

Analyse fonctionnelle. Quels outils ?

Frédéric CHARPENTIER

Professeur agrégé de génie mécanique – DEA de robotique.
Formateur vacataire à l'ESCPI / CNAM dans la formation ingénieurs 2000.
Expert français à l'ISO au TC 213
E-mail : Frederic.Charpentier@efc-technic.com

Résumé : L'objet de cet article est de présenter les différents outils nécessaires à la mise en œuvre d'une proposition de démarche d'analyse fonctionnelle sur un système appartenant à la maquette : « Scoot'Elec » de la société : « CREA Technologie ».

Des outils d'analyses (graphe du besoin, graphe des interacteurs, FAST de créativité, FAST de description, schéma de flux, graphe des contacts élémentaires, TAFT, langage GPS) sont présentés et font l'objet de remarques permettant au professeur de les situer les uns par rapport aux autres. Chacun de ces outils pris séparément ont déjà fait l'objet de publications. Il n'est pas question de reprendre ces outils un par un, ni de faire une étude exhaustive mais bien de donner des pistes de réflexion sur la continuité et le prolongement à donner à chaque outil dans une proposition d'une démarche d'analyse fonctionnelle.

Mots clefs : Enseignement d'une démarche d'analyse fonctionnelle, tableau d'analyse fonctionnelle technique, graphes des contacts élémentaires, schéma de flux.

Plan de l'article :

1. Présentation de la maquette.
 - 1.1. Analyse de la situation.
 - 1.2. Limite du système à concevoir.
 2. Champ d'application de l'analyse fonctionnelle (A.F.)
 - 2.1 Une Analyse Fonctionnelle du Besoin.
 - 2.2 Une Analyse Fonctionnelle Technique.
 3. Analyse fonctionnelle du besoin
 - 3.1 Délimitation du périmètre de l'étude.
 - 3.2 Constitution d'un groupe de travail.
 - 3.3 Le besoin.
 - 3.4 Établir le profil de vie.
 - 3.5 Déterminer et valider les fonctions de service.
 - 3.6 Cahier des charges fonctionnel.
 4. Transition entre l'analyse fonctionnelle du besoin et l'analyse fonctionnelle technique.
 5. Analyse fonctionnelle technique.
 - 5.1 Schéma de flux (appelé aussi bloc diagramme).
 - 5.2 Différents types d'organisation interne des composants (application au schéma de flux).
 - 5.3 Analyse d'une autre solution qui répond au Cahier des charges (solution « plus académique »).
 - 5.4 Caractéristiques des surfaces du composant couvercle et vis.
 - 5.5 Tableau d'Analyse Fonctionnelle Technique (TAFT)
 6. Graphe des contacts élémentaires.
 7. Spécification géométrique du produit (GPS).
 8. Conclusion.
 9. Remerciements.
 10. Bibliographie.



Fig 1. Scoot'Elec (Peugeot – motorcycle)

1. Présentation de la maquette.

La maquette étudiée est le « Scoot'Elec » de la société : « CREA Technologie », issue du scooter : « Scoot'Elec » de la société « Peugeot motorcycle ». Le carter est ouvert afin de monter les différents composants nécessaires à la transmission entre l'arbre moteur et la roue, figure 1.1.

Un couvercle existe ; il permet d'isoler l'ensemble : poulies - courroie, du milieu ambiant extérieur.

L'objet de cet article est de proposer une démarche d'analyse fonctionnelle qui permet de concevoir (reconcevoir) ce couvercle. figure 1.1.2.

Deux propositions de composant sont présentées dans cette démarche d'analyse fonctionnelle : la solution existante (cf 5.2), une solution « plus académique » (cf 5.3).

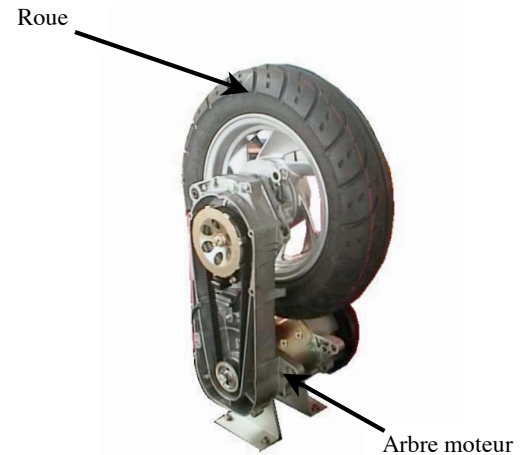


Fig 1.1. Mise en situation- (CREA Technologie)

1.1. Analyse de la situation.

Peut-on laisser la courroie accessible au milieu ambiant (eau de pluie, graviers, poussières et projections diverses)?, figure 1.1.1

Non, nous devons l'isoler afin de la protéger des diverses projections et garantir ainsi, une durée de vie conforme à la définition du cahier des charges. Par ailleurs les variations des caractéristiques du milieu ambiant, l'hygrométrie par exemple, peuvent créer des dysfonctionnements dans le couple de composants : poulies – courroie dont l'entraînement s'opère par obstacle, figure 1.1.1.

Nous allons étudier la solution technologique du système qui permet d'isoler l'ensemble : poulies – courroie, du milieu ambiant.

Cette solution est définie par un ensemble de composants : vis et couvercle en matière composite, figure 1.1.2.

Pouvons-nous envisager des solutions différentes ?

Oui, en modifiant les caractéristiques géométriques, dimensionnelles ou encore le couple matériau-procédé qui les constituent.

Cette analyse permet de reprendre la démarche d'analyse fonctionnelle.

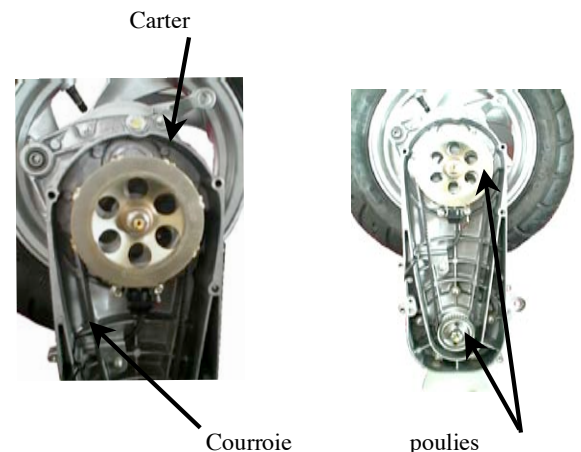


Fig 1.1.1. Partie du système étudié

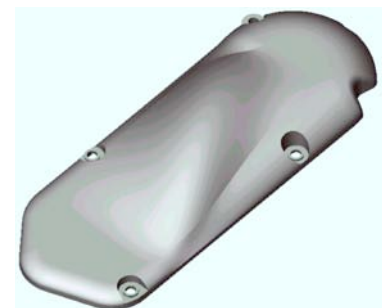


Fig 1.1.2 Couvercle en composite et vis

1.2. Limite du système à concevoir.

Qu'elle est la limite du système étudié?

Nous allons sortir du système les composants suivants (figure 1.2.1) :

- L'ensemble : poulie d'entrée et le moteur.
- L'ensemble : poulie de sortie et arbre de sortie.
- La courroie
- Le carter
- L'environnement extérieur
- Le milieu ambiant.

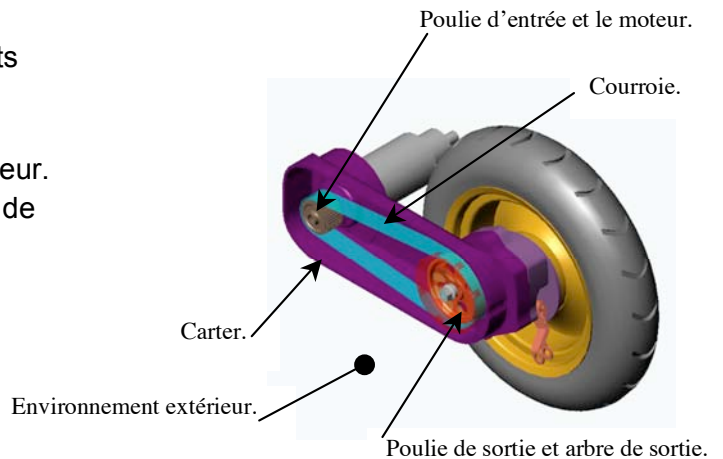


Fig 1.2.1. Composants extérieurs au système.

Ces différents composants sont hors de notre système. Leurs caractéristiques sont connues de façon exhaustive.

2. Champ d'application de l'analyse fonctionnelle (A.F.)

L'analyse fonctionnelle (A.F.) est une démarche de construction de la qualité en conception (stratégie de qualité totale) [7].

Elle se propose d'explicitier la satisfaction du besoin du client par :

2.1 Une Analyse Fonctionnelle du Besoin

(A.F.B.) qui permet d'identifier précisément en termes de fonctions, les besoins à satisfaire ou les services à rendre ; elle découle sur la rédaction du cahier des charges fonctionnel.

2.2 Une Analyse Fonctionnelle Technique

(A.F.T.) permet d'analyser de quelle manière une solution technique répond aux besoins. Elle permet d'analyser l'organisation interne du système étudié et de mesurer la réponse que le système apporte aux besoins et aux exigences du client.

Remarque : Pour bien séparer les activités technico-économiques, nous devons identifier d'une part le besoin à satisfaire et d'autre part la solution choisie. De ce fait, l'expression du besoin sous forme d'analyse fonctionnelle, sans référence aux solutions techniques susceptibles d'y répondre, permettra de faire émerger des solutions innovantes au moment de la conception.

3. Analyse fonctionnelle du besoin

Au travers de la démarche, les points suivants sont décrits :

3.1 Délimitation du périmètre de l'étude.

En général, un projet n'est jamais que provisoirement définitif ; il est toujours perfectible et le besoin évolue dans le temps. La conception d'un produit nouveau est rare (surtout dans le cadre de la réalisation en série). En conséquence, la conception disparaît au profit de la reconception des produits existants.

Dans le cadre de notre système, nous sommes bien dans une démarche de reconception pour permettre :

- l'élimination ou la diminution des insatisfactions ;
- l'amélioration de la valeur ;
- la prise en compte des progrès de la concurrence ;
- l'adaptation aux besoins nouveaux.

3.2 Constitution d'un groupe de travail.

Ce groupe de travail doit permettre de faire émerger toutes les compétences nécessaires afin de définir au mieux le système étudié.

Parmi les acteurs de ce groupe de travail, nous retrouvons les différents corps de métiers (les achats, la qualité, le bureau des méthodes, le bureau d'étude...).

3.3 Le besoin.

Définition du besoin:

Il existe une norme (EN 1325-1 : 1996) qui permet d'exprimer le besoin de la façon la plus rigoureuse possible.

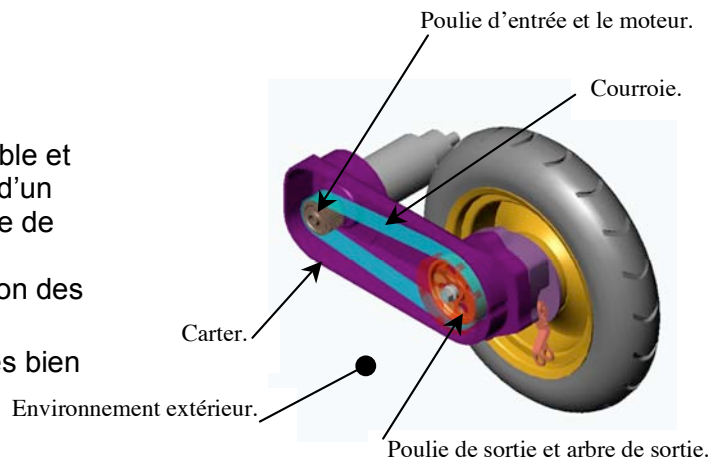


Fig 3.1.1. Composants extérieurs au système

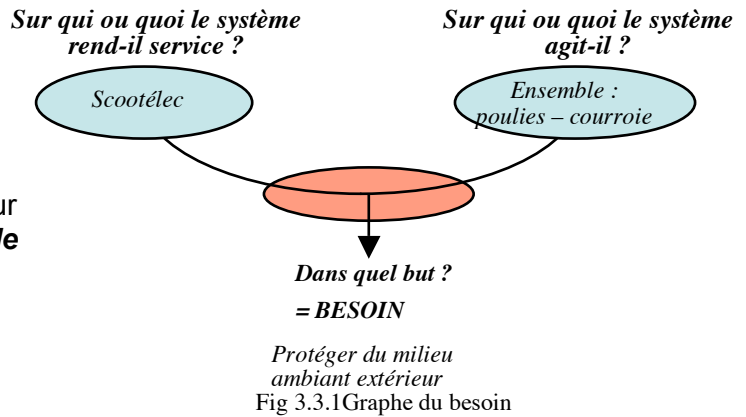
Remarques :

Les limites fixées au périmètre d'étude relèvent d'un choix, qui ne répond pas à des règles précises, mais peut être guidé par des préoccupations suivantes.

Le périmètre détermine la zone faisant l'objet de la (re) conception ; les composants voisins sont réputés connus et non modifiables. Au travers de cette remarque, ce périmètre permet de déterminer la responsabilité du concepteur. Ainsi l'intérieur du périmètre est de sa responsabilité, l'extérieur non.

Décrire le besoin :

Le périmètre de l'étude est fixé. Pour animer notre réflexion sur la description du besoin, nous utilisons le « graphe du besoin », figure 3.1.1..



Le **Scoot'Elec** a besoin d'un système qui agit sur l'ensemble : **poulies –courroie**, dans le but **de le protéger du milieu ambiant extérieur**.

Contrôle de validité [8] :

Pourquoi a-t-on besoin de ce système ?

Parce que :

- le carter est ouvert pour monter la courroie et les poulies.

Pour quoi (dans quel but) a-t-on besoin de ce système ?

- pour éviter que des éléments viennent interférer dans le fonctionnement de la courroie.
- pour isoler la courroie et les poulies de l'humidité extérieure.

Remarque :

Pour éviter de réitérer l'expression du besoin dans le contrôle de validité, nous pouvons utiliser le moyen suivant :

- Le Scoot'Elec a besoin d'un système qui agit sur l'ensemble : poulies –courroie, dans le but de le protéger du milieu ambiant extérieur **parce que le carter est ouvert pour monter la courroie et les poulies**
- Le Scoot'Elec a besoin d'un système qui agit sur l'ensemble : poulies –courroie, dans le but de le protéger du milieu ambiant extérieur **pour éviter que des éléments viennent interférer dans le fonctionnement de la courroie.**

Cette procédure permet de vérifier que le besoin n'est pas réécrit lors du contrôle de validité.

Disparition du besoin.

L'ensemble : poulie – courroie a des caractéristiques fonctionnelles qui sont compatibles avec le milieu ambiant extérieur. Nous n'avons plus besoin d'un système qui protège du milieu ambiant la courroie.

Nous ne sommes pas dans ce cas puisque l'ensemble (poulies – courroie) est extérieur à notre périmètre d'étude. Nous ne pouvons en aucun cas modifier cet ensemble.

Remarque :

Le système étudié peut exprimer plusieurs besoins élémentaires. Les besoins sont hiérarchisés.

3.4 Établir le profil de vie.

Le profil de vie correspond à l'ensemble de toutes les phases d'existence du système, de sa naissance à sa disparition.

Dans la phase considérée, il est nécessaire de définir les utilisateurs concernés, les contraintes associées et si il s'agit d'une situation d'utilisation (U.) ou hors utilisation (H.U.).

Phases	Sous phases	Qui est concerné (ou utilisateur)	Contraintes / critères	U / H.U.
Système seul	Conception produit et processus	BE	Qui fait quoi avec quels moyens (CAO par exemple) Standardisation Délai de développement	HU
	Fabrication	Fournisseur		HU
	Montage	Usine	Moyen	HU
Système monté sur le scootélect	Arrêté	Client	Niveau de fuite Milieu ambiant	U
	Fonctionnement	Client	Niveau de fuite Milieu ambiant Niveau de régime	U
	Après vente du système	Opérateur APV	Diagnostic Réparabilité Démontabilité Temps d'intervention	HU
Fin de vie	Démontage		Démontabilité Sécurité	HU
	Recyclage		Séparation des matériaux	HU

Remarques :

- Parmi l'ensemble de phases et des sous phases, nous devons commencer notre étude par les sous phases en utilisation. Nous les retrouvons à la fois dans les dossiers de préconception (conception préliminaire [11]) et de conception (conception détaillée [11]).
- Les sous phases de fabrication et de montage intègrent le dossier de conception (conception détaillée).

3.5 Déterminer et valider les fonctions de service.

3.5.1 Recherche des éléments du milieu d'utilisation.

L'objectif est de connaître de manière exhaustive le milieu physique environnant dans lequel évolue le système étudié.

Les éléments du milieu d'utilisation du système étudié se définissent comme les éléments en relation avec le système durant la phase d'utilisation observée.

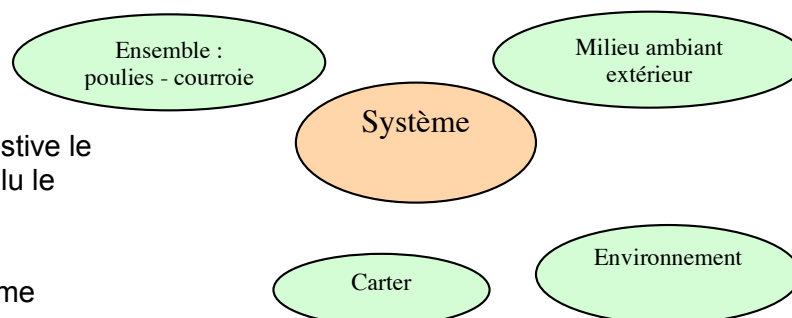


Fig 3.5.1. Graphe des interacteurs dans la phase : système monté, sous - phase : en fonctionnement.

La recherche des EMU se fait de manière intuitive, en faisant appel à toutes les compétences du groupe de travail.

Les caractéristiques de chaque E.M.U. sont définies de façon exhaustive (figure 3.5.1.).

3.5.2 Les fonctions [7] [8] :

Définition d'une fonction :

Action d'un produit ou de l'un des constituants exprimé en termes de finalité.

Expression d'une fonction :

Par un verbe et un ou des compléments.

Exemple : conserver l'huile provenant du carter moteur en attente d'utilisation de la pompe.

Différentes fonctions : Utilisées pour exprimer le besoin.

• Fonctions de service.

Actions attendues du produit pour répondre au besoin d'un utilisateur donné. Selon le besoin, on distingue les fonctions d'usage des fonctions d'estime.

• Contraintes.

Limitations à la liberté du concepteur jugées nécessaires par le demandeur et de natures diverses telles que : délais, normes, etc...

Remarque :

Les contraintes sont exprimées par des fonctions d'adaptation appelées aussi contraintes (et non fonction contrainte [7]).

Mise en œuvre : (figure 3.5.2.1.)

- Mettre en évidence la (ou les) relation(s) créée(s) par le système entre au moins deux E.M.U. (Fonction de service).

- Rechercher les relations directes qui existent entre le système et les différents E.M.U. (Contraintes ou Fonction d'Adaptation)

- Tracer les relations trouvées et les repérer.

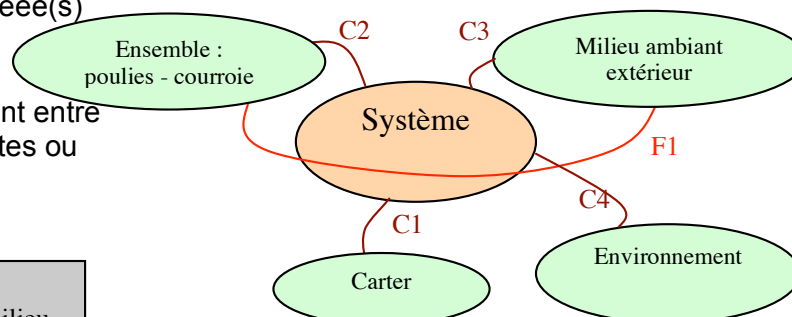


Fig 3.5.2.1. Graphe des interacteurs dans la phase : système monté, sous - phase : en fonctionnement.

Remarques :

- Une fonction de service relie deux éléments du milieu d'utilisation et traverse la bulle système. Ajouter un autre élément du milieu d'utilisation révèle une difficulté pour exprimer la fonction minimaliste.
- Une contrainte (fonction d'adaptation) est seulement en relation avec la bulle système.
- Dans une sous - phase, nous pouvons trouver plusieurs fonctions d'usage. Ce résultat est dû à la multitude des expressions du besoin du système.
- Nous ne pouvons pas avoir de liens entre deux ou plusieurs éléments du milieu d'utilisation qui ne passent pas par la bulle système. Cette relation est hors de notre périmètre d'étude.

Dans la phase : système monté en fonctionnement nous obtenons le graphe des interacteurs suivant.

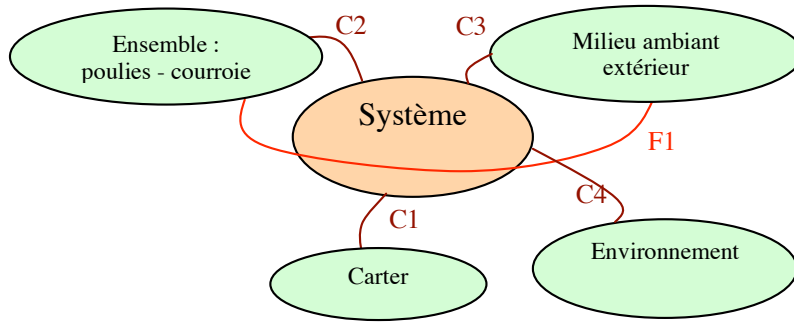


Fig 3.5.2.2. Graphe des interacteurs dans la phase : système monté, sous - phase : en fonctionnement.

➤ **Fonctions de service :**

F1 : Isoler l'ensemble : poulies – courroie, du milieu ambiant extérieur.

➤ **Contraintes :**

- C1 : S'adapter au carter.
- C2 : S'adapter à l'ensemble : poulies – courroie.
- C3 : S'adapter au milieu ambiant extérieur.
- C4 : S'adapter à l'environnement extérieur.

Fig 3.5.2.3. Fonction d'usage et contraintes.

La fonction d'usage F1 est-elle orientée ?

Non, cette fonction (isoler l'ensemble : poulies – courroie du milieu ambiant extérieur) est à considérer dans les deux sens. Figure 3.5.2.4.

Isoler l'ensemble poulies-courroie du milieu ambiant extérieur afin de conserver les conditions de fonctionnement conforme à l'énoncé du cahier des charges. →

Isoler le milieu ambiant extérieur des particules dues à l'usure de l'ensemble : poulies – courroie afin de ne pas polluer. ←

Comment pouvons-nous caractériser la fonction d'usage et les contraintes ?

Nous pouvons les caractériser en énonçant leurs critères d'appréciations, leurs niveaux et leurs flexibilités.

Fig 3.5.2.4.

La notion de flexibilité est une des caractéristiques fondamentales du cahier des charges fonctionnel.

Une indication littérale placée auprès du niveau d'appréciation permet de préciser son degré de négociation, telle que

Classes	Flexibilités	Niveaux
0	Nulle	Impératif
1	Faible	Peu négociable
2	Moyenne	Négociable
3	Forte	Très négociable

Ce tableau doit permettre de recenser l'ensemble des fonctions de service et des contraintes dans chaque phase du profil de vie du système [6].

Fonction Le système doit	Caractéristiques de l'environnement	Caractéristiques de la fonction	Mesure ou validation	Flexibilité
F1 : Isoler l'ensemble : poulies – courroie. du milieu ambiant extérieur.	<u>l'ensemble : poulies – courroie.</u> Conditions définies par le fabricant de la courroie <u>Milieu ambiant extérieur</u> Humidité Pression T° Particule	« Isoler » - <i>C'est conserver les conditions de fonctionnement définies par le constructeur tout en validant les variations de températures, de pression, d'humidité et des particules issues du milieu extérieur.</i> - - <i>Débit d'échange entre les deux milieux ambiant (niveau de fuite).</i>	Description des conditions d'essais, de mesure. Procédures et normes relatives à cette mesure. $\Delta Q = D \pm \partial d$ D : la valeur cible. ∂d : la tolérance.	1
C1 : S'adapter au carter.	<u>Carter</u> Caractéristiques géométriques et dimensionnelles. État de surface. Matière	« s'adapter » - <i>aux dimensions et à la géométrie.</i> - <i>matériau</i>	Description des conditions d'essais, de mesure. Procédures et normes relatives à ces mesures.	2

Fig 3.5.2.6. Caractérisation des fonctions et contraintes. Tableau partiel.

Remarques :

- Pour les contraintes, il est souvent inutile de préciser autre chose que le verbe « s'adapter ». La valeur ajoutée du verbe ou du groupe verbal se trouve dans la colonne : caractéristiques de la fonction du tableau figure 3.5.2.6.
- Le graphe des interacteurs est un outil de représentation graphique permettant de synthétiser les réflexions du groupe. Pour éviter toute interprétation, nous devons utiliser le tableau de la figure 3.5.2.6. pour exprimer la caractérisation des fonctions et des contraintes pour l'ensemble des phases du profil de vie.

3.6 Cahier des charges fonctionnel.

Le cahier des charges fonctionnel est défini par la norme NF X50-151 (figure 3.6) [8] [9] [10].
Ce cahier des charges conclue l'analyse fonctionnelle du besoin.

Comment pouvons-nous envisager des recherches de solutions techniques à partir de ce cahier des charges ?

Pour envisager des solutions techniques, nous devons comprendre la transition entre l'analyse fonctionnelle de besoin et l'analyse fonctionnelle technique.

Le cahier des charges fonctionnel d'un produit. (NF X50-151)
Le cahier des charges fonctionnel comporte l'ensemble des points suivants : Objet Présentation générale du problème Le produit et son marché Le contexte du projet, les objectifs L'énoncé du besoin Description fonctionnelle Fonctions de service et les contraintes Critère d'appréciation de leur niveau Description des contraintes hors utilisation Modalité de réception-agrément. cadre de réponse Annexes et documents de référence

Fig 3.6 Cahier des charges fonctionnel

4. Transition entre l'analyse fonctionnelle du besoin et l'analyse fonctionnelle technique.

Nous quittons l'analyse fonctionnelle du besoin pour entrer dans le champ de l'analyse fonctionnelle technique. Pour passer de l'une vers l'autre, nous utilisons le FAST de créativité, puis le FAST de description [14].

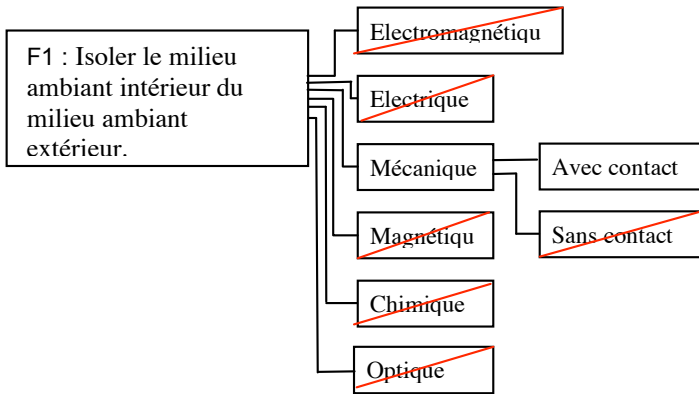


Fig 1.1.9.3 FAST de créativité pour la fonction F1

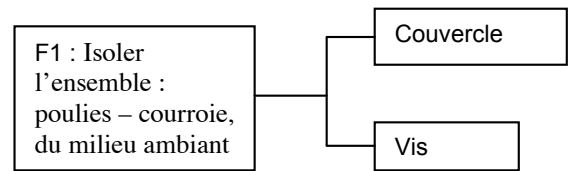


Fig 1.1.9.4 FAST de description pour la fonction F1

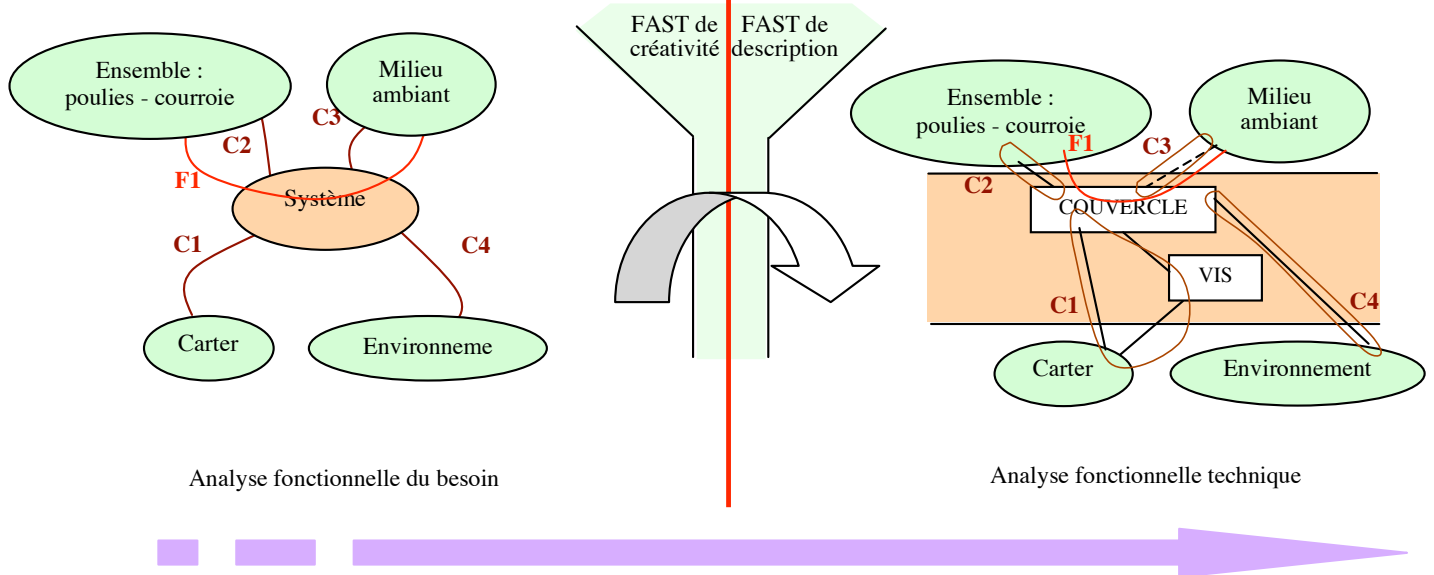


Fig 4.1 Schéma de la démarche descendante

Quels sont les « principes techniques » qui sont à notre disposition pour répondre à la fonction de service ?

Chimique, optique, électronique, magnétique et mécanique sont des « principes techniques », La Technique d'Analyse Fonctionnelle et Systématique (FAST est l'acronyme en anglais), (figure 4.2) nous permet de voir le principe retenu pour le système.

❖ le principe mécanique.

Ce FAST de créativité ne nous permet pas de définir de composants pour le système. Nous savons seulement qu'ils seront mécaniques.

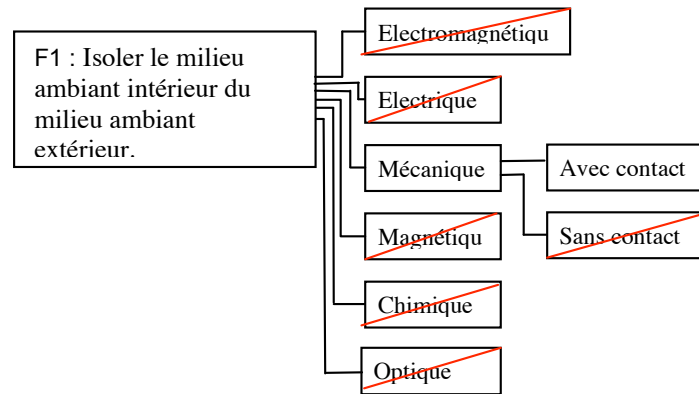


Fig 4.2 FAST de créativité (phase système monté, sous phase en fonctionnement).

Quels sont les composants qui permettent de répondre à la fonction de service du système ?

Le FAST de description (figure 4.3) nous permet de décomposer la fonction de service F1 du système en solutions constructives. Une des solutions mécanique retenue nous permet d'identifier les composants élémentaires suivants : couvercle et vis.

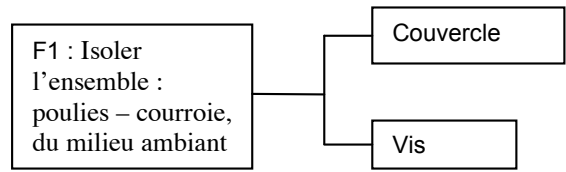


Fig 4.3. FAST de description partiel (phase système monté, sous phase en fonctionnement)

Il existe un FAST de créativité et un FAST de description pour chaque fonction de service et chaque contrainte.

Il y a donc autant de FAST de créativité que de FAST de description.

Remarques :

- Il existe un FAST de créativité et un FAST de description pour chaque fonction de service et chaque contrainte.
- Il y a donc autant de FAST de créativité que de FAST de description.
- La syntaxe du FAST de créativité est en « ou »
- La syntaxe du FAST de description est en « et »
- Nous ne pouvons passer d'une syntaxe à l'autre sur un même FAST.
- À partir du FAST de créativité, si la syntaxe change et devient un « et » alors nous devons quitter le FAST de créativité pour construire le FAST de description.

5. Analyse fonctionnelle technique.

Nous allons reprendre l'analyse fonctionnelle technique de la figure 4.1

Le FAST de description de la fonction F1 permet d'identifier des composants suivants : le couvercle et les vis.

Ouvrons la bulle système et mettons les composants retenus entre les deux traits horizontaux. Figure 5.1

L'analyse de la solution technologique industrielle, nous permet d'identifier la mise en position du couvercle sur le carter.

La liaison entre le couvercle et le carter est une liaison complète, effectuée par :

- une liaison : appui plan, qui permet d'éliminer les trois degrés de liberté,
- des vis qui assurent le maintien en position du couvercle et annulent ainsi les degrés de liberté restants.

Qu'elles sont les relations des composants entre eux et avec les éléments du milieu d'utilisation?

5.1 Schéma de flux (appelé aussi bloc diagramme) [6] [13].

Nous allons illustrer la démarche d'analyse en considérant les trois composants : vis, couvercle et carter.

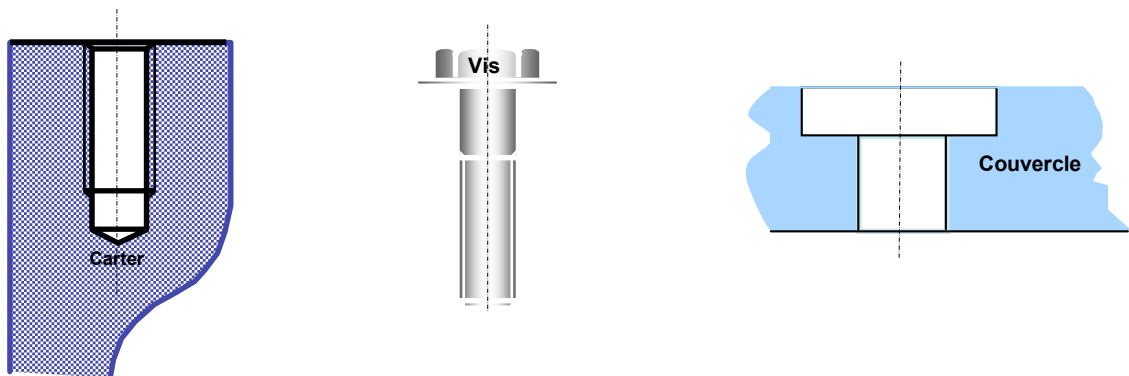


Fig 5.1.1. Représentation partielle des Composants : vis, carter et couvercle.

Seules les surfaces fonctionnelles dans la phase en fonctionnement sont nécessaires à cette étude.

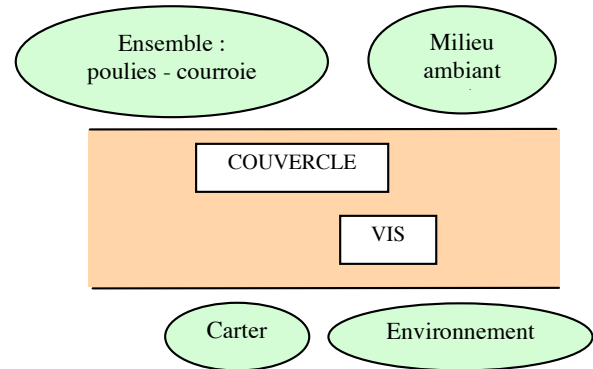


Fig 5.1. Schéma de flux : composants seuls

La mise en position partielle du couvercle sur le carter, permet de mettre en évidence les surfaces fonctionnelles. Figure 5.1.2.

Ces surfaces fonctionnelles déterminent les fonctions techniques suivantes :

- Les fonctions techniques élémentaires de non contact souhaité
- Les fonctions techniques élémentaires de contact souhaité

Chaque fonction technique élémentaire est représentée par un trait rectiligne sur le bloc diagramme.

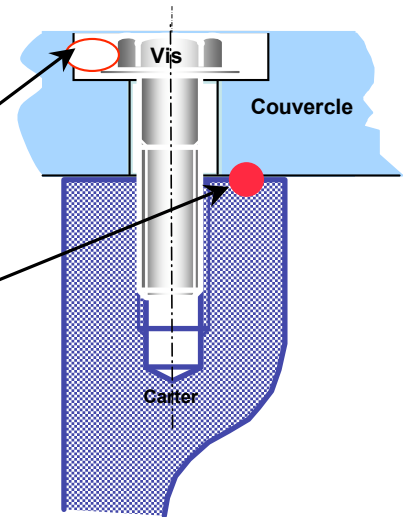
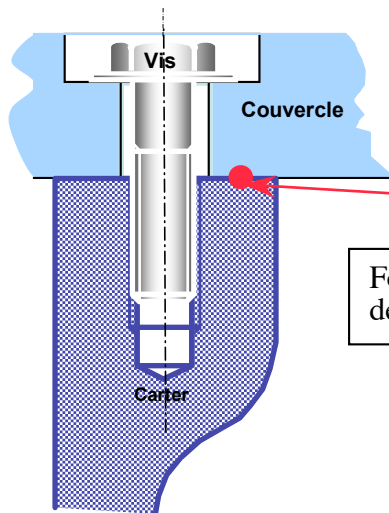


Fig 5.1.2. Mise en position partielle.



Fonction technique élémentaire de contact souhaité.

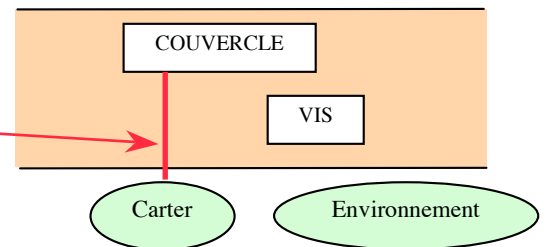


Fig 5.1.3. Bloc diagramme partiel

Que retenir

- ❖ Un jeu strictement positif entre deux composants, représente une fonction technique élémentaire de non contact souhaité.
- ❖ Un jeu nul ou négatif entre deux composants représente une fonction technique de contact souhaité.



Fig 5.1.4. Jeu strictement positif

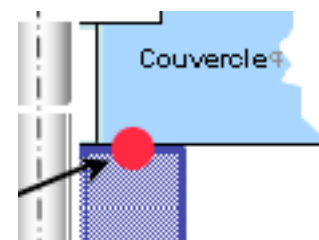


Fig 5.1.5. Jeu strictement négatif

Pour garantir le montage de la vis, nous devons nous assurer des conditions fonctionnelles suivantes :

- ❖ Un jeu strictement positif entre la tête de la vis et le couvercle.
- ❖ Un jeu strictement positif entre le corps de la vis et le trou de passage de vis.
- ❖ Un jeu nul entre la tête de la vis et le couvercle.

Remarque :
 Un trait représente au moins une fonction technique élémentaire.
 Pour étendre l'analyse et s'approcher au niveau des surfaces de chaque composant, nous devons utiliser l'outil : graphe des contacts élémentaires (chapitre 6).

Ces trois fonctions techniques élémentaires sont représentées par un seul trait rectiligne sur le bloc diagramme. Figure 5.1.6.

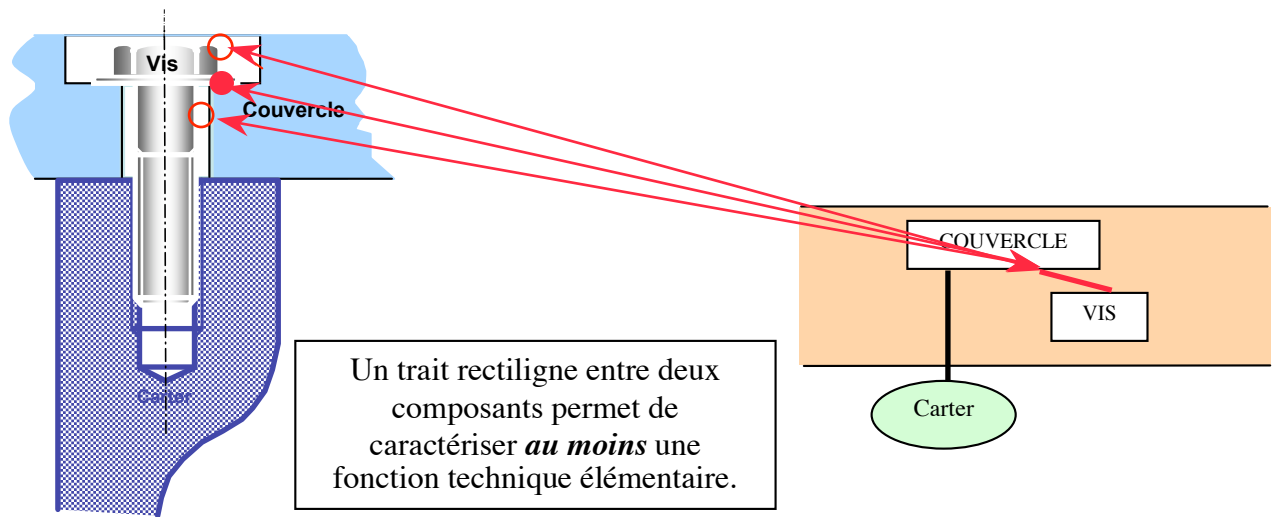


Fig 5.1.6. Un trait rectiligne entre deux composants

Remarque :
 Nous pouvons identifier un autre jeu strictement positif entre le **diamètre de la tête de vis et le trou de passage de vis**. Figure 5.1.7.

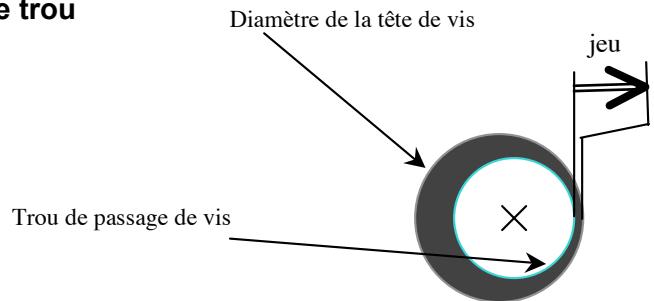
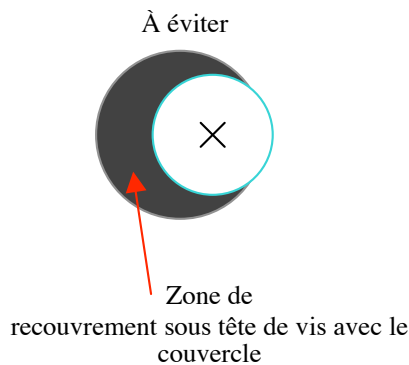


Fig 5.1.7. Jeu strictement positif

Cette condition fonctionnelle permet d'éviter des problèmes de matage sous tête de vis.

En effet elle permet de garantir une répartition uniforme de la matière sous la tête de la vis (zone de recouvrement).

Pour garantir le serrage du couvercle sur le carter, nous devons nous assurer des conditions fonctionnelles suivantes :

- ❖ Un jeu strictement positif entre le corps de la vis et le fond du taraudage.
- ❖ Un jeu nul entre le corps de la vis et le carter.

Ces deux fonctions techniques élémentaires sont représentées par un seul trait rectiligne sur le bloc diagramme. Figure 5.1.6.

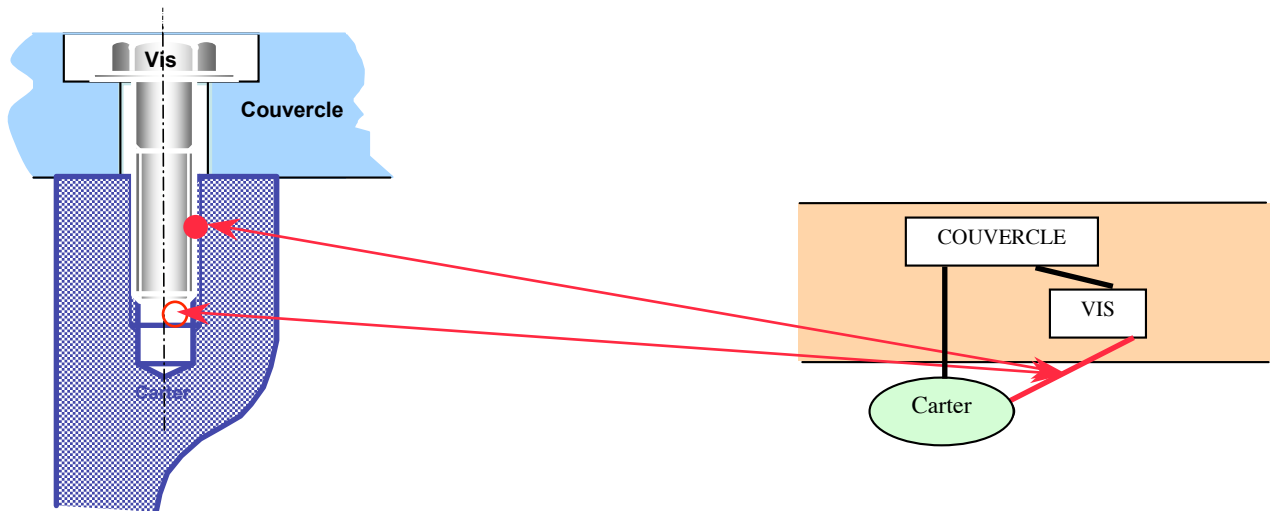


Fig 5.1.1. Un trait rectiligne entre deux composants (vis et carter).

Nous avons identifié toutes les fonctions techniques élémentaires de contact souhaité ou non souhaité des composants entre eux et avec l'élément du milieu d'utilisation (carter).

Le serrage au couple de la vis permet le maintien du couvercle sur le carter. Il fait apparaître un flux entre les différents composants et l'élément du milieu d'utilisation.

Ce serrage crée une tension dans la vis qu'il faudra déterminer.

Remarque : Lorsque la vis est serrée au couple de serrage défini, la vis exerce sur le couvercle un effort normal. En fonction de la surface de recouvrement, la pression varie puisque

$$P = F/S$$

(F une force en N et S une surface en m²)

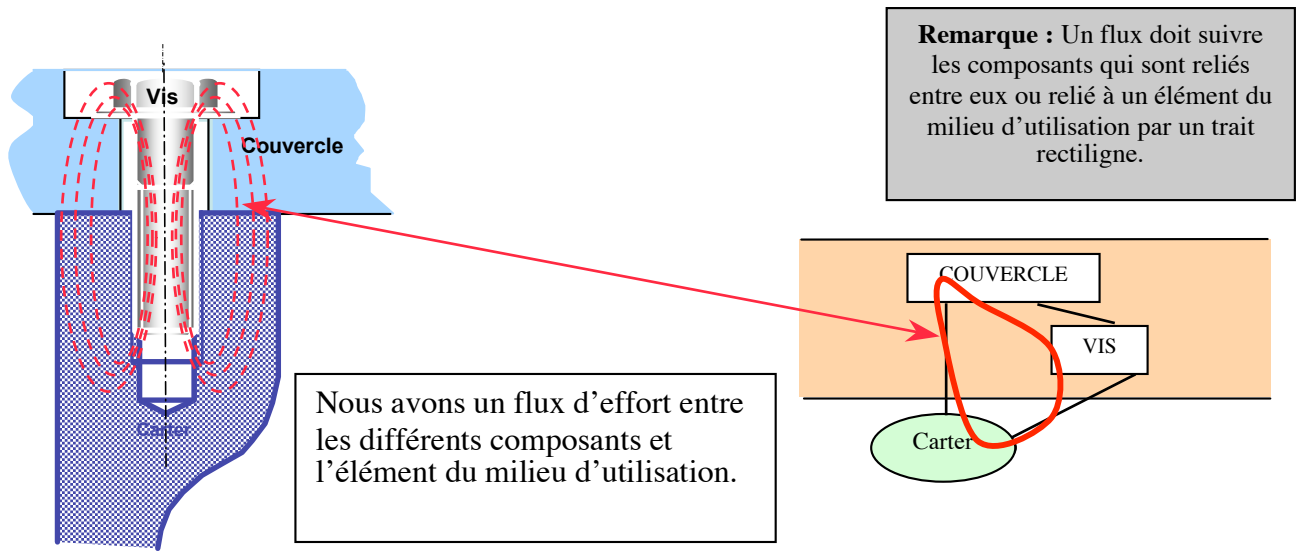


Fig 5.1.10 Un trait courbe – flux d'effort issu de la contrainte C5.

5.2 Différents types d'organisation interne des composants (application au schéma de flux).

La solution industrielle identifiée, s'appuie sur une mise en position du couvercle sur le carter suivante :

Les vis jouent deux rôles fonctionnels :

- le maintien du couvercle sur le carter,
- la mise en position du couvercle dans le plan du carter.

Cette solution permet de diminuer le nombre de composants servant à la position du couvercle sur le carter et par la suite, diminue le nombre des étapes de la gamme d'assemblage.

Or cette solution ne permet pas de garantir la fonction F1 : Isoler l'ensemble : poulies – courroie, du milieu ambiant extérieur.

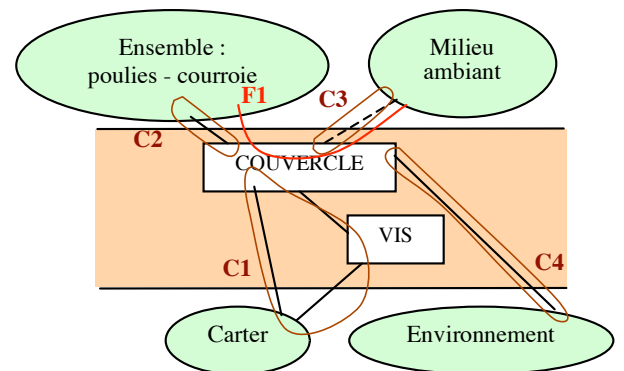
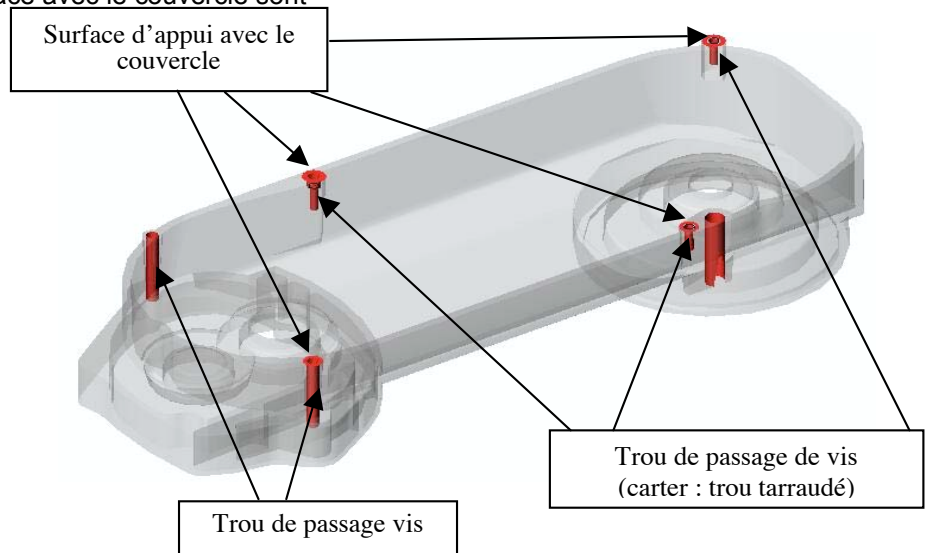


Fig 5.2.1 Schéma de flux

Les surfaces du carter interface avec le couvercle sont les suivantes :



Nous retrouvons ces mêmes surfaces interfaces mais sur le composant : couvercle (existant).

Fig 5.2.2. Carter - Maquette numérique de Lilian CARILLET. LEP - E. Branly - CRETEIL

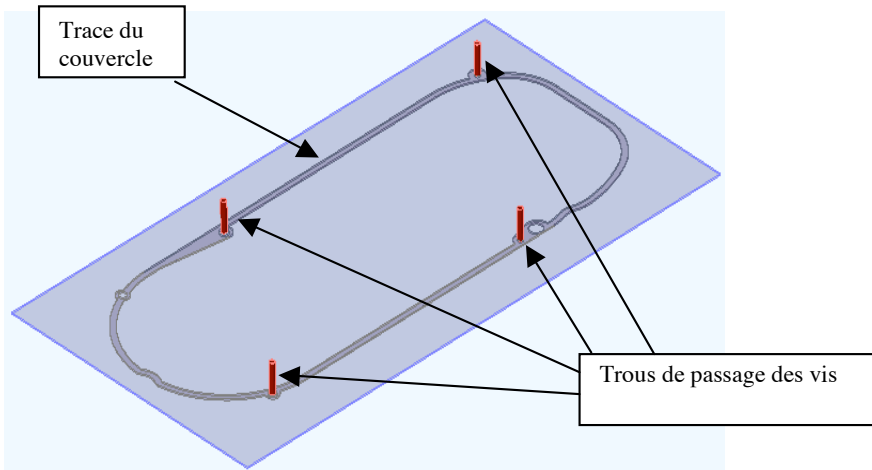


Fig 5.2.3. Surfaces fonctionnelles du couvercle dans la phase : système monté (solution existante). Image numérique de Lilian CARILLET.

5.3 Analyse d'une autre solution qui répond au Cahier des charges (solution « plus académique »).

La mise en position du couvercle sur le carter s'effectue à partir d'une liaison complète réalisée à partir :

- d'une liaison : appui plan, (surface interface entre le couvercle et le carter),
- d'une liaison : pivot glissant, (surface interface entre le centreur, pion 1 et le couvercle),
- et d'une liaison : linéaire rectiligne, (surface interface entre le locating, pion 2 et le couvercle).

Le système est composé des composants suivants :

- Couvercle
- Vis (plusieurs)
- Pion 1 (centreur)
- Pion 2 (locating)

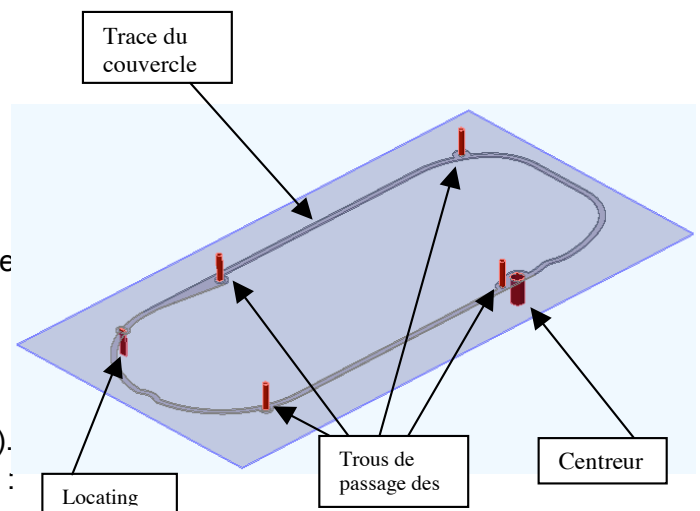


Fig 5.3.1. Surfaces fonctionnelles du couvercle dans la phase : système monté. (solution modifiée). Image numérique de Lilian CARILLET

Que faisons-nous des composants retenus ?.

Nous plaçons les composants à l'intérieur de la bulle système dans la phase : système monté, sous phase en fonctionnement.

Avec l'esquisse, dessin d'ensemble de préconception et la gamme d'assemblage prévisionnelle, nous allons chercher les fonctions techniques élémentaires de contact et de non contact souhaité.

La gamme prévisionnelle d'assemblage permet de définir l'ordre du montage. Notre système se positionne sur le carter et non l'inverse.

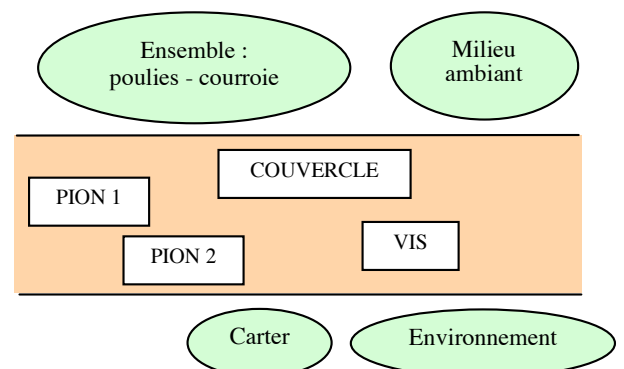


Fig 5.3.2. Schéma de flux : composants seuls

Comment le couvercle se positionne sur le carter?

Le couvercle se positionne sur le carter, avec une liaison : appui plan .

Le couvercle est mobile dans le plan du carter. Nous devons arrêter les trois derniers degrés de liberté : les deux translations dans le plan et la rotation autour de la normale au plan du carter.

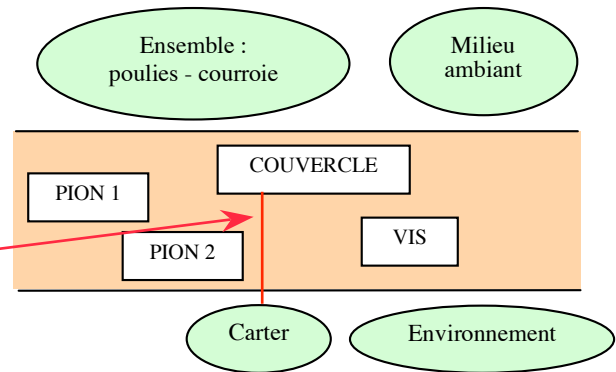


Fig 5.3.3. Schéma de flux : appui plan : couvercle - carter

Dans le plan dû à la liaison : appui plan du carter, les deux translations du couvercle par rapport au carter sont arrêtées par la liaison : pivot glissant, le pion 1 (le centreur)

La liaison ; linéaire rectiligne permet d'arrêter le dernier degré de liberté en rotation, le pion 2 (locating).

Quelles sont les hypothèses concernant les deux pions ?

Les deux pions sont montés serrés dans les alésages du couvercle. Ce serrage doit être traduit dans le schéma de flux (bloc diagramme) par un trait courbe entre les deux composants : couvercle et pion. Ce trait courbe représente **un flux de conception**.

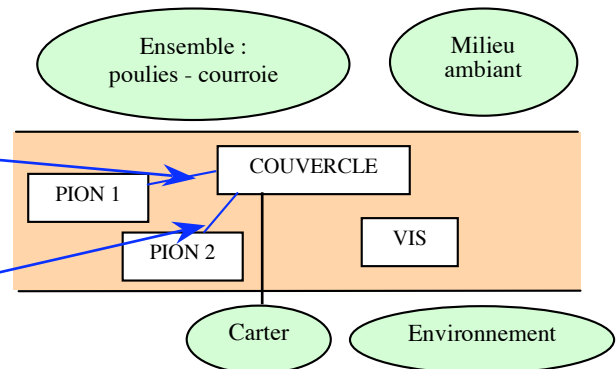


Fig 5.3.4. Schéma de flux : Arrêt des mobilités dans le plan

Qu'apporte ce flux entre les deux composants ?

Nous allons pouvoir envisager de faire de l'intégration de composants à partir des hypothèses du bureau d'étude concernant les relations : produit, matériau et procédés.

Pour ce faire, nous devons prendre en compte les autres phases du profil de vie du produit.

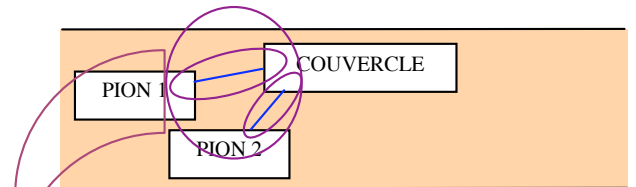


Fig 5.3.5. Schéma de flux partiel : flux de conception.

Possibilité de faire de l'intégration de composant

5.4 Caractéristiques des surfaces du composant couvercle et vis.

Nous avons déterminé les relations entre les différents composants.

Que faire de ce schéma de flux ? Figure 5.4.1

Le schéma de flux complet permet d'identifier toutes les relations des composants entre eux et avec les éléments du milieu d'utilisation dans la phase considérée du profil de vie.

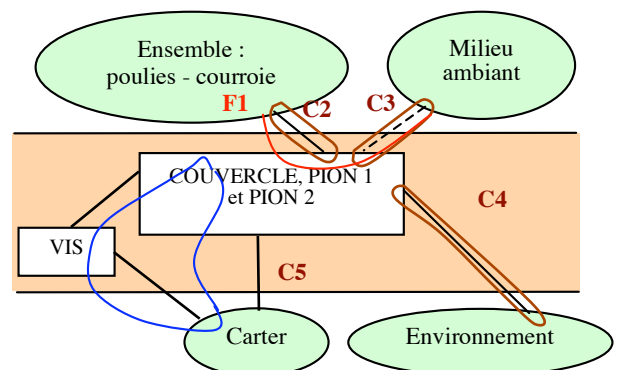


Fig 5.4.1. Schéma de flux partiel : intégration de composants.

Comment faire pour étudier un composant du système ?

Nous allons donc isoler chaque composant afin d'analyser les fonctions techniques élémentaires de contact et les flux en relation avec ce composant.

Exemple :

Pour une vis du système, nous obtenons le schéma de flux suivant :

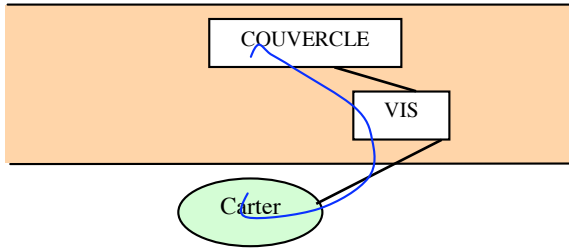


Fig 5.4.2. Schéma de flux : Isoler la vis.

Avec une esquisse du dessin d'ensemble d'avant-projet et à partir du schéma de flux, nous allons pouvoir remplir le Tableau d'Analyse Fonctionnelle Technique de la vis ou du couvercle appartenant à notre système.

Comment traduire les traits rectilignes et le trait courbe du schéma de flux, figure 5.4.2 ?

Nous allons tout d'abord définir le vocabulaire à utiliser.

Pour chaque fonction technique élémentaire de contact (souhaité ou non souhaité), nous utiliserons le vocabulaire du schéma synoptique proposé ci-dessous [13].

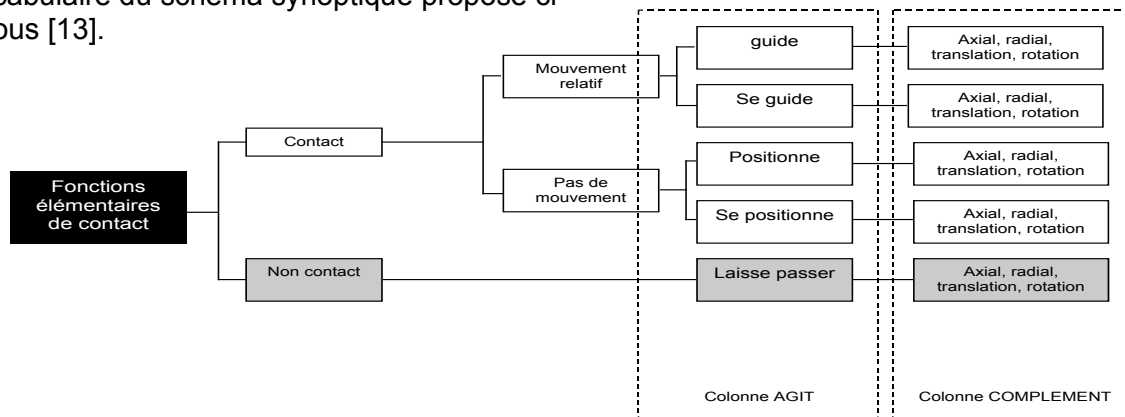


Fig : 5.4.3 : Fonctions techniques élémentaires de contact

Pour chaque flux(ou fonction élémentaire de flux), nous utiliserons le vocabulaire du schéma synoptique proposé ci dessous [13].

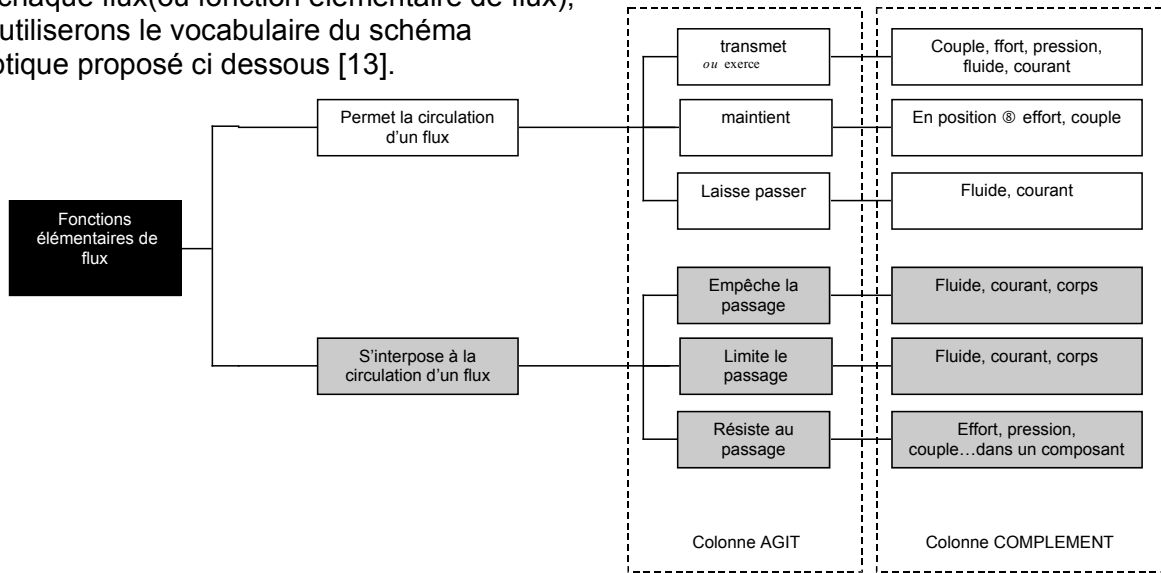


Fig 5.4.4. Fonctions élémentaires de flux

5.5 Tableau d'Analyse Fonctionnelle Technique (TAFT).

Qu'elle est l'objectif du tableau d'analyse fonctionnelle technique ?

Il a pour objectif :

- de traduire les blocs diagramme en données pour la cotation fonctionnelle.
- de regrouper les fonctions assurées pour chaque composant pour l'ensemble des phases.

Nous allons recenser dans ce tableau l'ensemble des fonctions techniques élémentaires de contact souhaité ou non souhaité et les fonctions élémentaires de flux appartenant aux différentes phases du profil de vie du composant.

Nous trouvons différentes colonnes [3] :

N°	Le composant étudié				Liaisons - Surfaces				Sollicitations		Critères d'acceptations			Caractéristiques des surfaces	
	Agit	sur quoi	Complément	Remarques complémentaires	Surf. 1	Surf. 2	Surf. 3	GF	Quoi	Combien	Quoi	Combien	Comment	Quoi	Combien

Description des fonctions techniques élémentaires

Ce à quoi est soumis le composant

Spécifier les caractéristiques des surfaces (GPS)

Eléments géométriques concernés

Ce qui permet de valider chaque fonction

Fig 5.5.1. Tableau d'analyse fonctionnelle technique (TAFT)

Comment remplir ce tableau d'analyse fonctionnelle technique ?

Nous avons isolé la vis. La vis est en relation avec le composant : couvercle et avec l'élément du milieu d'utilisation : carter.

En reprenant la syntaxe du schéma de flux et l'esquisse du dessin d'ensemble, nous allons remplir les différentes lignes du TAFT.

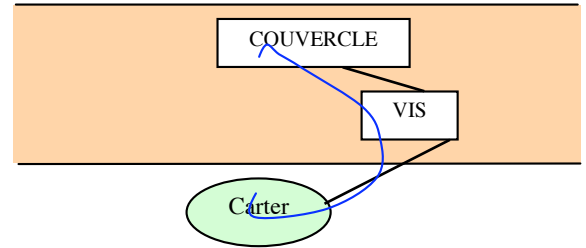


Fig 5.5.2. Schéma de flux partiel

5.5.1 Description des fonctions techniques élémentaires.

Un trait rectiligne traduit au moins une fonction technique élémentaire de contact ou de non-contact souhaité. Le schéma synoptique (figure 5.4.3) : fonctions élémentaires de contact, permet de traduire chaque trait rectiligne par un terme précis.

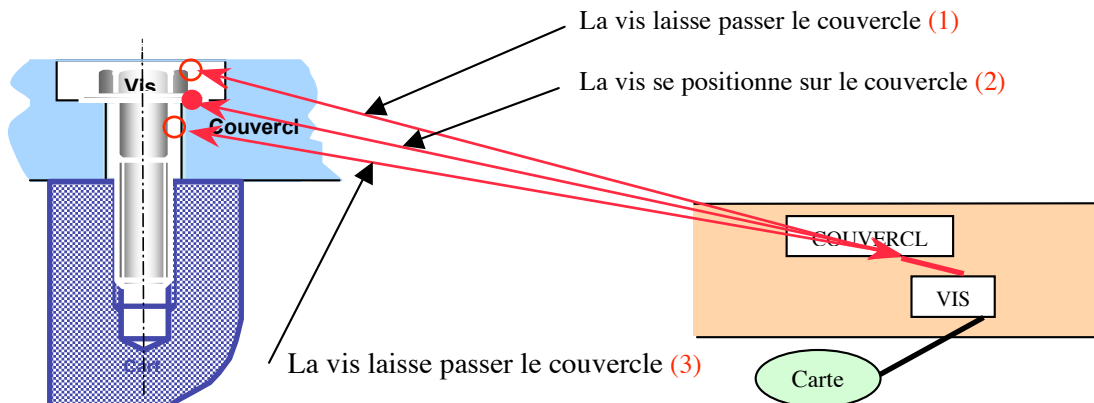
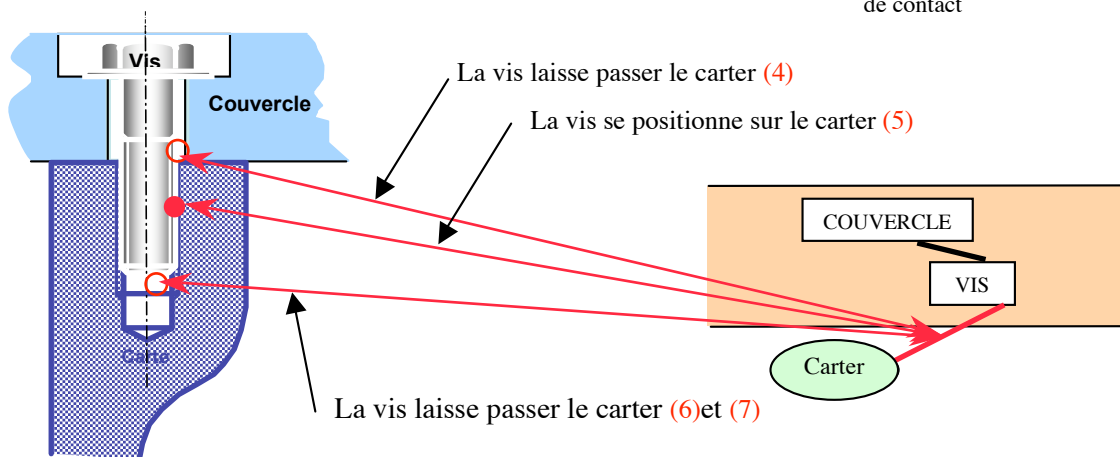


Fig 5.5.1.1. Fonctions techniques élémentaires de contact



Remarque :

Les numéros 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 seront utilisés dans le TAFT partiel, figure 5.5.1.

A chaque numéro correspond :

- Une fonction technique élémentaire ou un flux
- Une ligne dans le TAFT

Un trait courbe traduit un flux élémentaire. Il se scinde en trois parties.

- La partie qui quitte le bloc : vis et relie le bloc : couvercle se traduit par : *la vis transmet sur le couvercle une pression.* (8)
- La partie du flux dans le bloc : vis se traduit par : *la vis résiste en elle-même à un effort.* (9)
- La partie qui quitte le bloc : vis et relie le carter se traduit par : *la vis transmet sur le carter une pression.* (10)

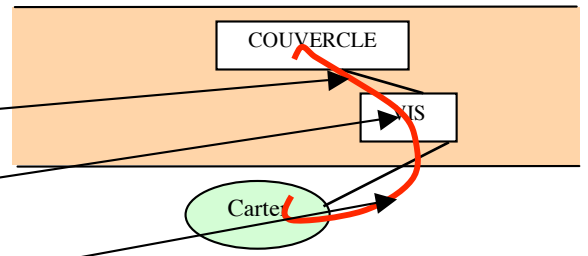
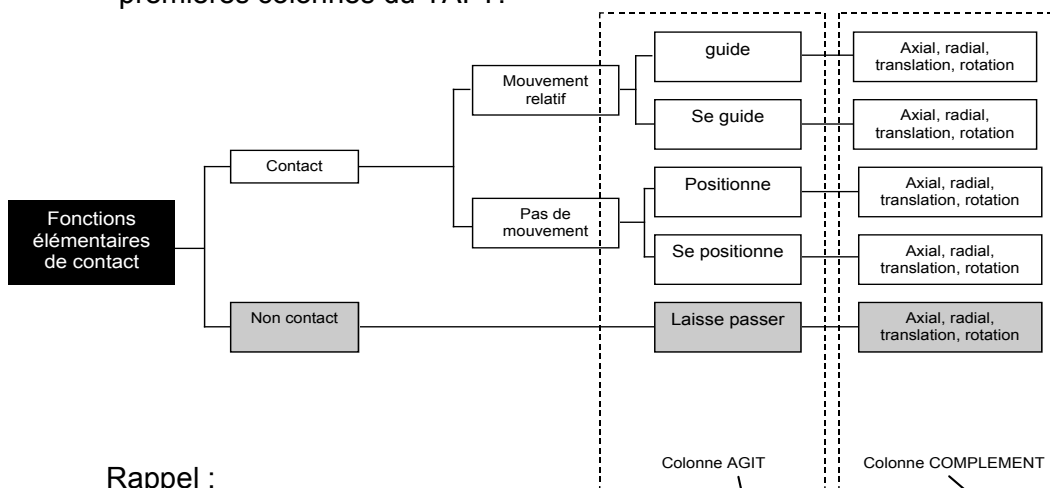


Fig 5.5.1.2. Fonctions techniques élémentaires de flux.

Nous allons recenser l'ensemble des fonctions élémentaires de contact et de flux dans les premières colonnes du TAFT.



Remarque :
Les données nécessaires pour remplir le tableau d'analyse fonctionnelle technique sont le bloc diagramme, l'esquisse du dessin d'ensemble, les deux graphes des fonctions élémentaires de contact et de flux et la gamme d'assemblage prévisionnelle.

Rappel :

Une **fonction technique élémentaire** est une action d'un composant qui participe à la mise en oeuvre d'un principe de solution constructive du système.

On distingue :

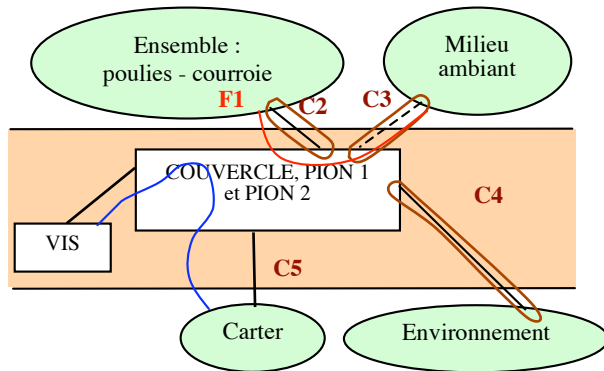
- les **fonctions techniques élémentaires de contact** (nous dirons qu'un composant assure une fonction technique élémentaire de contact lorsqu'il est en relation géométrique avec un composant ou un Élément du Milieu d'Utilisation) Fig 5.4.3
- les **fonctions techniques élémentaires de flux** (nous dirons qu'un composant assure une fonction technique élémentaire de flux lorsqu'il permet ou s'interpose au parcours d'un flux) Fig 5.4.4

	Le composant étudié :		La vis
	Agit	Sur quoi	
1	laisse passer	le couvercle	radialement Jeu entre la tête de vis et le lamage du couvercle
2	se positionne	le couvercle	axialement La gamme prévisionnelle d'assemblage permet de définir qui se positionne sur quoi.
3	laisse passer	le couvercle	radialement Jeu entre le corps de la vis et le trou de passage de vis
4	laisse passer	le carter	axialement Jeu entre le dernier filet de la vis et le premier filet du trou taraudé.
5	se positionne	le carter	radialement La vis se positionne sur le carter et non l'inverse.
6	laisse passer	le carter	axialement Jeu entre le premier filet de la vis et le dernier filet du trou taraudé.
7	laisse passer	le carter	axialement Jeu entre le premier filet de la vis et le premier filet du trou taraudé.
8	transmet	le couvercle	une pression Le couple de serrage permet de transmettre un effort de la vis sur le couvercle.
9	résiste	en elle-même	une pression Le couple de serrage génère une tension dans la vis.
10	transmet	le carter	une pression Le couple de serrage permet de transmettre un effort de la vis sur le carter.

Fig 5.5.1. 3. Description des fonctions techniques élémentaires - TAFT partiel.

En préconception, déterminons les fonctions techniques élémentaires du composant couvercle ?

À partir du schéma de flux, dans la phase : système monté et de l'esquisse du composant : couvercle, nous devons reprendre les fonctions techniques élémentaires.



Remarque :

En préconception, le matériau du composant et le choix du procédé d'obtention du brut ne sont pas encore finalisés.

Remarque :

Nous considérons l'hypothèse suivante :
Le centreur, le locating et le couvercle sont trois pièces du composant : couvercle.
(Nous avons fait de l'intégration de composants).

L'esquisse du couvercle, figure 5.5.1.4., fait apparaître les surfaces qui sont fonctionnelles dans la phase : système monté. Toutes les surfaces ne sont pas définies dans cette phase.

En effet, certaines sont issues de la phase : système seul, sous phase : fabrication.

Nous devons donc tenir compte du choix du procédé d'obtention du brut. Afin d'aboutir à la définition géométrique complète du composant : Couvercle.

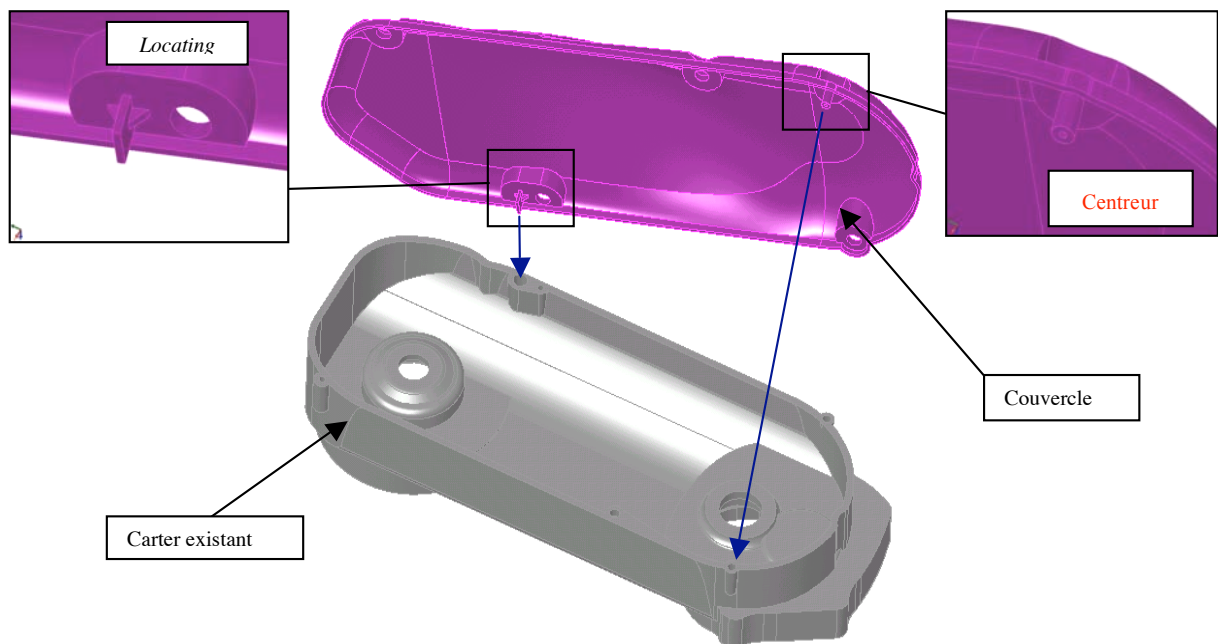
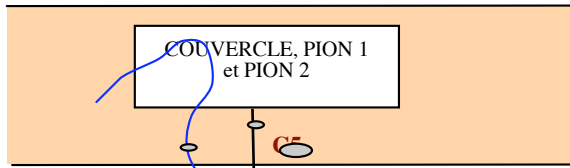


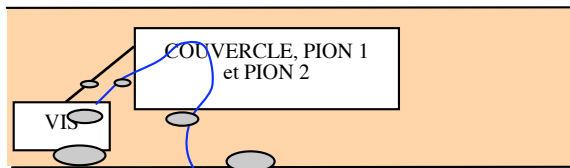
Fig 5..5.1.4. Esquisse numérique du carter en préconception.
Maquette numérique de Lilian CARILLET
LEP - E. Branly - CRETEIL

Nous allons recenser l'ensemble des fonctions élémentaires de contact et de flux dans les premières colonnes du TAFT.



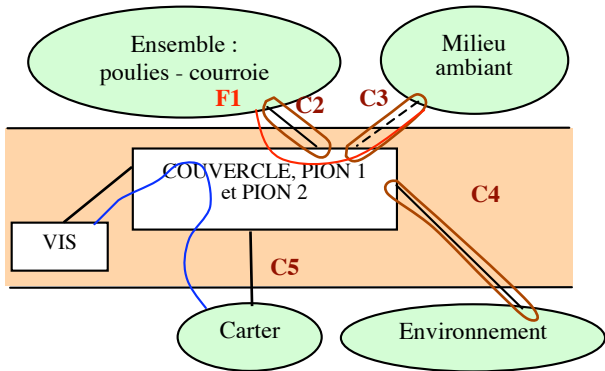
Lignes n° 2, 3, 8 et 12 du tableau.

Lignes : 1,3,4, 5, 6,7,9,10 et 11.



Lignes n° 13, 14, 16,17,18 et 19.

Ligne n°15 du tableau.



5.5.2 Éléments géométriques concernés.

Comment définir les types de surfaces ?

À partir de notre esquisse graphique du couvercle, nous identifions les différents types de surfaces avec la terminologie suivante :

- cylindre.
- plan.
- surface de forme quelconque.
- surface hélicoïdale
- cône.

Le couvercle				
	Agit sur	quoi	Complément	Remarques complémentaires
1	se positionne	le carter	axialement	Mise en position du couvercle sur la carter (appui plan). Cette surface est un "élément de référence" appelée "A".
2	exerce	le carter	une pression	Pression de contact entre le couvercle et le carter
3	empêche	le carter	le passage d'un fluide	Qualité du contact entre le couvercle et le carter
4	se positionne	le carter	radialement	Mise en position du couvercle sur la carter (centrage court). Cette surface est un "élément de référence" appelée "B".
5	se positionne	le carter	radialement	Mise en position du couvercle sur la carter (locating). Cette surface est un "élément de référence" appelée "C".
6	laisse passer	le carter	radialement	Jeu radiale du centreur (effet combiné de la dimension maxi matière et du défaut de perpendicularité)
7	laisse passer	le carter	axialement	Jeu axial entre le centreur et le carter.
8	résiste	le carter	Pression	Résistance des matériaux (section mini du centreur)
9	laisse passer	le carter	radialement	Jeu tangentiel entre le locating et le carter (effet combiné du locating dans sa dimension maxi matière et du défaut de perpendicularité)
10	laisse passer	le carter	radialement	Jeu radial entre le locating et le carter
11	laisse passer	le carter	axialement	Jeu axial entre le locating et le carter.
12	résiste	le carter	Pression	Résistance des matériaux (section mini du locating)
13	laisse passer	la vis (pour les 4 vis)	radialement	Jeu entre la tête de vis et le lamage du couvercle
14	positionne	la vis (pour les 4 vis)	axialement	0) La gamme prévisionnelle d'assemblage permet de définir qui se positionne sur quoi. 1) Jeu mini entre le premier filet de la vis et le dernier filet du trou taraudé. 2) jeu mini entre le dernier filet de la vis et le premier filet du trou taraudé. 3) jeu mini entre le premier filet du trou taraudé et le premier
15	exerce	la vis (pour les 4 vis)	une pression	Pression de contact entre la vis sous tête et le plan du couvercle en regard avec la tête de vis
16	laisse passer	la vis (4x)	radialement	Jeu entre le corps de la vis et le trou de passage de vis
17	laisse passer	la vis (pour les 4 vis)	radialement	Jeu entre la tête de la vis et le trou de passage de vis
18	laisse passer	l'environnement	axialement	Jeu avec l'environnement
19	laisse passer	l'ensemble : poulie-courroie	axialement	Jeu avec l'ensemble : poulie - courroie

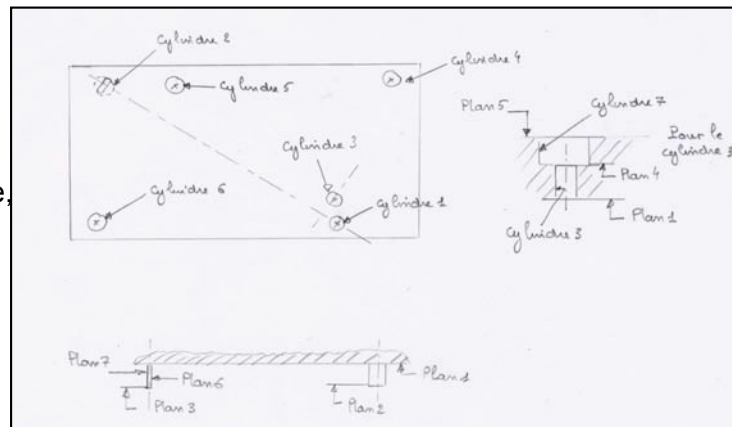


Fig 5.5.2.1. Esquisse à « mains levées » du carter en préconception (ou une maquette numérique)

• **Liaison.**

Parmi les surfaces, certaines permettent de **positionner** ou de **guider** le composant. Ces surfaces particulières, ensembles, jouent le même rôle fonctionnel celui de créer la liaison. Elles définissent ensemble un groupe fonctionnel.

Comment déterminer ces surfaces particulières qui permettent de mettre en position le composant ?

Nous devons rechercher les surfaces qui correspondent aux fonctions techniques élémentaires "**se positionne sur**" ou "**se guide sur**". Ces surfaces définiront le groupe fonctionnel de mise en position de ce composant sur son support, dans une phase donnée.

Dans le **cas du couvercle**, la liaison encastrement se définit par un groupe fonctionnel de surfaces.

GF = { plan 1, cylindre 1, cylindre 2}.

Plan 1 : appui plan prépondérant

Cylindre 1 : c'est un cylindre court contraint en orientation, à 90°, par rapport au plan précédent (plan 1)/

Cylindre 2 : c'est un cylindre court qui doit jouer le rôle fonctionnel de locating.

L'ordre de ces surfaces est important. Nous retrouvons cet ordre dans la colonne : Liaisons / surfaces.

Dans le **cas de la vis**, la liaison se définit par un groupe fonctionnel de surfaces.

GF = { taraudage, plan}

La direction principale de la vis est définie par la surface hélicoïdale (taraudage). Le plan permet de positionner axialement la vis.

• **Surface.**

Pour les **fonctions techniques élémentaires** autres que « se positionne » et « se guide », les surfaces se trouvent dans la première colonne : surface 1 de la colonne : liaisons / surfaces.

Remarques :

Pour comprendre les contraintes internes des surfaces d'un même composant, nous pouvons utiliser l'outil : graphe des contacts élémentaires (6 graphe des contacts).

Remarque :

Un groupe fonctionnel de surface est un ensemble de surfaces qui ensembles, jouent le même rôle fonctionnel, celui de la liaison.

Exemple :

Une liaison pivot peut être réalisée à partir d'un plan et d'un cylindre court.

GF = {plan, cylindre}

GF : groupe fonctionnel

Liaisons - Surfaces				
	Surf. 1	Surf. 2	Surf. 3	GF
1	plan1 (A)			1
4		cylindre 1 (B)		1
5			cylindre 2 (C)	1

Extrait du TAFT du couvercle

Remarques :

Pour faciliter l'identification d'une surface dans la colonne : liaisons surfaces, nous pouvons associer un numéro. Ce numéro peut être issu de l'arbre de construction de la maquette numérique, ou d'une annotation portée sur l'esquisse à « main levée », figure 5.5.2.1.

Pour les surfaces identifiées par la colonne GF, une lettre permet d'identifier le nom de « l'élément de référence spécifiée ». (cf 7)

Liaisons - Surfaces				
	Surf. 1	Surf. 2	Surf. 3	GF
2		plan 1		1
5	taraudage			1

Extrait du TAFT de la vis

Liaisons - Surfaces				
	Surf. 1	Surf. 2	Surf. 3	GF
1	plan1 (A)			1
2	plan1			
3	plan1			
4		cylindre 1 (B)		1
5			cylindre 2 (C)	1
6	cylindre 1			
7	plan 2			
8	cylindre 1			
9	cylindre 2			
10	plan 6 - plan 7			
11	plan 3			
12	cylindre 2			

Extrait du TAFT du couvercle

5.5.3 Ce à quoi est soumis le composant.

Les colonnes «sollicitations» du T.A.F.T. permettent de définir les actions physiques auxquelles est soumis le composant. Les lignes correspondent généralement à des **fonctions élémentaires de flux**.

Ce bloc comporte deux colonnes :

- la colonne **quoi** contient la ou les grandeurs physiques qui définissent les contraintes imposées à chaque fonction élémentaire. Pour les décrire, nous pouvons faire appel à un document de référence (ex.: note de calcul, note d'essai).
- la colonne **combien** fixe la valeur ou le domaine, limite de ces grandeurs.

Sollicitations		
	Quoi	Combien
2	Pression (MPa)	P maxi
3	Fluide (température, pression, hygrométrie)	$\Delta T, \Delta P, \Delta H$
8	Pression (MPa)	P maxi
12	Pression (MPa)	P maxi
15	Pression (MPa)	P maxi

Extrait du TAFT du couvercle

5.5.4 Ce qui permet de valider chaque fonction.

Les colonnes «critères d'acceptation» permettent d'indiquer face à ces sollicitations une grandeur physique à ne pas dépasser pour pouvoir valider la fonction technique élémentaire (valeur limite de contrainte, de fréquence propre, de déformation, de dépassement, etc...) qui pourra être évaluée par un calcul de simulation en l'absence de prototype physique.

Ce bloc comporte trois colonnes

- la colonne **quoi** contient la ou les grandeurs physiques qui définissent les conditions de validation à chaque fonction élémentaire. Pour les décrire, nous pouvons utiliser un document existant (ex.: norme, cahier des charges, modèle de chaîne de cotes, procédure de calcul ou d'essai).
- la colonne **combien** fixe la valeur ou le domaine, limite de ces grandeurs.
- la colonne **comment** précise les moyens ou la procédure de validation de la fonction.

Critères d'acceptations			
	Quoi	Combien	Comment
1			
2	Effort (N)	Fmaxi	RDM
3	Débit de fuite	ΔQ_{maxi}	Préconisation du fabricant
4			
5			
6	Jmini	J>0	Chaîne de cotes
7	Jmini	J>0	Chaîne de cotes
8	Effort (N)	Fmaxi	RDM
9	Jmini	J>0	Chaîne de cotes
10	Jmini	J>0	Chaîne de cotes
11	Jmini	J>0	Chaîne de cotes
12	Effort (N)	Fmaxi	RDM
13	Jmini	J>0	Chaîne de cotes
14			
15	Effort (N)	Fmaxi	RDM
16	Jmini	J>0	Chaîne de cotes
17	Jmini	J>0	Chaîne de cotes
18	Jmini	J>0	Chaîne de cotes
19	Jmini	J>0	Chaîne de cotes

Extrait du TAFT du couvercle

5.5.6. Spécifier les caractéristiques des surfaces (GPS)

Nous devons exprimer les **caractéristiques** géométriques et physiques imposées aux surfaces du composant étudié pour répondre aux

Dans la colonne : « quoi », les termes utilisés sont :

- Planéité
- Parallélisme,
- Perpendicularité
- Inclinaison
- Localisation
- Surface de forme quelconque
- Dimension ($D \pm td$)
- Exigence du maximum de matière (M)

sollicitations considérées dans chaque fonction élémentaire

Ce bloc comporte deux colonnes :

- la colonne **quoi** contient les caractéristiques limites spécifiées.
- la colonne **combien** fixe la valeur ou le domaine limite de ces caractéristiques.

Nous allons retrouver les spécifications géométriques du produit (GPS) qui s'expriment sur le dessin de définition du composant par l'emploi des normes ISO du langage de codification du dessin technique du composant.

5.5.7 Synthèse du tableau d'analyse fonctionnelle technique du couvercle

Le tableau d'analyse fonctionnelle technique du couvercle doit recenser l'ensemble des phases du profil de vie du composant : couvercle.

La phase traitée sur la figure 5.5.7.1. est celle du système monté (phase en utilisation)

Caractéristiques des surfaces	
Quoi	Combien
1	planeité t
2	planeité t
3	planeité t
4	perpendicularité $\phi t / A$
5	perpendicularité $\phi t / A$
6	perpendicularité $\phi t (M) / A$ $\phi D \pm td$ (E)
7	localisation t/A
8	$\phi D \pm td$
9	perpendicularité $\phi t (M) / A$ $\phi D \pm td$ (E)
10	localisation t/A/B $D \pm td$
11	localisation t/A
12	$D \pm td$
13	coaxialité $\phi t / A / D$ $\phi D \pm td$
14	localisation t/A Nota : pour les 4 plans indépendants
15	parallélisme t / A
16	4x localisation $\phi t / A / B / C$ $\phi D \pm td$
17	$\phi D \pm td$
18	surface de forme quelconque t/A/B/C
19	surface de forme quelconque t/A/B/C en zone restreinte

Le couvercle				Liaisons - Surfaces				Sollicitations		Critères d'acceptations			Caractéristiques des surfaces		
Agit sur	quoi	Complément	Remarques complémentaires	Surf. 1	Surf. 2	Surf. 3	GF	Quoi	Combien	Quoi	Combien	Comment	Quoi	Combien	
1	se positionne	le carter	axialement	Mise en position du couvercle sur la carter (appui plan). Cette surface est un "élément de référence" appelée "A".	plan1 (A)										planeité t
2	exerce	le carter	une pression	Pression de contact entre le couvercle et le carter	plan1			Pression (MPa)	P maxi	Effort (N)	Fmaxi	RDM			planeité t
3	empêche	le carter	le passage d'un fluide	Qualité du contact entre le couvercle et le carter	plan1			Fluide (température, pression, hygrométrie)	$\Delta T, \Delta P, \Delta H$	Débit de fuite	ΔQ_{maxi}	Précision du fabricant			planeité t
4	se positionne	le carter	radialement	Mise en position du couvercle sur la carter (centrage court). Cette surface est un "élément de référence" appelée "B".		cylindre 1 (B)									perpendicularité $\phi t / A$
5	se positionne	le carter	radialement	Mise en position du couvercle sur la carter (locating). Cette surface est un "élément de référence" appelée "C".			cylindre 2 (C)								perpendicularité $\phi t / A$
6	laisse passer	le carter	radialement	Jeu radiale du centreur (effet combiné de la dimension maxi matière et du défaut de perpendicularité)	cylindre 1					Jmini	J>0	Chaîne de cotes	perpendicularité $\phi t (M) / A$ $\phi D \pm td$ (E)		
7	laisse passer	le carter	axialement	Jeu axial entre le centreur et le carter.	plan 2					Jmini	J>0	Chaîne de cotes	localisation t/A		
8	résiste	le carter	Pression	Résistance des matériaux (section mini du centreur)	cylindre 1			Pression (MPa)	P maxi	Effort (N)	Fmaxi	RDM	$\phi D \pm td$		
9	laisse passer	le carter	radialement	Jeu tangentiel entre le locating et le carter (effet combiné du locating dans sa dimension maxi matière et du défaut de perpendicularité)		cylindre 2				Jmini	J>0	Chaîne de cotes	perpendicularité $\phi t (M) / A$ $\phi D \pm td$ (E)		
10	laisse passer	le carter	radialement	Jeu radial entre le locating et le carter	plan 6 - plan 7					Jmini	J>0	Chaîne de cotes	localisation t/A/B $D \pm td$		

De la fonction élémentaire identifiée dans l'analyse fonctionnelle technique

Fig 5.5.7.1. Tableau d'analyse fonctionnelle technique du couvercle (TAFT partiel).

À la spécification macro géométrique et micro géométrique associée à la surface fonctionnelle du composant

Remarques.

- Le tableau d'analyse fonctionnelle technique est construit pour chaque composant du système. Il recense l'ensemble des phases du profil de vie du composant.

- Le T.A.F.T. d'un composant permet de décrire toutes les fonctions techniques élémentaires le mettant en relation avec les autres composants du système étudié et les éléments du milieu d'utilisation.

Deux sorties :

- L'élaboration du dessin de définition du composant avec la justification de chaque spécification macro géométrique et micro géométrique mise au plan.

- Le développement des études de type :

- AMEDEC produit,
- HCP, (hiérarchisation des caractéristiques produit) [12].

par l'ajout au tableau d'analyse fonctionnelle technique de colonnes nécessaires.

Le tableau d'analyse fonctionnelle technique est un outil extrêmement puissant pour décrire les caractéristiques fonctionnelles du composant tout au long de son profil de vie.

Comment pouvons-nous à partir du schéma de flux identifier les contraintes entre les différentes surfaces d'un même composant qui participe à une condition unilimite de jeu mini ou de jeu maxi (condition fonctionnelle géométrique (CFG)) ?

L'outil graphe des contacts élémentaires permet de d'identifier les surfaces influentes, des pièces influentes qui entrent dans la composition d'une chaîne de cotes 3D issue d'une condition fonctionnelle géométrique.

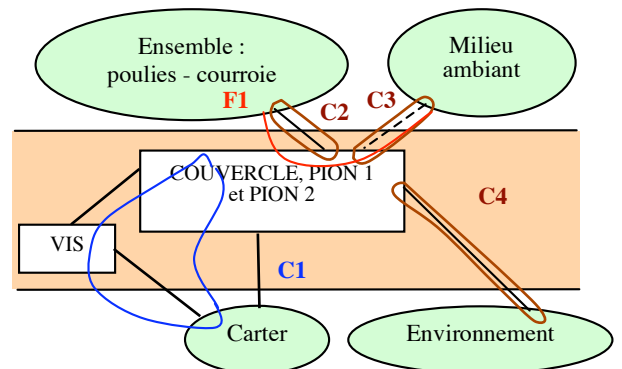


Fig 6.1. Schéma de flux partiel.

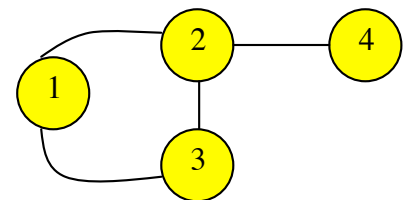


Fig 6.2. Grphe des contacts.

- 1 : Composant : vis.
- 2 : Composant : couvercle, pion 1 et pion 2.
- 3 : Composant : carter
- 4 : Composant : ensemble poulies et courroie

6 Grphe des contacts élémentaires.

La structure d'un système mécanique est modélisée par un schéma de flux afin de mettre en évidence les composants du système et les contacts entre les composants.

Un contact est défini entre deux composants ou deux surfaces si, lors du fonctionnement du mécanisme, il peut y avoir une interaction mécanique entre les pièces ou les surfaces considérées.

À partir du schéma de flux (figure 6.1), les composants internes et externes au système sont représentés par un sommet, et chaque contact est représenté par une arête entre deux sommets (figure 6.2)

Pour les besoins de la cotation, les contacts entre deux pièces sont décomposés en contacts élémentaires selon les surfaces élémentaires de type : plan, deux plans parallèles en vis-à-vis, cylindre, ... Le graphe correspondant est appelé graphe des contacts élémentaires (figure 6.3) [2].

- chaque pièce est représentée par un sommet,
- chaque surface est représentée par un pôle du sommet de la pièce dont elle fait partie,
- chaque liaison est représentée par une arête entre deux pôles.

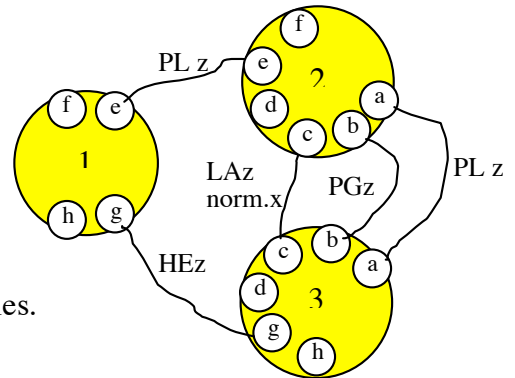


Fig 6.3. Graphe des contacts élémentaires (partiel)

PV y : pivot d'axe y

PG x : pivot glissant d'axe x

PL y : Plane normale à y

GL z : Glissière d'axe z

HE y : Hélicoïdale d'axe y

LA x : Linéaire annulaire d'axe x

LR z norm. x : Linéaire rectiligne de direction z et normale à x

Condition fonctionnelle (figure 6.4)

Les surfaces « a », « b » et « c » sont respectivement les surfaces appui plan, cylindre (centreur) et biplan (locating). La surface « d » est la partie non fonctionnelle du locating. Pour l'exemple, la condition fonctionnelle CF considérée (jeu mini radial du locating) porte sur l'écart linéaire selon l'axe y.

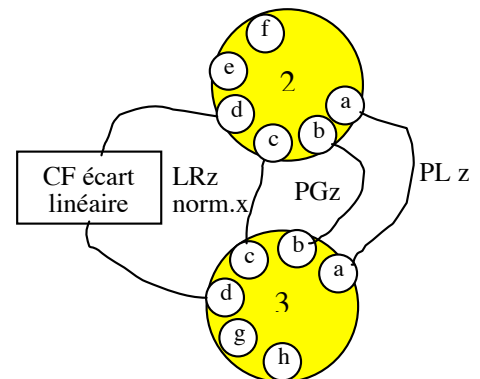


Fig 6.4. CF écart linéaire

Choix des spécifications.

La condition fonctionnelle précédente (figure 6.4) révèle des conditions entre les surfaces d'un même composant.

Sur cette figure, les spécifications géométriques sont représentées par un rectangle relié par des arêtes aux surfaces spécifiées.

Un des intérêts de ce graphe (figure 6.5) est de montrer les relations internes des surfaces d'un composant. Nous retrouvons la notion de groupe fonctionnel des surfaces exploitées dans le tableau d'analyse fonctionnelle technique (TAFT).

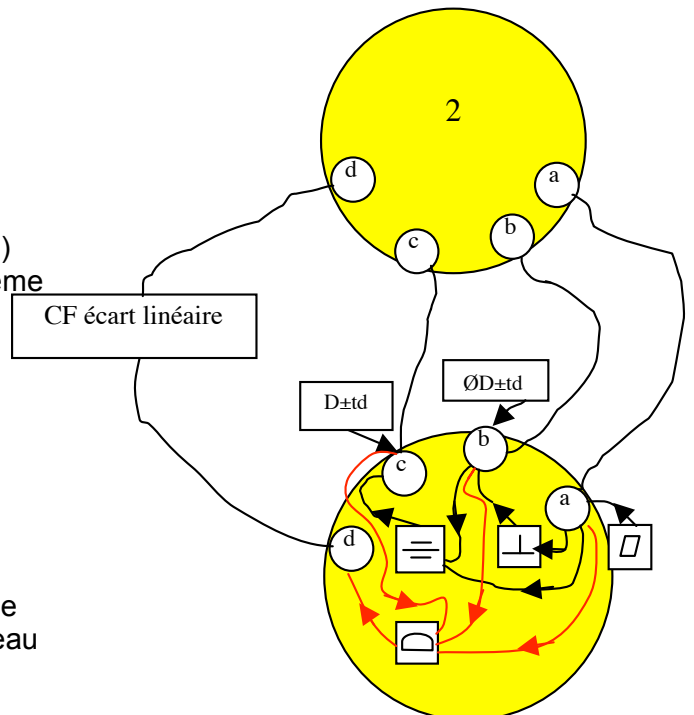


Fig 6.5. fermeture des cycles influents (partiel, bulle 3 seulement)

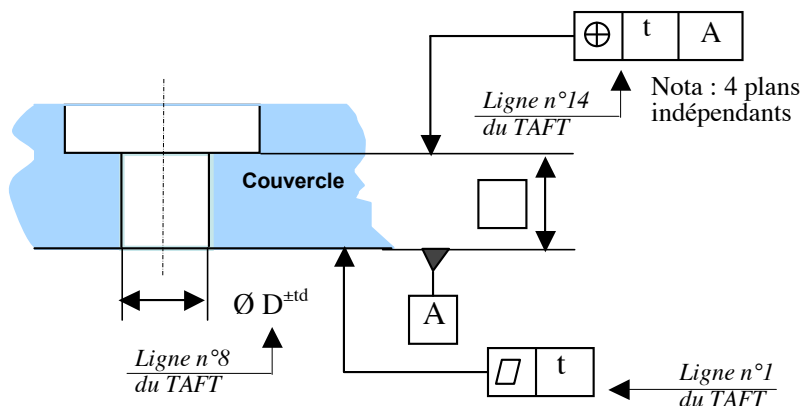
7 Spécification géométrique du produit (GPS)

Dans la colonne « Caractéristiques des surfaces » : « quoi », les termes utilisés doivent être transcrit sur le dessin de définition dans un langage univoque. Un ensemble de normes ISO permet de définir ce langage univoque pour des caractéristiques macro géométriques et micro géométriques.

Comment pouvons-nous transcrire les caractéristiques de la colonne : caractéristiques des surfaces, sur le modèle numérique du composant au nominal centré ?

Les surfaces dans la colonne : liaisons surfaces, sont identifiées par leur type, voire même par un numéro qui permet de retrouver la surface sur l'esquisse ou sur l'arbre de construction de la maquette numérique. Sur cette même ligne et dans son prolongement, nous retrouvons les caractéristiques de la surface.

Pour éviter toutes les interprétations, nous devons utiliser un langage normalisé afin de signifier cette caractéristique sur cette surface.



Caractéristiques des surfaces		
	Quoi	Combien
1	planeité t	
8	$\varnothing D \pm td$	
14	localisation t/A Nota : pour les 4 plans indépendants	

Remarque :

Une spécification dimensionnelle ou géométrique peut être issue de plusieurs lignes du tableau d'analyse fonctionnelle technique.

8 Conclusion.

Les outils décrits dans cette étude apportent des éléments de réponse sur le développement de la démarche d'analyse fonctionnelle. Parmi ces outils, certains ne sont pas normalisés, les FAST, le schéma de flux, le graphe des contacts

élémentaires et le tableau d'analyse fonctionnelle technique. La tentation légitime serait de les exploiter dans un cadre qui n'est pas celui habituellement utilisé. Ce danger apparaît dès que l'outil a pour essence sa simple utilisation en dehors du contexte pour lequel il a été conçu.

L'outil central de cette démarche est celui qui capitalise les caractéristiques fonctionnelles du composant dans l'ensemble du profil de vie : le tableau d'analyse fonctionnelle technique.

La richesse de ce tableau montre, si cela n'était pas encore fait, qu'il ne peut-être construit qu'à partir simplement de l'outil : graphe des contacts élémentaires. Ce tableau d'analyse fonctionnelle technique est la conclusion logique de l'ensemble de la démarche d'analyse fonctionnelle.

La dernière colonne, qui porte sur les caractéristiques des surfaces du composant étudié, fait apparaître l'utilité d'un langage normalisé : les normes GPS. Nous pouvons nous passer de ce langage si celui-ci est difficile à appréhender avec les élèves, mais les lignes de ce tableau sont toujours là. Elles témoignent du rôle fonctionnel du composant au sein du système tout au long du profil de vie.

9 Remerciements.

Je tiens à remercier mes deux collègues de l'école d'ingénieurs ESCPI/ CNAM.

M Belingard O. avec qui j'effectue les deux premières journées d'encadrement des projets de préconception qu'effectuent les apprentis – ingénieurs en 3^{ème} année. Nos échanges et nos débats lors du suivi des différents projets ont permis de faire émerger des pratiques sur l'énoncé du besoin.

M Mathieu L. pour le temps précieux qu'il a pris, pour relire cet article.

10 Bibliographie.

[1] Anselmetti B. ; « Méthode de cotation fonctionnelle » ; volume 2 aux éditions HERMES – LAVOISIER.

[2] Ballu A. ; Mathieu L. ; « Méthode de choix des spécifications fonctionnelles par des graphes » ; dans Technologie et formation N°84, pp 12-19 ISSN 0297-1062.

[3] Charpentier F. ; « Module : Analyse fonctionnelle, analyse fonctionnelle du besoin – analyse fonctionnelle technique » ; cours en 3^{ème} année à l'ESCPI / CNAM.

[4] Charpentier F. ; « Module : Conception préliminaire – conception détaillée » ; cours en 1^{er} année à l'IUFM de Créteil.

[5] Charpentier F. ; Chep A. ; Fernandez B. ; « Influence des normes GPS sur l'élaboration des documents de fabrication » ; séminaire national de Levallois-Perret du 4, 5 et 6 décembre 2000.

[6] Delafollie G. ; Texido C. : « les outils d'analyses initiales de conception » ; chapitre 3.9 ; conception en mécanique industrielle ; les référentiels DUNOD Août 2004.

[7] Norme EN 1325-1 : Novembre 1996 ; « Vocabulaire du management de la valeur, de l'analyse de la valeur et de l'analyse fonctionnelle - Partie 1 : analyse de la valeur et analyse fonctionnelle. » ; AFNOR.

[8] Norme NF X50-151 : décembre 1991 ; « Analyse de la Valeur - Analyse Fonctionnelle - Expression fonctionnelle du besoin et cahier des charges fonctionnel » ; AFNOR.

[9] Norme NF X50-152 : février 2004 « Analyse de la Valeur - Caractéristiques fondamentales » ; AFNOR.

[10] Norme NF X50-153 : février 2004 « Analyse de la Valeur - Recommandations pour sa mise en oeuvre » ; AFNOR.

[11] Norme NF X50-106-1 : Décembre 1993 ; « Management de projet - Terminologie dans les contrats d'ingénierie industrielle - Partie 1 » ; AFNOR.

[12] Norme expérimentale XP E 04-009 « Spécification géométrique des produits (GPS) – Hiérarchisation des caractéristiques produit-processus » ; AFNOR.

[13] RENAULT SAS ; « PROCAR : Processus de caractérisation de la géométrie d'une pièce » ; version 3.0 – 1999 - cours de formation - RENAULT SAS

[14] TASSINAR R. ; « Pratiques de l'analyse fonctionnelle » ; 2^{ème} édition ; la méthode FAST : page 99 ; éditions DUNOD.