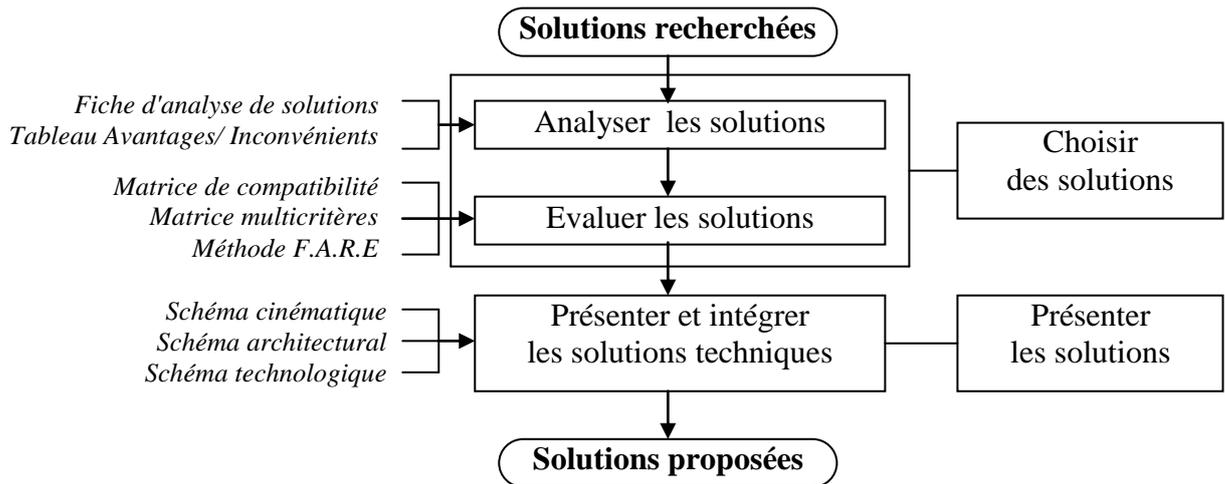


Figure 3-2: Processus de choix des solutions

#### 1°. Matrice multicritères

Elle permet de déterminer la solution optimale, en fonction de critères choisis. Chaque solution est évaluée critère par critère, en fonction d'un barème. La solution choisie est celle qui remporte le plus de points au total.

#### 2°. La méthode F.A.R.E

La solution est analysée dans un tableau de compatibilité, selon quatre critères et qui sont: **F**aisabilité, **A**ceptabilité, **R**entabilité, **E**fficacité.

SOLUTIONS	Faisable	Acceptable	Rentable	Efficace	Total
<b>S1</b>	1	2	0	1	<b>4</b>
<b>S2</b>	0	2	2	1	<b>5</b>
.....	....	.....	.....	.....	.....

#### 3°. Le tableau Avantages/ Inconvénients

Un simple tableau à double entrée permet de faire l'inventaire des avantages et des inconvénients, et cela solution par solution.

Dans ce qui suit, nous avons opté pour la méthode F.A.R.E parce qu'elle convient pour les problèmes techniques dans lesquels se situe notre cas. Ainsi que pour la commodité de l'application du barème.

## 3.2.1. Evaluation et sélection des solutions

## 1°. Evaluation des solutions relatives à FP

Fonction de service		Faisabilité	Acceptabilité	Rentabilité	Efficacité	Total	
FP	FT11	<b>S11</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>16</b>
		S12	3	2	1	4	10
		S13	2	2	1	4	9
		S14	2	2	1	4	9
	FT12	S15	2	2	3	2	9
		S16	3	3	3	2	11
		<b>S17</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>15</b>
		S18	2	2	2	3	9
	FT13	<b>S19</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>16</b>
		S110	3	3	3	3	12
		S111	4	3	3	3	13
	FT21	<b>S21</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>16</b>
		<b>S22</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>16</b>
		S23	3	4	2	4	13
	FT22	<b>S24</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>16</b>
		S25	4	3	4	3	14
		S26	4	3	3	4	14
		S27	2	2	1	4	9
		S28	1	2	1	3	7
		S29	1	1	1	3	6
		S210	1	1	1	2	5
		S211	1	1	1	2	5
		S212	4	3	3	2	12
		S213	4	2	3	2	11
		S214	4	2	2	3	11
		S215	3	1	1	3	8
		S216	2	1	1	3	7
		S217	2	1	1	3	7
		S218	1	1	1	3	6
		S219	1	1	1	3	6
		S220	2	2	1	3	8
		S221	1	1	1	3	6
		S222	1	1	1	3	6
		S223	1	1	1	3	6
		S224	1	2	1	3	7
		S225	1	1	1	3	6
		S226	1	1	1	2	5
		S227	1	1	2	2	6
S228	1	1	1	1	4		
S229	1	1	1	1	4		
S230	1	1	1	2	5		
S231	1	1	1	2	5		
S232	1	1	1	2	5		
FT31	S31	3	3	3	3	12	
	S32	2	3	2	3	10	
	S33	2	2	3	2	9	
	S34	2	2	3	3	10	
	<b>S35</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>16</b>	
	<b>S36</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>16</b>	
S37	3	3	3	3	12		
S38	3	1	2	1	7		

**2°. Evaluation des solutions relatives à FC1**

Fonction de service			Faisabilité	Acceptabilité	Rentabilité	Efficacité	Total
<b>FC1</b>	<b>FT11</b>	<b>S11</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>15</b>
		S12	3	3	3	3	12
		S13	2	2	2	2	8
	<b>FT12</b>	S14	4	1	1	4	10
		S15	2	1	1	3	7
		S16	1	1	1	3	6

**3°. Evaluation des solutions relatives à FC2**

Fonction de service			Faisabilité	Acceptabilité	Rentabilité	Efficacité	Total
<b>FC2</b>	<b>FT21</b>	<b>S21</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>12</b>
		<b>S22</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>16</b>
		S23	3	3	2	3	11
		S24	3	2	4	3	12
		S25	2	2	3	2	9
	<b>FT22</b>	S26	2	1	2	3	8
		S27	3	1	3	3	10
		S28	3	1	3	3	10
		S29	2	1	3	3	9
		S30	2	1	2	2	7
		S31	4	1	3	3	11

**4°. Evaluation des solutions relatives à FC31**

Fonction de service			Faisabilité	Acceptabilité	Rentabilité	Efficacité	Total
<b>FC31</b>	<b>FT311</b>	<b>S32</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>16</b>
		S33	4	3	1	3	11
		S34	4	3	2	3	12
		S35	3	2	2	3	10
		S36	3	2	1	3	9
		S37	3	2	1	3	9
		S38	3	2	3	2	10
		S39	2	1	3	2	8
		S40	2	1	3	3	9
		S41	1	1	3	1	6
		S42	2	1	1	3	7
		S43	1	1	1	3	6
		S44	1	1	1	3	6
		<b>FT312</b>	S45	1	1	1	2
	S46		2	1	1	2	6
	S47		2	1	1	2	6
	S48		2	1	1	2	6

**5°. Evaluation des solutions relatives à FC4**

Fonction de service			Faisabilité	Acceptabilité	Rentabilité	Efficacité	Total
<b>FC4</b>	<b>FT41</b>	S411	3	2	3	3	11
		S412	3	3	4	2	12
		S413	2	1	3	2	8
		<b>S414</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>16</b>

### 3.2.2. Présentation des solutions

#### 3.2.2.1. Le modèle produit

##### 1°. Représentation structuro-fonctionnelle du produit

Afin d'aboutir à une représentation structuro-fonctionnelle du produit et dégager le schéma cinématique du banc d'usure, on a besoin d'un modèle qui intègre l'analyse fonctionnelle et l'analyse structurelle. Parmi les modèles de conception nous choisissons le modèle produit détaillé dans [DUF 05] qui intègre le diagramme pieuvre, le diagramme FAST et la modélisation cinématique (figure 3-3). On entend par modélisation cinématique, une décomposition du produit en sous-ensembles connectés entre eux par des liaisons cinématiques au sens de la théorie des mécanismes. Ce choix est guidé par l'activité "tolérancement géométrique". En effet le diagramme pieuvre, le FAST et le modèle cinématique nous permettent de caractériser la propagation des spécifications géométriques.

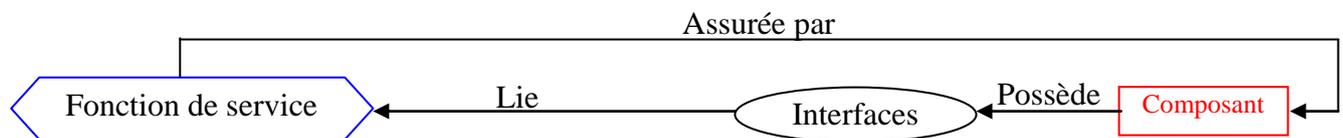


Figure 3-3: Description du mécanisme à concevoir

##### 2°. Entités de base

Le modèle produit de la figure 3-3, permet de décrire le produit de la phase de conception préliminaire à la phase de conception détaillée. La structuration du modèle étant définie on peut présenter la sémantique et la taxonomie attachée à chacune des entités. Les entités de base qui permettent de décrire un produit industriel sont : le composant, l'interface, la fonction.

###### a. Composant

Un composant permet de donner une représentation structurelle du produit. Un composant peut être le produit tout entier, un assemblage, un sous assemblage, une pièce ou plus généralement toute partition du produit.

###### b. Interface

Une interface est le lien entre un composant et le milieu extérieur. Cette entité peut être un élément géométrique (surfaccique, linéique ou ponctuel) mais peut aussi représenter le maillage associé à un composant. Une interface peut être vue comme une " poignée " accrochée à un composant, permettant ainsi d'accéder au composant avec une vision spécifique.

###### c. Fonction

Une fonction définit un objectif à atteindre par le produit à concevoir. Elle est décrite par un verbe d'action à l'infinitif et un complément ([NFX50-151, 1991]). De plus pour chaque fonction il convient de définir un critère d'appréciation (voir Chap II, § 2.2.2).

### 3.2.2.2. Modélisation cinématique du banc d'usure

Dans ce qui suit nous allons décrire comment modéliser le banc d'usure en conception à l'aide du modèle produit afin d'aboutir à son schéma cinématique global.

#### 1°. Traduction du diagramme des interacteurs

En phase de conception préliminaire, les concepteurs utilisent couramment une représentation du produit à concevoir sous la forme d'un diagramme d'interacteurs. Cette représentation a pour but de décrire les fonctions de service (FS) du produit.

Pour notre cas le diagramme des interacteurs issu de l'analyse fonctionnelle est décrit Figure 3-4. Il nous a permis de mettre en évidence les fonctions de service (FP) que doit remplir le mécanisme ainsi que les contraintes liées à l'intégration du mécanisme dans le milieu environnant (FC1 à FC4).

Dans ce qui suit, les fonctions d'interaction (FP) et d'adaptation (FC) seront désignées en tant que fonction de service (FS).

Nous pouvons détailler les fonctions de service (FS) pour faire apparaître les fonctions FS1 à FS7 et ainsi décrire le diagramme pieuvre. Pour cela nous ajoutons les éléments extérieurs au mécanisme sous la forme de composants qui possèdent des interfaces.

A la fin il ne reste plus qu'à relier les interfaces de chacun des composants par l'intermédiaire des fonctions FS1, FS2 et FS3 conformément au diagramme pieuvre.

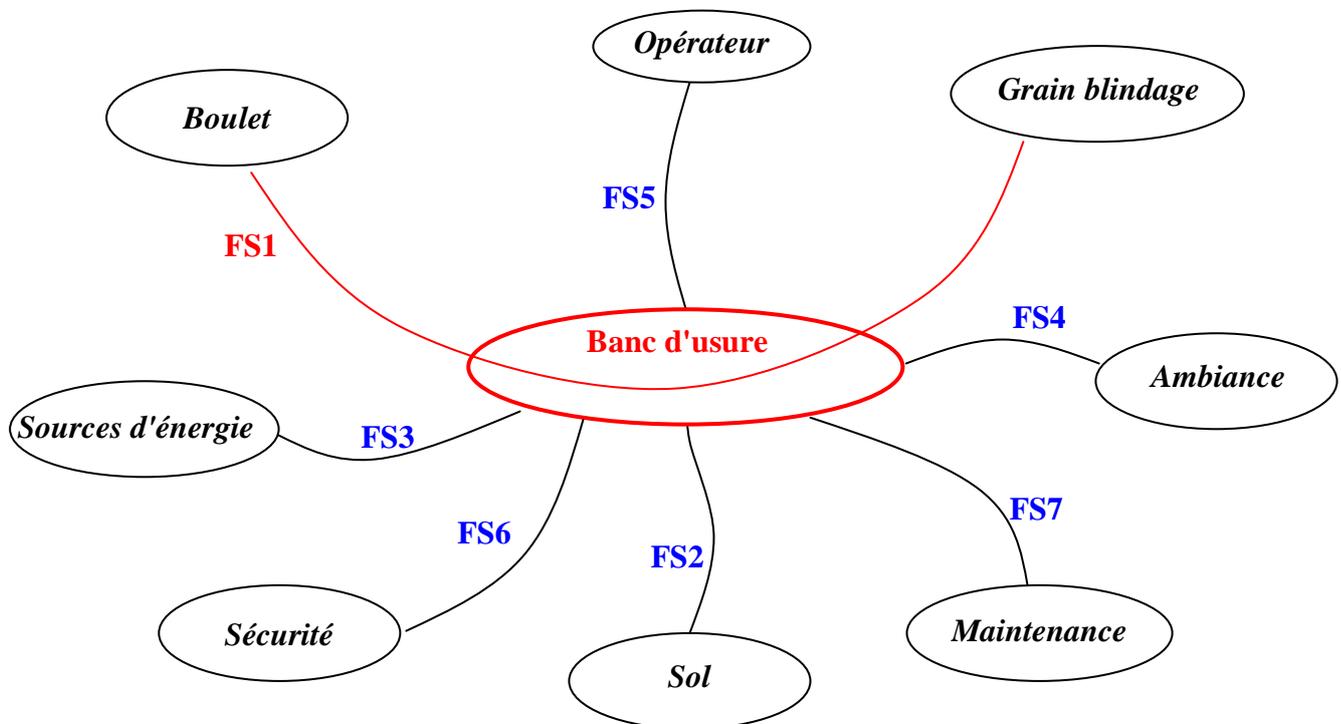


Figure 3-4 Les fonctions de services du banc d'usure

A l'aide du modèle produit [DUF 05], le banc d'usure à concevoir sera décrit de la manière suivante (Figure 3-5):

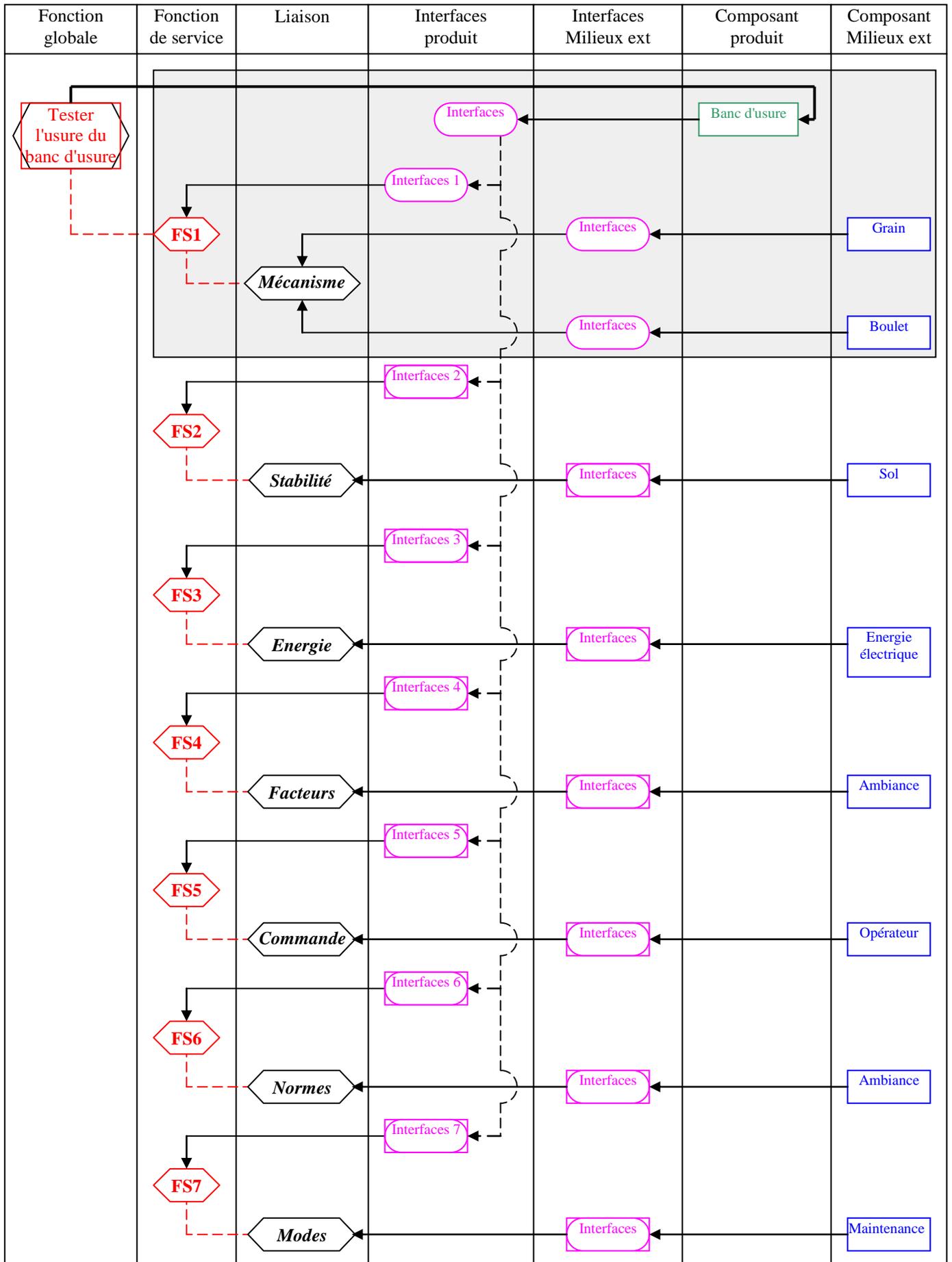
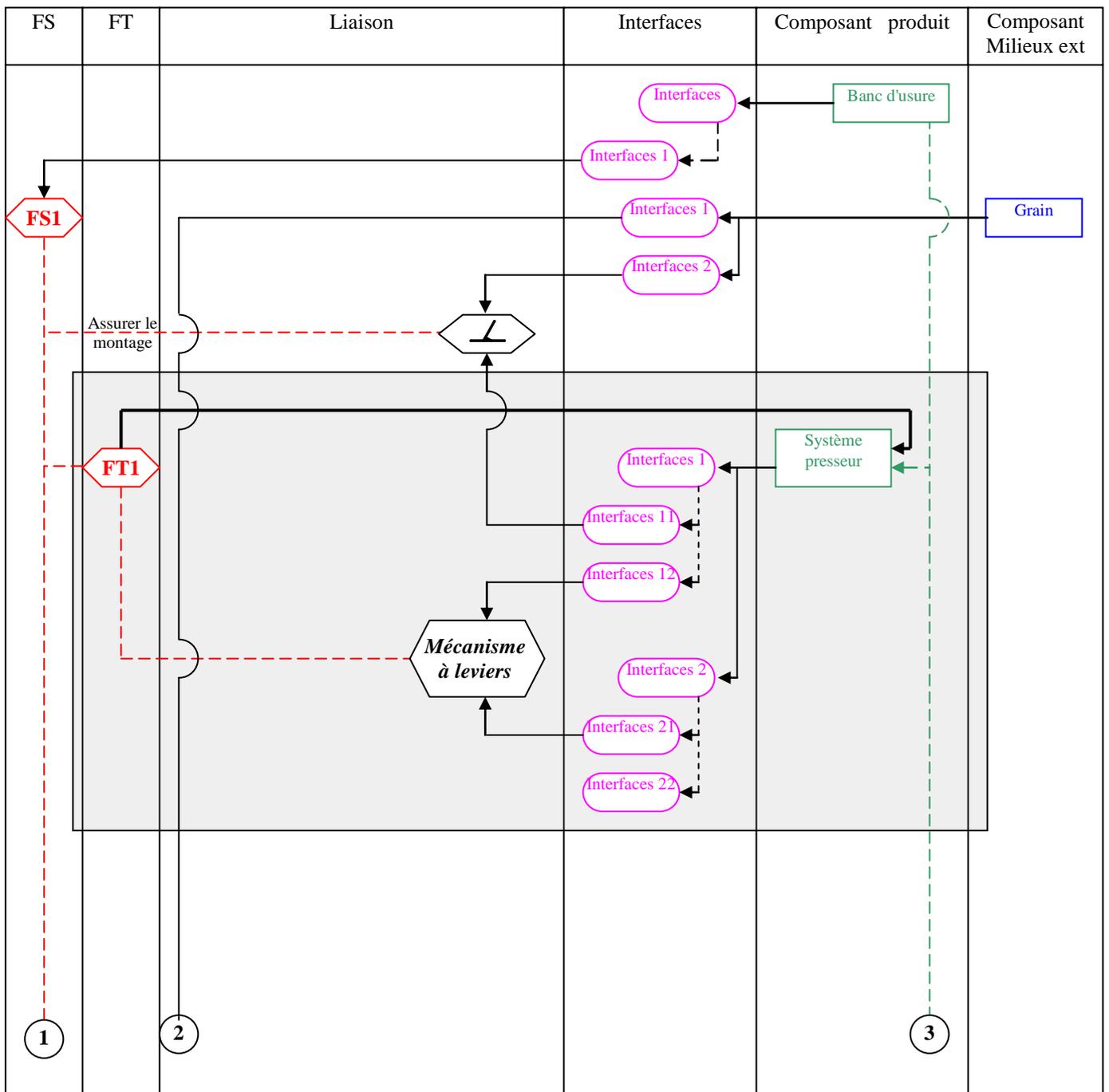


Figure 3-5: Description du diagramme des interacteurs

2°. Traduction du diagramme F.A.S.T

Une fois les fonctions de services du banc d'usure étant décrites dans le modèle produit (Figure 3-5), il faut les développer. Néanmoins, sachant que le but de ce paragraphe est de dégager une modélisation cinématique des mécanismes du banc d'usure, parmi toutes les fonction de services assurées par notre produit la seule fonction qui contient des liaisons mécaniques est FS1, donc c'est elle qui fera l'objet d'un développement.

Pour ce faire, le diagramme F.A.S.T de créativité élaboré au § 3.1.2 sera décrit à l'intérieur du modèle produit avec intégration des fonction d'adaptation FC1 et FC2 de façon à ce que la description obtenue sera liée à la description du diagramme de l'environnement obtenu au paragraphe précédent. La figure 3.6 donne le développement du F.A.S.T en utilisant le modèle produit.



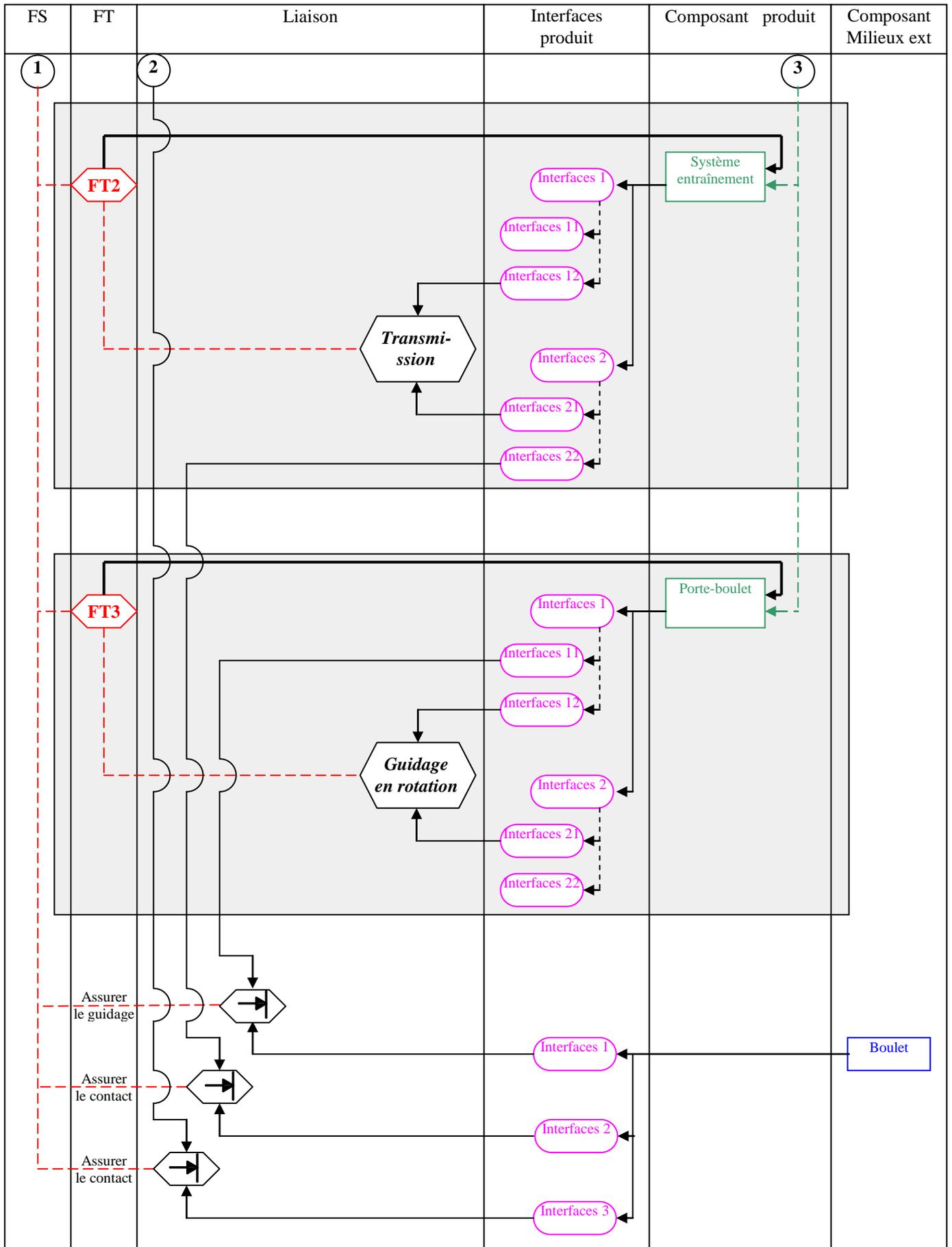
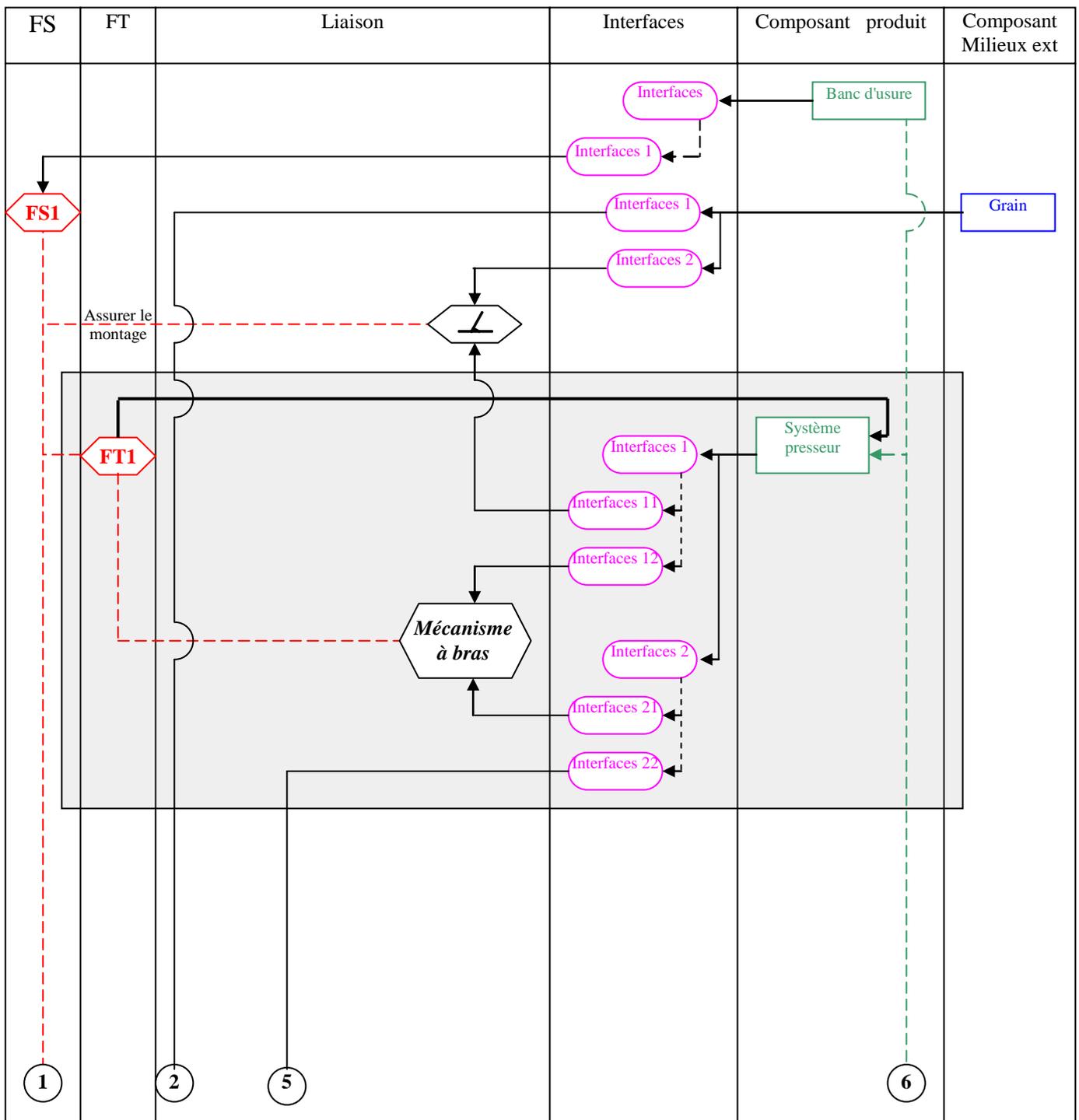
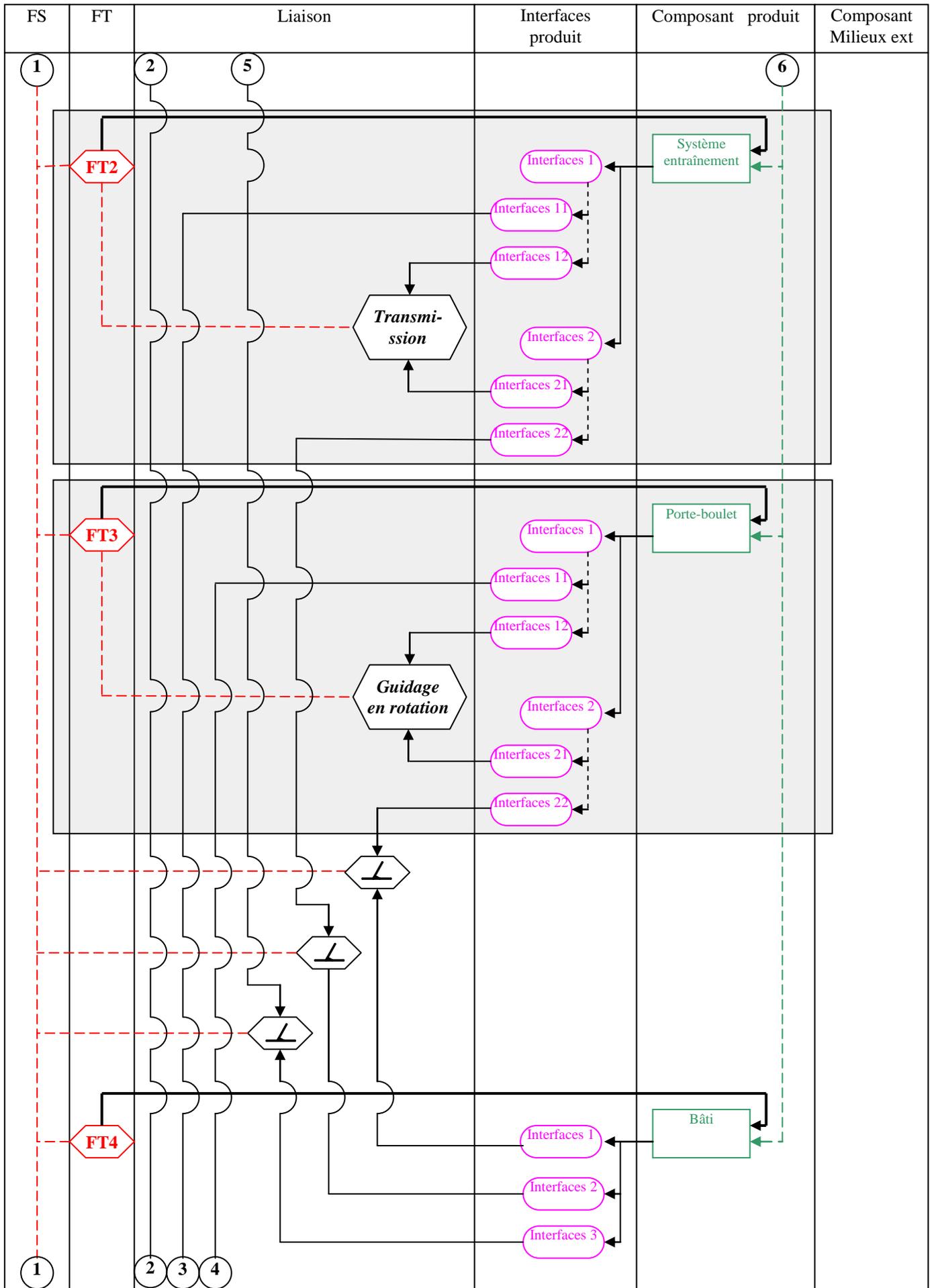


Figure 3-6: Description du diagramme F.A.S.T pour FS1

Une fois la description du F.A.S.T de la fonction principale FS1 du banc d'usure étant achevée, la cohérence cinématique des composants n'est pas encore garantie, car la description du montage de l'ensemble système presseur, système d'entraînement et porte boulet par rapport au boulet n'est pas complète.

Pour garantir la cohérence cinématique globale du banc d'usure, il faut assurer le montage de ses différents composants sur un nouveau composant qui est le bâti du banc d'usure. La description du composant bâti ainsi que les conditions de montage des divers composants sur le bâti sont représentées sur le graphe complet du mécanisme (Figure 3-7).





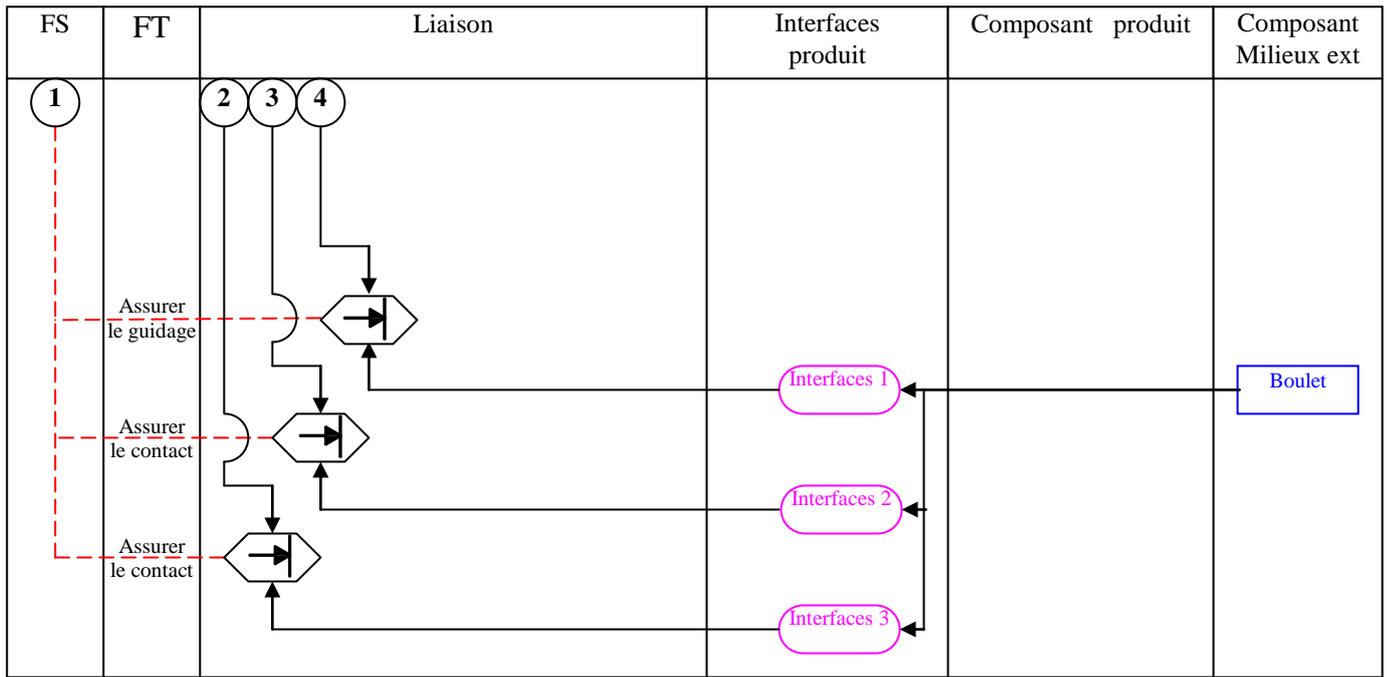


Figure 3-7: Intégration du Bâti dans la description de FS1

Le développement de FS1 génère quatre fonctions technique: FT1, FT2, FT3, FT4. Dans ce qui suit, le raffinement du développement sera accordé seulement FT1, FT2, FT3 car elles sont assurées par des mécanismes mécaniques nécessitant une schématisation.

**a. Formalisation cinématique du système presseur**

- liaisons cinématiques dans le mécanisme à leviers

La réalisation du mécanisme à leviers est faite par une solution technique : Mécanisme plan à 03 bras articulés. Pour décrire ce choix de conception nous extrayons du graphe précédent (Figure 3-7) la partie correspondant au composant système presseur. Les composants correspondant aux leviers articulés sont intégrés dans le modèle ainsi que les conditions de montages permettant de décrire l'articulation entre respectivement un levier récepteur et une bielle d'accouplement et le levier effecteur et le grain du blindage (Figure 3-8).

- Schéma cinématique du mécanisme à leviers

La cinématique de l'ensemble levier récepteur, bielle d'accouplement et levier effecteur étant formalisée nous pouvons l'intégrer au graphe complet représentant le système presseur (Figure 3-9).

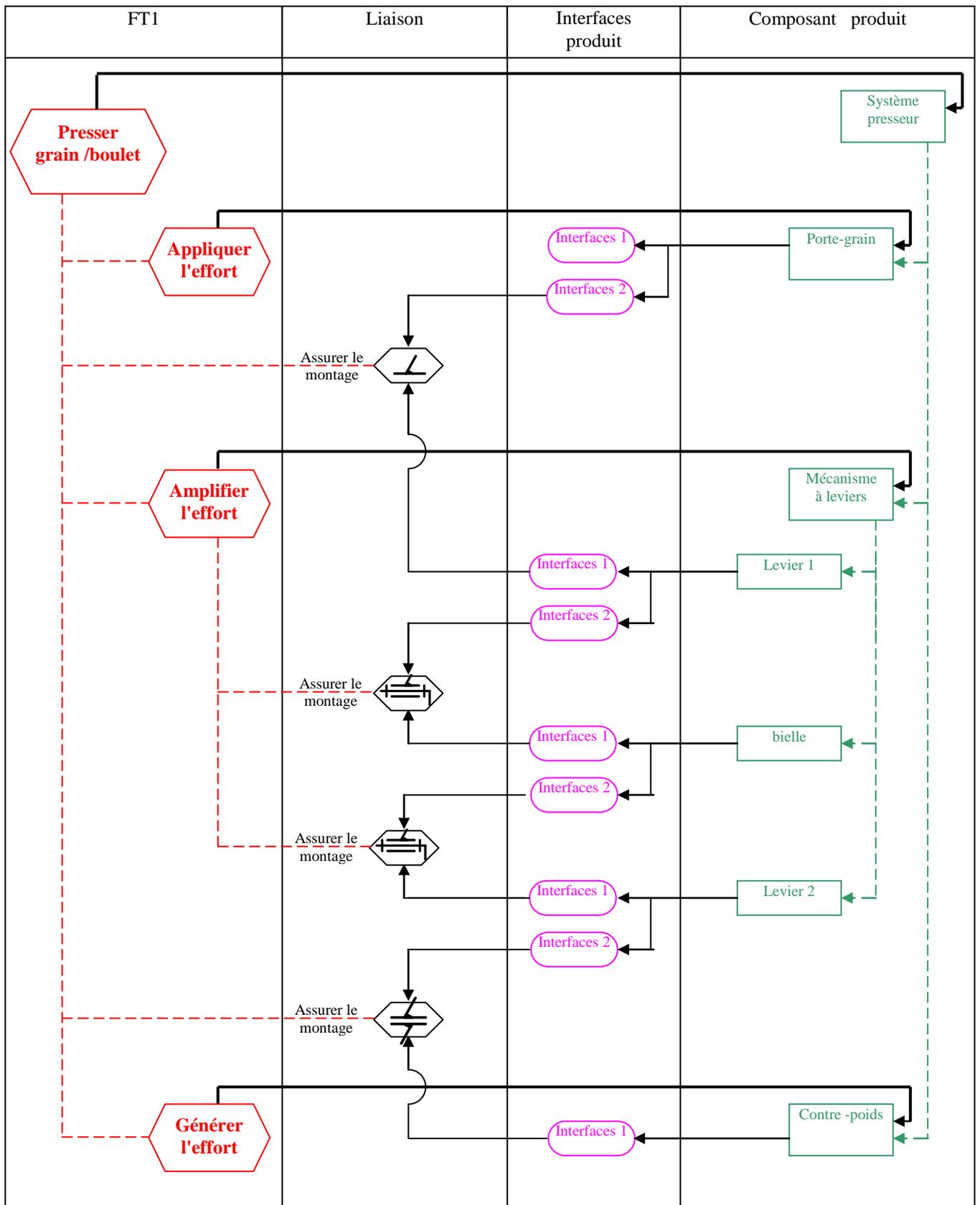
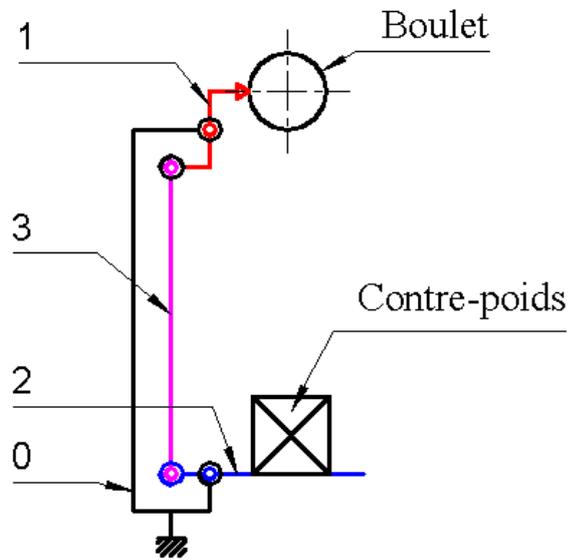
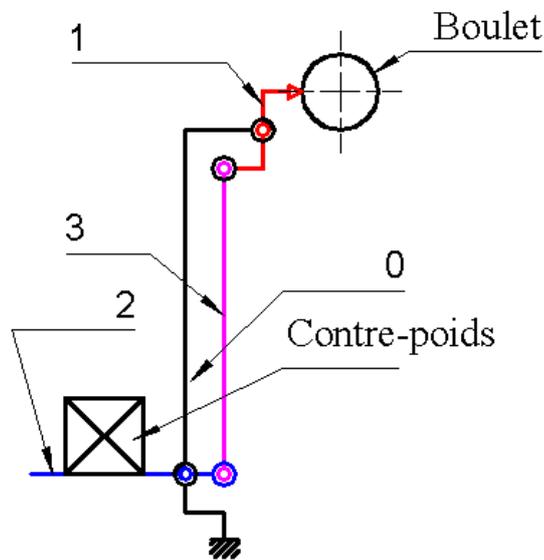


Figure 3-8: Décomposition de FT1

- 0. Bâti
- 1. Levier supérieur
- 2. Levier inférieur
- 3. Bielle



Solution 1



Solution 2

Figure 3-9: Schémas cinématiques du mécanisme presseur

Pour satisfaire aux exigences du CdCF concernant la réduction de l'encombrement, la solution 1 sera adoptée pour le calcul des efforts dans la suite de notre travail.

**b. Formalisation cinématique du système d'entraînement**

- **liaisons cinématiques**

La réalisation du réducteur est faite par une solution technique : une transmission par courroie. Pour décrire ce choix de conception nous extrayons du graphe précédent (Figure 3-7) la partie correspondant au composant réducteur. Les composants correspondant aux poulies sont intégrés dans le modèle ainsi que les conditions de montages permettant de décrire l'encastrement entre respectivement une poulie et l'arbre du moteur et la seconde poulie et l'arbre des galets entraînés (Figure 3-10).

- **Schéma cinématique du réducteur**

La cinématique de l'ensemble moteur, poulies-courroie et galets entraînés étant formalisée nous pouvons l'intégrer au graphe complet représentant le réducteur entier (Figure 3-11).

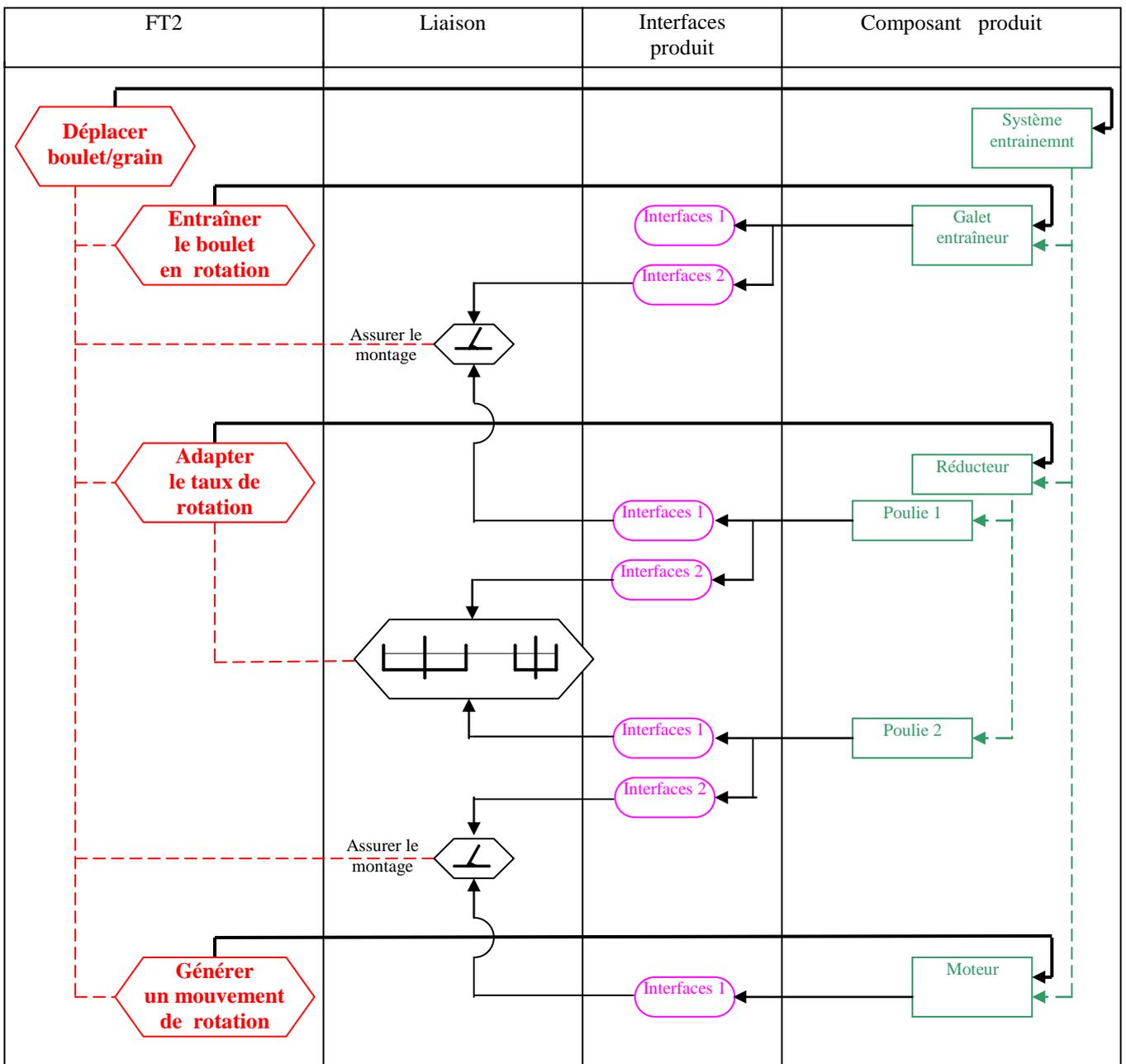


Figure 3-10: Décomposition de FT2

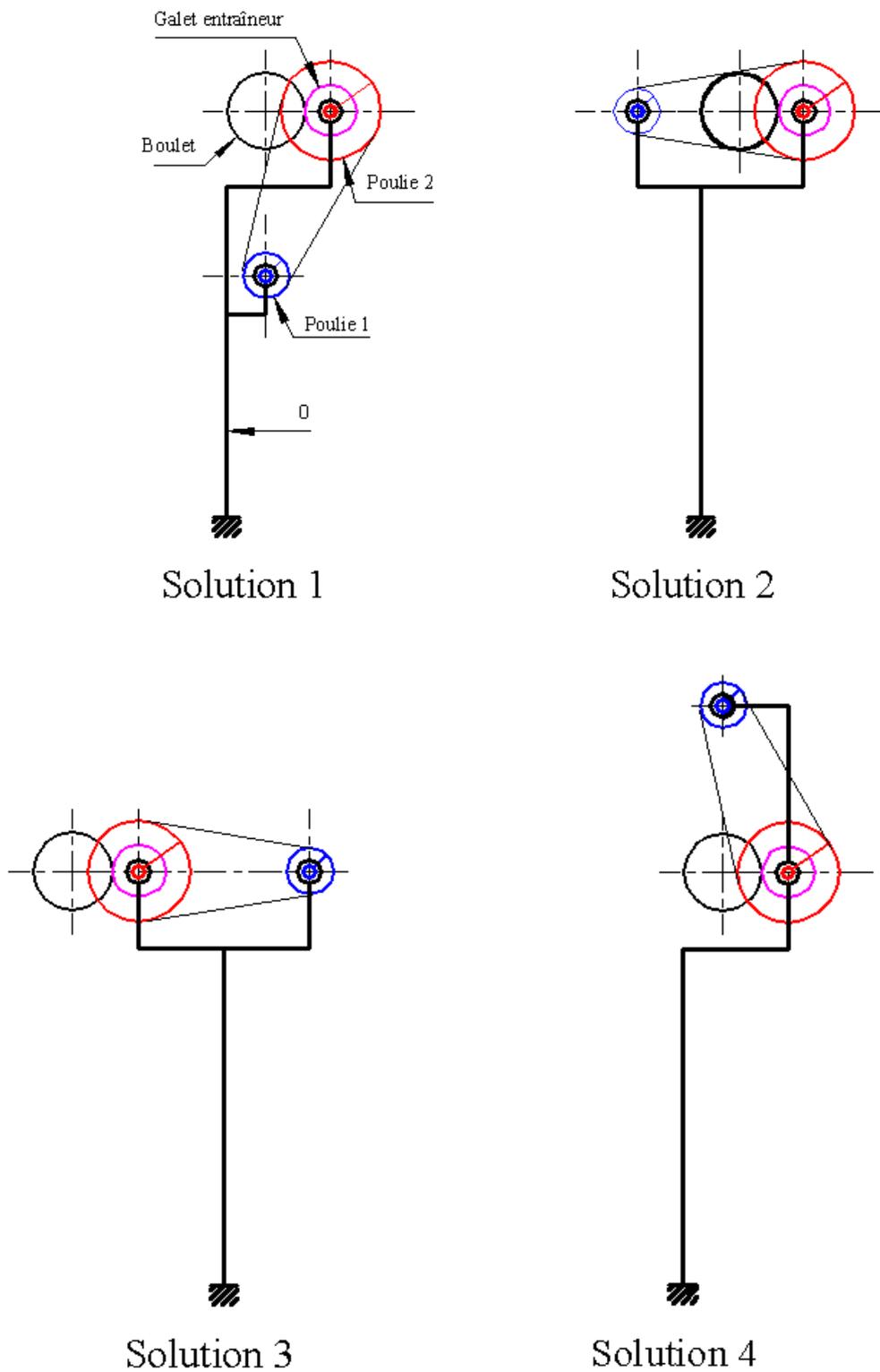


Figure 3-11: Schémas cinématique du mécanisme de transmission par courroie

Pour satisfaire aux exigences du CdCF concernant la réduction de l'encombrement, la solution 1 sera adoptée pour le calcul des efforts dans la suite de notre travail.

**c. Formalisation cinématique du porte-boulet**

- **liaisons cinématiques**

La réalisation du porte-boulet est faite par une solution technique : un support en V à rouleaux cylindriques. Pour décrire ce choix de conception nous extrayons du graphe précédent (Figure 3-7) la partie correspondant au composant porte-boulet. Les composants correspondant aux rouleaux sont intégrés dans le modèle ainsi que les conditions de montages permettant de décrire l'encastrement entre respectivement le rouleau et son support. (Figure 3-12).

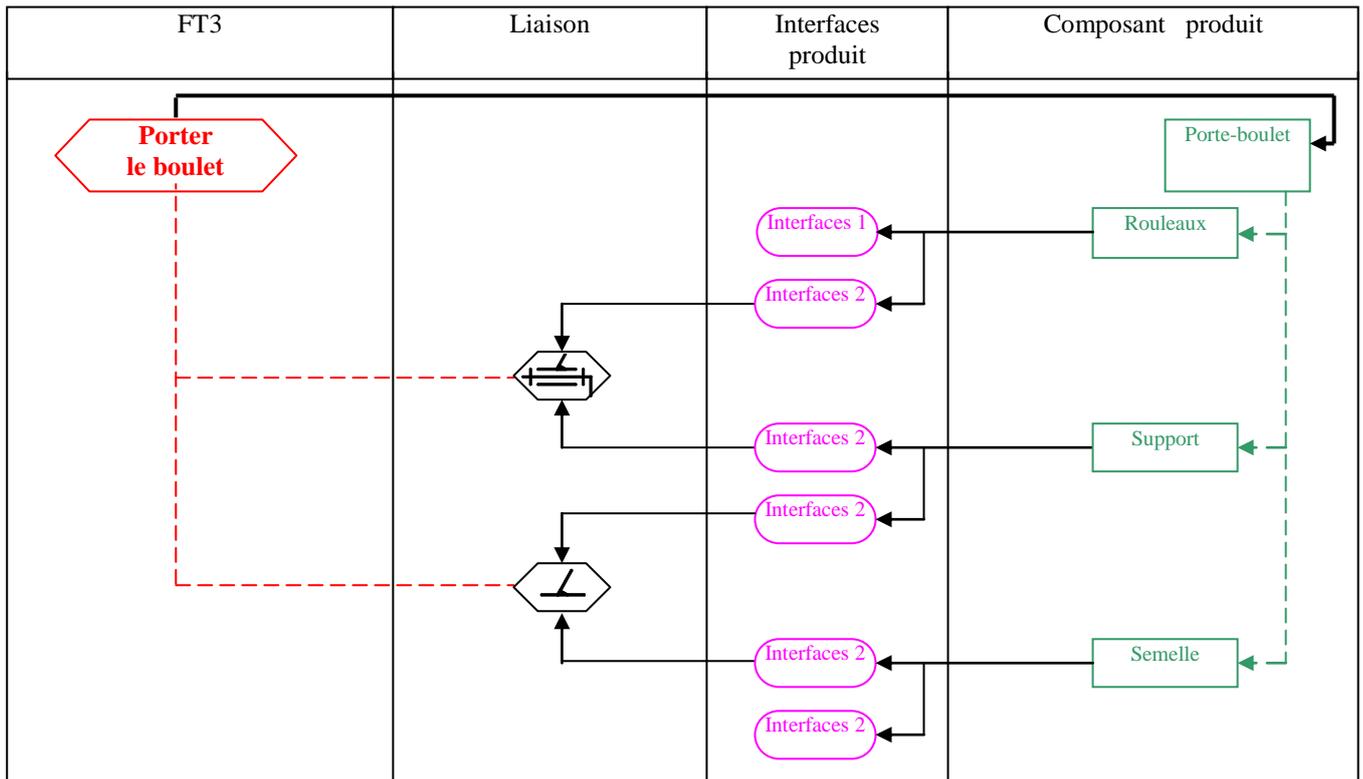


Figure 3-12: Décomposition de FT3

- **Schéma cinématique du porte-boulet**

La cinématique de l'ensemble porte-boulet étant formalisée nous pouvons l'intégrer au graphe complet représentant le produit entier (Figure 3-13).

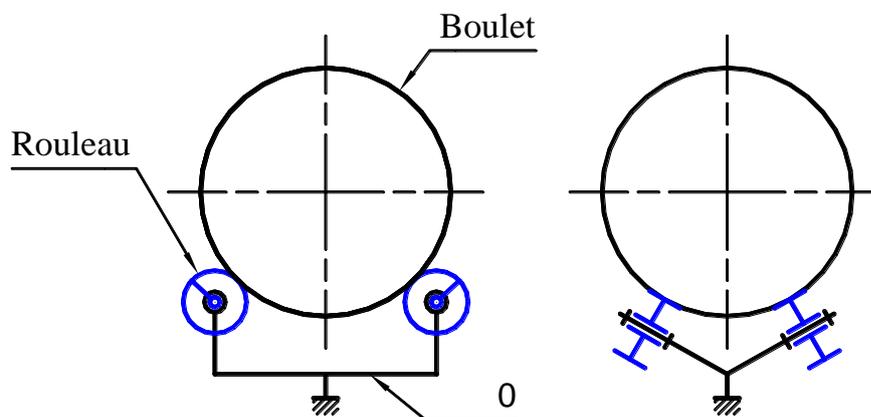


Figure 3-13: Schéma cinématique du porte-boulet

### 3.3. PREDIMENSIONNEMENT

La phase du prédimensionnement de notre banc d'usure va être décomposée en trois sous phases selon un schéma logique indiqué par la figure 3-14.

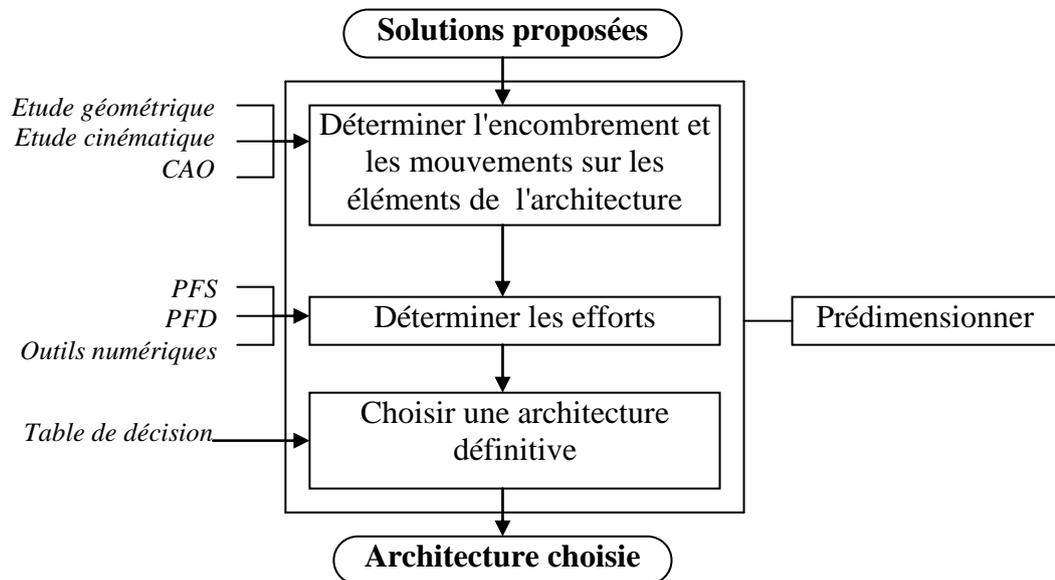


Figure 3-14: Processus de prédimensionnement

#### 3.3.1. Détermination des encombrements

##### 1°. Encombrement du système presseur

###### a. Exigences

L'étape de la détermination, des encombrements du système presseur consiste à réserver les espaces géométriques nécessaires aux éléments du mécanisme à levier: levier supérieur, bielle d'accouplement, levier inférieur et porte grain. A l'issue de la décomposition de la fonction technique FT1, la solution 1 (voir figure 3-9), paraît la plus appropriée pour répondre aux exigences du cahier des charges fonctionnel, à savoir:

- stabilité de l'équilibre du banc d'usure;
- réduction de l'encombrement général.
- Ergonomie

###### b. Dispositions

Selon ces exigences, on considère les dispositions suivantes (figure 3-15):

- position du centre du boulet de broyage une fois monté sur le banc d'usure doit être égale à  $900 \pm 50$  [mm] par rapport au niveau du coude de l'opérateur. Sachant que la hauteur  $H_0 = 900$  [mm] est définie par les normes ergonomiques concernant l'être humain.
- Le contre-poids, peut être disposé de façon est ce que premièrement son centre de gravité se situe le plus près possible de la surface du sol et deuxièmement la ligne d'action de la charge  $Q_2$  soit colinéaire avec la ligne d'action de la charge  $Q_1$ .
- Les dimensions des leviers supérieur et inférieur sont données relativement au rayon du boulet.
- La bielle d'accouplement aura une longueur incluse dans l'espaces entres les deux leviers.

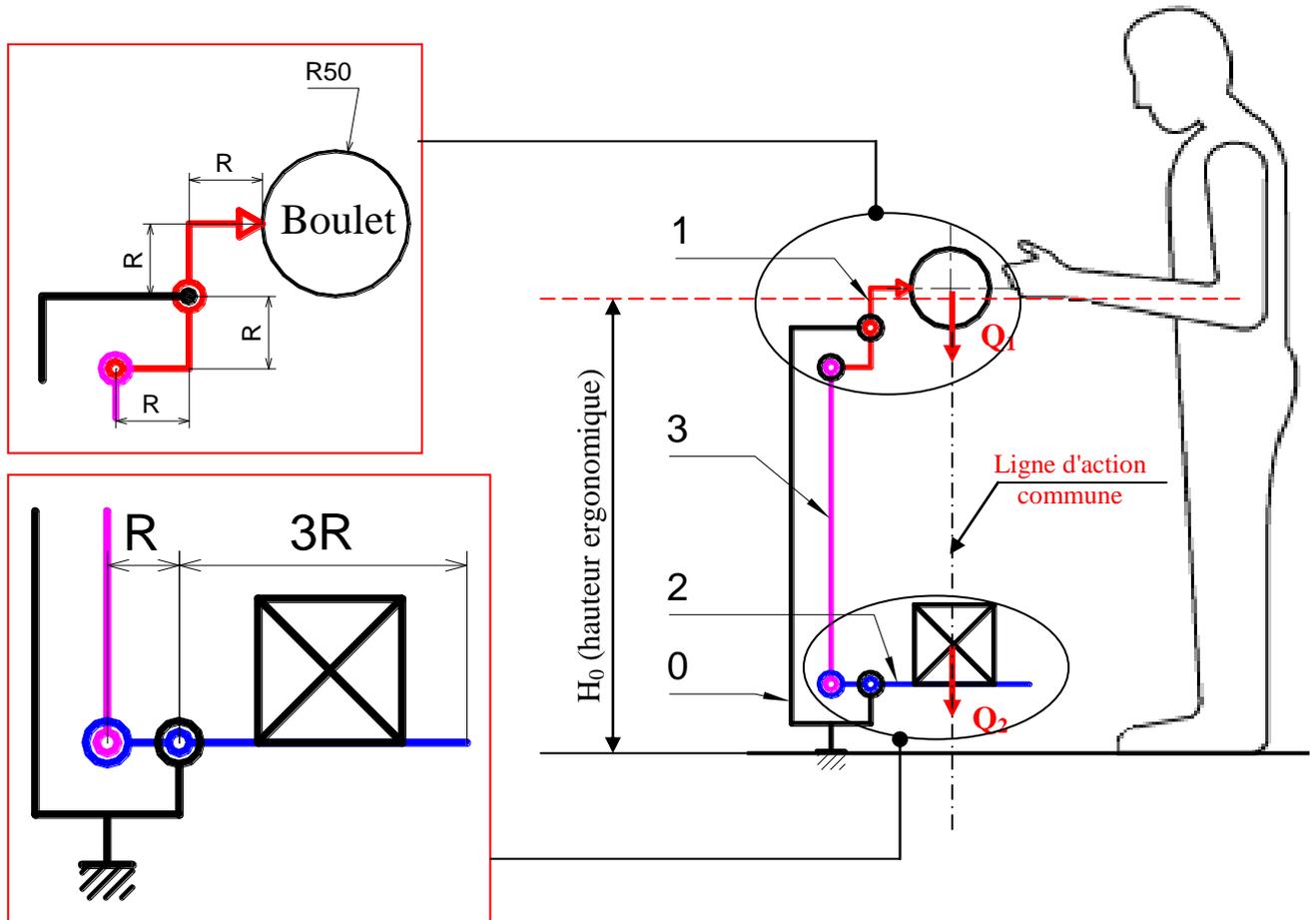


Figure 3-15: Encombrements prévus pour le système presseur

## 2°. Encombrement du réducteur à courroie

### a. Exigences

L'étape de la détermination, des encombrements du système de transmission par courroie, consiste à réserver les espaces géométriques nécessaires aux éléments de la transmission: moteur, poulies, courroie.

A l'issue de la décomposition de la fonction technique FT2, la solution 1 (voir figure 3-11), paraît la plus appropriée pour répondre aux exigences du cahier des charges fonctionnel, à savoir:

- stabilité de l'équilibre du banc d'usure;
- réduction de l'encombrement général.

### b. Dispositions

Selon ces exigences, on considère les dispositions suivantes (figure 3-16):

- Le moteur électrique peut être disposé entre le boulet et le contre poids.
- Le centre de gravité du moteur peut être dans un premier temps situé à la moitié de la hauteur ergonomique.
- La ligne d'action de la charge  $Q_3$  doit être colinéaire avec les lignes d'actions des charges  $Q_1$  et  $Q_2$ .

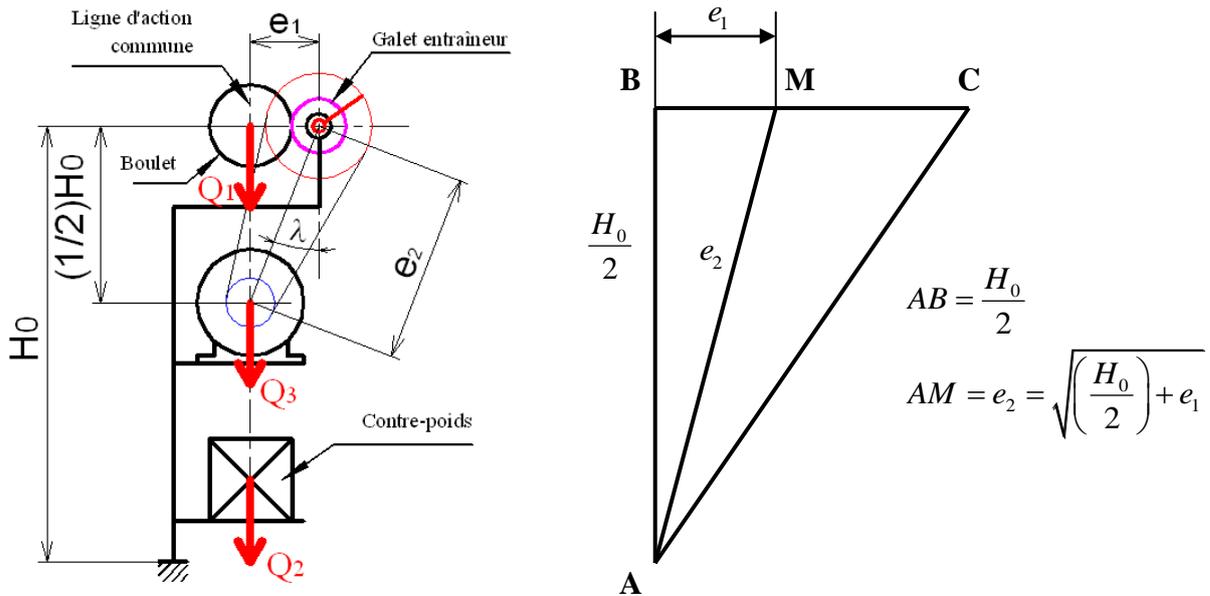


Figure 3-16: Encombrements prévus pour la transmission poulie-courroie

- L'entraxe  $E$ , entre la poulie motrice et réceptrice, peut être pris de façon préliminaire est ce que :

$$\frac{H_0}{2} < e_2 < \sqrt{\left(\frac{H_0}{2}\right)^2 + e_1^2}. \text{ Si on prend } e_1 = D; \text{ l'entraxe préliminaire sera :}$$

$$450 < e_2 < \sqrt{450^2 + 100^2} \Rightarrow 450 < e_2 < 460$$

- L'angle  $\lambda$  oriente la poulie réceptrice par rapport à la verticale:  $\cos.\lambda = \frac{H_0}{2e_2}$

### 3°. Encombrement boulet et galets entraîneurs

#### a. Exigences

L'étape de la détermination, des encombrements entre le boulet le système d'entraînement, consiste à réserver les espaces géométriques nécessaires à l'opération d'entraînement du boulet lors du test d'usure.

Dans notre cas, nous avons opté pour l'utilisation de deux galets coniques qui doivent être revêtus au niveau de leur surface de contact avec le boulet par un matériau ayant un coefficient de d'adhérence très élevé (figure 3-17). Ce choix a été dicté par deux exigences:

- assurer une stabilité de l'entraînement du boulet lors du test;
- prévoir un dégagement pour le grain au niveau de la zone assujetti à l'usure.

#### b. Dispositions

- Prendre l'angle du vé de contact galet entraîneur-boulet  $\psi_3 = 36^\circ$ , de telle manière que l'écartement entre les deux cercles de contact boulet galets soit égal au rayon  $R$  du boulet.
- Pour assurer la réduction de la fréquence de rotation, il faut que:  $Dg < Db$ .
- Le diamètre  $Dg$  peut être estimé par la relation suivante:  $Dg = 2.e - Db.\cos(\psi_3/2)$

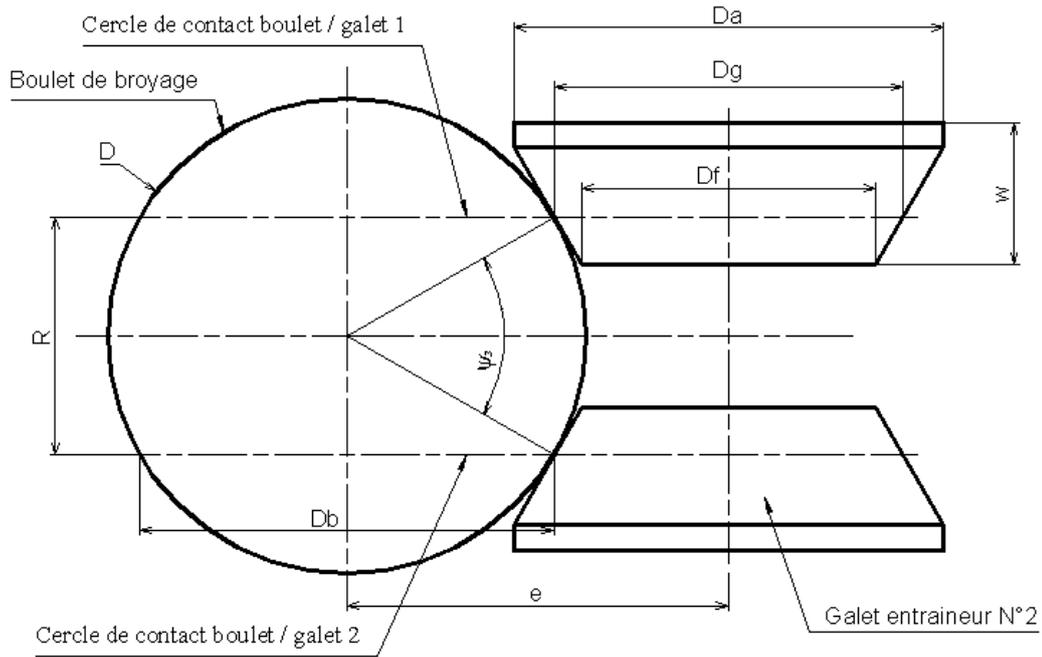


Figure 3-17: Encombrement prévu pour les galets entraîneurs

**4°. Encombrement boulet et Porte-boulet**

**Etapes 01:**

1. Sur la vue de face et au niveau du repère OYZ défini dans le plan médian du boulet, choisir l'angle  $\alpha$  du Vé de contact rouleaux sur boulet:  $\alpha = 60^\circ$
2. Déterminer les points C1 et C2 intersection des demi droites  $\Delta_1$  et  $\Delta_2$  avec le cercle délimitant le boulet
3. Déterminer la corde C1C2 sur la plan médian du boulet :  $a = 50$  [mm]
4. Déterminer les points O1 et O2 intersection de l'axe de rotation du boulet OY avec les droites  $\Delta_1$  et  $\Delta_2$

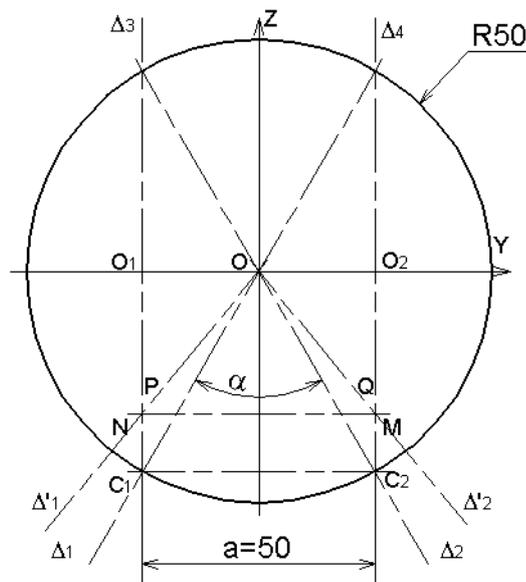
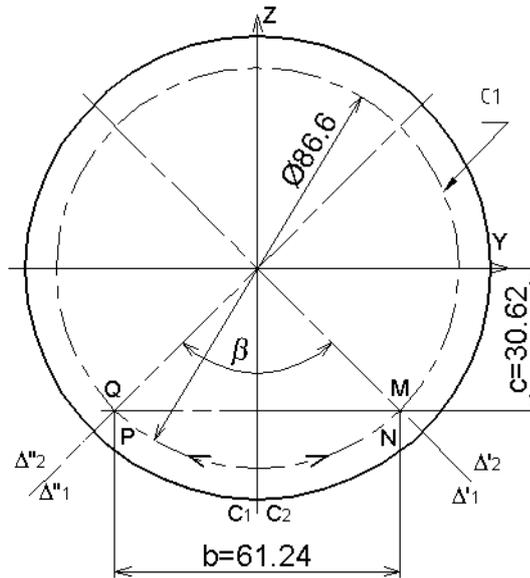


Figure 3-18: Ecartement frontal des rouleaux du porte-boulet

**Etape 02:**

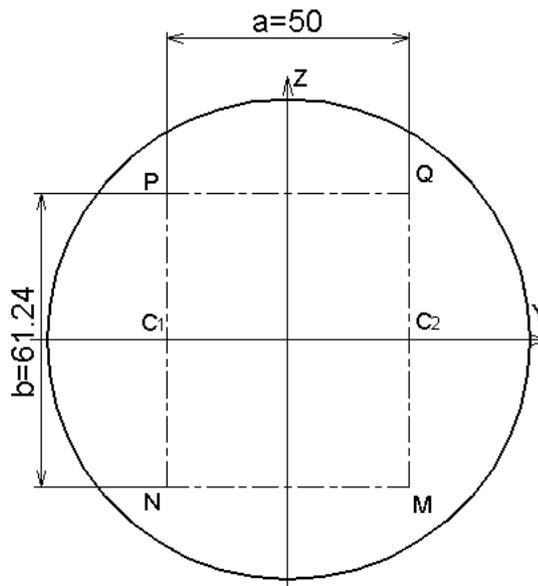
5. Sur la vue de gauche tracer le cercle de centre O1 et de rayon O1C1.
6. Choisir l'angle  $\beta$  du V de contact des rouleaux sur le boulet selon le plan de face OXZ:  $\beta=90^\circ$
7. Déterminer les points M, N,P et Q intersection des demi droites  $\Delta_1$  et  $\Delta_2$  avec le cercle délimitant le boulet:  $c = 30.61$  [mm]



**Figure 3-19:** Ecartement latéral des rouleaux du porte-boulet

**Etape 03:**

8. Déterminer la corde C1C2 sur la plan médian du boulet :  $b = 61.24$  [mm]
9. Sur la vue de dessus exécuter la projection de la corde C1C2 et le rabattement de la corde MN.
10. tracer le rectangle de sustentation MNPQ:  $a \times b$ .



**Figure 3-20:** Positionnement du rectangle de sustentation des rouleaux du porte-boulet

5°. Schéma cinématique global

Une fois l'analyse des fonctions techniques achevée et les encombrements adoptés, on peut donner un aperçu sur l'architecture du banc d'usure et présenter un schéma cinématique global (figure 3-21)

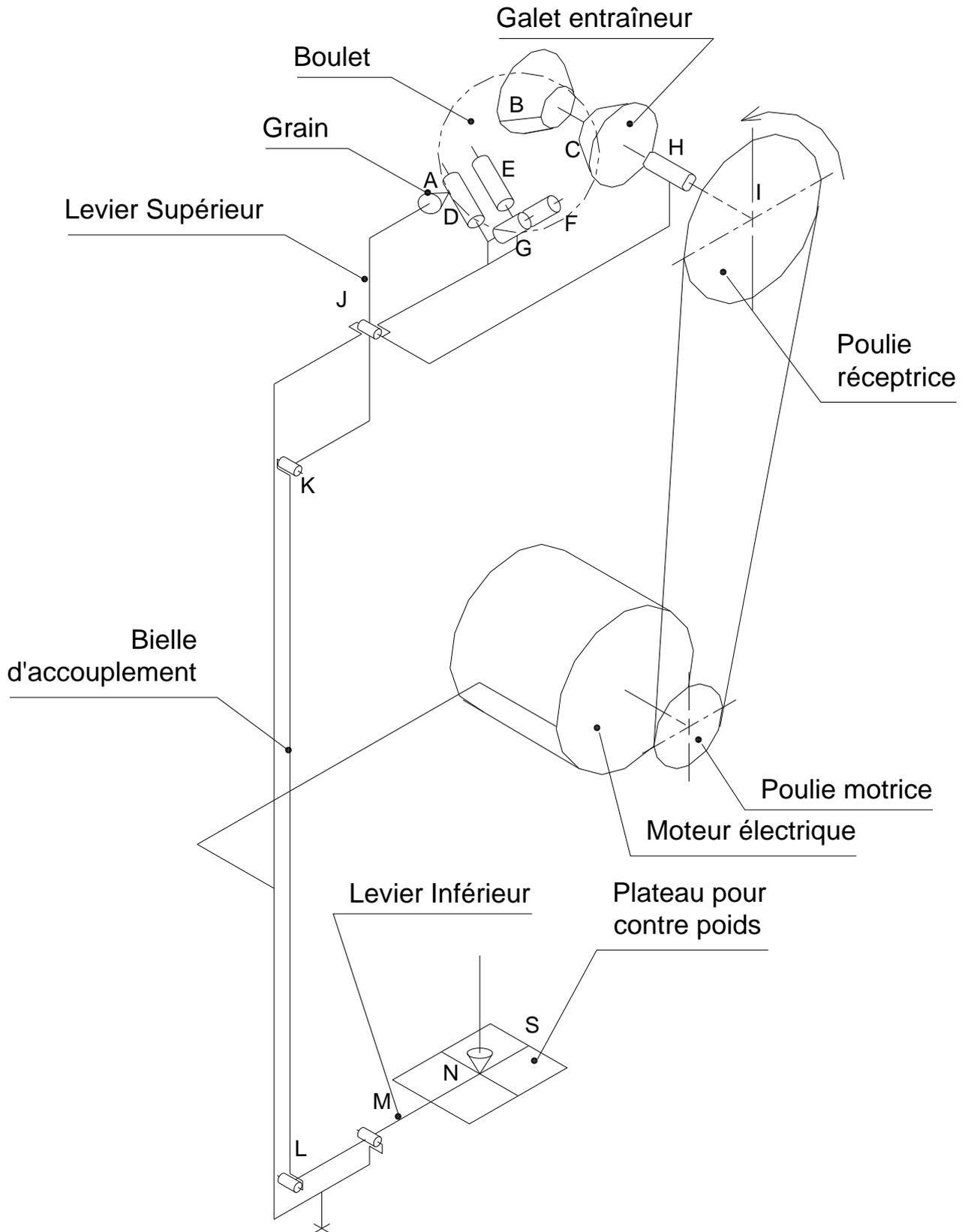


Figure 3-21: Architecture du banc d'usure

3.3.2. Détermination des efforts

**PHASE 01** Etude mécanique du boulet

1°. Mise en situation

Cette phase, consiste à représenter graphiquement par un dessin en 3D, le boulet isolé avec les actions mécaniques de contact et les actions mécaniques à distance qui agissent sur lui. La figure 3-22, donne la décomposition locale des actions de contacts.

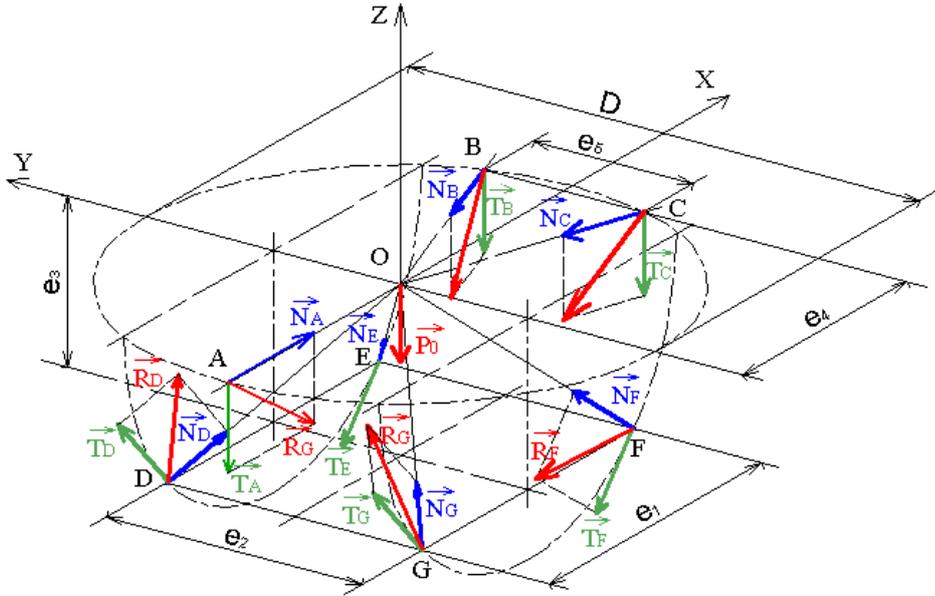


Fig 3-22: Mise en situation spatiale des actions mécaniques sur le boulet

En plus de la décomposition locale des réactions aux niveaux des points D, E, F et F, la figure 3-23 donne la décomposition de ces mêmes composantes locales dans le repère global  $R(O, X, Y, Z)$  associé au boulet.

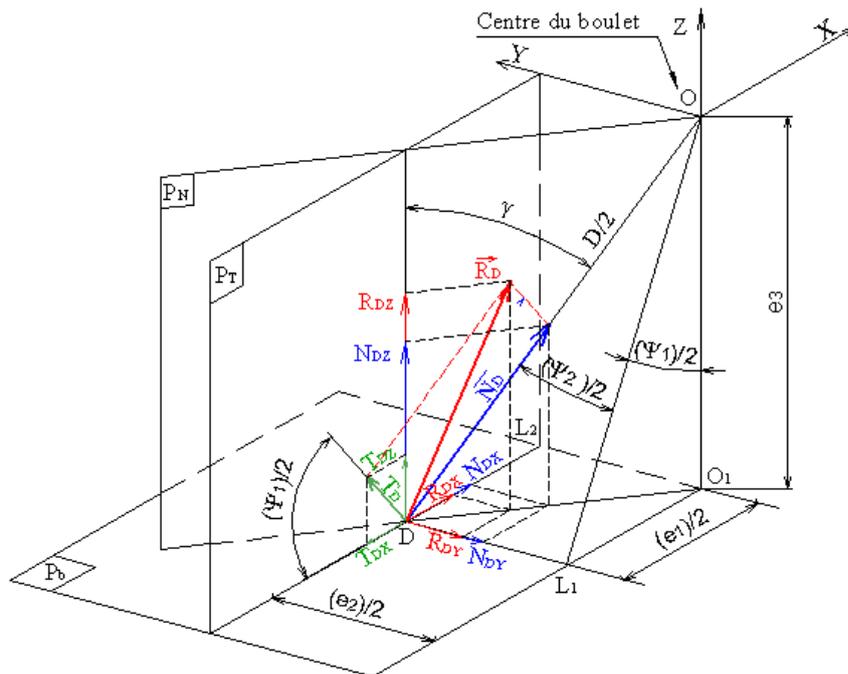


Fig 3-23: Décomposition spatiale de la réaction au point D

### 2°. Bilan des actions mécaniques

Une fois la mise en situation effectuée, l'analyse de cette situation permet de constater que le système mécanique constitué du boulet sera soumis à l'ensemble des actions mécaniques suivantes :

Action mécanique	Point d'application	Support	Sens	Intensité [N]
$\vec{P}_0$	O	$\Delta_1$		50 [N]
$\vec{R}_A$	A	$\Delta_2$		?
$\vec{R}_B$	B	$\Delta_3$		?
$\vec{R}_C$	C	$\Delta_4$		?
$\vec{R}_D$	D	$\Delta_5$		?
$\vec{R}_E$	E	$\Delta_6$		?
$\vec{R}_F$	F	$\Delta_7$		?
$\vec{R}_G$	G	$\Delta_8$		?

**Tableau 3-1:** Inventaire des actions mécaniques sur le boulet

### 3°. Formulation du torseur dynamique du boulet

D'une manière générale, le torseur dynamique du boulet dans son mouvement par rapport au référentiel  $R(X,Y,Z)$  sera exprimé en un centre O par l'entité suivante :

$$D_{(ME/\text{boulet})|_O} = \begin{cases} \vec{R} = \int_{p \in \text{Boulet}} \vec{\Gamma}_{p/R} \cdot dm \\ \vec{M}_O^R = \int_{P \in \text{boulet}} \vec{OP} \wedge \vec{\Gamma}_{p/R} \cdot dm \end{cases} \quad [3-1]$$

Il est défini par un centre de réduction ainsi que par ces deux éléments de réduction à savoir: la résultante générale et le moment résultant.

- le point par rapport auquel sera défini le torseur est appelé **centre de réduction**
- la résultante générale du torseur dynamique est appelée **résultante dynamique**
- le moment résultant du torseur dynamique est appelé **moment dynamique**

Pour notre cas:

- le centre O du boulet a été choisi comme centre de réduction.
- La résultante générale sera la somme de toutes les forces extérieures:  $\vec{R} = \sum \vec{F}_{ext}$
- le moment résultant sera la somme de tous les moments des forces extérieures:  $\vec{M}_O^R = \sum \vec{M}_0^{\vec{F}_{ext}}$   
par rapport à un centre de réduction défini à un point O du repère espace  $R(O,X,Y,Z)$ .

Suite à cela, le torseur dynamique sera défini au pont O, tel que:

$$D_{(ME/15)} \Big|_O = \begin{cases} \sum \vec{F}_{ext} = M_G \cdot \vec{\Gamma}_G \\ \sum M_0^{F_{ext}} = I \cdot \vec{\ddot{\theta}} \end{cases} \quad [3-2]$$

$$D_{(ME/15)} = \begin{cases} \vec{P}_0 + \vec{R}_A + \vec{R}_B + \vec{R}_C + \vec{R}_D + \vec{R}_E + \vec{R}_F + \vec{R}_G = M_G \cdot \vec{\Gamma}_G \\ \vec{M}_O^{P_0} + \vec{M}_O^{RA} + \vec{M}_O^{RB} + \vec{M}_O^{RC} + \vec{M}_O^{RD} + \vec{M}_O^{RE} + \vec{M}_O^{RF} + \vec{M}_O^{RG} = I \cdot \vec{\ddot{\theta}} \end{cases} \quad [3-3]$$

#### 4°. Equations d'équilibre

##### a- projection géométrique

$$\begin{cases} \sum \vec{F}_X = M_G \cdot \vec{\Gamma}_X \\ \sum \vec{F}_Y = M_G \cdot \vec{\Gamma}_Y \\ \sum \vec{F}_Z = M_G \cdot \vec{\Gamma}_Z \\ \sum M_{0X}^{F_{ext}} = I \cdot \vec{\ddot{\theta}}_X \\ \sum M_{0Y}^{F_{ext}} = I \cdot \vec{\ddot{\theta}}_Y \\ \sum M_{0Z}^{F_{ext}} = I \cdot \vec{\ddot{\theta}}_Z \end{cases} \quad [3-4]$$

##### Hypothèses:

D'une part, étant donné, que le boulet sera guidé en **rotation uniforme** autour de l'axe fixe (0Y) par l'intermédiaire des rouleaux porteurs, on aura:

- élimination des mouvements de translation suivant les axes OX, OY et OZ, d'où  $\vec{\Gamma}_X = \vec{\Gamma}_Y = \vec{\Gamma}_Z = \vec{0}$
- élimination des mouvements de rotation autour des axes OX et OZ, d'où:  $\vec{\ddot{\theta}}_X = \vec{\ddot{\theta}}_Z = \vec{0}$
- mouvement de rotation uniforme au tour de OY, d'où:  $\vec{\ddot{\theta}}_Y = \vec{0}$

D'autre part, sachant que les rouleaux porteurs seront disposés de façon symétrique par rapport au centre du boulet, on peut affirmer qu'aux points D,E,F et G on a les hypothèses suivantes :

- les actions normales du contact boulet-rouleaux sont égales:  $\|\vec{N}_D\| = \|\vec{N}_E\| = \|\vec{N}_F\| = \|\vec{N}_G\|$
- Les lignes d'actions de ces actions normales de contact sont concourantes au centre du boulet.
- les actions tangentielles du contact boulet-rouleaux sont égales:  $\|\vec{T}_D\| = \|\vec{T}_E\| = \|\vec{T}_F\| = \|\vec{T}_G\|$
- les lignes d'action de ces actions tangentielles sont parallèles au plan méridien du boulet.

En plus, vu la disposition symétrique des galets entraîneurs par rapport au boulet, les actions de contact aux ponts B et C sont égales:  $\|\vec{T}_B\| = \|\vec{T}_C\|$  et  $\|\vec{N}_B\| = \|\vec{N}_C\|$

Suite à ces hypothèses, les équations issues de la projection géométrique [3-4] dans le repère  $R(0, X, Y, Z)$ , seront réduites à:

$$\overrightarrow{M}_{OY}^{TA} + 2\left(\overrightarrow{M}_{OY}^{TB}\right) + 4\left(\overrightarrow{M}_{OY}^{TD}\right) = \vec{0} \quad [3-5]$$

Avec:

$$\overrightarrow{M}_{OY}^{TA} = \left[ \overrightarrow{M}_O^{TA} \cdot \vec{j} \right] \cdot \vec{j} = \left[ (\vec{A} \wedge \vec{T}_A) \cdot \vec{j} \right] \cdot \vec{j} = -\frac{D}{2} T_A \cdot \vec{j}$$

$$\overrightarrow{M}_{OY}^{TB} = \left[ \overrightarrow{M}_O^{TB} \cdot \vec{j} \right] \cdot \vec{j} = \left[ (\vec{OB} \wedge \vec{T}_B) \cdot \vec{j} \right] \cdot \vec{j} = e_4 \cdot T_B \cdot \vec{j}$$

$$\overrightarrow{M}_{OY}^{TD} = \left[ \overrightarrow{M}_O^{TD} \cdot \vec{j} \right] \cdot \vec{j} = \left[ (\vec{OD} \wedge \vec{T}_D) \cdot \vec{j} \right] \cdot \vec{j} = \left( \frac{e_1}{2} \sin \frac{\psi_1}{2} + e_3 \cos \frac{\psi_1}{2} \right) T_D \cdot \vec{j}$$

$$-\frac{D}{2} T_A \cdot \vec{j} + e_4 T_B \cdot \vec{j} + \left( \frac{e_1}{2} \sin \frac{\psi_1}{2} + e_3 \cos \frac{\psi_1}{2} \right) T_D \cdot \vec{j} = \vec{0} \quad [3-6]$$

La figure 3-22, permet de dégager  $e_1, e_2, e_3, e_4$  et  $e_5$ :

$$e_1 = D \cdot \sin \frac{\psi_1}{2} \cos \frac{\psi_2}{2}$$

$$e_2 = D \cdot \sin \frac{\psi_2}{2}$$

$$e_3 = \frac{D}{2} \cdot \cos \frac{\psi_1}{2} \cos \frac{\psi_2}{2}$$

$$e_4 = \frac{D}{2} \cos \frac{\psi_3}{2}$$

$$e_5 = D \cdot \sin \frac{\psi_3}{2}$$

[3-7]

### b. projection algébrique

En remplaçant les relations [3-7] et [3-6] dans [3-5], et après projection algébrique dans le repère global on obtient:

$$-T_A \cdot + 2 \cdot \cos \frac{\psi_3}{2} \cdot T_B \cdot + 4 \cdot \cos \frac{\psi_2}{2} \cdot T_D = 0 \quad [3-8]$$

L'équation [3-8] est une équations à trois inconnues  $T_A, T_B$  et  $T_D$ . Donc il faut définir deux autres équations pour que l'ensemble puisse former un système d'équation déterminable. Les deux autres équations sont constituée à partir de la loi Coulomb pour le frottement sec. Tel que:

$$\begin{aligned} T_A &= \mu_1 N_A \\ T_D &= \mu_2 N_D \end{aligned} \quad [3-9]$$

### 5°. Résolution des équations d'équilibre

#### a. Formulation de $N_A$

Étant donné que la fonction de service principale FP du banc d'usure est de provoquer l'abrasion par frottement entre le boulet de broyage et le grain de blindage et qu'en plus le frottement ne peut s'effectuer qu'à travers une liaison de contact entre boulet et grain, nous avons fait appel à la théorie des contacts initiées par Hertz. En supposant les hypothèses suivantes:

- L'aire de contact est très petite par rapport aux surfaces latérales respectives des solides en contact
- Les corps en contact sont considérés comme semi infinis;
- Les rayons de courbure sont connus au point de contact;
- Les corps sont élastiques homogènes et isotropes;
- La surface de contact est plane;
- Le contact se fait sans frottement, et les solides sont sans mouvement;

La théorie de contact, nous donne deux expressions concernant la pression moyenne de contact entre les deux solides. L'une en fonction de l'effort normal  $N$  de contact [AUB 98], et l'autre en fonction de la dureté  $H$  du matériau le moins dur [WIL 01]:

$$P_{moy} = \frac{\|\vec{N}_A\|}{a.b} \quad [3-10]$$

$$P_{moy} \geq 0.38.HB \quad [3-11]$$

- $\|\vec{N}_A\|$  : effort normal de contact au point A [N]
- $a$  : demi grand axe de l'ellipse de contact [mm]
- $b$  : demi grand axe de l'ellipse de contact [mm]

Leurs expressions sont:

$$a = m \left( \sqrt[3]{\frac{3\pi(k_1 + k_2)}{2(c_1 + c_1' + c_2 + c_2')} \|\vec{N}_A\|} \right) \quad [3-12]$$

$$b = \frac{n}{m} . a \quad [3-13]$$

$$K_1 = \frac{1 - \nu_1^2}{\pi.E_1} \quad K_2 = \frac{1 - \nu_2^2}{\pi.E_2} \quad [3-14]$$

- $E_1, E_2$  ; modules d'élasticité longitudinale
- $\nu_1, \nu_2$  : Coefficients de poisson
- $c_1, c_1'$  : courbure maximale et minimale du boulet
- $c_2, c_2'$  : courbure maximale et minimale du grain
- $m, n$  : paramètres de Hertz

A partir des relations [3-10] et [3-11], on peut exprimer  $\overline{N_A}$  tel que:

$$N_A \geq 0.38.HB.a.b \quad [3-15]$$

En remplaçant les relations [3-12] et [3-13] dans la relation [3 - 15], l'expression finale de l'effort de contact devient:

$$N_A \geq HB^3 . n^3 . m^3 \cdot \left( \frac{K_1 + K_2}{C_1 + C_1' + C_2 + C_2'} \right)^2 \quad [3-16]$$

### b. Formulation de $N_D$

L'examen de la figure 3-22 permet d'écrire:

$$N_D = \frac{N_{DZ}}{\cos \gamma} \quad [3-17]$$

$$\cos \gamma = \frac{2.e_3}{D} = \cos \frac{\psi_1}{2} \cos \frac{\psi_2}{2} \quad [3-18]$$

Vue que les rouleaux porteurs sont disposés symétriquement par rapport au centre du boulet ;

$$N_{DZ} = \frac{P_0}{4} \quad [3-19]$$

Les relations [3-18] et [3-19] dans la relation [3-17] on obtient l'expression de  $N_D$  :

$$N_D = \frac{P_0}{4 \cdot \cos \frac{\psi_1}{2} \cos \frac{\psi_2}{2}} \quad [3-20]$$

### c. Formulation de $T_B$

Une fois les actions mécaniques de contact  $N_A$  et  $N_D$  formulées, on peut constituer un système d'équation apte à être résolu pour donner les inconnues  $T_B$  et  $T_C$  du contact boulet-galets entraînés.

$$\begin{cases} -\mu_1 N_A + 2 \cos \frac{\psi_3}{2} T_B + 4 \cdot \mu_2 \cos \frac{\psi_2}{2} \cdot N_D = 0 \\ N_A = HB^3 . n^3 . m^3 \cdot \left( \frac{K_1 + K_2}{C_1 + C_1' + C_2 + C_2'} \right)^2 \\ N_D = \frac{P_0}{4 \cos \frac{\psi_1}{2} \cos \frac{\psi_2}{2}} \end{cases}$$

D'où:

$$T_B = \frac{1}{2 \cos \frac{\psi_3}{2}} \left[ \mu_1 N_A - 4 \cdot \mu_2 \cos \frac{\psi_2}{2} N_D \right] \quad [3-21]$$

## 6°. Application numérique

<b>Contact boulet -grain</b>						
Corps	Matériau	Propriétés	Rayon de courbure	Courbure	Frottement	Paramètres de Hertz
Boulet	Fonte	$E_1 = 126\ 000 [Mpa]$ $\nu_1 = 0.25$	$R_1 = 50 [mm]$ $R'_1 = 50 [mm]$	$C_1 = 0.02$ $C'_1 = 0.02$	$\mu_1 = 0.18$	$m = 1$ $n = 1$
Grain	Acier	$E_2 = 210\ 000 [Mpa]$ $\nu_2 = 0.3$ $HB = 4500 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$	$R_2 = \infty$ $R'_2 = \infty$	$C_2 = 0$ $C'_2 = 0$		
<b>Résultat</b>						
Corps	Courbure	Coefficient K		Effort normal $\ \vec{N}_A\ $	Effort tangentiel $\ \vec{T}_A\ $	
Boulet	$C_1 = 0.02$ $C'_1 = 0.02$	$K_1 = 2,368 \cdot 10^{-6} \left[ \frac{mm^2}{N} \right]$		$\geq 800 [N]$	$144 [N]$	
Grain	$C_2 = 0$ $C'_2 = 0$	$K_1 = 1,379 \cdot 10^{-6} \left[ \frac{mm^2}{N} \right]$				

Tableau 3-2: Résultats relatifs au contact boulet grain

<b>Contact boulet rouleaux porteurs</b>			
Frottement		Poids: $P_0 = m \cdot g$	
$\mu_2 = 0.18$		50 [N]	
Point	Composante normale N	Composante tangentielle T	Résultante
D	<b>20,41</b>	<b>3,67</b>	<b>20,73</b>
E	<b>20,41</b>	<b>3,67</b>	<b>20,73</b>
F	<b>20,41</b>	<b>3,67</b>	<b>20,73</b>
G	<b>20,41</b>	<b>3,67</b>	<b>20,73</b>

Tableau 3-3: Résultats relatifs au contact boulet rouleaux porteurs

<b>Contact boulet galets entraîneur</b>			
Frottement			
$\mu_3 = 0.45$			
Point	Composante normale N	Composante tangentielle T	Résultante
B	<b>155,55</b>	<b>70</b>	<b>170,57</b>
C	<b>155,55</b>	<b>70</b>	<b>170,57</b>

Tableau 3-4: Résultats relatifs au contact boulet galet entraîneur

<b>PHASE 02</b>	<i>Sélection du moteur électrique</i>
-----------------	---------------------------------------

**1°. Effort théorique d'entraînement du boulet**

L'entraînement du boulet étant effectué par deux galets entraîneurs, l'effort théorique  $\vec{F}_e$  nécessaire à cet entraînement sera la résultante des deux composantes tangentielles  $\vec{T}_B$  et  $\vec{T}_C$  générées aux points de contact B et C du contact boulet-galets entraîneurs.

$$\vec{F}_e = \vec{T}_B + \vec{T}_C$$

$F_e = T_B + T_C = 2T_B = 2T_C$	[3-22]
---------------------------------	--------

**2°. Puissance utile**

La puissance utile à l'entraînement lors de l'opération d'abrasion du boulet par le grain est définie en fonction du nombre de tours de rotations et du diamètre du boulet ainsi que de l'effort d'entraînement.

Tel que:

$P_U = \left( \frac{\pi}{6.10^4} \right) Nb.D.F_e$	[3-23]
--	--------

**3°. Puissance motrice**

La puissance du moteur électrique, sera calculée à partir de la puissance utile à l'entraînement du boulet et des rendements de la transmission. Elle est donnée par:

$P_{mot} = \frac{P_U}{\eta_G} = \frac{P_U}{\eta_1 \eta_2 \eta_3}$	[3-24]
---	--------

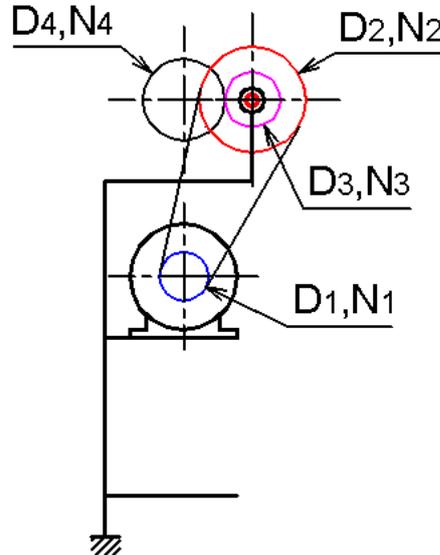
**4°. Application numérique**

Choix du moteur électrique				
$Nb$	$R$	$\eta_i$	$\eta_G$	$P_{NOR}$
<b>900 [tr/min]</b>	<b>50 [mm]</b>	<b>Boulet-galet</b> : $\eta_1 = 0,99$ <b>Palier</b> : $\eta_2 = 0,98$ <b>Courroie</b> : $\eta_3 = 0,95$	<b>0,92</b>	<b>0,09-0,12-0,18-0,25-0,37-0,55-0,55-0,75-1,1-1,5-2,2-3-3,5</b>
Résultats				
$F_e$	$P_U$	$P_{MOT}$	$P_{NOR}(choisie)$	
<b>140[N]</b>	<b>0,659 [KW]</b>	<b>0,71 [KW]</b>	<b>0,75 [KW]</b>	
<b>Le catalogue du fabricant ALMO (annexe A), nous a permis de sélectionner un moteur électrique avec les caractéristiques suivantes:</b> <ol style="list-style-type: none"> <li><b>1. Moteur monophasé à condensateur de démarrage et condensateur permanent</b></li> <li><b>2. Nombre de pôles : 02</b></li> <li><b>3. Puissance nominale: 0,75 [KW]</b></li> <li><b>4. Nombre de tours : <math>N_1 = 2800</math> [tr/min]</b></li> <li><b>5. <math>\varnothing</math> du bout d'arbre : <math>da = 20</math>[mm] + taraudage M6</b></li> </ol>				

Tableau 3-5: Résultats relatifs à la sélection du moteur électrique

**PHASE 03** Etude de la transmission par courroie

Pour entamer l'étude de la transmission par poulie-courroie, la (figure 3-24), montre la disposition adoptée pour le calcul des caractéristiques de la courroie.



**Figure 3-24:** Configuration du mécanisme de transmission par courroie

### 1°. Choix du diamètre $D_1$ de la poulie motrice

Une fois le moteur électrique déterminé, il faut maintenant songer à adopter un diamètre normalisé pour la poulie motrice qui conviendrait au bout d'arbre moteur. A cet effet, le catalogue du fabricant [SERAX], nous a permis de dégager quatre diamètres normalisés pour les poulies dont l'alésage peut recevoir le diamètre de l'arbre de sortie du moteur:

Ø bout d'arbre moteur	Fabricant de poulies	Alésage Moyeu poulie	Diamètre primitif Poulie motrice
20 [mm]	<b>SERAX</b>	20 [mm]	56 – 60 – 63 – 67

**Tableau 3-6:** Diamètres primitifs pour la poulie motrice

### 2°. Choix du diamètre $D_2$ de la poulie réceptrice

Sachant que le cahier des charges fonctionnel, impose un rapport de réduction de **2**, pour les diamètres de la poulie motrice on obtient une série de diamètres pour la poulie réceptrice valant respectivement **112, 120, 126 et 134**.

En consultant la documentation technique du fabricant Gates, ce dernier propose des couples de poulies ayant des rapports de réduction déterminés. Dans notre cas il a été adopté un couple de:

$$D_1 = 60 \text{ et } D_2 = 125$$

### 3°. Choix du diamètre $D_3$ du galet entraîneur

Une fois les diamètres primitifs des poulies motrices et réceptrices adoptés, il est impératif de déterminer le diamètre primitif des deux galets entraîneurs qui vont interagir avec le boulet en tant que système de roues de friction. Le rapport de transmission nous permet d'écrire:

$$\left(\frac{D_1}{D_2}\right)\left(\frac{D_3}{D_4}\right) = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)\left(\frac{N_4}{N_3}\right)$$

Sachant que la poulie réceptrice et les galets entraîneurs sont montés sur le même arbre, leurs vitesses de rotation sont égales.  $N_2 = N_3$ , ce qui nous permet d'écrire:

$$D_3 = \left(\frac{N_4}{N_1}\right)\left(\frac{D_2}{D_1}\right).D_4 \quad [3-25]$$

### 4°. Calcul de la courroie

Les fabricants de courroies proposent des algorithmes de calcul tel que celui détaillé ci-après (tableau 3-7) [ESN 98]. Cette démarche prend en compte les critères comme:

- *Les sollicitations en fatigues des matériaux constituant la courroie dues aux démarrages et aux freinages successifs ainsi qu'aux variations instantanées du couple en fonction de la nature des organes moteur et récepteur;*
- *Le caractère corrosif du milieu ambiant ;*
- *La consommation d'énergie nécessaire à la déformation élastique de la courroie quand elle vient épouser la trajectoire circulaire des poulies ;*
- *Le phénomène de coincement du contact (courroie - poulies) pour les sections trapézoïdales ;*
- *La standardisation qui propose des poulies et courroies normalisées ;*
- *La possibilité du décollement (courroie - poulies) sous l'effet du « coin d'air » qui soulève la courroie au-delà d'une vitesse linéaire donnée, il en résulte une diminution notable de l'angle d'enroulement entraînant aussi celle du couple transmissible.*

Procédure		Données / Résultats	Commentaires
<b>Etape 1</b> Données initiales	P, N, N2, e (approximatif)	<b>P=0,75[KW]</b> <b>N<sub>1</sub>=2800 [tr/min]</b> <b>N<sub>2</sub>=1344 [tr/min]</b> <b>e<sub>a</sub>= 455 [mm]</b>	
<b>Etape 2</b> Choix de la durée de vie	D'après le fabricant GATES	K=1,3	Le facteur K dépend -de la nature des organes moteur et récepteur
<b>Etape 3</b> Puissance pour le calcul : <b>P<sub>c</sub></b>	P <sub>c</sub> =K.P	P <sub>c</sub> =1,3(0,75) = 0,975[KW]  <b>P<sub>c</sub>= 0,975 [KW]</b>	P <sub>c</sub> est la puissance « corrigé » qui permet le choix d'une section de courroie normalisée
<b>Etape 4</b> Choix de la section <b>S</b> de courroie	Le catalogue GATES, renseigne sur la valeur de S en fonction de P <sub>c</sub> et N N=N <sub>1</sub> si N <sub>1</sub> >N <sub>2</sub> N=N <sub>2</sub> si N <sub>2</sub> >N <sub>1</sub>	La section de courroie à retenir est: <b>Courroie: XPZ</b>	A ce stade, le nombre de brins, pour le type XPZ n'est pas encore déterminé
<b>Etape 5</b> Rapport de transmission <b>K*</b>	K* =N <sub>2</sub> /N <sub>1</sub> si N <sub>2</sub> >N <sub>1</sub> K* =N <sub>1</sub> /N <sub>2</sub> si N <sub>1</sub> >N <sub>2</sub>	Ici N <sub>1</sub> >N <sub>2</sub>  <b>K* = 2 ,08</b>	K* permet le choix d'un couple de poulie normalisées
<b>Etape 6</b> Choix des poulies normalisées : <b>d<sub>1</sub></b> et <b>d<sub>2</sub></b>	D'après le fabricant GATES le couple de poulies normalisées offrant un rapport K* proche de 2.08	d <sub>1</sub> = 60 d <sub>2</sub> =125	Le couple de poulie d <sub>1</sub> , d <sub>2</sub> est choisi pour être le moins encombrant possible
<b>Etape 7</b> Vitesse linéaire de la courroie <b>V</b>	$v = \frac{d_1 N_1}{19100} \quad \text{ou} \quad \frac{d_2 N_2}{19100}$ v en m/s d en mm N en tr/min	$v = \frac{N_1 d_1}{19100} = \frac{(2800)(60)}{19100}$  <b>V = 8,795 [m/s]</b>	Le constructeur propose des poulies spécialement équilibrées pour v>30 m/s *cette relation est obtenue avec $v = \omega_1 \frac{d_1}{2} \quad \text{et}$ $\omega_1 = \frac{\pi N_1}{30}$
<b>Etape 8</b> Longueur approximative de la courroie : <b>L<sub>a</sub></b> (en mm)	$L_a = 2e_a + 1,57(d_1 + d_2) + \frac{ d_1 - d_2 ^2}{4e_a}$	$L_a = 2(455) + 1,57(60 + 125) + \frac{ 60 - 125 ^2}{4(455)}$  <b>L<sub>a</sub> =1202,77 [mm]</b>	La longueur approximative L <sub>a</sub> permet le choix d'une longueur standard L

Procédure		Résultats	Commentaires
<b>Etape 9</b> Choix de la longueur standard : <b>L</b>	Le fabricant TEXROPE (annexe B) propose une gamme de longueurs normalisées dont l'une se rapproche de $L_a$	<b>L=1212 [mm]</b> <b>XPZ-1212</b>	La différence entre L et $L_a$ impose ensuite le calcul de l'entraxe réel $e_r$
<b>Etape 10</b> Entraxe réel $e_r$ Détermination par le calcul	$e_r=1/2[K-f_1 d_1-d_2 ]$ avec $K=L-1,57(d_1+d_2)$ Le catalogue GATES renseigne sur la valeur du facteur d'entraxe $f_1$ fonction du rapport $\frac{ d_1 - d_2 }{K}$	$K=1212-1,57(60+125) = 921,55$ <b>K=921,55</b> $\frac{ d_1 - d_2 }{K} = \frac{ 60 - 125 }{921,55} = 0,0705$ ; d'où: <b>f<sub>1</sub>= 0,04</b> $e_r= 1/2 [921,55 - 0,04  60-125 ]$ <b>e<sub>r</sub>= 459,47 [mm]</b>	Notons que si cet entraxe réel $e_r$ est fixé dans l'installation considérée, alors il faut prévoir un tendeur de courroie (voire paragraphe 5.3)
<b>Etape 11</b> Puissance nette <b>P<sub>n</sub></b>	La puissance nette $P_n$ est calculée avec la relation : $P_n=(P_b+P_{a1}+P_{a2}) f_2.f_3$  <b>P<sub>b</sub></b> est la puissance de base fonction de d ( $d_1$ ou $d_2$ ) et ( $N_1$ ou $N_2$ ) soit, $d_1, N_1$ si $d_1 < d_2$ ou $d_2, N_2$ si $d_2 < d_1$ voir source GATES  <b>P<sub>a1</sub></b> est la puissance additionnelle fonction du rapport de transmission $k^*$ voir source GATES  <b>P<sub>a2</sub></b> est une puissance additionnelle fonction de la durée de vie voir source GATES  <b>f<sub>2</sub></b> est le facteur d'enroulement fonction de $Q = \frac{ d_1 - d_2 }{e_r}$ voir source GATES  <b>f<sub>3</sub></b> est le facteur de correction de longueur voir source GATES  Finalement : $P_n = (1,31+0,66+0,82)(0,98)(0,90)$ <b>P<sub>n</sub>= 2,46 [KW]</b>	<b>P<sub>b</sub> = 1,31[KW]</b>  $K^* > 1,45$ ( $K^* = 2,08$ ) $N_1 = 2800$ tr/min <b>P<sub>a1</sub> = 0,66 [KW]</b>  $P_{a2} = \frac{N_1 \cdot d_1}{202\,922} = \frac{(2800)(60)}{202\,922}$ <b>P<sub>a2</sub> = 0,82 [KW]</b>  $Q = \frac{ 60 - 125 }{459,47} = 0,141$ Après extrapolation : <b>f<sub>2</sub> = 0,98</b>  Pour une courroie XPZ 1212 <b>f<sub>3</sub> = 0,90</b>	La puissance nette $P_b$ est la puissance transmissible par un brin de courroie dans la série déterminée en début de calcul (soit ici XPZ)
<b>Etape 12</b> Nombre de brins : <b>b</b>	$b = \frac{P_c}{P_n}$	$b = \frac{0,975}{2,46} = 0,396$ , Soit: <b>b = 1 brin</b>	$P_c$ est la puissance total a transmettre $P_n$ est la puissance transmissible par un brin
<b>Etape 13</b> Tension de pose <b>T<sub>0</sub></b>	$T_0 = \frac{45(f_4 - f_2)P_c}{f_2 \cdot b \cdot v} + mv^2$ $m$ : voir source GATES $f_4$ : facteur de tension - $f_4$ : 2,5 (courroie trapézoïdal) - $f_4$ : 2,67 (courroie plane)	$m = 0,0104$ $T_0 = \frac{45(2,5 - 0,98) \cdot 0,975}{(0,98) \cdot (1) \cdot (8,795)} + (0,006)(8,795)^2$ <b>T<sub>0</sub> = 8,201 [daN] soit 82 [N]</b>	

Tableau 3-7: Procédure relative au calcul de la courroie

### 5°. Calcul des tensions de fonctionnement $T_1$ et $T_2$

L'existence des tensions  $\vec{T}_1$  et  $\vec{T}_2$  est due à la tension initiale de pose  $\vec{T}_0$  effectuée à l'arrêt. Cette dernière donne naissance aux actions de contact initiales (courroie - poulies) nécessaire à l'entraînement sans glissement [ESN 98]. Tel que:

$$T_0 = \frac{1}{2}(T_1 + T_2) \quad [3-26]$$

Etant donné que dans notre cas on a affaire à une courroie trapézoïdale, les tensions de fonctionnement  $\vec{T}_1$  et  $\vec{T}_2$  sont liés par la relation suivante:

$$\frac{T_1}{T_2} = e^{3\lambda\mu\alpha_2} = e^{3\lambda\mu(2\pi-\alpha_1)} \quad [3-27]$$

- $\lambda = \frac{\mu_0}{\mu}$ , rapport du facteur de frottement cinétique  $\mu$  au facteur d'adhérence  $\mu_0$  :

$$\lambda = 0,9 \quad [3-28]$$

- $\mu$ , facteur de frottement:

$$\mu = 0,4 \quad [3-29]$$

- $\alpha_1$ , le plus petit angle d'enroulement

$$\alpha_1 = 2 \arccos \left[ \frac{r_2}{e} (1 - k_{12}) \right] \quad \text{avec} \quad K_{12} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{d_1}{d_2} \quad [3-30]$$

La relation  $K_{12} = \frac{d_1}{d_2}$ , impose que  $d_1 < d_2$  et par conséquent  $\alpha_1 < \alpha_2$ . Dans ce cas, le risque de glissement est plus important sur la poulie bénéficiant de l'angle d'enroulement le plus petit ( $\alpha_1$ ) donc il convient de définir  $T_1$  et  $T_2$  en se plaçant dans le cas le plus défavorable.

$$\alpha_1 = 2 \arccos \left[ \frac{125}{2(459,47)} \left( 1 - \frac{1344}{2800} \right) \right] \quad [3-31]$$

En remplaçant les relations [3-28], [3-29] et [3-30] dans la relation [3-27], on obtient:

$$\frac{T_1}{T_2} = e^{3(0,9)(0,4)(2,99)} = 25,51 \quad [3-32]$$

Donc :

$$T_1 = (25,51)T_2$$

Enfin, les équations [3-26] et [3-32], nous fournissent un système d'équations linéaire qui nous permet de calculer les deux tensions de fonctionnement  $T_1$  et  $T_2$ .

$$\begin{cases} T_1 + T_2 = 2T_0 \\ T_1 = (25,51)T_2 \end{cases} \quad [3-33]$$

6°. Application numérique

Calcul des tensions de fonctionnement									
$P_N$ [KW]	$N_1$ [Tr/min]	$D_1$ [mm]	$E$ [mm]	$\lambda$	$\mu$				
0,75	2800	60	455	0,9	0,4				
Résultat									
Type	$N_2$ [tr/min]	$D_2$ [mm]	$L$ [mm]	$E_r$ [mm]	Brin	$\alpha_1$ [deg]	$T_0$ [N]	$T_1$ [N]	$T_2$ [N]
XPZ	1344	125	1212	459,47	1	171.88	82	157,60	6,18

Tableau 3-8: Résultats relatifs à la sélection de la courroie

**PHASE 04** Etude mécanique du bloc d'entraînement

1°. Mise en situation

Cette phase, consiste à représenter graphiquement par un dessin en 3D, le bloc entraîneur isolé avec les actions mécanique de contact qui agissent sur lui (figure 3-25).

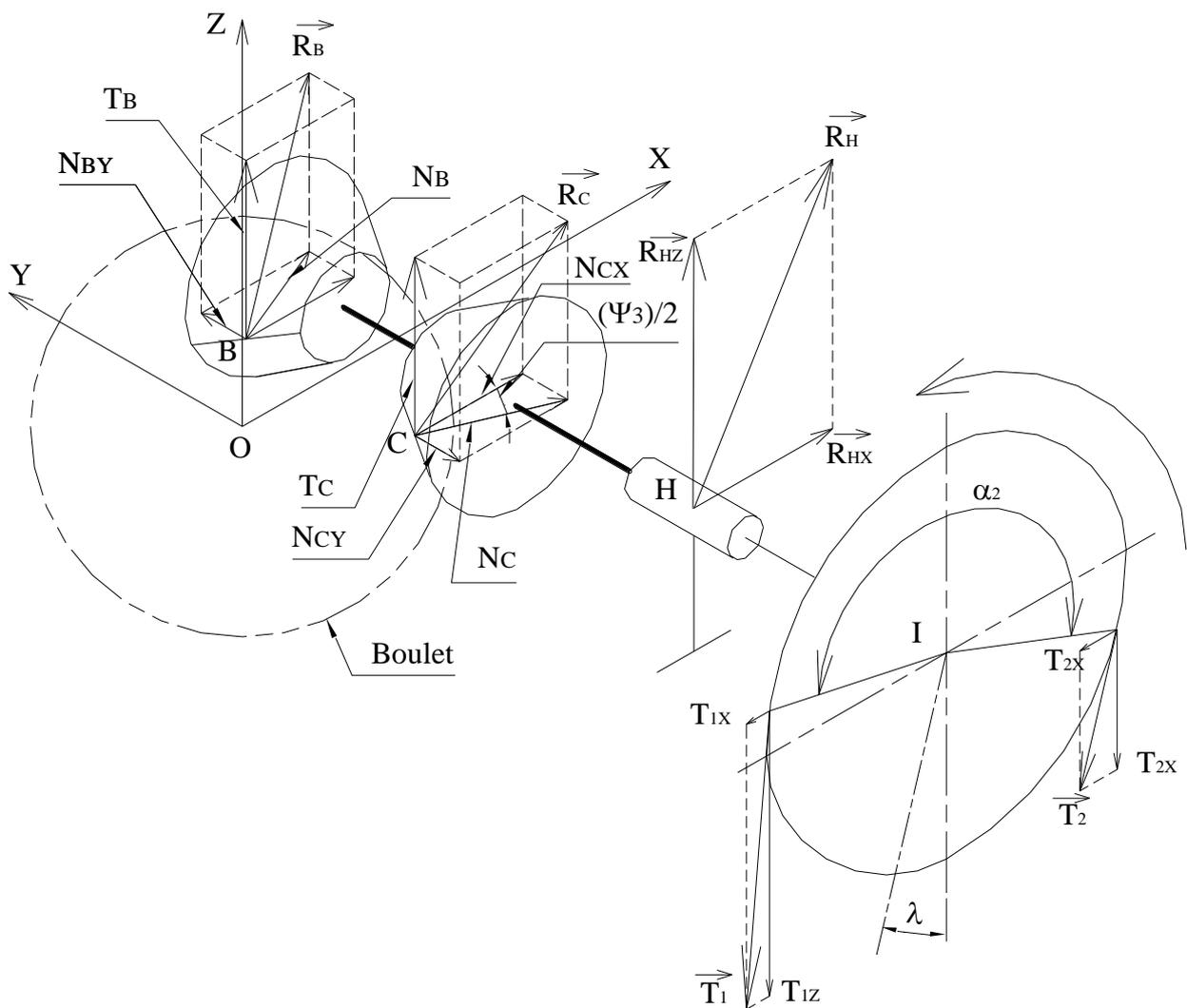


Fig 3-25: Mise en situation spatiale des actions mécaniques sur le bloc entraîneur

## 2°. Bilan des actions mécaniques

Une fois la mise en situation effectuée (figure 3-25), elle permet d'affirmer que le bloc entraîneur et soumis à un ensemble de cinq forces spatiales :

- Action de la tension du brin tendu :  $\vec{T}_1 = -T_{1X} \vec{i} - T_{1Z} \vec{k}$
- Action de la tension du brin mou:  $\vec{T}_2 = -T_{2X} \vec{i} - T_{2Z} \vec{k}$
- Actions Réelles du boulet aux points B :  $\vec{R}_B^* = N_{BX} \vec{i} + N_{BY} \vec{j} + T_B \vec{k}$
- Actions Réelles du boulet aux points C:  $\vec{R}_C^* = N_{CX} \vec{i} - N_{CY} \vec{j} + T_C \vec{k}$
- Action du palier :  $\vec{R}_H = R_{HX} \vec{i} + R_{HZ} \vec{k}$

## 3°. Formulation du torseur dynamique du bloc entraîneur

D'une manière générale, le torseur dynamique du bloc entraîneur dans son mouvement par rapport au référentiel  $R(X, Y, Z)$  sera exprimé par:

$$D = \begin{cases} \vec{R}_B + \vec{R}_C + \vec{R}_H + \vec{T}_1 + \vec{T}_2 = M \cdot \vec{\Gamma}_G \\ \vec{M}^{R_B} + \vec{M}^{R_C} + \vec{M}^{R_H} + \vec{M}^{T_1} + \vec{M}^{T_2} = I \cdot \vec{\ddot{\theta}} \end{cases} \quad [3-34]$$

## 4°. Equations d'équilibre

### a- projection géométrique

$$\begin{cases} \sum \vec{F}_X = M_G \cdot \vec{\Gamma}_X \\ \sum \vec{F}_Y = M_G \cdot \vec{\Gamma}_Y \\ \sum \vec{F}_Z = M_G \cdot \vec{\Gamma}_Z \\ \sum \vec{M}_{0X}^{F_{ext}} = I \cdot \vec{\ddot{\theta}}_X \\ \sum \vec{M}_{0Y}^{F_{ext}} = I \cdot \vec{\ddot{\theta}}_Y \\ \sum \vec{M}_{0Z}^{F_{ext}} = I \cdot \vec{\ddot{\theta}}_Z \end{cases} \quad [3-35]$$

Etant donné que le bloc entraîneur sera guidé en **rotation uniforme** autour de l'axe fixe (OY) par l'intermédiaire d'un palier à roulement ; on aura:

- élimination des mouvements de translation suivant les axes OX, OY et OZ, d'où  $\vec{\Gamma}_X = \vec{\Gamma}_Y = \vec{\Gamma}_Z = \vec{0}$
- élimination des mouvements de rotation autour des axes OX et OZ, d'où:  $\vec{\ddot{\theta}}_X = \vec{\ddot{\theta}}_Z = \vec{0}$
- mouvement de rotation uniforme au tour de OY, d'où:  $\vec{\ddot{\theta}}_Y = \vec{0}$

Dans ce cas, les équations [3-35] issues de la projection géométrique dans le repère  $R(0, X, Y, Z)$ , seront réduites à:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum \vec{F}_X = \vec{0} \\ \sum \vec{F}_Y = \vec{0} \\ \sum \vec{F}_Z = \vec{0} \\ \sum \vec{M}_{OX}^{F_{ext}} = \vec{0} \\ \sum \vec{M}_{OY}^{F_{ext}} = \vec{0} \\ \sum \vec{M}_{OZ}^{F_{ext}} = \vec{0} \end{array} \right. \quad [3-36]$$

### b. projection algébrique

Une fois les hypothèses de simplification adoptées, la projection algébrique, du système d'équations [3-36], devient

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum F_X = -T_{1X} - T_{2X} + R_{HX} + N_{BX} + N_{CX} = 0 \\ \sum F_Y = N_{BY} - N_{CY} - R_{HY} = 0 \\ \sum F_Z = -T_{1Z} - T_{2Z} + R_{HZ} + T_B + T_C = 0 \\ \sum M_{OX} = b.T_{1Z} + b.T_{2Z} - M_{CX} + \left(a + \frac{R}{2}\right).T_B + \left(a - \frac{R}{2}\right).T_C = 0 \\ \sum M_{OY} = -\frac{D_2}{2}.T_1 + \frac{D_2}{2}.T_2 + \frac{D_3}{2}.T_B + \frac{D_3}{2}.T_C = 0 \\ \sum M_{OZ} = -b.T_{1Z} - b.T_{2Z} + M_{CZ} - \frac{D_3}{2}.N_{BY} + \frac{D_3}{2}.N_{CY} - \left(a + \frac{R}{2}\right).N_{BX} - \left(a - \frac{R}{2}\right).N_{CX} = 0 \end{array} \right. \quad [3-37]$$

Sachant que pour des raisons de symétrie on a :

$$\begin{array}{l} N_{BX} = N_{CX} \\ N_{BY} = N_{CY} \\ T_B = T_C \end{array} \quad [3-38]$$

Le système d'équations [3-37] s'écrira :

$$\left\{ \begin{array}{l} -T_{1X} - T_{2X} + R_{HX} + 2.N_{BX} = 0 \\ + R_{CY} = 0 \\ -T_{1Z} - T_{2Z} + R_{HZ} + 2.T_B = 0 \\ + b.T_{1Z} + b.T_{2Z} - M_{HX} + 2.a.T_B = 0 \\ -\frac{D_2}{2}.T_1 + \frac{D_2}{2}.T_2 + D_3.T_B = 0 \\ -b.T_{1Z} - b.T_{2Z} + M_{HZ} - 2.a.N_{BX} = 0 \end{array} \right. \quad [3-39]$$

La liaison Boulet-Galet étant un contact avec adhérence ayant un coefficient de frottement  $\mu_3$ , on aura :

$$N_{BX} = \frac{T_B}{\mu_3} \cdot \cos\left(\frac{\psi_3}{2}\right) \quad [3-40]$$

La décomposition des tensions de fonctionnement  $T_1$  et  $T_2$  dans le repère  $R(O, X, Y, Z)$  nous permet d'écrire les composantes suivantes:

$$\begin{aligned} T_{1X} &= T_1 \cdot \sin \left[ \lambda - \left( \frac{\alpha_2 - \pi}{2} \right) \right] \\ T_{1Z} &= T_1 \cdot \cos \left[ \lambda - \left( \frac{\alpha_2 - \pi}{2} \right) \right] \\ T_{2X} &= T_2 \cdot \sin \left[ \lambda + \left( \frac{\alpha_2 - \pi}{2} \right) \right] \\ T_{2Z} &= T_2 \cdot \cos \left[ \lambda + \left( \frac{\alpha_2 - \pi}{2} \right) \right] \end{aligned} \quad [3-41]$$

On remplaçant les relations [3-40] et [3-41] dans le système d'équation [3-39] on aura:

$$\begin{aligned} -T_1 \cdot \sin \left[ \lambda - \left( \frac{\alpha_2 - \pi}{2} \right) \right] - T_2 \sin \left[ \lambda + \left( \frac{\alpha_2 - \pi}{2} \right) \right] + R_{HX} + 2 \cdot \frac{T_B^*}{\mu_3} \cos \left( \frac{\psi_3}{2} \right) &= 0 \\ + R_{HY} &= 0 \\ -T_1 \cdot \cos \left[ \lambda - \left( \frac{\alpha_2 - \pi}{2} \right) \right] - T_2 \cdot \cos \left[ \lambda + \left( \frac{\alpha_2 - \pi}{2} \right) \right] + R_{HZ} + 2T_B^* &= 0 \\ + bT_1 \cdot \cos \left[ \lambda - \left( \frac{\alpha_2 - \pi}{2} \right) \right] + bT_2 \cos \left[ \lambda + \left( \frac{\alpha_2 - \pi}{2} \right) \right] - M_{HX} + 2aT_B^* &= 0 \\ -\frac{D_2}{2} T_1 + \frac{D_2}{2} T_2 + D_3 T_B^* &= 0 \\ -bT_1 \cdot \cos \left[ \lambda - \left( \frac{\alpha_2 - \pi}{2} \right) \right] - bT_2 \cos \left[ \lambda + \left( \frac{\alpha_2 - \pi}{2} \right) \right] + M_{HZ} - 2a \cdot \frac{T_B^*}{\mu_3} \cdot \cos \left( \frac{\psi_3}{2} \right) &= 0 \end{aligned} \quad [3-42]$$

### 5°. Résolution des équations d'équilibre

Le système d'équation [3-42] est un système de six équations à six inconnues  $T_B^*, T_C^*, R_{HX}, R_{HZ}, M_{HX}, M_{HZ}$ . Donc il peut être résolu.

$$\begin{aligned} T_B^* = T_C^* &= \frac{D_2}{2D_3} (T_1 - T_2) \\ N_B^* = N_C^* &= \frac{D_2}{2\mu_3 D_3} (T_1 - T_2) \end{aligned} \quad [3-43]$$

$$R_{HX} = \left[ \sin \left[ \lambda - \left( \frac{\alpha_2 - \pi}{2} \right) \right] - \frac{D_2}{\mu_3 D_3} \cos \left( \frac{\psi_3}{2} \right) \right] T_1 + \left[ \sin \left[ \lambda + \left( \frac{\alpha_2 - \pi}{2} \right) \right] + \frac{D_2}{\mu_3 D_3} \cdot \cos \left( \frac{\psi_3}{2} \right) \right] T_2 \quad [3-44]$$

$$R_{HZ} = \left[ \cos \left[ \lambda - \left( \frac{\alpha_2 - \pi}{2} \right) \right] - \frac{D_2}{D_3} \right] T_1 + \left[ \cos \left[ \lambda + \left( \frac{\alpha_2 - \pi}{2} \right) \right] + \frac{D_2}{D_3} \right] T_2 \quad [3-45]$$

$$M_{HX} = \left[ b \cdot \cos \left[ \lambda - \left( \frac{\alpha_2 - \pi}{2} \right) \right] + a \cdot \frac{D_2}{D_3} \right] T_1 + \left[ b \cdot \cos \left[ \lambda + \left( \frac{\alpha_2 - \pi}{2} \right) \right] - a \cdot \frac{D_2}{D_3} \right] T_2 \quad [3-46]$$

$$M_{HZ} = \left[ b \cdot \cos \left[ \lambda - \left( \frac{\alpha_2 - \pi}{2} \right) \right] + a \cdot \frac{D_2}{D_3} \cdot \cos \left( \frac{\psi_3}{2} \right) \right] T_1 + \left[ b \cdot \cos \left[ \lambda + \left( \frac{\alpha_2 - \pi}{2} \right) \right] - a \cdot \frac{D_2}{D_3} \cdot \cos \left( \frac{\psi_3}{2} \right) \right] T_2 \quad [3-47]$$

6°. Application numérique

Calcul du bloc entraîneur									
$\alpha_2 [Deg]$	$\lambda [Deg]$	$\psi_3 [Deg]$	$D_2 [mm]$	$D_3 [mm]$	$a [mm]$	$b [mm]$	$\mu_3$	$T_1 [N]$	$T_2 [N]$
171,8	8,5	36	125	63	79,5	68,5	0,45	157,6	6,18
Résultats									
$T_B^* [N]$	$N_B^* [N]$	$R_{HX} [N]$	$R_{HZ} [N]$	$R_H [N]$	$M_{HX} [Nm]$	$M_{HZ} [Nm]$	$M_H [Nm]$		
150,21	333,81	-621,41	-137,27	636,39	35,05	33,88	48,74		

Tableau 3-9: Résultats relatifs au calcul du bloc entraîneur

**PHASE 05** Etude du système presseur

1°. Mise en situation

Cette phase consiste à isoler le mécanisme à levier et à le représenter graphiquement selon une échelle adéquate par un schéma cinématique en 3D (figure 3-26). Sur ce schéma doivent figurer les actions mécaniques de contact ainsi que les actions mécaniques à distance. La représentation graphique obtenue est dénommée : Mise en situation.

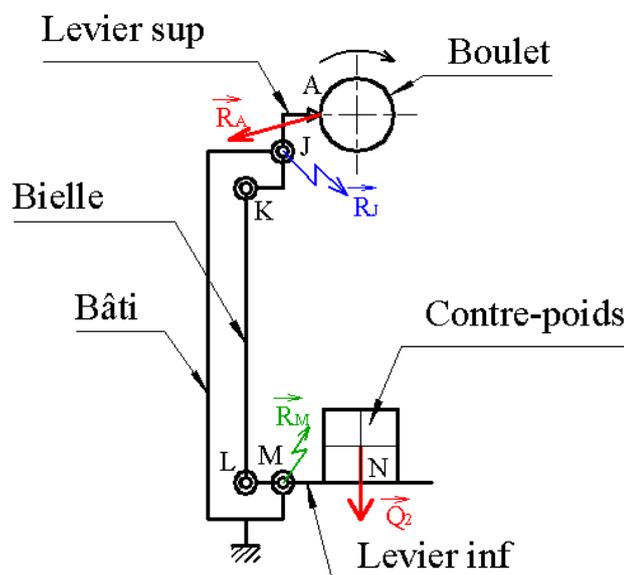


Figure 3-26: Mise en situation du système presseur

**2°. Bilan des actions mécaniques extérieures**

L'analyse de la mise en situation (figure 3-26), permet d'affirmer que le mécanisme à levier est soumis à un ensemble de 04 actions mécaniques coplanaires:

- $\vec{R}_A^*$  : Action mécanique réelle du boulet sur le levier.
- $\vec{R}_J$  : Action mécanique du châssis sur le levier.
- $\vec{R}_K$  : Action mécanique du châssis sur le levier.
- $\vec{Q}_3$  : Charge du contre-poids.

**3°. Etude de l'équilibre du levier supérieur.**

Le levier supérieur une fois isolé du mécanisme, il sera sollicité aux points A, J et K à l'action de trois forces coplanaires et concourantes dont les composantes sont (figure 3-27):

- Action corrigée du boulet sur le levier:  $\vec{R}_A^* - N_A^* \cdot \vec{i} + T_A^* \cdot \vec{j}$
- Action du bâti sur le levier:  $\vec{R}_J = R_{JX} \cdot \vec{i} - R_{JY} \cdot \vec{j}$
- Action de la bielle sur le levier:  $\vec{R}_K = \|\vec{R}_K\| \cdot \vec{j}$

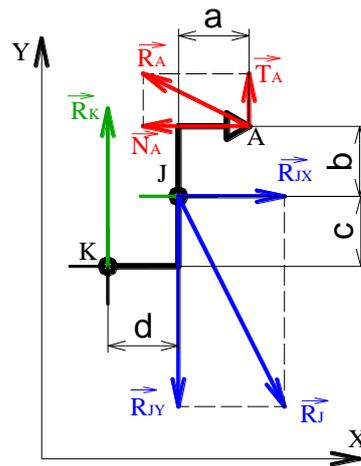


Figure 3-27: Mise en situation du levier supérieur

L'équilibre statique du levier supérieur nécessite que:

$$\begin{cases} -N_A^* + R_{JX} = 0 \\ T_A^* - R_{JY} + R_{KY} = 0 \\ b.N_A^* + a.T_A^* - d.R_K = 0 \end{cases} \quad [3-48]$$

La résolution du système d'équation [3-48] donne:

$$R_K = \frac{b.N_A^* + a.T_A^*}{d} \quad [3-49]$$

$$R_J = \sqrt{(N_A^*)^2 + \left( \frac{b.N_A^* + (a+b).T_A^*}{a} \right)^2} \quad [3-50]$$

#### 4°. Etude de l'équilibre de la bielle d'accouplement

La bielle d'accouplement une fois isolée du mécanisme, elle sera sollicitée aux points K et L à l'action de deux forces directement opposées qui ont dans le repère global les composantes suivantes (figure 3-28):

- Action du levier supérieur sur la bielle:  $\vec{R}_K = -\|\vec{R}_K\| \cdot \vec{j}$
- Action du levier inférieur sur la bielle:  $\vec{R}_L = \|\vec{R}_L\| \cdot \vec{j}$

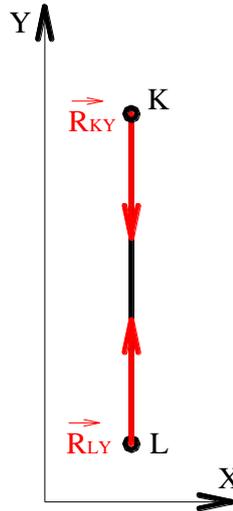


Figure 3-28: Mise en situation de la bielle

L'équilibre de la bielle nécessite que :

$$R_L = R_K \quad [3-51]$$

Ou bien:

$$R_L = \frac{b.N_A^* + a.T_A^*}{d} \quad [3-52]$$

#### 5°. Etude de l'équilibre du levier inférieur

Le levier inférieur une fois isolé du mécanisme, il sera sollicité aux points L, M et N à l'action de trois forces coplanaires et parallèles dont les composantes sont (figure 3-29):

- Action mécanique de contact avec la bielle:  
 $\vec{R}_L = -\|\vec{R}_L\| \cdot \vec{j}$
- Action mécanique de contact avec le bâti:  
 $\vec{R}_M = +\|\vec{R}_M\| \cdot \vec{j}$
- Action mécanique à distance du contrepoids:  
 $\vec{Q}_2 = -\|\vec{Q}_2\| \cdot \vec{j}$

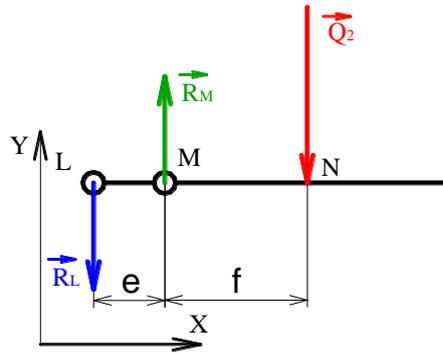


Figure 3-29: Mise en situation du levier inférieur

L'équilibre statique du levier inférieur nécessite que:

$$\begin{cases} -R_L + R_M - Q_2 = 0 \\ +e.R_L - f.Q_2 = 0 \end{cases} \quad [3-53]$$

La résolution du système d'équations [3-45] donne:

$$Q_2 = \left(\frac{e}{f}\right)R_L \quad [3-54]$$

$$R_M = \left(\frac{e+f}{f}\right)R_L \quad [3-55]$$

En remplaçant la relation [3-44] dans les relations [3-46] et [3-47] on aura:

$$Q_2 = \left(\frac{e}{f.d}\right)(b.N_A^* + a.T_A^*) \quad [3-56]$$

$$R_M = \left(\frac{e+f}{f.d}\right)(b.N_A^* + a.T_A^*) \quad [3-57]$$

### 6°. Application numérique

Calcul du système presseur							
$N_A^*$ [N]	$T_A^*$ [N]	$a$ [mm]	$b$ [mm]	$c$ [mm]	$d$ [mm]	$e$ [mm]	$f$ [mm]
1657,83	298,41	50	50	50	50	50	100
Résultats							
$R_K$ [N]	$R_J$ [N]	$R_L$ [N]	$R_M$ [N]	$Q_2$ [N]			
1956,24	2798,54	1956,24	3912,48	978,12			

Tableau 3-10: Résultats relatifs aux efforts dans le système presseur

---

*Chapitre IV*

---

**ÉTUDE DE DÉFINITION  
DU  
BANC D'USURE**

---

Une fois le prédimensionnement du banc d'usure achevé, et son architecture fixé, il convient de passer à la définition effectif des différents sous systèmes qui constituent l'ensemble. Cette activité sera menée en faisant appel à la discipline de la Résistance des Matériaux et aux outils de l'analyse technique.

Les principaux sous systèmes du banc d'usure sont: Le bloc entraîneur, le mécanisme presseur à levier et le bâti. Dans ce qui suit on ne traitera que le bloc entraîneur.

### 4.1 DIMENSIONNEMENT DU BLOC ENTRAINEUR

Le dimensionnement relatif des solutions technologiques du bloc entraîneur, se fera à la base des résultats obtenus dans l'étape du calcul des efforts. Les principales données initiales nécessaires au calcul sont regroupées dans le tableau 4-1.

Données initiales			
$P_{net}$ [KW]	2,48		
$N_1$ [tr / mn]	1344		
$T_1$ [N]	157,6		
$T_2$ [N]	6,18		
$T_B^*$ [N]	150,21		
$N_B^*$ [N]	333,81	$N_{BX}^*$	317,47
		$N_{BY}^*$	103,15
$R_H$ [N]	636,39	$R_{HX}$ [N]	621,41
		$R_{HZ}$ [N]	137,27
$M_H$ [Nm]	48,74	$M_{HX}$ [Nm]	35,05
		$M_{HZ}$ [Nm]	33,88
$a$ [m]	0.0795	$b$ [m]	0.0685

Tableau 4-1: Données initiales pour le bloc entraîneur

PHASE 100		TORSION		
Plan	Zone	Sollicitation	Résultat	Diagramme
		<p><b>1. Moment extérieur</b></p> $M_2 = 9549,2966 \frac{P_{net}}{N_2} \dots\dots\dots$ <p><b>2. Moment de torsion</b></p> $M_t = M_2$	<p><b>17,47 mN</b></p> <p><b>17,47 mN</b></p>	

PHASE 200		FLEXION		
PHASE 210		Sollicitations internes		
Plan	Zone	Sollicitation	Résultat	Diagramme
XY	PH	<b>1. réactions</b> $F_{1X}=2.N_{BX}$ $R_{H1}=F_{1X}$ ..... $M_{H1}=a.F_{1X}$ ..... <b>2. effort tranchant <math>T_I</math></b> $T_I=R_{H1}$ ..... <b>3. Moment de flexion <math>M_{fI}</math></b> $M_{fI}=M_{H1} - y.R_{H1}$ $M_{fI}(0)$ ..... $M_{fI}(a)$ .....	<b>634,94 N</b> <b>50,47 mN</b>  <b>634,94 N</b>  <b>50,47 mN</b> <b>0 mN</b>	
	HI	<b>1. réactions</b> $F_{2X}=T_{1X} + T_{2X}$ $R_{H2}=F_{2X}$ ..... $M_{H2}=b.F_{2X}$ ..... <b>2. effort tranchant</b> $T_{II}=R_{H2}$ ..... <b>3. moment de flexion</b> $M_{f2}= - M_{H2} + y.R_{H2}$ $M_{f2}(0)$ ..... $M_{f2}(b)$ .....	<b>13,54 N</b> <b>0,92 mN</b>  <b>13,54 N</b>  <b>- 0,92 mN</b> <b>0 mN</b>	
YZ	PH	<b>1. réactions</b> $F_{1Z}=2.T_B^*$ $R_{H1}=F_{1Z}$ ..... $M_{H1}=a.F_{1X}$ ..... <b>2. effort tranchant <math>T_I</math></b> $T_I=R_{H1}$ ..... <b>3. Moment de flexion <math>M_{fI}</math></b> $M_{fI}=M_{H1} - y.R_{H1}$ $M_{fI}(0)$ ..... $M_{fI}(a)$ .....	<b>300,42 N</b> <b>23,88 mN</b>  <b>300,42 N</b>  <b>23,88 mN</b> <b>0 mN</b>	
	HI	<b>1. réactions</b> $F_{2Z}=T_{1Z} + T_{2Z}$ $R_{H2}=F_{2Z}$ ..... $M_{H2}=b.F_{2Z}$ ..... <b>2. effort tranchant</b> $T_{II}=R_{H2}$ ..... <b>3. moment de flexion</b> $M_{f2}= - M_{H2} + y.R_{H2}$ $M_{f2}(0)$ ..... $M_{f2}(b)$ .....	<b>171,78 N</b> <b>11,75 mN</b>  <b>171,78 N</b>  <b>-11,75 mN</b> <b>0 mN</b>	

PHASE 220		Moment de flexion équivalent		
Plan	Zone	Sollicitation	Résultat	Diagramme
		<p>Le moment de flexion équivalent, <math>Mf_e</math>, représente la composition des moments de flexion déterminés pour chaque plan [LEM 85]. Tel que :</p> $Mf_e = \sqrt{Mf_1^2 + Mf_2^2}$		
	PH	$Mf_{e1}$ .....	55,83 mN	
	HI	$Mf_{e2}$ .....	11,78 mN	
PHASE 230		Moment de flexion idéal		
Plan	Zone	Sollicitation	Résultat	Diagramme
		<p>Pour des questions de sécurité liée à l'utilisation de l'arbre d'entraînement, la contrainte normal maximal <math>\sigma_{MAX}</math> dans la section transversal droite la plus chargée doit rester inférieure a une contrainte limite admissible <math>R_p</math> liée au matériau tel que:</p> $\sigma_{MAX} = \frac{Mf_i}{I} .v \leq R_p$ <p><math>Mf_i</math> : moment de flexion idéal.</p> $Mf_i = \frac{1}{2} Mf_e + \frac{1}{2} \sqrt{Mf_e^2 + M_T^2}$		
	PH	$Mf_{i1}$ .....	57,164 mN	
	HI	$Mf_{i2}$ .....	16,425 mN	

PHASE 300		MOMENT DE TORSION IDEAL		
Plan	Zone	Sollicitation	Résultat	Diagramme
		<p>Pour des raisons de sécurité liées à l'utilisation de l'arbre entraîneur, la contrainte tangentielle maximale <math>\tau_{MAX}</math> doit toujours rester inférieure à la résistance pratique au glissement <math>R_{pg}</math> du matériaux tel que :</p> $\tau_{MAX} = \frac{M_{Ti}}{I_0} .v \leq R_{pg}$ <p>avec : <math>M_{Ti}</math> . Moment de Torsion idéal</p> $M_{Ti} = \sqrt{(Mf_e)^2 + (M_T)^2}$		
	PH	$M_{Ti} _1$ .....	58,50 mN	
	HI	$M_{Ti} _2$ .....	21,07 mN	

**PHASE 400**

**CHOIX DU DIAMETRE DE L'ARBRE ENTRAINEUR**

Les conditions d'équarrissage de l'arbre d'entraînement en vue de la détermination de son diamètre, sont données par système d'équation suivant:

$$\sigma_{MAX} = \frac{(Mf_i)_{MAX}}{I} \cdot v_{max} \leq Rp$$

$$\tau_{MAX} = \frac{(M_{Ti})_{MAX}}{I_0} \cdot v_{max} \leq Rpg$$

$v_{max}$	$I$	$I_0$	$Rp$
$\frac{d}{2}$	$\frac{\pi \cdot d^4}{64}$	$\frac{\pi \cdot d^4}{32}$	$\frac{Re}{s}$

avec :  $Rpg = \frac{Re \cdot g}{s} = \frac{Re}{2s}$  et  $2 < s < 5$

$$d_f \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot Mf_i \cdot s}{\pi \cdot Re}} \tag{4-1}$$

et

$$d_T \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{Ti} \cdot s}{\pi \cdot Re}} \tag{4-2}$$

L'arbre entraîneur sera en acier au carbone, la relation [4-1] ou [4-2] nous permettent de calculer son diamètre suivant trois nuances utilisées pour les arbres de transmission en construction mécanique (tableau 4-1).

		s	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
		Re							
C22 (XC18)	R	260	16,61	17,89	19,01	20,02	20,93	21,77	22,54
	T+Rv	350	15,04	16,2	17,22	18,13	18,95	19,71	20,42
C30 (XC32)	R	320	15,5	16,7	17,74	18,68	19,53	20,31	21,04
	T+Rv	560	12,86	13,87	14,72	15,5	16,2	16,85	17,46
C40 (XC42)	R	360	14,9	16,05	17,06	17,96	18,78	19,53	20,23
	T+Rv	700	11,94	12,86	13,39	14,39	15,04	15,64	16,2

**Tableau 4-1:** Série des diamètres selon la nuance des aciers

Cette série de diamètre doit être normalisée. En exploitant [CHE 90], on obtient une série de dimensions nominales apte à être utilisée (Tableau 4-2)

		s	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
		Re							
C22 (XC18)	R	260	17	18	20	22,4	22,4	22,4	25
	T+Rv	350	16	17	18	20	20	20	22,4
C30 (XC32)	R	320	16	17	18	20	20	22,4	22,4
	T+Rv	560	14	14	16	16	17	18	18
C40 (XC42)	R	360	16	18	18	18	20	20	22,4
	T+Rv	700	12,5	14	14	16	16	16	18

**Tableau 4-2:** Série des diamètres normalisés

**4.2. ANALYSE TECHNIQUE DU BLOC ENTRAINEUR**

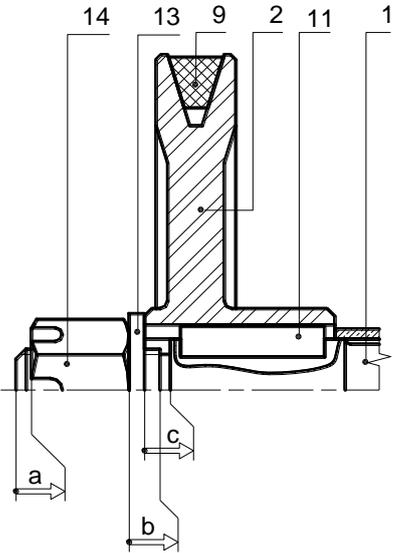
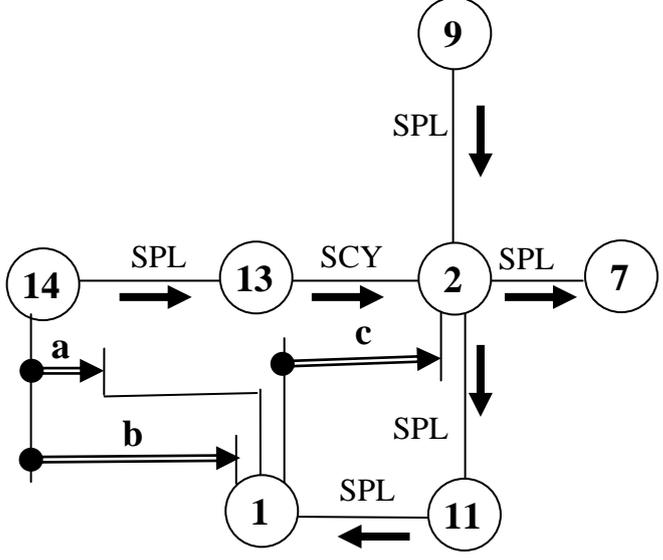
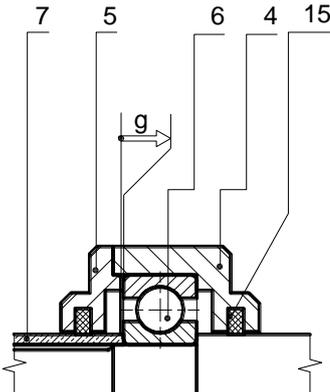
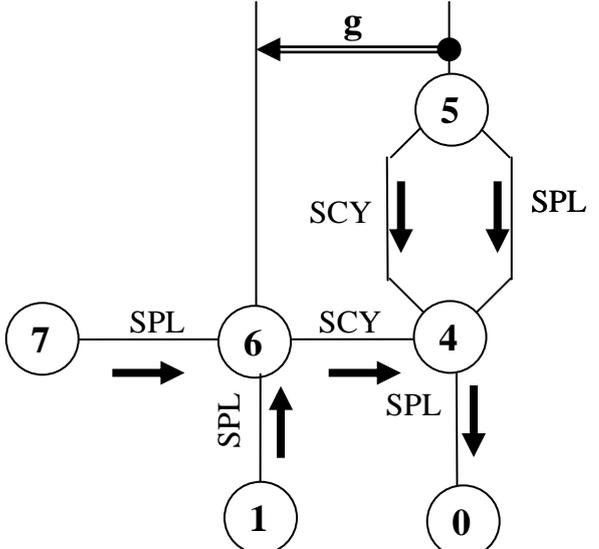
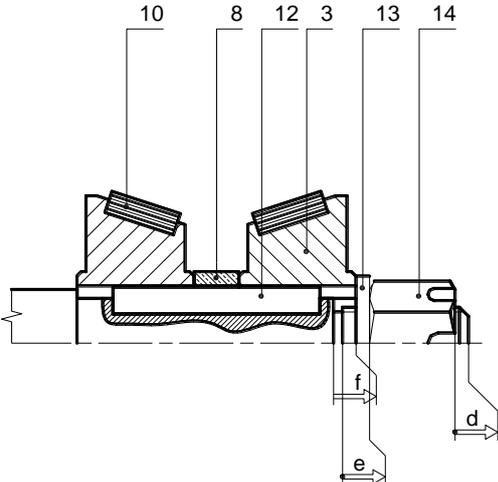
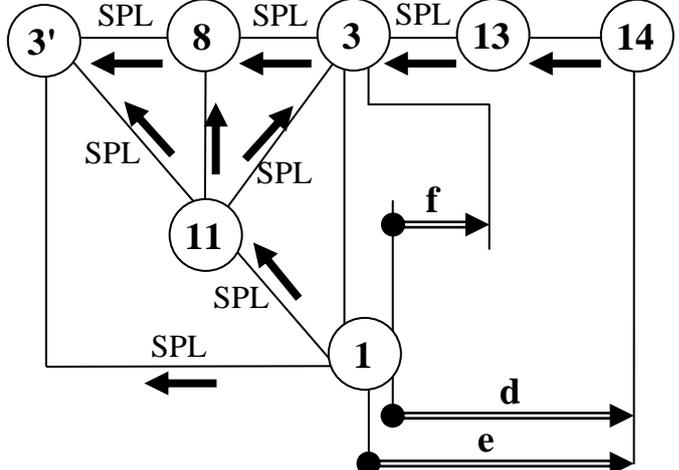
**PHASE 100 IDENTIFICATION DES GROUPES FONCTIONNELS**

Un groupe fonctionnel [GF], est un ensemble d'organes, de pièces ou un ensemble de surfaces d'une pièce complexe ayant une fonction mécanique déterminée. Un groupe fonctionnel peut être divisé en groupe fonctionnel secondaire ou sous-groupe, etc...[ PIE 80]

Inventaire des groupes fonctionnels	
Rep	Désignation
GF 1	Liaison flexible par adhérence
GF 2	Liaison complète [2-1]
GF 3	Guidage en rotation [6-1]
GF 4	Liaison
GF 5	Liaison complète [4_Bâti]
GF 6	Etanchéité dynamique
GF 7	Liaison complète [1-3et3']
GF 8	Liaison complète [10-3] et [10'-3']

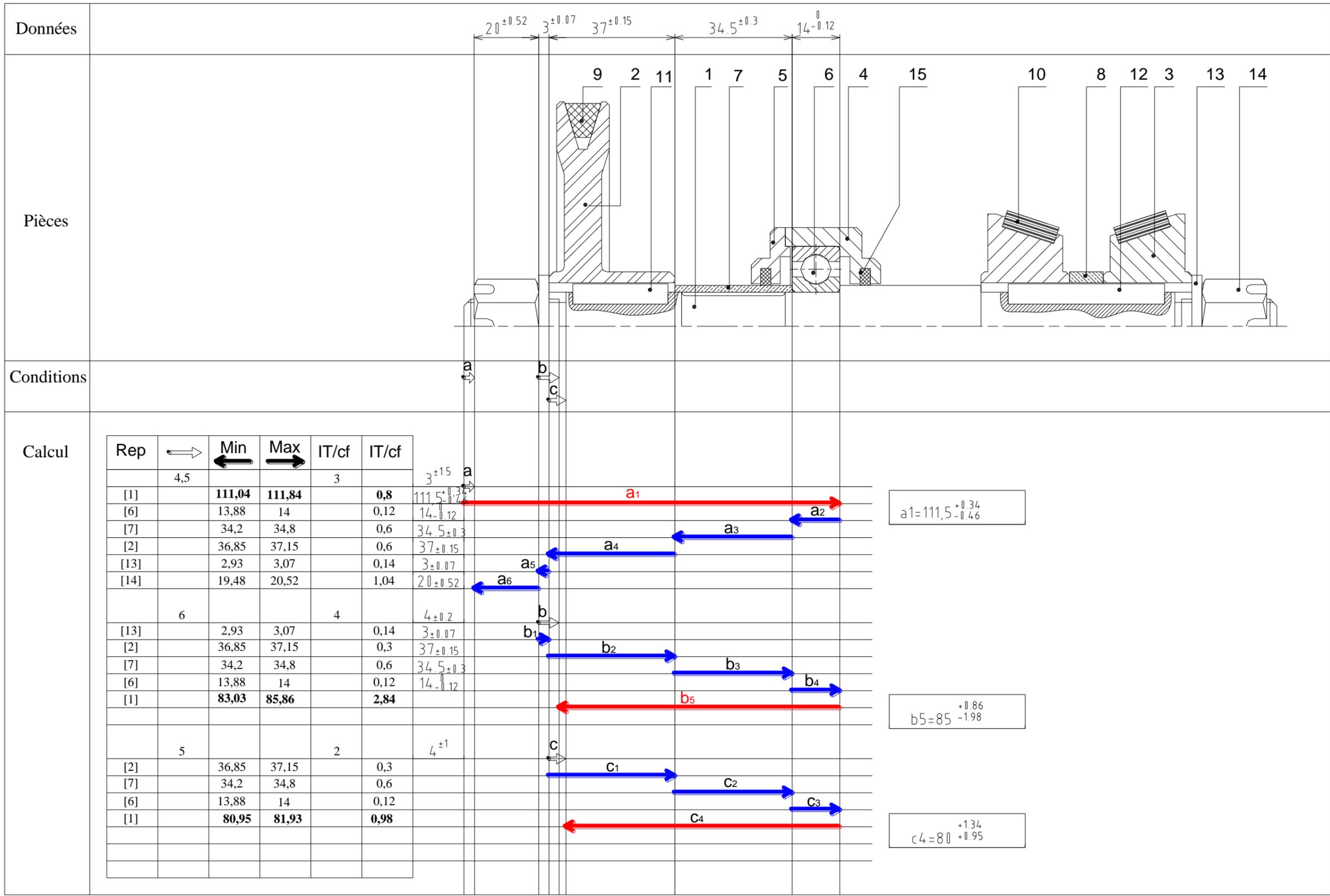
PHASE 200	DEFINITION DIMENSIONNELLE
PHASE 210	graphe des liaisons et flux d'efforts
Assemblage	Liaisons et flux d'efforts

PHASE 220		analyse des liaisons																	
Elément d'analyse		Solides																	
1. Liaison		[1-2]					[1-6]					[1-3,3']							
2. Désignation		Encastrement					Pivot					Encastrement							
3. Schématisation																			
4. Caractère cinématique		T			R			T			R			T			R		
		T <sub>x</sub>	T <sub>y</sub>	T <sub>z</sub>	R <sub>x</sub>	R <sub>y</sub>	R <sub>z</sub>	T <sub>x</sub>	T <sub>y</sub>	T <sub>z</sub>	R <sub>x</sub>	R <sub>y</sub>	R <sub>z</sub>	T <sub>x</sub>	T <sub>y</sub>	T <sub>z</sub>	R <sub>x</sub>	R <sub>y</sub>	R <sub>z</sub>
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
5. Caractère d'inter-effort		S			M			S			M			S			M		
		S <sub>x</sub>	S <sub>y</sub>	S <sub>z</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	S <sub>x</sub>	S <sub>y</sub>	S <sub>z</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	S <sub>x</sub>	S <sub>y</sub>	S <sub>z</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>
		1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
6. Caractère technique		c	r	de	a	di	c	r	de	a	di	c	r	de	a	di			
		$\bar{c}$	$\bar{r}$	$\bar{de}$	$\bar{a}$	$\bar{di}$	$\bar{c}$	$\bar{r}$	$\bar{de}$	$\bar{a}$	$\bar{di}$	$\bar{c}$	$\bar{r}$	$\bar{de}$	$\bar{a}$	$\bar{di}$			
7	Positionnement relatif	Pb d'Assemblage	Appui					Appui plan de [2] sur [7] avec orientation suivant SR2.					Appui plan de [3] sur [1] avec orientation suivant SR4.						
		Pb de guidage	Pénétration					Pénétration cylindrique de [1] dans [2]					Pénétration cylindrique de [1] dans [3], [3'] et [8] avec centrage long suivant SR5						
	Glissant																		
	Tournant							Guidage en rotation par roulement à bille											
8	Caractérisation	Qualification	Blocage latéral avec jeu: - Appui plan de [2] contre [7]. - Maintien latéral par écrou et rondelle plate.					Blocage latéral en milieu d'arbre sans jeu: - Appui plan de [6] contre épaulement de [1]. - Maintien latéral par [7].					Blocage latéral avec jeu: - Appui plan de [3] contre [1] - Appui plan de [8] contre [3] - Appui plan de [3'] contre [8] - Maintien latéral par écrou et rondelle plate.						
		Quantification	- Coaxialité avec centrage long suivant SR1.  - Ajustement avec faible jeu H8/h7					- Bague intérieur mobile par rapport à la direction de la Charge.  - Ajustement avec serrage: H7/k5					- Coaxialité avec centrage long suivant SR5.  - Ajustement avec faible jeu H8/h7						

PHASE 230	conditions de fonctionnement
<p>Les conditions de fonctionnement sont des espaces traduits géométriquement par des vecteurs dénommés vecteurs conditions. Ces vecteurs représentent une dimension bi bornée, assurant un espace entre deux composants distincts. Elle se représente par une cote condition.</p>	
Assemblage	Cote Condition
	
	
	

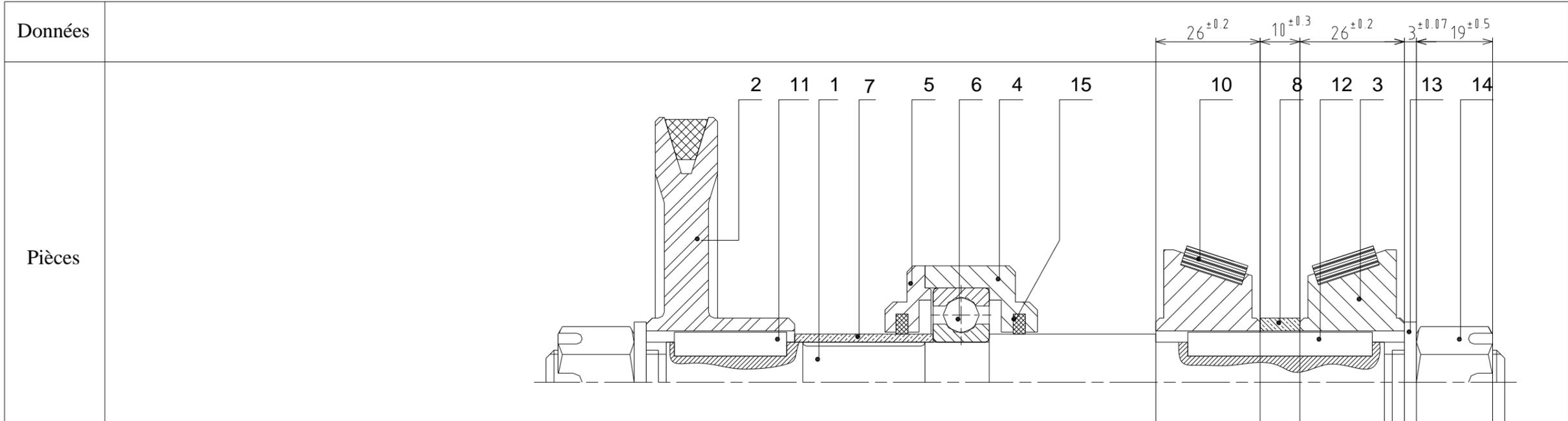
PHASE 240

Résolution des conditions de fonctionnement



PHASE 240

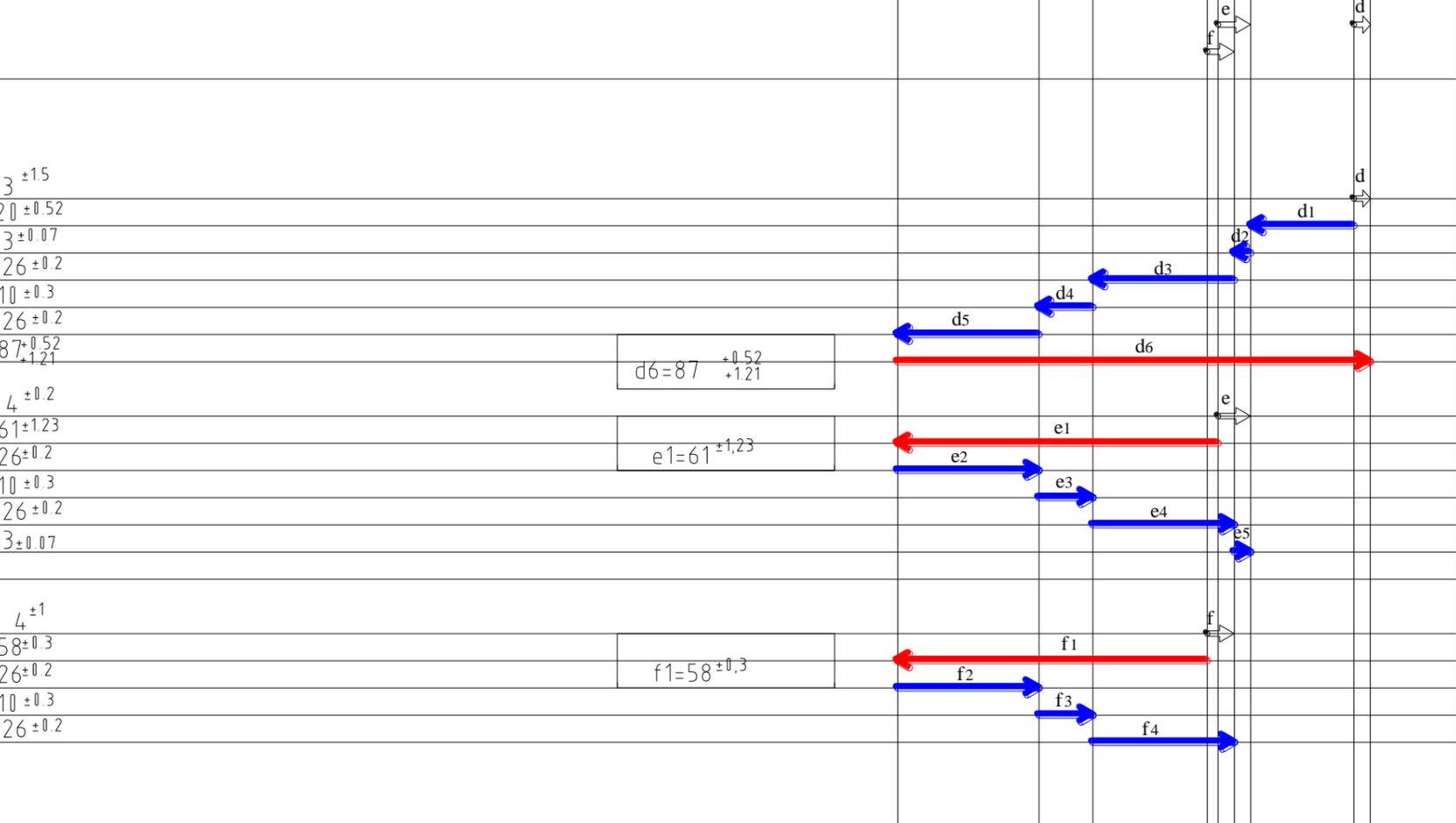
Résolution des conditions de fonctionnement (suite)

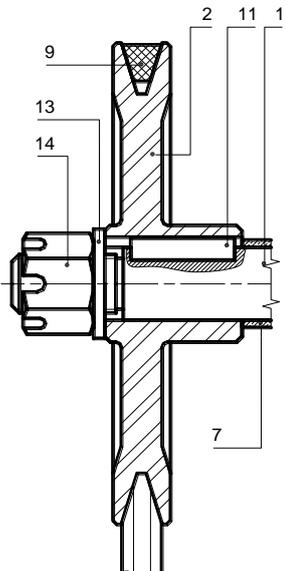
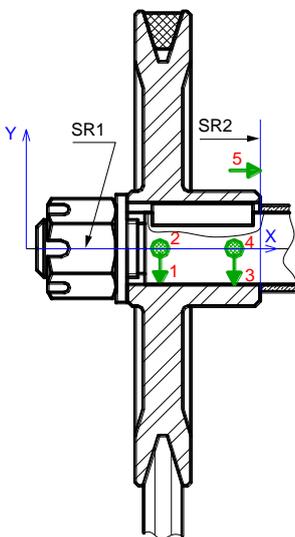
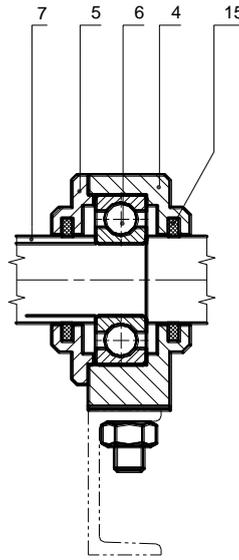
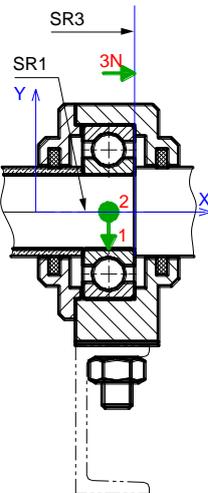
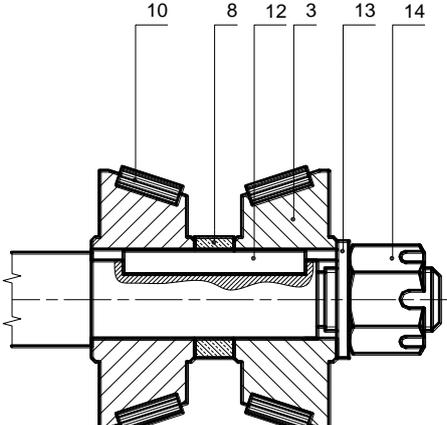
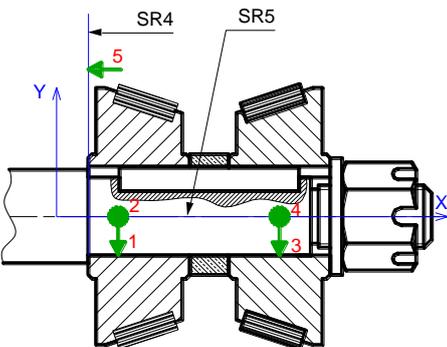


Conditions

Calcul

Rep	↔	← Min	→ Max	IT/cf	IT/cf
	4,5			3	$3 \pm 15$
[14]		19,48	20,52		$20 \pm 0,52$
[13]		2,93	3,07	0,14	$3 \pm 0,07$
[3]		25,8	26,2	0,4	$26 \pm 0,2$
[8]		9,7	10,3	0,6	$10 \pm 0,3$
[3']		25,8	26,2	0,4	$26 \pm 0,2$
[1]		<b>87,52</b>	<b>88,21</b>	<b>0,42</b>	$87 \begin{smallmatrix} +0,52 \\ -1,21 \end{smallmatrix}$
	6			4	$4 \pm 0,2$
[1]		<b>59,77</b>	<b>62,23</b>	<b>2,46</b>	$61 \pm 1,23$
[3']		25,8	26,2	0,4	$26 \pm 0,2$
[8]		9,7	10,3	0,6	$10 \pm 0,3$
[3]		25,8	26,2	0,4	$26 \pm 0,2$
[13]		2,93	3,07	0,14	$3 \pm 0,07$
	5			2	$4 \pm 1$
[1]		<b>57,70</b>	<b>58,30</b>	<b>0,6</b>	$58 \pm 0,3$
[3']		25,8	26,2	0,4	$26 \pm 0,2$
[8]		9,7	10,3	0,6	$10 \pm 0,3$
[3]		25,8	26,2	0,4	$26 \pm 0,2$



PHASE 300	DEFINITION GEOMETRIQUE	
PHASE 310	Etude de l'isostatisme	
Assemblage	Normale de repérage	Système de référence
		<p>Réf primaire: SR1→4N</p> <p>Réf secondaire: SR2→1N</p>
		<p>Réf primaire: SR3→3N</p> <p>Réf secondaire: SR1→2N</p>
		<p>Réf primaire: SR5→4N</p> <p>Réf secondaire: SR4→1N</p>

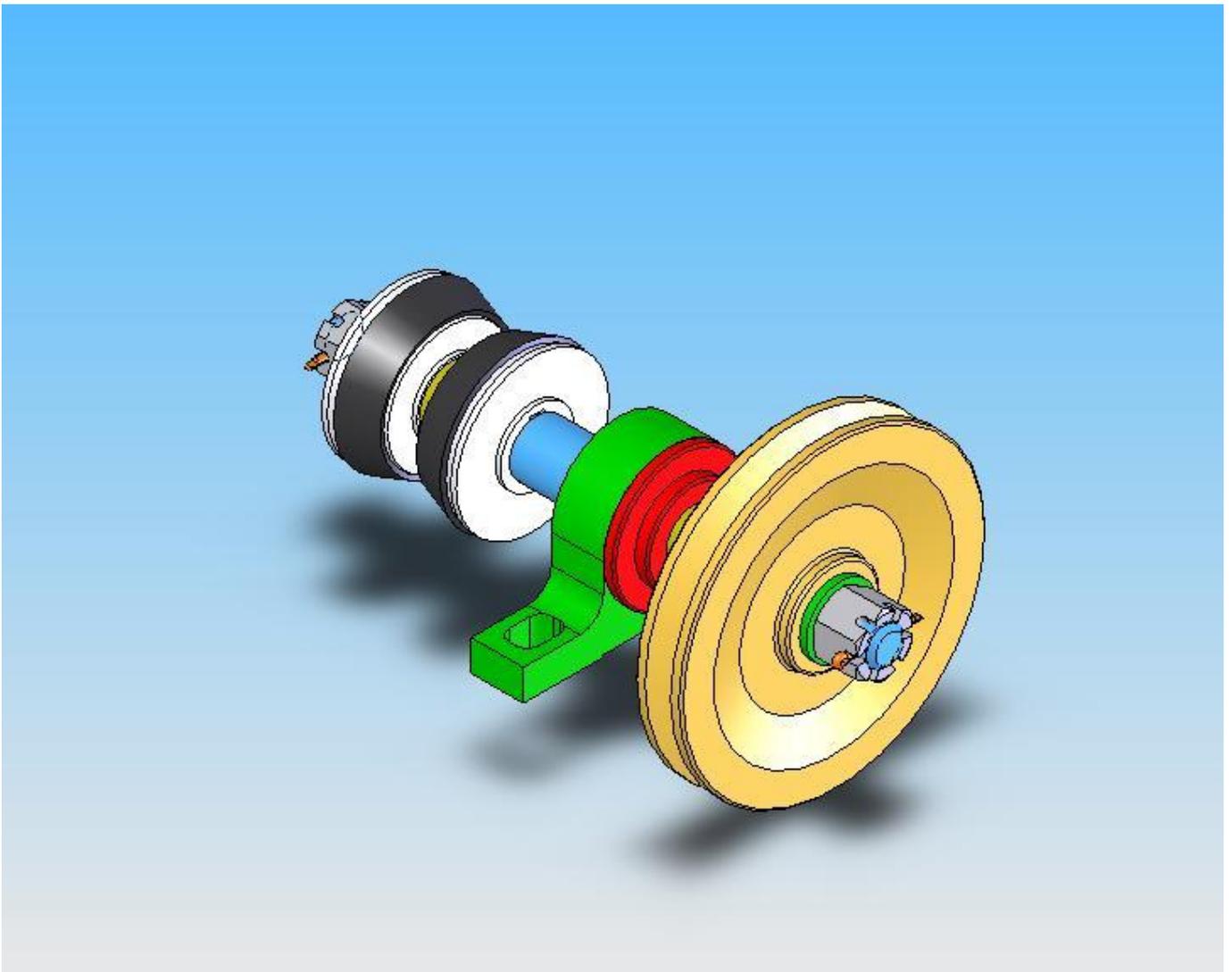
<b>PHASE 320</b>	<b>Quantification géométrique</b>		
	<b>Surface</b>	<b>SR1</b>	<b>SR2</b>
	<b>Type</b>	<i>Cylindre long</i>	<i>Plan</i>
	<b>Fonction</b>	<i>Portée</i>	<i>Appui</i>
	<b>Désignation</b>	<b>A</b>	
	<b>Ordre</b>	<i>Primaire</i>	<i>Secondaire</i>
	<b>Classe de précision</b>	<i>Moyenne</i>	<i>Moyenne</i>
	<b>Tolérance géométrique</b>	<i>Cylindricité sur SR1:</i> <b>0.04</b>	<i>Planéité sur SR2:</i> <b>0.2</b>
	<b>Rugosité Ra</b>	<b>3,2</b>	<b>3,2</b>
	<b>Surface</b>	<b>SR1</b>	<b>SR3</b>
	<b>Type</b>	<i>Cylindre long</i>	<i>Plan</i>
	<b>Fonction</b>	<i>Portée</i>	<i>Appui</i>
	<b>Désignation</b>	<b>A</b>	<b>B</b>
	<b>Ordre</b>	<i>Primaire</i>	<i>Secondaire</i>
	<b>Classe de précision</b>	<i>Moyenne</i>	<i>Moyenne</i>
	<b>Tolérance géométrique</b>	<i>Cylindricité sur SR1:</i> <b>0.04</b>	<i>Planéité sur SR2:</i> <b>0.2</b>
	<b>Rugosité Ra</b>	<b>0,8</b>	<b>3,2</b>
	<b>Surface</b>	<b>SR5</b>	<b>SR4</b>
	<b>Type</b>	<i>Cylindre long</i>	<i>Plan</i>
	<b>Fonction</b>	<i>Portée</i>	<i>Appui</i>
	<b>Désignation</b>	<b>B</b>	
	<b>Ordre</b>	<i>Primaire</i>	<i>Secondaire</i>
	<b>Classe de précision</b>	<i>Moyenne</i>	<i>Moyenne</i>
	<b>Tolérance géométrique</b>	<i>Cylindricité sur SR5 :</i> <b>0.04</b>	<i>Planéité sur SR4:</i> <b>0.2</b>
	<b>Rugosité Ra</b>	<b>0,8</b>	<b>3,2</b>
		<i>Perpendicularité de SR2 / SR1: 0.4</i>	
		<i>Perpendicularité de SR4 / SR5: 0.4</i>	

### 4.3. MODÈLE ET ANALYSE C.A.O

#### 4.3.1. Modèle CAO du bloc entraîneur

La puissance mécanique développée à partir du moteur électrique et qui est transmise par le système poulie courroie sera fournie au boulet de broyage par l'intermédiaire de deux galets entraîneurs munis de garnitures férodo. A cet effet, le bloc entraîneur aura l'architecture d'un sous système mécanique qui s'intercalera entre la matière d'œuvre qui est le boulet et le transmetteur qui est dans notre cas l'ensemble poulie courroie.

On peut voir la configuration du bloc entraîneur sur la Figure 4-1. Le galet entraîneur monté et assemblé sur l'arbre entraîneur sera lié à ce dernier en rotation par clavette parallèle et en translation d'un coté par épaulement et de l'autre coté par écrou à créneaux afin d'éviter son desserrement. L'action d'entraînement est assurée dans le creux du Vé formé par les deux galets entraîneurs. Ce cas est proposé pour valider l'entraînement sans pour autant toucher l'intégrité du boulet.



**Fig 4-1:** Configuration adoptée pour le bloc entraîneur

### 4.3.2. Analyse CAO

En vue de valider le dessin de définition de l'arbre, nous avons envisagé d'exécuter une simulation de son comportement structural aux sollicitations la flexion. Cette simulation a été faite par le module d'analyse COSMOSXpress de SOLIDWORKS™ 2006.

#### 1°. Matériaux

No.	Nom de la pièce	Matériaux	Masse	volumique
1	Arbre_Entraineur	[SW]AISI 1020	0.555609 kg	7.03303e-005 m <sup>3</sup>
Nom de la propriété		Valeur		Unités
Module d'élasticité		2e+011		N/m <sup>2</sup>
Coefficient de Poisson		0.29		NA
Masse volumique		7900		kg/m <sup>3</sup>
Limite d'élasticité		3.5157e+008		N/m <sup>2</sup>

#### 2°. Informations sur les chargements et les déplacements imposés

1. Déplacements imposés	
Portée_Roulement <Arbre_Entraineur>	sur 1 Face(s) immobile (pas de translation).
3. Chargements	
T1z <Arbre_Entraineur>	sur 1 Face(s) appliquer force <b>12.2 N</b> Normal au plan selon le plan de référence sélectionné <b>Plan de face</b> avec une distribution uniforme
T2z <Arbre_Entraineur>	sur 1 Face(s) appliquer force <b>1.34 N</b> Normal au plan selon le plan de référence sélectionné <b>Plan de face</b> avec une distribution uniforme
T1y <Arbre_Entraineur>	sur 1 Face(s) appliquer force <b>-157.12 N</b> Normal au plan selon le plan de référence sélectionné <b>Plan de dessus</b> avec une distribution uniforme
T2y <Arbre_Entraineur>	sur 1 Face(s) appliquer force <b>-14.66 N</b> Normal au plan selon le plan de référence sélectionné <b>Plan de dessus</b> avec une distribution uniforme
Nz <Arbre_Entraineur>	sur 1 Face(s) appliquer force <b>-634.9 N</b> Normal au plan selon le plan de référence sélectionné <b>Plan de face</b> avec une distribution uniforme
Ty <Arbre_Entraineur>	sur 1 Face(s) appliquer force <b>300.42 N</b> Normal au plan selon le plan de référence sélectionné <b>Plan de dessus</b> avec une distribution uniforme

#### 3°. Propriété d'étude

Informations sur le maillage	
Type de maillage:	Maillage volumique
Mailleur utilisé:	Standard
Transition automatique:	Désactivé(e)
Maillage lissé:	Activé(e)
Vérif. du Jacobien:	4 Points
Taille de l'élément:	4.1291 mm
Tolérance:	0.20645 mm
Qualité:	Haute
Nombre d'éléments:	8908
Nombre de noeuds:	14234
Informations sur le solveur	
Qualité:	Haute
Type de solveur:	FFE

## 4°. Contraintes

Nom	Type	Min	Emplacement	Max	Emplacement
Tracé1	VON: contrainte de Von Mises	66.3082 N/m <sup>2</sup>	(-13.3801 mm, 5.17188 mm, 2.98444 mm)	5.7714e+007 /m <sup>2</sup>	(-110.5 mm, -3.47863 mm, 10.4319 mm)

Dans un premier temps, nous avons analysé la distribution des contraintes dans la structure de l'arbre entraîneur. Les contraintes dépendent essentiellement de la nature du matériau et de la géométrie de l'arbre. Les résultats obtenus sont donnés sur la Figure 4-2 selon le critère de Von Mises.

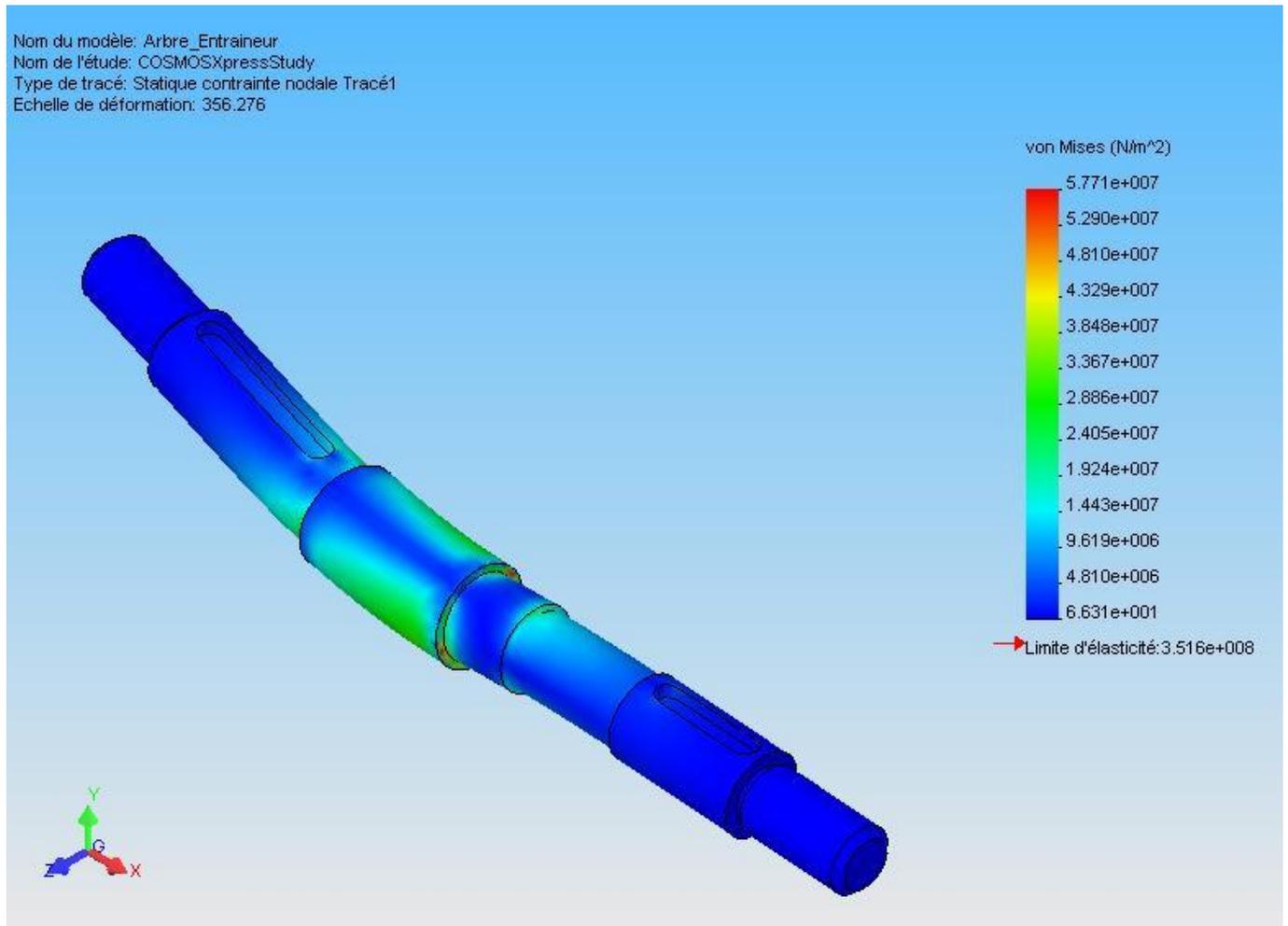


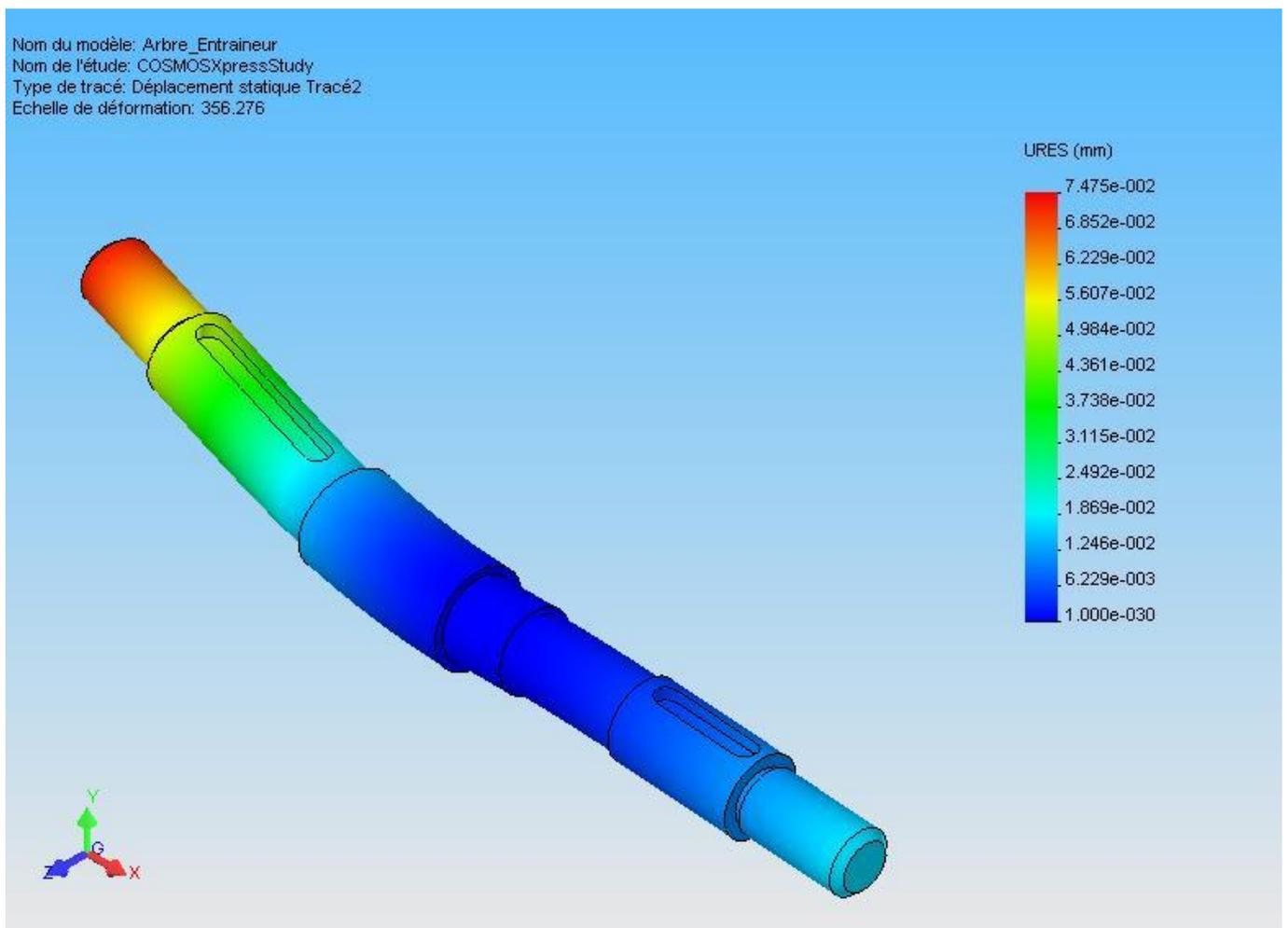
Fig 4-2: Distribution des contraintes dans l'arbre entraîneur

Les résultats obtenus par la simulation montrent que la contrainte maximale à la flexion  $\sigma_{\max} = 57,71 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$  générée dans le matériau choisi est nettement inférieure à la limite d'élasticité  $R_e = 351,6 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$ . Sur ce, on peut dire que notre dimensionnement est satisfaisant et que le diamètre  $d = 20 \text{ mm}$  adopté pour l'arbre entraîneur convient pour sa construction.

### 5°. Déplacements

Nom	Type	Min	Emplacement	Max	Emplacement
Tracé2	URES: Déplacement résultant	0 mm	(-94.5 mm, 0 mm, 9.95552 mm)	0.0747538 mm	(-239 mm, 2.05212 mm, -5.63816 mm)

Dans un deuxième temps, nous avons analysé les déplacements de la structure de l'arbre entraîneur. Les déplacements dépendent essentiellement de l'intensité des déformations produites sous l'effet du chargement extérieur. Les résultats obtenus sont donnés sur la Figure 4-3.

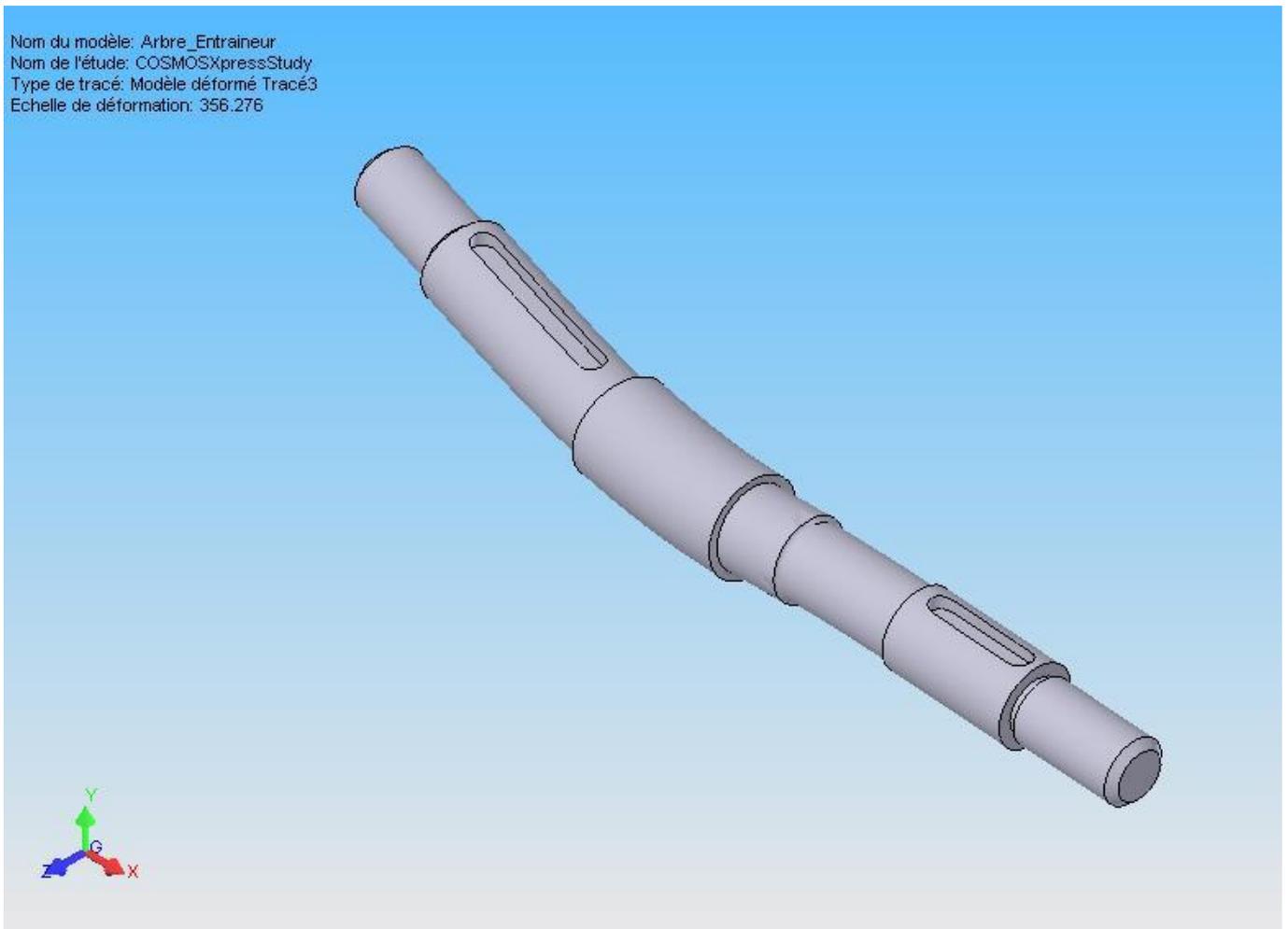


**Fig 4-3:** Visualisation de la distribution des déplacements

Les résultats obtenus par la simulation montrent que les déplacements résultants maximaux  $URES_{max} = 7,47 \cdot 10^{-2}$  suite aux chargements externes se développent du côté des galets entraîneurs et non pas du côté de la poulie réceptrice.

## 6°. Déformées

Tracé no.	Facteur d'échelle
1	356.28



**Fig 4-4:** Visualisation de la déformée de l'arbre entraîneur

## 7°. Conclusion

Après applications des chargements qui étaient déterminés dans l'étape du calcul des efforts, l'analyse structurale de l'arbre entraîneur a montré que les contraintes générées dans le matériau sont en dessous de la contrainte limites

Note:

*Dans COSMOSXpress, les résultats sont basés sur la théorie de l'analyse statique linéaire et le matériau est supposé isotropique. L'analyse statique linéaire suppose que:*

- 1) *Le comportement du matériau est linéaire et suit la loi de Hooke,*
- 2) *les déplacements induits sont suffisamment petits pour ignorer les modifications de rigidité dus aux chargements, et*
- 3) *les chargements sont appliqués lentement et les effets dynamiques sont négligeables.*

*Ne basez pas vos décisions de conceptions uniquement sur les données présentées dans ce rapport. Utilisez ces informations en conjonction avec des données expérimentales et votre expérience pratique. Des tests réels sont indispensables pour valider votre produit final. COSMOSXpress permet de réduire la durée de développement de vos produits en diminuant le nombre de tests réels, mais pas en les supprimant totalement.* 📄

---

---

**CONCLUSION GÉNÉRALE  
ET  
PERSPECTIVES**

---

Le travail présenté dans ce mémoire s'intègre dans le cadre d'une activité de conception routinière de systèmes mécaniques. En s'impliquant dans ce thème nous avons pris conscience que dans la conception, il est nécessaire de faire appel aux outils dédiés à cette activité tels que la caractérisation du besoin, la recherche de solutions, la définition du produit et la matérialisation des solutions.

Dans le but d'aboutir à l'avant projet, notre objectif était essentiellement la mise en application des différentes étapes du processus de conception du banc d'usure. Notre stratégie était d'opter pour l'analyse fonctionnelle comme méthode dans la caractérisation du besoin, l'arbre fonctionnel F.A.S.T dans la recherche des solutions, le modèle produit pour définir l'architecture, l'analyse structurelle dans la définition du produit et en fin la technique CAO dans la matérialisation des solutions.

A l'issue de ce mémoire, nous avons appris et mis en évidence trois principaux volets:

- Premièrement que la construction mécanique est relative à l'action de construire, d'assembler différentes parties ou composants, pour former un ensemble et qu'elle est du domaine de l'action soit sur le réel, soit sur du virtuel à partir de représentations du futur système mécanique.
- Deuxièmement, nous avons appris que la conception mécanique est relative, comme l'indique la notion de concept incluse dans le terme, à la manipulation d'idées et qu'elle est du domaine de la pensée, et de l'abstrait. Concevoir c'est imaginer, par une réflexion de l'esprit, différentes possibilités de répondre à une situation donnée.
- Troisièmement, nous avons appris que l'activité de conception c'est une activité qui permet de définir complètement un système mécanique pour un objectif défini et consigné dans ce qu'on appelle un cahier des charges.

Donc comme conclusion on peut affirmer que la conception et la construction sont très liées. Car, pour construire il faut avoir conçu, et concevoir n'a de sens en ce qui concerne les systèmes mécaniques que pour construire.

Les perspectives à ce travail sont d'une part, l'achèvement du dossier de définition. En effet toutes les pièces du banc d'usure n'ont pas été complètement définies.

D'autre part nous souhaiterions élaborer le dossier de fabrication du banc d'usure en vue de la fabrication du prototype.

Enfin, nous voudrions inculquer, la notion conception de produit industriel aux étudiants de génie mécanique, pour qu'ils puissent s'intégrer facilement dans les bureaux d'études d'ingénierie, lors de leurs activités professionnelles dans les entreprises industrielles type atelier.

---

---

## **RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

---

- [ART 82] I.ARTOBOLEVSKI. "Les Mécanismes dans la Technique moderne - Mécanismes à leviers"; Edition: MIR Moscou, 1982
- [AUB 98] M.AUBLIN. "Systèmes mécaniques – Théorie et dimensionnement"; Edition: DUNOD, 1998
- [CHE 90] A.CHEVALIER. "Dessinateur industriel"; Edition: HACHETTE, 1990
- [BAR 97} C, BARLIER, R. BOURGEOIS, F. VIROT, "Construction Mécanique Industrielle", Foucher, Paris 1997
- [DEN 02} D, DENEUX, "Méthodes et modèles pour la conception concourante", Habilitation à Diriger des Recherches, l'Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis, 2002
- [DUF 05} J, DUFAURE, "Intégration et tracabilité du transfert de spécifications géométriques dans le cycle de conception d'un produit", Thèse Université de Bordeaux 1, 2005
- [ESC 04] ESCAO. "Cotation fonctionnelle et normes de tolérancements ISO "; <http://www.abmi-groupe.fr> Pantoise 2004
- [ESN 98] F.ESNAULT. "Construction mécaniques – transmission de puissance par liens flexible T3"; Edition: DUNOD, 1998
- [GER 02] P.GERVASI. " Cours analyse de la valeur"; <http://ist.groupe-icam.fr> ,2002
- [LAR 05] E.LARDINOIS. "La Créativité par la pratique – Note de cours"; Polytechnique de MENS.2005
- [LAV 97] A. LAVILLE, F. COUFFIN, S. XANTHAKIS, J.M.MORIN, R.PAJOT, J.M.FAURE; "LSE03: un outil d'aide la conception par propagation de contraintes hétérogènes dans un environnement hypertexte – application la préconception de systèmes hydromécaniques", Deuxième Congrès International Franco –Québécois de Génie Industriel - ALBI 1997
- [LEM 85] G.LEMASON, R.BASQUIN "Résistance des Matériaux"; DELAGRAVE, Paris, 1985
- [LUP 00] H.LUPIN, J.MARSOT "Sécurité des Machines et des équipements de travail–Moyens de protection contre les risques mécaniques"; INRS, 2000
- [PIE 80] PIERRON."Construction des machines – Tome 1"; Edition de la technique moderne 1980
- [POV 01} O, POVEDA, "Pilotage technique des projets d'ingénierie simultanée, modélisation des processus, analyse et instrumentation", Thèse de doctorat, INP Grenoble, 2001
- [TOL 98] M.TOLLENAERE. "Conception de produit mécaniques – méthodes, modèles et outils"; Edition: HERMES, 1998
- [WIL 01] J.A.WILLIAMS; R.S.DWYER "Contact between solid surface"; CRC Press 2001
- [WYD 97] J-C.WYDOVW. "La Créativité mode d'emploi"; Edition D'ORGANISATION 1997

## Résumé

Le thème proposé est centré sur une application des différentes étapes de l'activité de la conception de produit industriel. Le sujet traité concerne le cas d'un objet technique à caractère utilitaire au niveau d'un laboratoire de recherche. En l'occurrence un banc de test d'usure pour boulets de broyage.

L'objectif final étant d'obtenir le dossier de définition de ce banc de test, par la mise en œuvre du processus de la conception routinière en montrant le lien étroit entre la conception et la construction.

L'étude de conception, porte sur l'élaboration d'un cahier des charges fonctionnel en utilisant l'outil de l'analyse fonctionnelle, recherche et sélection des solutions technologiques constructives par fonctions en utilisant l'outil F.A.S.T et le prédimensionnement des solutions sélectionnées

L'étude de définition, porte sur le dimensionnement des solutions technologiques sélectionnées en utilisant le calcul de résistance et de structure, suivie d'une définition dimensionnelle et géométrique des différents composants.

Les composants dimensionnés seront intégrés et présentés dans un dessin d'ensemble qui fournira une architecture choisie pour répondre aux exigences du cahier des charges fonctionnel.