

Le TAFT, un outil pour la capitalisation de l'AFT

FRÉDÉRIC CHARPENTIER, JEAN-MARC PRENEL, JÉRÉMY DUMÉNIL ^[1]

La démarche que nous vous présentons ici, basée sur l'analyse fonctionnelle technique (AFT) du produit, a pour objectif d'aider à la recherche des conditions d'aptitude à l'emploi et des conditions fonctionnelles géométriques. Elle met en œuvre deux outils, le schéma de flux ou bloc-diagramme et le tableau d'analyse fonctionnelle technique (TAFT).

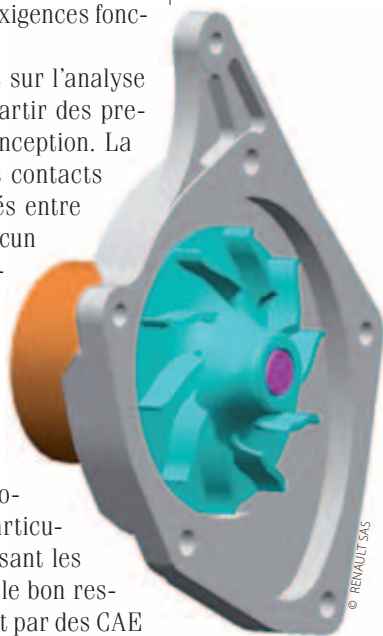
Le premier permet de recenser les fonctions techniques élémentaires (FTE) de contact et de flux par l'analyse du mécanisme étudié, et le second de capitaliser les résultats de l'analyse technique du fonctionnement d'un composant dans son environnement fonctionnel. La démarche conduit tout naturellement à définir les caractéristiques que doivent vérifier les composants pour que chaque FTE soit satisfaite. Parmi ces caractéristiques, celles de nature géométrique représentent les spécifications à appliquer au composant ou à transférer, appelées conditions fonctionnelles géométriques et d'aptitude à l'emploi.

La cotation fonctionnelle des produits devient une préoccupation grandissante dans les démarches de conception intégrée. Pour pouvoir prendre en compte au plus tôt les contraintes de fabrication dans la définition des produits, les spécifications fonctionnelles sur les pièces ont besoin d'être déterminées. Pour la plupart, celles-ci dépendent d'exigences fonctionnelles à satisfaire.

La démarche proposée ici est basée sur l'analyse fonctionnelle technique du produit à partir des premières solutions technologiques de conception. La première étape consiste à étudier les contacts souhaités et les contacts non souhaités entre les composants du mécanisme. Pour chacun d'eux, les fonctions techniques élémentaires supportées par chacune des liaisons sont caractérisées par des CAE (Conditions d'Aptitude à l'Emploi) et par des CFG (Conditions Fonctionnelles Géométriques) applicables soit directement sur les surfaces soit entre des surfaces de plusieurs composants. La seconde étape porte plus particulièrement sur l'analyse des flux traversant les liaisons et les composants. Là encore, le bon respect des exigences sur les flux se traduit par des CAE qui se caractérisent par des CFG sur les composants ou entre les composants ^[1] ^[2].

Mots-clés

analyse fonctionnelle, cotation, postbac, sûreté de fonctionnement



1 Le système pompe à eau



2 Le corps de pompe à eau

Pour aider à la recherche des CFG et des CAE, une typologie de fonctions techniques élémentaires (FTE) est proposée. L'ensemble de cette analyse fine du fonctionnement du mécanisme est capitalisé pas à pas dans un outil appelé TAFT (Tableau d'Analyse Fonctionnelle Technique) ^[2]. Les CFG sont alors traduites directement en spécifications sur les composants et entre eux, disponibles pour être traitées par des outils de chaînes de cote 3D.

Il s'agit d'une démarche fortement industrielle, appliquée dans l'entreprise Renault SAS à la direction de l'Ingénierie mécanique (DIM). Par ailleurs, et à un niveau moindre, cette démarche a fait l'objet d'un enseignement à l'ESCPI/Cnam ^[3] dans la formation Ingénieurs 2000 et à l'IUFM de Créteil dans les formations continue et initiale.

Les échanges entre les différents pôles de compétences ont apporté des évolutions quant à la mise en œuvre de la méthode associée à l'emploi de l'outil TAFT.

Présentation du système

La maquette numérique de la pompe à eau permet d'analyser le système ¹. Nous nous proposons d'étudier le composant corps de pompe à eau ² afin d'illustrer la démarche proposée.

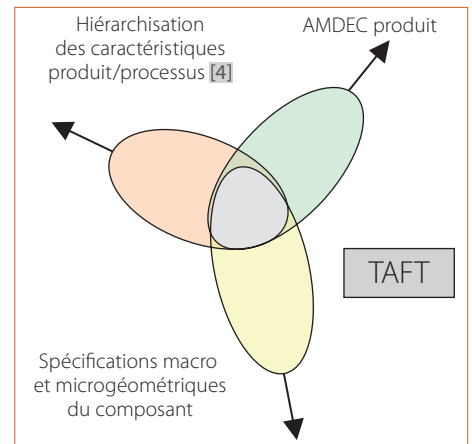
Le périmètre de notre étude inclut les composants suivants : les vis entre le carter cylindre et le corps de pompe à eau, le joint plat et l'ensemble ARA (Arbre, Roulement et joint, Aube et moyeux de poulie). Les autres composants sont hors de notre périmètre d'étude, par exemple l'ensemble carter cylindre et le joint plat de la pompe, qui ne sont pas de la responsabilité du concepteur.

Nous allons identifier toutes les conditions fonctionnelles géométriques sur le composant corps de pompe à eau.

Nous définissons par le terme *composant* un ensemble de pièces dont l'organisation interne est de la responsabilité d'un fournisseur ou d'une entreprise extérieure. Un composant peut être une pièce (corps de pompe à eau) ou un ensemble de pièces (roulement **3**).



3 Le composant «roulement»



4 Les axes potentiels du TAFT

Le TAFT
L'objectif

L'objectif du tableau d'analyse fonctionnelle technique est de capitaliser la démarche de l'analyse fonctionnelle technique (AFT). Établi pour chaque composant, il est constitué à la base des colonnes suivantes:

- Fonctions techniques élémentaires (FTE)

Éléments en contact			
Fonctions techniques élémentaires	Composant 2	Complément	Remarques complémentaires
Le composant étudié			

- Sollicitations du composant en interaction avec le composant étudié

Sollicitations	
Quoi	Combien

- Critères d'acceptation des fonctions techniques élémentaires

Critères d'acceptation		
Quoi CAE et CFG (condition d'aptitude à l'emploi et condition fonctionnelle géométrique)	Combien (critère métier)	Comment

En fonction des axes de développement, le tableau de base s'agrandit de colonnes permettant de capitaliser les différentes analyses **4** – des modes de défaillance, de leurs effets et de leurs criticités (AMDEC); de la hiérarchisation des caractéristiques produit-processus (HCPP); des spécifications micro ou macrogéométriques du composant (GPS, *Geometrical Product Specifications*).

Nous présenterons ici l'axe des spécifications macro et microgéométriques du composant. La configuration du TAFT devient alors celle donnée en **5**.

En conclusion, ce tableau a les objectifs suivants:

- Traduire les FTE en données pour la cotation fonctionnelle.
- Regrouper les fonctions assurées pour chaque composant pour l'ensemble des phases du profil de vie.
- Caractériser la gravité pour chaque spécification.

Nous allons recenser dans ce tableau l'ensemble des FTE de contact souhaité ou non souhaité et de flux appartenant aux différentes phases du profil de vie du composant (le résultat est donné en annexe page suivante).

[1] Respectivement :

Professeur agrégé de génie mécanique, formateur vacataire à l'ESPCI/Cnam dans la formation Ingénieurs 2000, expert français de l'Iso à l'UNM au TC 213 (GPS). Courriel: Frederic.Carpentier@cfc-technic.com

Père technique de l'Iso à la direction de l'Ingénierie mécanique (DIM) de Renault SAS, expert français de l'Iso à l'UNM au TC 213 (GPS). Courriel: Jean-Marc.Prenel@renault.com

Père technique du TAFT à la DIM de Renault SAS. Courriel: Jeremy.Dumenil@renault.com

[2] Les chiffres entre crochets sur fond grisé renvoient à la bibliographie en fin d'article.

ANNEXE

TAFI partiel

Éléments en contact			Liaisons - Surfaces		Sollicitations		Critères d'acceptation		Risques			Caractéristiques des surfaces					
Fonctions techniques élémentaires	Composant 2	Complément	Remarques complémentaires	Surf. 1	Surf. 2	Surf. 3	GF	Quoi	Combien	Comment	Modes de défaillance	Rep. ECR	Libellé de l'ECR	Classe	Quoi	Combien	HCP
	Carter pompe à eau seule sans le composant ARA (TAFI partiel)																

INTERFACE : CARTER CYLINDRE (avec le joint plat)

Type	Sur face d'appui plan (réf. A)			Sur face quelconque, profil extérieur de la face A															
1	SE POSITIONNE SUR	le carter cylindre	axialement	Plan			Le CFG impacte sur d'autres CAE. Il faut rechercher l'ensemble des CAE impactés par ce CFG (dans la liaison).	Le CFG impacté sur d'autres CAE. Il faut rechercher l'ensemble des CAE impactés par ce CFG (dans la liaison).	La CFG imposée par la CAE la plus restrictive	Combien (critère métré)	Comment	Modes de défaillance	Rep. ECR	Libellé de l'ECR	Classe	Quoi	Combien	HCP	
							La fonction technique permet de caractériser la qualité de la mise en position du corps de pompe à eau sur le carter cylindre (contact fixe [B]). L'élément de référence primaire A est la référence spécifique A est un plan.	Le CFG impacte sur d'autres CAE. Il faut rechercher l'ensemble des CAE impactés par ce CFG (dans la liaison).	La CFG imposée par la CAE la plus restrictive	Combien (critère métré)	Comment	Modes de défaillance	Rep. ECR	Libellé de l'ECR	Classe	Quoi	Combien	HCP	
2	TRANSMET	Carter cylindre	une pression	Plan			La fonction technique permet de caractériser la répartition homogène de la pression issue des écarts macrogéométriques	Effort maxi Écart macrogéométrique	25 Nm M8 classe M	Voit responsable système statique	Essai	Risque de perte de tension dans les vis. Perte d'une déformation de la pompe entraînant un contact avec le carter cylindre.	2	INCIDENT IMMOBILISANT	1	Planité [1] zone restreinte	0,2	2	
3	EMPÊCHE LE PASSAGE	Carter cylindre avec la pite à joint	de fluide	Plan			La fonction technique permet de caractériser l'étanchéité statique de la liaison issue des écarts macrogéométriques	Fuite Écart microgéométrique		Voit CDC de la bride	Essai	Risque de fuite	7	FUTTE EAU (sans incident mécanique direct)	2	Rapacité de type R Étanchéité statique Assemblage fixe avec contrainte	16 ES AC	2	

INTERFACE : VIS DE CENTRAGE

Type	Sur face quelconque, profil extérieur de la face A			Sur face quelconque, profil extérieur de la face A														
4	LAISSÉ PASSER	Environnement	axialement	SQF			La fonction technique permet de caractériser la non-interférence entre le corps de pompe à eau et le contour du carter cylindre.	Jeu mini/environnement	J > 0	CHAÎNE DE COTES	Contact, bruit	14	BRUIT ANORMAL (sans incident mécanique direct)	3	Profil d'une surface [1] A B C	2	4	
5	LAISSÉ PASSER	Carter cylindre	axialement	SQF			La fonction technique permet de caractériser le jeu mini entre le contour du corps de la pompe à eau et le contour du carter cylindre. La conséquence est le recouvrement de la face appui plan sur la « couture » extérieure de la face carter cylindre. L'interface avec le carter de pompe à eau.	Jeu mini/contour de la couture	J > 0	CHAÎNE DE COTES	Sans effet client	18	PAS D'EFFET POUR LE CLIENT	4	Profil d'une surface [1] A B C	1	4	
6	EMPÊCHE LE PASSAGE	Carter cylindre avec la pite à joint	fluide	SQF			La fonction technique permet de caractériser le jeu mini entre le contour du carter de la pompe à eau et le contour du plan d'appui du carter de pompe sur le carter cylindre. La conséquence est le recouvrement de la face appui plan sur la « couture » extérieure de la face carter cylindre. L'interface avec le carter de pompe à eau.	Fuites Écart de position	Voit CDC	Essai	Étanchéité dégradée; Fuite	7	FUTTE EAU (sans incident mécanique direct)	2	Profil d'une surface [1] A B C	0,5	3	

INTERFACE : VIS DE CENTRAGE

Type	Surface d'appui plan (réf. A)			Surface d'appui plan (réf. A)														
8	SE POSITIONNE SUR	la vis	radialement	Cylindre			La fonction technique permet de caractériser la qualité de la mise en position radiale du corps de pompe à eau (contact lorum [B]). L'élément de référence primaire A est la référence spécifique B est la droite de la surface géométrique associée à l'élément de référence B (élément dérivé directement associé)	La CFG impacte sur d'autres CAE. Il faut rechercher l'ensemble des CAE impactés par ce CFG (dans la liaison).	La CFG imposée par la CAE la plus restrictive	Combien (critère métré)	Comment	Modes de défaillance	Rep. ECR	Libellé de l'ECR	Classe	Quoi	Combien	HCP
							La fonction technique permet de caractériser le jeu mini entre le corps de la vis et le trou de passage de vis radialement	Jeu mini	J > 0	CHAÎNE DE COTES	Montage difficile entre le corps de la vis et le trou de passage de vis. Risque de perte de tension entraînant une fuite, puis la perte de tension, dans la courroie de distribution	2	INCIDENT IMMOBILISANT	1	Cotes dimensionnelle mini + exigence de l'enveloppe perpendiculaire [2] (OM) A	8,4 - 0,2 E 0,1	3	
9	LAISSÉ PASSER	la vis	radialement	Cylindre			La fonction technique permet de caractériser le jeu mini entre le corps de la vis et le trou de passage de vis radialement	Jeu mini	J > 0	CHAÎNE DE COTES	Montage difficile entre le corps de la vis et le trou de passage de vis. Risque de perte de tension entraînant une fuite, puis la perte de tension, dans la courroie de distribution	2	INCIDENT IMMOBILISANT	1	Cotes dimensionnelle mini + exigence de l'enveloppe perpendiculaire [2] (OM) A	8,4 - 0,2 E 0,1	3	

10	TRANSMET	lui-même	une pression	La fonction technique permet de caractériser le montage sous tête de vis dans le cas où le trou de passage de vis est maxi et le diamètre sous tête de vis mini. Effort axial sous tête de vis	Cylindre			Couple de serrage des vis de fixation (Nm), préconiser M8 classe M	25 Nm	Effort maxi Surface d'appui mini	$AS \geq S_{min}$	CALCUL-ESSAI	2	Montage sous tête de vis Perte de tension dans la vis Desserrage entraînant une fuite, puis la perte de pression dans la courbe de distribution	INCIDENT IMMOBILISANT	1	Cote dimensionnelle maxi	8,4 - 0,2	3
----	----------	----------	--------------	--	----------	--	--	--	-------	----------------------------------	-------------------	---------------------	---	---	-----------------------	---	--------------------------	-----------	---

Surface quelconque au regard de la tête de vis

Appui plan sous tête de vis

Fin de l'analyse fonctionnelle technique de l'INTERFACE VIS DE CENTRAGE

INTERFACE : VIS ANTIROTATION

Biplan (antirodation de SMRP) (ref. C)																			
Type I																			
17	SE POSITIONNE SUR la vis	angulairement		La fonction technique permet de caractériser la qualité de la mise en place de la vis dans le trou de passage de vis dans le cas où le trou de passage de vis est maxi et le diamètre sous tête de vis mini. Effort axial sous tête de vis	Biplan	1													
				La fonction technique permet de caractériser la qualité de la mise en place de la vis dans le trou de passage de vis dans le cas où le trou de passage de vis est maxi et le diamètre sous tête de vis mini. Effort axial sous tête de vis															
18	LAISSE PASSER la vis	radialement		La fonction technique permet de caractériser la qualité de la mise en place de la vis dans le trou de passage de vis dans le cas où le trou de passage de vis est maxi et le diamètre sous tête de vis mini. Effort axial sous tête de vis	Biplan														
				La fonction technique permet de caractériser la qualité de la mise en place de la vis dans le trou de passage de vis dans le cas où le trou de passage de vis est maxi et le diamètre sous tête de vis mini. Effort axial sous tête de vis															

Surface quelconque (forme du trou oblong)

Surface quelconque au regard de la tête de vis

Appui plan sous tête de vis

Fin de l'analyse fonctionnelle technique de l'INTERFACE VIS ANTIROTATION

INTERFACE : Nx VIS

INTERFACE : ARA

INTERFACE : ENVIRONNEMENT

INTERFACE : MILIEU AMBIANT

Toutes les surfaces de la pompe																			
Type I																			
38	RÉSISTE AU milieu ambiant	aux échauffements chimiques et thermique		La fonction technique permet de caractériser la résistance aux réactions chimiques et thermiques sur les surfaces extérieures de la pompe. La conséquence d'une dégradation chimique ou thermique est la perte de la pompe. La norme Iso 17480-1, et doivent donc être définies par un nota															
				La fonction technique permet de caractériser la résistance aux réactions chimiques et thermiques sur les surfaces extérieures de la pompe. La conséquence d'une dégradation chimique ou thermique est la perte de la pompe. La norme Iso 17480-1, et doivent donc être définies par un nota															
				La fonction technique permet de caractériser la résistance aux réactions chimiques et thermiques sur les surfaces extérieures de la pompe. La conséquence d'une dégradation chimique ou thermique est la perte de la pompe. La norme Iso 17480-1, et doivent donc être définies par un nota															

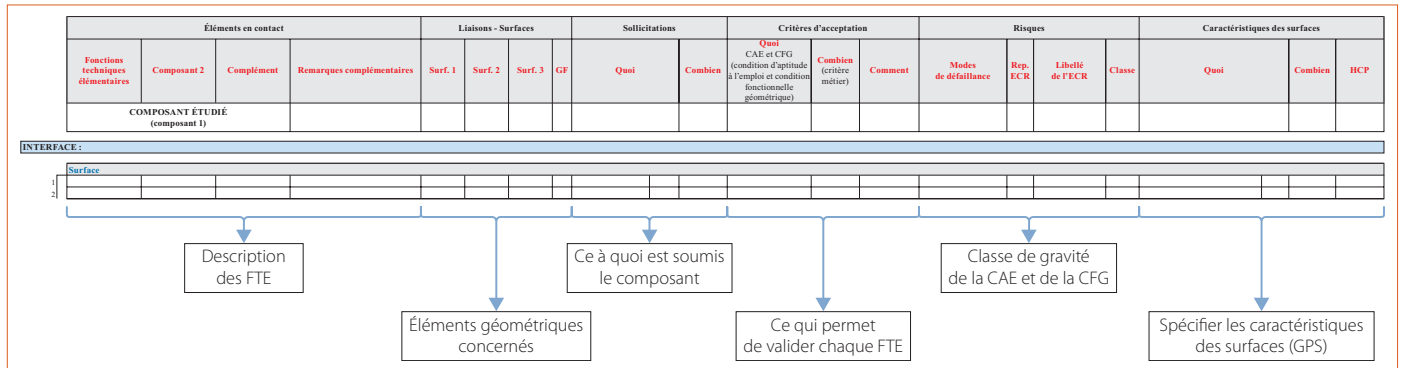
Fin de l'analyse fonctionnelle technique de l'INTERFACE MILIEU AMBIANT

INTERFACE : EAU ENTRANTE (LIQUIDE DE REFROIDISSEMENT)

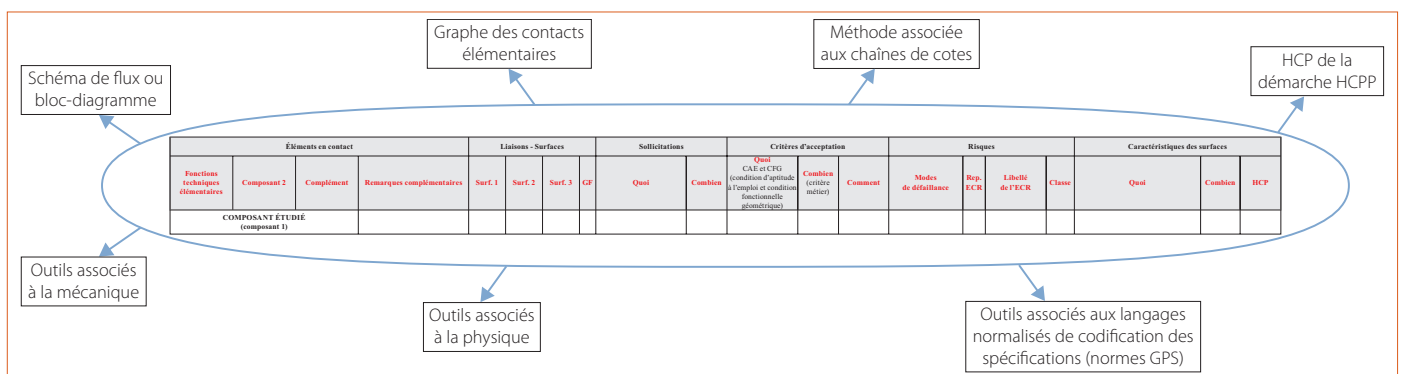
Toutes les surfaces de la pompe

Fin de l'analyse fonctionnelle technique de l'INTERFACE EAU ENTRANTE (LIQUIDE DE REFROIDISSEMENT)

FIN DE L'ANALYSE FONCTIONNELLE TECHNIQUE du carter pompe à eau seule sans le composant ARA (TAFT patricie)



5 Un TAFT type [5]



6 Les outils et méthodes complémentaires

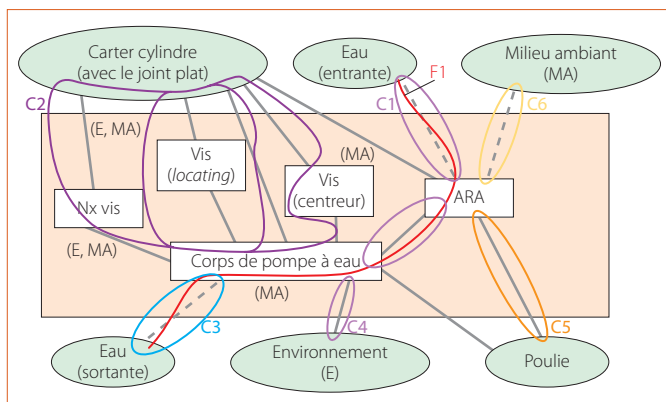
Le principe de fonctionnement

La mise en œuvre du TAFT s'effectue durant la réalisation de la démarche d'analyse fonctionnelle technique. Les colonnes valident chaque étape de la démarche.

Il est nécessaire d'associer des outils et des méthodes complémentaires afin d'aider le concepteur produit [6].

L'analyse fonctionnelle technique

Pour illustrer la démarche associée à l'utilisation du TAFT, nous allons développer l'étude du composant corps de pompe à eau. La démarche d'analyse fonctionnelle technique n'est pas détaillée, mais permet de situer les différentes étapes d'utilisation du TAFT.



7 Le schéma de flux du système monté

Toutes les phases du profil de vie ne sont pas développées ; nous nous attacherons à celle correspondant au système monté en sous-phase de fonctionnement.

Le cahier des charges de l'analyse fonctionnelle du besoin est défini. Une proposition de solution du choix des composants est retenue pour le départ de cette analyse.

Dans le périmètre de l'étude attribué au concepteur produit, les composants retenus sont les suivants :

- Les Nx vis
- La vis (centreur)
- La vis (*locating*)
- L'ensemble ARA
- Le corps de pompe à eau

Le schéma de flux (bloc-diagramme)

Le schéma de flux 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 [7].

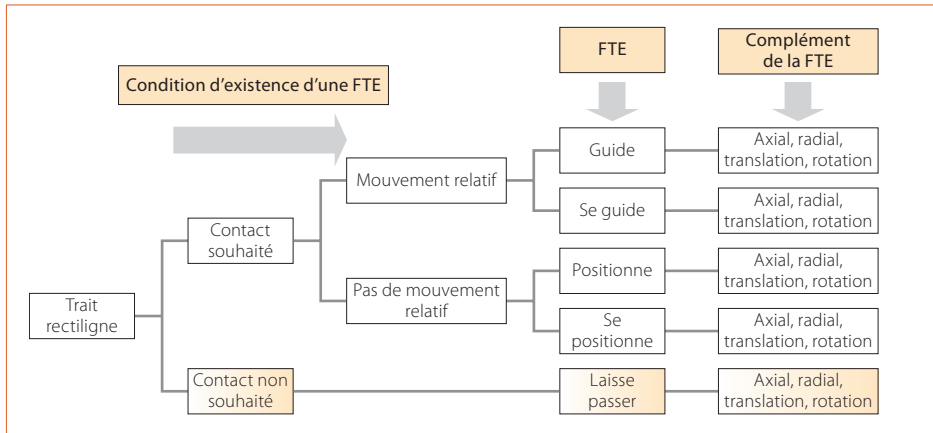
Ces relations sont représentées graphiquement par des ensembles de traits rectilignes ou courbes.

Les fonctions techniques élémentaires

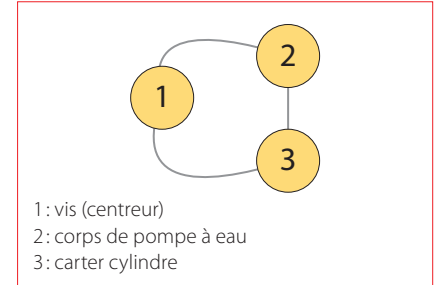
Une fonction technique élémentaire est une action d'un composant qui participe à la mise en œuvre d'un principe de solution constructive du système. Les FTE peuvent être de deux types :

- Les FTE de contact

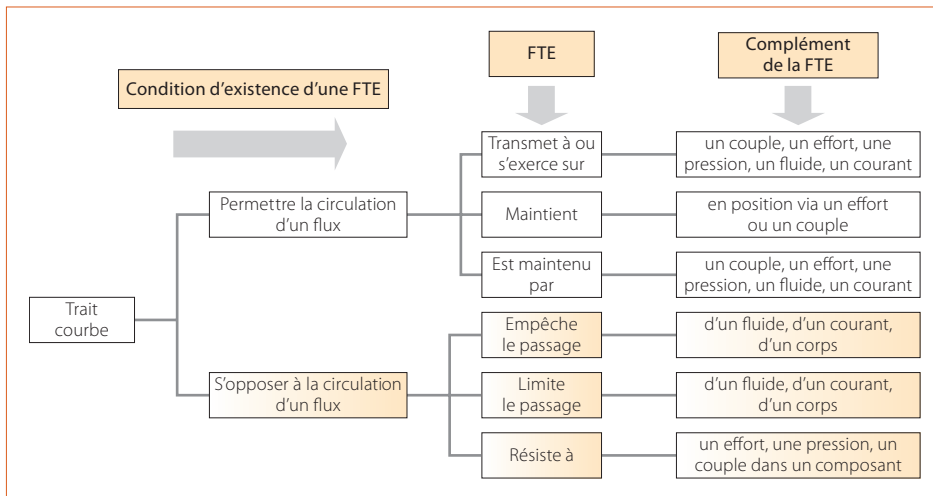
Un composant assure une fonction technique élémentaire



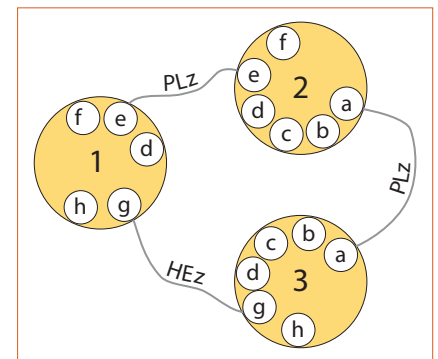
8 La FTE de contact [2]



10 Le graphe des contacts (partiel) [6]



9 La FTE de flux [2]



11 Le graphe des contacts élémentaires (partiel)

taire de contact lorsqu'il est en relation géométrique avec un composant ou un EMU (Élément du Milieu d'Utilisation) [7]. Pour chaque FTE de contact (souhaité ou non souhaité), nous utiliserons le vocabulaire du schéma synoptique proposé en [8]. Les FTE de contact sont représentées par des traits rectilignes.

→ Les FTE de flux

Un composant assure une fonction technique élémentaire de flux lorsqu'il permet ou empêche un flux [7]. Pour chaque flux (ou FTE de flux), nous utiliserons le vocabulaire du schéma synoptique proposé en [9]. Les FTE de flux sont représentées par des traits courbes.

Le lien entre la surface (ou la collection de surfaces) et la FTE

Le schéma de flux ou bloc-diagramme permet d'identifier toutes les relations entre les composants et les éléments du milieu d'utilisation.

À un trait, rectiligne ou courbe, correspond au moins une FTE de contact, ou de flux, entre les différentes surfaces d'un composant et les autres composants ou les EMU.

Comment identifier les FTE propres à une des surfaces du composant étudié? À ce niveau de l'étude de

l'analyse fonctionnelle technique, des informations sont manquantes. Deux méthodes sont alors possibles :

→ Employer des outils d'analyse complémentaire, le graphe des contacts élémentaires par exemple. À partir du schéma de flux [7], les composants internes et externes au système sont représentés par un sommet, et chaque contact est représenté par une arête entre deux sommets [10]. Pour les besoins de la cotation, les contacts entre deux pièces sont décomposés en contacts élémentaires selon les surfaces élémentaires de types plan, deux plans parallèles en vis-à-vis, cylindre... Le graphe correspondant est appelé graphe des contacts élémentaires [11] [7].

Cette méthode, extrêmement longue, est employée principalement pour des systèmes innovants, où la représentation de la surface par un trait se fait bien après la représentation du graphe des contacts élémentaires.

→ Analyser une proposition de solution technique du système à partir d'une maquette numérique d'architecture d'avant-projet, complétée par des hypothèses sur la gamme d'assemblage prévisionnelle.

Cette méthode correspond à des développements de produits d'une même famille, dont la recherche des améliorations en qualité, en coût et en délais conduit à reprendre des solutions techniques existantes afin de les optimiser. C'est celle qui sera employée dans le cadre de cette présentation.

La CAE, la CFG et leurs liens avec la condition fonctionnelle et le TNC

La demande du client exprime une exigence fonctionnelle, la fonction technique élémentaire, qui se traduit sur la surface (ou la collection de surfaces) par une condition d'aptitude à l'emploi.

→ **La condition d'aptitude à l'emploi (CAE)**

Il s'agit d'un critère de validation unilimite sur une grandeur physique relative à une fonction technique élémentaire.

La grandeur physique peut être un effort, une pression, une fuite, une dureté, une propreté, une dimension...

Toutes les CAE sont issues des FTE de flux dans l'analyse fonctionnelle technique; elles sont le lien avec les fonctions de service (d'usage et d'estime) et les contraintes (fonctions d'adaptations) de l'analyse fonctionnelle du besoin [8].

Une CAE autre que dimensionnelle peut être dérivée en une ou plusieurs conditions fonctionnelles géométriques.

✦ **Exemple :** niveau de fuite, effort d'arrachement

→ **La condition fonctionnelle géométrique (CFG)**

Il s'agit d'un critère de validation unilimite ou d'égalité sur une dimension d'une surface ou entre deux surfaces terminales liées à une FTE (les surfaces terminales ne sont pas des représentations parfaites).

Elle se traduit par la grandeur géométrique (position, orientation, dimension macro ou microgéométrique) qui définit le critère de validation.

Le critère de contact certain entre deux pièces conduit à un critère de validation d'égalité de distance égal à zéro.

Les FTE de contact souhaité (strict nul, négatif) ou non souhaité (positif) donnent lieu à des CFG.

Toutes les spécifications dimensionnelles, géométriques ou d'état de surface sont issues des CFG.

✦ **Exemples :** jeu minimal pour assurer le montage, interpénétration minimale de surface pour assurer l'adhérence

Remarques importantes :

Une CAE n'aboutit pas systématiquement à une CFG. Il existe des cas où la CAE est indépendante des définitions techniques des composants (de la maquette numérique) répondant au système. L'expression des critères se tra-

duit sur le plan par un nota, les critères d'acceptation (voir le TAFT partiel en annexe, ligne 38).

Inversement, une CFG n'est pas systématiquement issue d'une CAE. Il existe des CFG issues de l'organisation des surfaces qui répondent strictement aux contraintes des définitions techniques des composants de la maquette numérique sans prendre en compte les exigences fonctionnelles du système.

Une spécification géométrique ou dimensionnelle est une condition sur une caractéristique définie sur un élément ou entre plusieurs éléments géométriques obtenus par des opérations à partir de la peau de la pièce (*skin model*). La caractéristique est une grandeur de type longueur ou angle [9].

→ **La condition fonctionnelle (ou cote condition)**

C'est l'expression de l'ensemble des CFG portées par les mêmes surfaces terminales [10].

La condition fonctionnelle (CF) est bilimite. Elle correspond aux dimensions maximales et minimales issues de l'ensemble des CFG portées par les deux surfaces terminales :

$$CF = \{d_{maxi}, d_{mini}\}$$

Avec

$$CF_{moyenne} = 1/2 (d_{maxi} + d_{mini}) \quad \text{et} \quad IT_{calculé} = d_{maxi} - d_{mini}$$

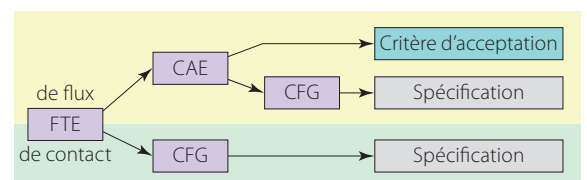
La condition fonctionnelle est en relation directe avec le taux de non-conformité (TNC) du composant.

Appliquons à notre système.

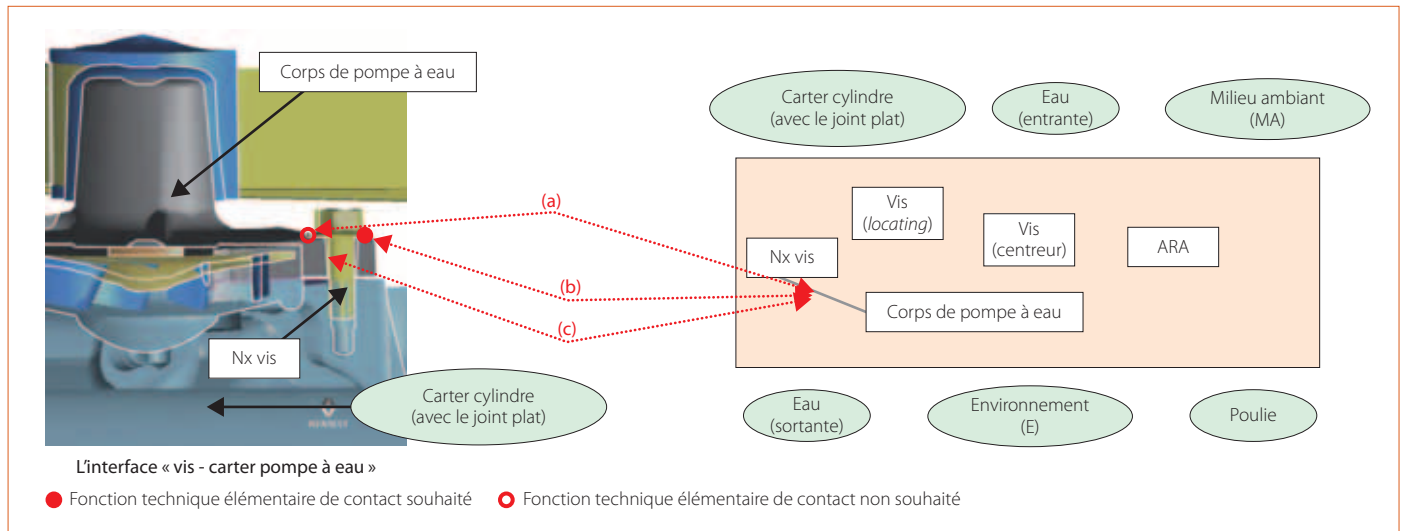
Dans le cas d'une FTE de contact « laisse passer » le composant étudié par rapport au composant au regard, la condition est un jeu minimal entre les deux surfaces. La FTE donne directement une CFG.

Dans le cas d'une FTE de flux « empêche le passage » d'un fluide entre le composant étudié et le composant au regard, la CAE est une fuite. Le « combien » est une valeur maximale ($\Delta Q \leq 5 \text{ l/h}$ à 150 mbar, par exemple). La CFG est un écart macrogéométrique, par exemple.

Remarque : Toutes les CAE n'aboutissent pas à une CFG. Il existe une minorité de FTE de flux qui se traduisent par une caractéristique sur la « santé matière », ou la « propreté de la surface », par exemple. La spécification sur la surface, au sens de l'Iso [9], n'a pas de raison d'être, un critère d'acceptation est suffisant pour caractériser la FTE. La structure des colonnes du TAFT se destine essentiellement aux spécifications définies par la figure [2].



[2] De la FTE à la spécification [2]



13 Le schéma de flux des FTE

Sur notre exemple, pour garantir le serrage du carter de pompe à eau sur le carter cylindre, les FTE suivantes doivent être satisfaites (interface : carter de pompe à eau - Nx vis) :

- (a) « Laisse passer » radialement ; un non-contact radial est souhaité entre la tête de la vis (Nx) et le corps de pompe à eau.
- (b) « Laisse passer » radialement ; un non-contact radial est souhaité entre le corps de la vis et le trou de passage de vis.
- (c) « Positionne » axialement ; un contact axial est souhaité entre la tête de la vis et le corps de pompe à eau.

Ces trois fonctions techniques élémentaires sont représentées par un seul trait rectiligne sur le bloc-diagramme 13.

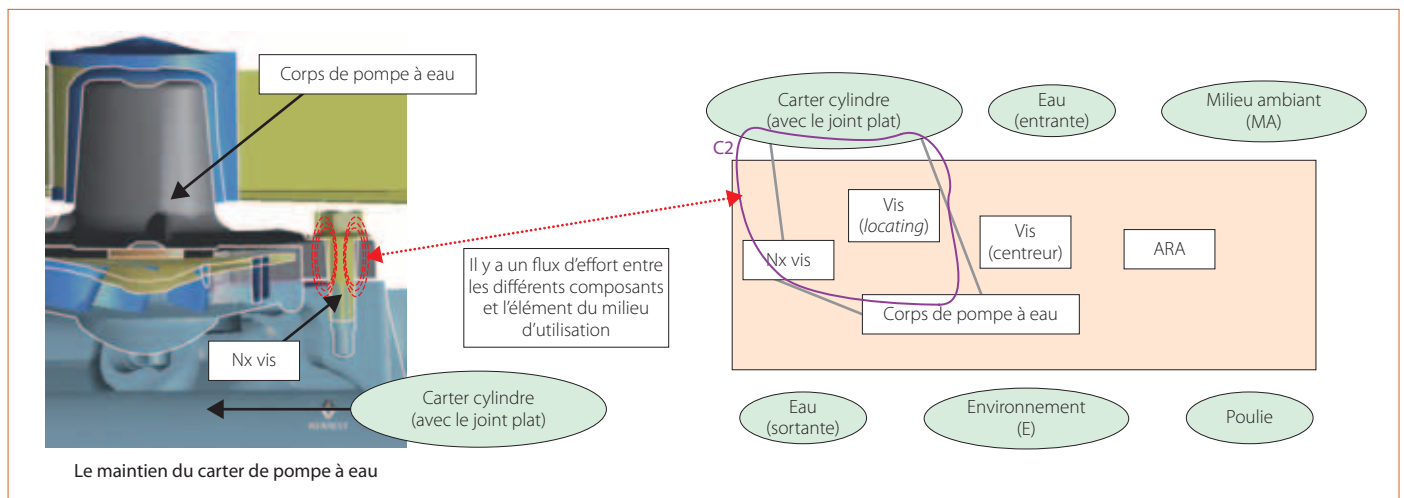
Pour garantir le maintien du corps de pompe à eau sur le carter cylindre, nous devons nous assurer des conditions fonctionnelles permettant la circulation d'un flux d'effort entre les différents composants 14.

Avec l'esquisse, le dessin d'ensemble ou la maquette numérique d'étude d'avant-projet (*preliminary design study*) [11] et la gamme d'assemblage prévisionnelle, nous cherchons les FTE de contact et de non-contact souhaités.

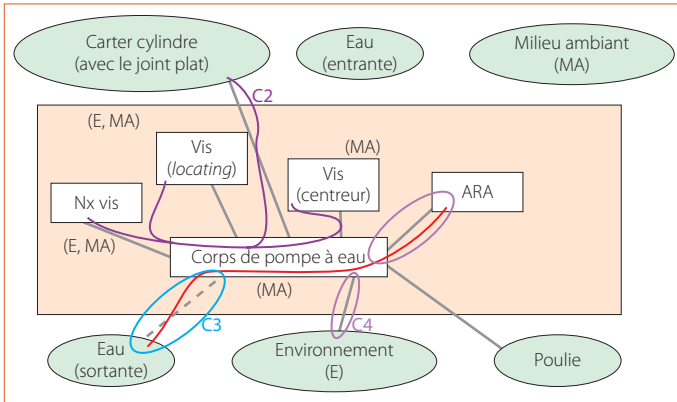
La gamme prévisionnelle d'assemblage permet de définir l'ordre du montage. Notre système se positionne sur le carter cylindre et non l'inverse. Cette dernière remarque permet de faire le choix entre « se positionne » ou « positionne », car les traits courbes ou rectilignes ne sont pas orientés dans la représentation des différentes FTE dans le schéma de flux ou le bloc-diagramme.

Les traits pointillés caractérisent les FTE de contacts physico-chimiques.

Lorsque les FTE sont identifiées entre les composants du système et avec les différents éléments du milieu d'utilisation (c'est-à-dire les composants extérieurs au système), nous traitons les flux.



14 Un trait courbe : le flux d'effort issu de la contrainte C2



15 Le schéma de flux du corps de pompe à eau

Les FTE de flux sont caractérisées par les traits courbes. Par définition, un flux correspond à une quantité d'une grandeur (mécanique, électrique...) parcourant pendant une unité de temps une aire donnée. Les flux de service sont issus de l'analyse fonctionnelle du besoin dans la phase considérée; les flux de conception caractérisent l'organisation des composants à l'intérieur 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. Dans notre exemple, pour le composant du système corps de pompe à eau, nous obtenons le schéma de flux (ou bloc-diagramme) 15.

Les liens entre le schéma de flux et le TAFT

Les données d'entrée permettant de remplir le TAFT sont :

- Le schéma de flux (ou bloc-diagramme)
- La maquette numérique d'étude d'avant-projet
- La gamme prévisionnelle d'assemblage

Comment exprimer les FTE de flux et de contact dans le TAFT? À partir du vocabulaire défini, la méthodologie consiste à les recenser dans les premières colonnes.

Le tableau est structuré verticalement, de façon à analyser les surfaces du composant étudié en relation avec chaque interface 16.

Éléments en contact				Liaisons - Surfac				Caractéristiques des surfaces		
Fonctions techniques élémentaires	Composant 2	Complément	Remarques complémentaires	Surf. 1	Surf. 2	Classe	Classe	Quoi	Combien	HCP
Carter pompe à eau seule sans le composant ARA (TAFT partiel)										
INTERFACE : CARTER CYLINDRE (avec le joint plat)										
Surface d'appui plan (réf. A)										
Surface quelconque, profil extérieur de la face A										
Fin de l'analyse fonctionnelle technique de l'INTERFACE CARTER CYLINDRE (avec le joint plat)										
INTERFACE : VIS DE CENTRAGE										
Cylindre (centreur du SRMP) (réf. B)										
Surface quelconque au regard de la tête de vis										

16 La structure verticale du TAFT

Carter cylindre (avec le joint plat)

Corps de pompe à eau

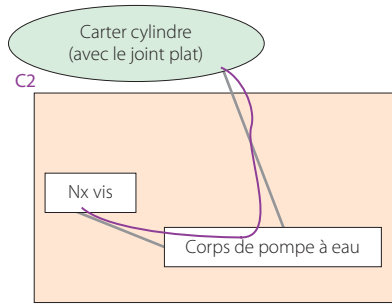
Éléments en contact			
Fonctions techniques élémentaires	Composant 2	Complément	Remarques complémentaires
Carter pompe à eau seule sans le composant ARA (TAFT partiel)			

INTERFACE : CARTER CYLINDRE (avec le joint plat)

Surface d'appui plan (réf. A)			
Type	SE POSITIONNEMENT SUR		
1	SE POSITIONNEMENT SUR	Carter cylindre	axialement

La fonction technique permet de caractériser la qualité de la mise en position du corps de pompe à eau sur le carter cylindre (contact fixe) [12]. L'élément de référence primaire A est la surface réputée plane. La référence spécifiée A est un plan

17 Les liens entre le schéma de flux et les premières colonnes du TAFT - FTE de contact souhaité ou non souhaité



FTE		Complément de la FTE	
Éléments en contact			
Fonctions techniques élémentaires	Composant 2	Complément	Remarques complémentaires
Carter pompe à eau seule sans le composant ARA (TAFT partiel)			

INTERFACE : CARTER CYLINDRE (avec le joint plat)

Surface d'appui plan (réf. A)				
1	SE POSITIONNE SUR	Carter cylindre	axialement	
2	TRANSMET	Carter cylindre	une pression	La fonction technique permet de caractériser la répartition homogène de la pression issue des écarts macrogéométriques
3	EMPÊCHE LE PASSAGE	Carter cylindre avec la pâte à joint	du fluide	La fonction technique permet de caractériser l'étanchéité statique de la liaison issue des écarts microgéométriques

Surface quelconque, profil extérieur de la face A

Fin de l'analyse fonctionnelle technique de l'INTERFACE CARTER CYLINDRE (avec le joint plat)

INTERFACE : VIS DE CENTRAGE

INTERFACE : VIS ANTIROTATION

INTERFACE : Nx VIS

Cylindre (trou de passage de la vis)

Surface quelconque au regard de la tête de vis

Appui plan sous tête de vis				
31	POSITIONNE	la vis	axialement	
32	POSITIONNE	la vis	axialement	
33	POSITIONNE	la vis	axialement	
34	RÉSISTE À	lui-même	une pression	La fonction technique permet de caractériser l'épaisseur mini entre le plan d'appui sous tête de vis et le plan A interface avec le carter cylindre due aux sollicitations mécaniques et à la nature du matériau
35	EXERCE SUR	la vis	une pression	La fonction technique permet de caractériser la qualité de contact de l'embase (contact sous tête de vis, défaut d'orientation) par rapport à la face d'appui de carter de pompe à eau sur le carter cylindre
36				
37				

18 Les liens entre le schéma de flux et les premières colonnes du TAFT – FTE de flux

Les premières colonnes du tableau sont remplies en prenant en compte les interfaces, puis chaque surface du composant étudié 17 18.

Pour chaque flux (ou FTE de flux), nous reprenons le vocabulaire défini précédemment.

En reprenant une partie du schéma de flux, le trait courbe reliant l'EMU corps au composant Nx vis se scinde en trois parties 18 :

- entre le carter cylindre et le carter de pompe à eau (lignes 2 et 3) ;
- entre les Nx vis et le corps de pompe à eau (ligne 35) ;
- dans le composant corps de pompe à eau (ligne 34).

Chaque partie fait l'objet d'au moins une FTE de flux.

Le tableau d'analyse fonctionnelle technique

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

Les éléments géométriques concernés

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 ou cône.

→ Les liaisons

Parmi les surfaces, certaines permettent de « positionner » ou de « guider » le composant. Ces surfaces particulières, ensemble, 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 FTE « 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.

Éléments en contact				Liaisons - Surfaces				
Fonctions techniques élémentaires	Composant 2	Complément	Remarques complémentaires	Surf. 1	Surf. 2	Surf. 3	GF	
Carter pompe à eau seule sans le composant ARA (TAFT partiel)								
INTERFACE : CARTER CYLINDRE (avec le joint plat)								
Surface d'appui plan (réf. A)								
1	Type I SE POSITIONNE SUR	Carter cylindre	axialement	La fonction technique permet de caractériser la qualité de la mise en position du corps de pompe à eau sur le carter cylindre (contact fixe) [12]. L'élément de référence primaire A est la surface réputée plane. La référence spécifiée A est un plan	Plan			I
INTERFACE : VIS DE CENTRAGE								
Cylindre (centreur du SRMP) (réf. B)								
8	Type I SE POSITIONNE SUR	la vis	radialement	La fonction technique permet de caractériser la qualité de la mise en position radiale du carter de pompe à eau (contacte flottant [12]). L'élément de référence secondaire est l'alsège B. La référence spécifiée B est la droite de la surface géométrique associée à l'élément de référence B (élément dérivé directement associé)		Cylindre		I
INTERFACE : VIS ANTIROTATION								
Biplan (antirotation du SRMP) (réf. C)								
17	Type I SE POSITIONNE SUR	la vis	angulairement	La fonction technique permet de caractériser la qualité de la mise en position angulaire du carter de pompe à eau dans le plan A (contact flottant [12]). Les deux surfaces planes sont l'élément de référence C. La référence spécifiée C est un plan médian contraint en orientation mais aussi en position par rapport à la référence spécifiée B (élément dérivé directement associé). Attention. À préciser dans un nota: La référence spécifiée C est contrainte en position par rapport à la référence spécifiée B (la norme Iso 5459 précise que seule l'orientation contraint les références secondaire et tertiaire)			Biplan	I

19 Le bloc Liaisons - Surfaces

→ Les surfaces

Pour les FTE autres que « se positionne » et « se guide », les surfaces se trouvent dans la première colonne du bloc Liaisons - Surfaces, Surf. 1 **19**.

Ce à quoi est soumis le composant

Le bloc Sollicitations du TAFT permet de définir les actions physiques auxquelles est soumis le composant **20**. Les lignes correspondent strictement à des FTE de flux.

Éléments en contact				Liaisons - Surfaces				Sollicitations	
Fonctions techniques élémentaires	Composant 2	Complément	Remarques complémentaires	Surf. 1	Surf. 2	Surf. 3	GF	Quoi	Combien
Carter pompe à eau seule sans le composant ARA (TAFT partiel)									
INTERFACE : CARTER CYLINDRE (avec le joint plat)									
Surface d'appui plan (réf.A)									
2	Type I TRANSMET	Carter cylindre	une pression	La fonction technique permet de caractériser la répartition homogène de la pression issue des écarts macrogéométriques	Plan			I	Couple de serrage des vis de fixation (Nm), préconiser M8 25 Nm classe M

20 Le bloc Sollicitations

Éléments en contact				Liaisons - Surfaces				Critères d'acceptation					
Fonctions techniques élémentaires	Composant 2	Complément	Remarques complémentaires	Surf. 1	Surf. 2	Surf. 3	GF	Quoi (condition d'aptitude à l'emploi et condition fonctionnelle géométrique)	Combien (critère métier)	Comment			
Carter pompe à eau seule sans le composant ARA (TAFT partiel)													
INTERFACE : CARTER CYLINDRE (avec le joint plat)													
Surface d'appui plan (réf. A)													
1	Type I	SE POSITIONNE SUR	Carter cylindre	axialement	La fonction technique permet de caractériser la qualité de la mise en position du corps de pompe à eau sur le carter cylindre (contact fixe [12]). L'élément de référence primaire A est la surface réputée plane. La référence spécifiée A est un plan	Plan				1	La CFG impacte sur d'autres CAE. Il faut rechercher l'ensemble des CAE impactées par cette CFG (la CFG est un jeu maxi dans la liaison)	La CFG impactée par la CAE la plus restrictive	(CHAÎNE DE COTES issue des autres chaînes de cotes)
2		TRANSMET	Carter cylindre	une pression	La fonction technique permet de caractériser la répartition homogène de la pression issue des écarts macrogéométriques	Plan					Effort maxi Écart macrogéométrique	Voir responsable système : étanchéité statique	ESSAI
3		EMPÊCHE LE PASSAGE	Carter cylindre avec la pâte à joint	du fluide	La fonction technique permet de caractériser l'étanchéité statique de la liaison issue des écarts microgéométriques	Plan					Fuite Écart microgéométrique	Voir CDC de la bride	ESSAI
Surface quelconque, profil extérieur de la face A													
4	Type I	LAISSE PASSER	Environnement	axialement	La fonction technique permet de caractériser la non-interférence entre l'environnement et le contour du carter de pompe à eau	SQF					Jeu mini/environnement	J > 0	CHAÎNE DE COTES

21 Le bloc Critères d'acceptation

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 (note de calcul, note d'essai).
- La colonne **Combien** fixe la valeur ou le domaine limite de ces grandeurs.

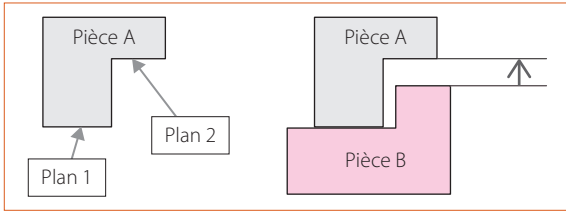
Ce qui permet de valider chaque fonction
 Le bloc Critères d'acceptation permet d'indiquer face à ces sollicitations une grandeur physique à ne pas dépasser pour pouvoir valider la FTE (valeur limite de contrainte ou de fréquence propre, de déformation, de dépassement, etc.) qui pourra être évaluée par un calcul de simulation en l'absence de prototype physique **21**.

Ce bloc comporte trois colonnes :

- La colonne **Quoi** contient la ou les grandeurs physiques qui définissent les critères de validation. Pour les décrire, nous pouvons utiliser un document existant (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 condition.

Pour les FTE de contact, la colonne Quoi contient une CFG qui se traduit :

- soit par une grandeur géométrique (ligne 1) appartenant à des chaînes de cotes impliquant d'autres CAE ou CFG. Il faut alors rechercher l'ensemble des FTE de non-contact souhaité afin d'analyser la plus sévère pour notre CFG. La colonne Combien identifie la CAE ou la CFG la plus sévère. La colonne Comment précise le moyen, la chaîne de cotes, en recherchant l'ensemble des chaînes de cotes où notre CFG intervient comme une grandeur géométrique d'une autre CFG ;
- soit par un jeu minimal (ligne 4), lorsque la FTE de contact exprime un « laisse passer », soit par un non-contact souhaité. La colonne Combien fixe la valeur limite de la grandeur du jeu minimal. La colonne Comment précise le moyen, la chaîne de cotes, qui permet de transférer la CFG sur l'ensemble des composants afin d'en assurer l'interchangeabilité. L'état de l'art dans ce domaine fait apparaître plusieurs approches : variationnelle (unidirectionnelle [13] ou tridimensionnelle [14]), par zone enveloppe [15], structurelle [16]. Nous retiendrons ici l'approche par enveloppe. Le traitement de la chaîne de cotes doit être précisé, et différents modèles sont possibles [17] : arithmétique, quadratique, semi-quadratique, probabiliste, semi-probabiliste et inertiel [18]. Nous retiendrons par défaut le modèle arithmétique avec un regard néanmoins sur le modèle probabiliste uniforme lorsque le nombre de maillons sera supérieur à 5.



22 Une FTE de contact (pièce A)

Exemple : La pièce A de la figure 22.

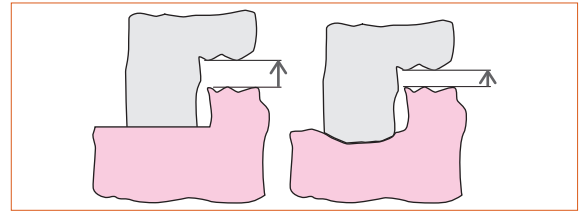
La CFG issue de la FTE de contact non souhaité (ligne 2 du tableau 23) dépend en partie de la qualité de la mise en position issue de la FTE de contact souhaité (ligne 1). La colonne Quoi du critère d'acceptation indique qu'il faut identifier toutes les CFG (comme la ligne 2 de notre exemple) qui sont impactées par la CFG de la ligne 1 24.

Pour les FTE de flux, la colonne Quoi contient une CAE. Elle se traduit par la ou les grandeurs physiques (effort, pression, fuite, dureté, propreté) qui définissent les critères de validation. Deux cas sont alors possibles :

→ La CAE amène une CFG

Pour la FTE de flux «transmet» de la ligne 2 du tableau 21, la colonne Quoi du critère d'acceptation définit la grandeur physique (effort maximal) de la CAE et la grandeur géométrique (écart macrogéométrique) de la CFG qui en découle. 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 condition.

Autre exemple, issu de la ligne 3 du tableau 21 : la FTE de flux est un «empêche le passage», la colonne



24 L'impact d'une FTE de contact souhaité sur une FTE de non-contact souhaité

Quoi du critère d'acceptation définit la grandeur physique (fuite) de la CAE et la grandeur géométrique (écart microgéométrique) de la CFG qui en découle.

→ La CAE reste seule dans cette colonne pour la FTE de flux considérée

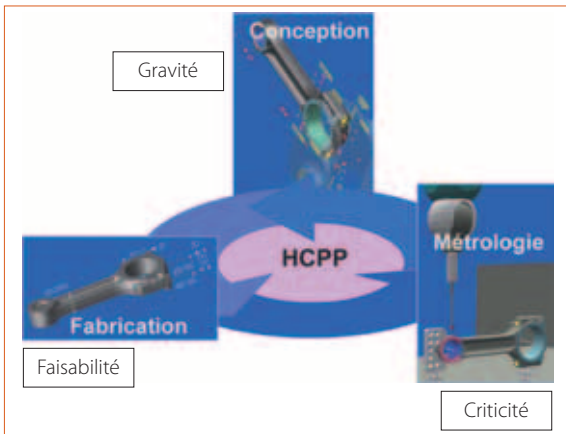
La FTE de flux est un «empêche le passage» en lui-même d'un fluide exempt de toute silice issue du procédé d'obtention du brut, dans la phase système seul du profil de vie du composant étudié, par exemple. La colonne Quoi du critère d'acceptation définit la grandeur physique (la propreté) de la CAE. Il n'a pas lieu, ici, de définir une CFG, donnant lieu à une spécification 9).

Les classes de gravité de la CAE et de la CFG

Cette démarche a pour but d'évaluer le risque de non-conformité pour le client final des CAE et des CFG à partir des dispersions de production, simulées ou constatées, sur les maillons des chaînes de cotes, et d'assurer le rebouclage avec l'AFT 19). Elle s'intègre dans une méthode prévisionnelle, la hiérarchisation des caractéristiques produit-processus (HCPP) 4), ayant pour finalité l'identification et le traitement des risques. La HCPP permet d'optimiser la conception produit-processus 25 et de mettre en place un plan de

Éléments en contact				Liaisons - Surfaces				Critères d'acceptation								
Fonctions techniques élémentaires	Composant 2	Complément	Remarques complémentaires	Surf. 1	Surf. 2	Surf. 3	GF	Quoi CAE et CFG (condition d'aptitude à l'emploi et condition fonctionnelle géométrique)	Combien (critère métier)	Comment						
Carter pompe à eau seule sans le composant ARA (TAFT partiel)																
Interface : PIÈCE B																
Surface d'appui plan (réf. A)																
1	Type I	SE POSITIONNE SUR	la pièce B	axialement	La fonction technique permet de caractériser la qualité de la mise en position de la pièce A sur la pièce B (contact fixe [12]). L'élément de référence primaire A est la surface réputée plane. La référence spécifiée A est un plan			Plan					I	La CFG impacte sur d'autres CAE. Il faut rechercher l'ensemble des CAE impactées par cette CFG	La CFG impactée par la CAE la plus restrictive	(CHAÎNE DE COTES issue des autres chaînes de cotes)
Surface quelconque, profil extérieur de la face A																
4	Type I	LAISSE PASSER	la pièce B	axialement	La fonction technique permet de caractériser la non-interférence entre la pièce A et la pièce B			Plan						Jeu mini entre la pièce A et la pièce B	J > 0	CHAÎNE DE COTES

23 Le bloc Critères d'acceptation pour la pièce A



25 Le processus d'ingénierie simultanée [20]

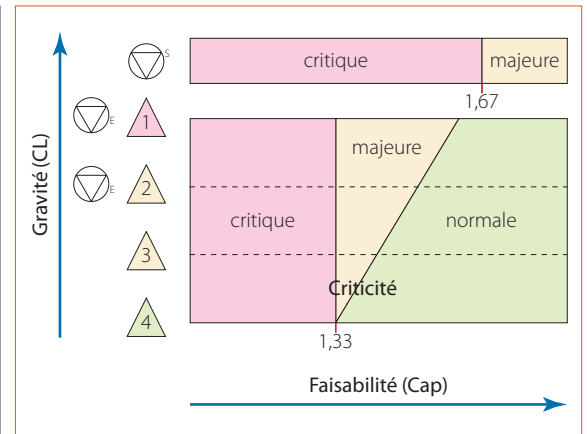
surveillance afin de garantir la robustesse du processus et la maîtrise de la conformité du produit **26**.

Nous ne traiterons qu'une partie de la méthode de la HCPP, la gravité des FTE, et donc, dans les colonnes du TAFT, la hiérarchisation des caractéristiques produit (HCP).

Le bloc Risques comporte quatre colonnes **27**:

→ La colonne Modes de défaillance contient le résultat vu par le client lorsque la CAE et la CFG ne sont pas respectées.

→ La colonne Rep. ECR (Repère de l'ECR) contient le numéro du libellé correspondant à l'effet client regroupé (ECR) identifié pour une expertise métier (moteur, par exemple, ou boîte de vitesses).



26 L'évolution de la criticité prévisionnelle [21]

→ La colonne Libellé de l'ECR contient la défaillance identifiée lors du non-respect de la CAE ou de la CFG pour une expertise métier donnée.

→ La colonne Classe (de gravité) contient le poids de la gravité.

La classification de la gravité est donnée en fonction de l'effet client ressenti dans une expertise métier identifié.

Pour les FTE de contact, seule la FTE de non-contact souhaité fait l'objet d'une étude de risques pour la CFG considérée. En effet, pour toutes les FTE de contact souhaité, il faut rechercher l'ensemble des CFG (issues de jeu ou issues de CAE) qui sont impactées par la CFG, et la gravité de la CFG la plus sévère impacte sur la

Éléments en contact				Liaisons - Surfaces				Risques			
Fonctions techniques élémentaires	Composant 2	Complément	Remarques complémentaires	Surf. 1	Surf. 2	Surf. 3	GF	Modes de défaillance	Rep. ECR	Libellé de l'ECR	Classe
Carter pompe à eau seule sans le composant ARA (TAFT partiel)											
INTERFACE : CARTER CYLINDRE (avec le joint plat)											
Surface d'appui plan (réf. A)											
1	SE POSITIONNE SUR	Carter cylindre	axialement	La fonction technique permet de caractériser la qualité de la mise en position du corps de pompe à eau sur le carter cylindre (contact fixe [12]). L'élément de référence primaire A est la surface réputée plane. La référence spécifiée A est un plan	Plan					A documenter à partir de la gravité la plus contraignante issue des autres CFG	
2	TRANSMET	Carter cylindre	une pression	La fonction technique permet de caractériser la répartition homogène de la pression issue des écarts macrogéométriques	Plan				2	Risque de perte de tension dans les vis. Perte d'une vis et risque de déplacement de la pompe entraînant un contact de la roue à aube avec le carter cylindre	INCIDENT IMMOBILISANT
3	EMPÊCHE LE PASSAGE	Carter cylindre avec la pâte à joint	du fluide	La fonction technique permet de caractériser l'étanchéité statique de la liaison issue des écarts microgéométriques	Plan				7	Risque de fuite	FUITE EAU (sans incident mécanique direct)
Surface quelconque, profil extérieur de la face A											
4	LAISSER PASSER	Environnement	axialement	La fonction technique permet de caractériser la non-interférence entre l'environnement et le contour du carter de pompe à eau	SQF				14	Risque de contact générant du bruit	BRUIT ANORMAL (sans incident mécanique direct)

27 Le bloc Risques

gravité de la CFG étudiée. Une exception cependant, pour les FTE « se guide » ou « se positionne » dans le cas d'un assemblage flottant [12], il est nécessaire de prendre en compte l'aspect dimensionnel de la liaison afin de traiter le risque.

Pour les FTE de flux, l'ensemble des CAE fait l'objet d'une étude de risques.

Affectée aux FTE, la classe de gravité est définie suivant cinq classes (de 1 à 4 et S [21]) :

- ⚠ : défaut pouvant affecter la sécurité
- ⚠ : défaut ou panne interdisant l'utilisation du véhicule
- ⚠ : défaut justifiant une intervention avant la révision standard
- ⚠ : défaut ne justifiant, pas pour le client, la réparation avant la révision standard et de réparation difficile
- ⚠ : anomalie perçue par le client, mais généralement tolérée par lui

La FTE de flux « transmet à » permet de caractériser la circulation d'un flux d'effort entre les différents composants, vis, carter cylindre et corps de pompe à eau.

Un écart macrogéométrique de l'appui plan du carter de pompe à eau apporte une déformation de la surface sous la pression. Une partie du couple de serrage passe dans la déformation de la surface. Le risque identifié est une perte de tension, générant par la suite une perte de la vis et donc une perte de la pompe à eau. Cet incident est classifié comme un incident immobilisant dont la classe de gravité est 1.

Précisons que le nombre de classes de gravité peut changer suivant les domaines d'expertise de l'activité et des entreprises, chez Schneider Electric [21] ou Nissan [22] par exemple.

Les caractéristiques des surfaces

Nous devons exprimer les caractéristiques géométriques et physiques imposées aux surfaces du composant étudié pour répondre aux sollicitations considérées dans chaque fonction élémentaire.

Le bloc Caractéristiques des surfaces comporte trois colonnes :

- La colonne **Quoi** contient les caractéristiques limites spécifiées.
- La colonne **Combien** fixe la valeur ou le domaine limite de ces caractéristiques.
- La colonne **HCP** contient la gravité de la spécification.

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 de tolérancement.

Pour la FTE de contact non souhaité « laisse passer », la CFG est un jeu minimal entre le carter de pompe à eau et l'environnement. Le risque identifié est un « bruit anormal », dont l'indice de gravité est 3. C'est ce même indice qui apparaît par défaut dans la spécification du composant [27]. Or, nous constatons que dans la colonne HCP il est de 4 [28]. Qu'est-ce qui génère ce déclassement de la gravité ?

Éléments en contact				Liaisons - Surfaces				Caractéristiques des surfaces		
Fonctions techniques élémentaires	Composant 2	Complément	Remarques complémentaires	Surf. 1	Surf. 2	Surf. 3	GF	Quoi	Combien	HCP
Carter pompe à eau seule sans le composant ARA (TAFT partiel)										
INTERFACE : CARTER CYLINDRE (avec le joint plat)										
Surface d'appui plan (réf. A)										
1	SE POSITIONNE SUR	Carter cylindre	axialement	La fonction technique permet de caractériser la qualité de la mise en position du corps de pompe à eau sur le carter cylindre (contact fixe [12]). L'élément de référence primaire A est la surface réputée plane. La référence spécifiée A est un plan	Plan				Planéité t	0,4 3
2	TRANSMET	Carter cylindre	une pression	La fonction technique permet de caractériser la répartition homogène de la pression issue des écarts macrogéométriques	Plan				Planéité t zone restreinte	0,2 2
3	EMPÊCHE LE PASSAGE	Carter cylindre avec la pâte à joint	du fluide	La fonction technique permet caractériser l'étanchéité statique de la liaison issue des écarts microgéométriques	Plan				Rugosité de type R Étanchéité statique Assemblage fixe avec contrainte	16 ES AC 2
Surface quelconque, profil extérieur de la face A										
4	LAISSE PASSER	Environnement	axialement	La fonction technique permet de caractériser la non-interférence entre l'environnement et le contour du carter de pompe à eau	SQF				Profil d'une surface t A B C	2 4

28 Le bloc Caractéristiques des surfaces

Éléments en contact				Liaisons - Surfaces				Risques				Caractéristiques des surfaces						
Fonctions techniques élémentaires	Composant 2	Complément	Remarques complémentaires	Surf. 1	Surf. 2	Surf. 3	GF	Modes de défaillance	Rep. ECR	Libellé de l'ECR	Classe	Quoi	Combien	HCP				
Carter pompe à eau seule sans le composant ARA (TAFT partiel)																		
INTERFACE : CARTER CYLINDRE (avec le joint plat)																		
Surface d'appui plan (réf. A)																		
1	Type 1	SE POSITIONNER SUR	La pièce B	axialement	La fonction technique permet de caractériser la qualité de la mise en position de la pièce A sur la pièce B (contact fixe [12]). L'élément de référence primaire A est la surface réputée plane. La référence spécifiée A est un plan	Plan						À documenter à partir de la gravité la plus contraignante issue des autres CFG	Planéité t	0,4	3			
Surface quelconque, profil extérieur de la face A																		
2	Type 1	LAISSE PASSER	La pièce B	axialement	La fonction technique permet de caractériser la non-interférence entre l'environnement et le contour du carter de pompe à eau	Plan						Risque de contact générant du bruit	14	BRUIT ANORMAL (sans incident mécanique direct)	3	Localisation t A	1	3

29 Le TAFT partiel de la pièce A

Le déclassement de la gravité issue d'une spécification appartenant à une CFG découle d'une procédure qui permet de prendre en compte le poids de chaque spécification appartenant à la CFG.

Une règle en vigueur est l'augmentation d'un écart type de l'intervalle de tolérance (IT) ou de la tolérance. En l'appliquant à notre cas, regardons quelle est l'incidence sur la CFG, dont le jeu minimal est de 3 mm, lorsque la valeur de la tolérance de la spécification sur le carter de pompe à eau augmente d'un écart type, soit de IT/3. L'IT de la spécification est de 2, l'augmentation de cet IT d'un écart type intervient sur le maillon de la chaîne de cotes d'un demi-écart type, soit une augmentation de 0,16. Le jeu minimal de la CFG passe de 3 mm à 2,84 mm. L'impact de ce maillon sur la CFG est faible, nous pouvons dégrader la gravité et lui conférer un indice 4.

Remarque importante : La gravité permet d'identifier les spécifications à risque. La tolérance seule n'est pas un indicateur suffisant.

Reprenons l'exemple de la pièce A **29**.

La FTE de contact non souhaité permet d'identifier une CFG, un jeu minimal. L'expression de la chaîne de cotes est :

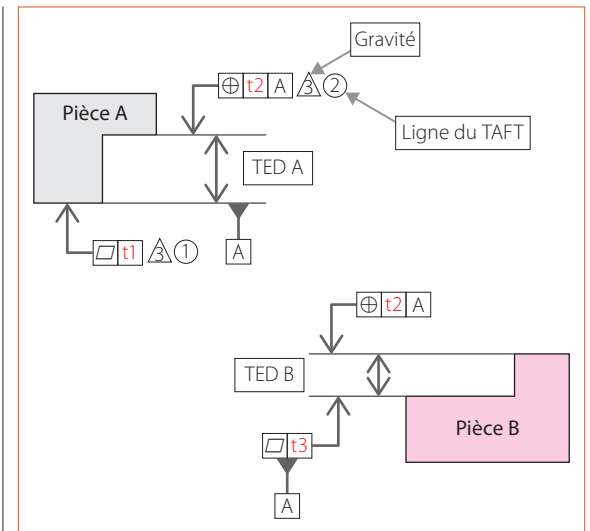
$$\text{Jeu mini} = \text{TEDB} - \text{TEDA} - 1/2 (t_2 + t_4) - \inf (t_1, t_3) \quad \mathbf{30}$$

TED : acronyme anglais pour « dimension théorique exacte »

La colonne Combien du critère d'acceptation précise « critère métier », soit un jeu minimal > 0. Le risque de défaillance pour le non-respect de cette CFG identifié est un « bruit anormal », dont l'indice de gravité est 3. La tolérance de la spécification de localisation est de 1 mm (ligne 2 du tableau **29**).

Pouvons-nous dégrader la gravité d'indice 3 par défaut (identique à la gravité de la CFG) associée à la spécification de localisation ?

Appliquons le principe de l'augmentation de la tolérance d'un écart type. La valeur de t_2 augmente de 33 %, avec pour conséquence de créer un jeu négatif



30 Les spécifications des pièces A et B (hypothèses de départ)

pour la CFG. Dès lors, nous ne pouvons pas dégrader la gravité de la spécification, elle reste indiquée 3 (ligne 2 du tableau **29** et **30**).

Synthèse du TAFT du carter de pompe à eau

Le tableau d'analyse fonctionnelle technique du corps de pompe à eau doit recenser l'ensemble des phases du profil de vie du composant **31**. La phase traitée est celle du système monté, en utilisation, donnée sur le schéma **7**.

Une stratégie de capitalisation

Le tableau d'analyse fonctionnelle technique est un outil permettant de capitaliser l'ensemble des réflexions tout au long de l'analyse fonctionnelle technique du composant appartenant au système étudié. Il permet à chaque étape de se poser une question élémentaire pour finir par la spécification **9** des surfaces ou la description des critères d'acceptation de la condition d'aptitude à l'emploi sous forme d'un nota additionnel spécifié au plan.

Éléments en contact				Liaisons - Surfaces				Sollicitations	
Fonctions techniques élémentaires	Composant 2	Complément	Remarques complémentaires	Surf. 1	Surf. 2	Surf. 3	GF	Quoi	
Carter pompe à eau seule sans le composant ARA (TAFT partiel)									

INTERFACE : CARTER CYLINDRE (avec le joint plat)

Surface d'appui plan (réf. A)										
1	Type I SE POSITIONNE SUR	Carter cylindre	axialement	La fonction technique permet de caractériser la qualité de la mise en position du corps de pompe à eau sur le carter cylindre (contact fixe [12]). L'élément de référence primaire A est la surface réputée plane. La référence spécifiée A est un plan	Plan			I		
2	TRANSMET AU	Carter cylindre	une pression	La fonction technique permet de caractériser la répartition homogène de la pression issue des écarts macrogéométriques	Plan				Couple de serrage des vis de fixation (Nm), préconiser M8	

De la FTE identifiée dans l'analyse fonctionnelle technique...

31 La synthèse du TAFT

Au-delà de la capitalisation d'une analyse fonctionnelle d'un composant, l'approche proposée permet d'étendre cette analyse aux applications métier au niveau du produit, du matériau et du procédé (PMP). En effet, pour un système pompe à eau, la définition du corps de la pompe peut être différente suivant le type de moteur et le type de matériaux. Le périmètre étant identique, seule la réponse des surfaces du composant étudié change.

Reprenons notre exemple. Les fonctions techniques élémentaires sont identifiées pour la surface appui plan en interface avec le carter cylindre. Cet ensemble de fonction définit une entité fonctionnelle technique élémentaire (EFTE). Pour chaque application, en fonction du matériau, les entités fonctionnelles techniques élémentaires sont caractérisées. Lors de la conception d'un produit similaire pour une nouvelle application, il est possible d'exploiter l'entité fonctionnelle technique élémentaire déjà capitalisée [3].

Conclusion

La démarche basée sur l'analyse fonctionnelle technique du produit à partir des premières solutions techniques de conception s'appuie sur deux outils, le schéma de flux (ou bloc-diagramme) et le tableau d'analyse fonctionnelle technique.

Le premier outil permet d'étudier l'organisation interne des composants et d'identifier les fonctions techniques élémentaires de flux et de contact. Ce schéma de flux relie chaque composant entre eux ou avec un des éléments du milieu d'utilisation.

Cette remarque appelle l'observation suivante. À un trait rectiligne correspond au moins une FTE de contact. Pour observer des conditions locales des surfaces d'un même composant en relation avec la FTE, le schéma de flux reste trop grossier. L'utilisation d'un modèle comme le graphe des contacts élémentaires ou la maquette numérique d'étude d'avant-projet permet de répondre à cette demande.

Par ailleurs, le schéma de flux ne tient pas compte de l'ordre de montage des composants : les traits rectilignes ne sont pas orientés ; ils ne permettent pas de faire le choix entre « se guide » ou « guide » et « se positionne » ou « positionne ». Il est nécessaire de définir une gamme d'assemblage prévisionnelle pour y parvenir.

Le second outil, le tableau d'analyse fonctionnelle technique, est la conclusion de l'ensemble de la démarche d'analyse fonctionnelle. C'est dans la colonne Quoi des critères d'acceptation que le concepteur fait apparaître les critères de validation que devra satisfaire le composant pour que chaque FTE soit correctement assurée. C'est ici que naissent

Combien	Critères d'acceptation			Risques				Caractéristiques des surfaces		
	Quoi CAE et CFG (condition d'aptitude à l'emploi et condition fonctionnelle géométrique)	Combien (critère métier)	Comment	Modes de défaillance	Rep. ECR	Libellé de l'ECR	Classe	Quoi	Combien	HCP

	La CFG impacte sur d'autres CAE. Il faut rechercher l'ensemble des CAE impactées par cette CFG (la CFG est un jeu maxi dans la liaison)	La CFG impactée par la CAE la plus restrictive	(CHAÎNE DE COTES issue des autres chaînes de cotes)	À documenter à partir de la gravité la plus contraignante issue des autres CFG				Planéité t	0,4	3
25 Nm classe M	Effort maxi Écart macro géométrique	Voir responsable système : étanchéité statique	ESSAI	Risque de perte de tension dans les vis. Perte d'une vis et risque de déplacement de la pompe entraînant un contact de la roue à aube avec le carter cylindre	2	INCIDENT IMMOBILISANT	1	Planéité t zone restreinte	0,2	2

... à la spécification macrogéométrique et microgéométrique associée à la surface fonctionnelle du composant

Démarche produit	Applications		MPI ATMO		MPI SURAL		GDI ATMO	
	Composant(s)		Corps de pompe ALU	Corps de pompe PLAST	Corps de pompe ALU	Corps de pompe PLAST	Corps de pompe ALU	Corps de pompe PLAST
↓	INTERFACE: CARTER CYLINDRE (avec le joint plat)							
	Type alu	Surface d'appui plan (réf. A)						
		Surface quelconque, profil extérieur de la face A						
	Type plastique	Surface d'appui plan (réf. A)						
		Surface quelconque, profil extérieur de la face A						
	INTERFACE: VIS DE CENTRAGE							
	Type alu	Cylindre (centreur du SRMP) (réf. B)						
		Surface quelconque au regard de la tête de vis						

Les lignes de 1 à 3 du TAFT pour la surface appui plan (réf. A).

Matériaux (et procédés) pour le composant

Application pour un moteur à injection essence et turbocompressé

Colonne des interfaces en regard du composant étudié

Colonne des surfaces du composant étudié

Démarche produit-matériau-procédé →

52 La matrice des applications – Approche transversale des TAFT

► **Bibliographie**

- [1] CHARPENTIER (F.), « Analyse fonctionnelle, quels outils ? », *Technologies & formations*, n° 117, janvier 2005, p. 10-15, et n° 118, mars 2005, p. 24-35
- [2] CHARPENTIER (F.), MATHIEU (L.), « L'analyse fonctionnelle technique, une solution pour la recherche des conditions fonctionnelles géométriques », *Actes de la journée thématique AIP-Primeca Tolérancement le long du cycle de vie du produit*, Cachan, 2005
- [3] CHARPENTIER (F.), « Module d'analyse fonctionnelle – Projets, démarche de conception des produit en CAO et dimensionnement », cours de 3^e année de la formation Ingénieurs 2000, ESCPI/Cnam, 1999
- [4] NF XPE 04-009 : « Norme expérimentale – Spécification géométrique des produits (GPS) – Hiérarchisation des caractéristiques produit-processus », Afnor, 2003
- [5] « Cours de formation PROCAR: Processus de caractérisation de la géométrie d'une pièce », Renault SAS, 1999, version 3. 0
- [6] BALLU (A.), TEISSANDIER (D.), MATHIEU (L.), « Cotation à l'aide des graphes le long du cycle de conception », *Actes de la journée thématique AIP-Primeca Tolérancement le long du cycle de vie du produit*, Cachan, 2005
- [7] BALLU (A.), MATHIEU (L.), « Méthode de choix des spécifications fonctionnelles par des graphes », *Technologies & formations*, n° 84, 1999, p. 12-19
- [8] NF X 50 151 : « Analyse de la valeur, analyse fonctionnelle », Afnor, 1991
- [9] Iso 17 450-1 : « Spécification géométrique des produits – Concepts généraux – Partie 1 : Modèle pour la spécification et la vérification géométrique », Afnor, 2005
- [10] NF E 04 550 : « Dessins techniques – Cotation et tolérancement fonctionnels », Afnor, 1983
- [11] NF X 50 106-1 : « Management de projet – Terminologie dans les contrats d'ingénierie industrielle », Afnor, 1993
- [12] DANTAN (J.-Y.), « Synthèse des spécifications géométriques : modélisation par calibre à mobilités internes », thèse doctorale de l'université de Bordeaux I, 2000
- [13] CHASE (K. W.), GREENWOOD (W. H.), « Design Issues in Mechanical Tolerance Analysis », *Proceedings of ASME Annual Seminar*, Boston (USA), 1987, p. 11-26
- [14] GIORDANO (M.), DURET (D.), « Clearance Space and Deviation Space, Application to Three-Dimensional Chain of Dimensions and Positions », *Proceedings of CIRP Seminar on Computer Aided Tolerancing*, Cachan, 1993
- [15] ANSELMETTI (B.), « Tolerancing Method for Function and Manufacturing », *Proceedings of ILCE 95*, Paris, 1995
- [16] CLÉMENT (A.), RIVIÈRE (A.), SERRE (P.), « A Declarative Information Model for Functional Requirements », *Proceedings of 4th CIRP Seminar on Computer Aided Tolerancing*, Tokyo, 1995, p. 1-29
- [17] ANSELMETTI (B.), *Tolérancement – Méthode de cotation fonctionnelle*, éd. Hermès/Lavoisier, 2003, vol. 2
- [18] PILLET (M.), « Inertial Tolerancing in the Case of Assembled Products », dans *Recent Advances in Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering*, Kluwer Academic Publishers, 2003, p. 85-94
- [19] CHARPENTIER (F.), CHEP (A.), « GPS ou un processus d'ingénierie simultanée », cours de 2^e année IUFM, 2003
- [20] CHARPENTIER (F.), CHEP (A.), FERNANDEZ (B.), « Influence des normes GPS sur l'élaboration des documents de fabrication », *Actes du Séminaire national de Levallois-Perret*, 2000
- [21] BRÉART (J.-C.), « Guide HCPP, mise en œuvre de la hiérarchisation », Renault SAS, direction de l'Ingénierie mécanique, p. 25, 1999
- [22] CHARPENTIER (F.), « Hiérarchisation des caractéristiques produit/processus – Analyse de la norme expérimentale XPE 04-009 », *Actes du séminaire du Groupe de recherche français en tolérancement (GRT)*, Nantes, 2005

les entrées des chaînes de cotes. Ce tableau se construit étape par étape durant l'étude et fait appel à des outils complémentaires, comme les chaînes de cotes, par exemple.

Il est important de rappeler le rôle des conditions d'aptitude à l'emploi et des conditions fonctionnelles géométriques.

La CFG gère principalement les relations géométriques des surfaces d'un composant avec lui-même et avec les surfaces des autres composants, exprimant ainsi l'organisation des surfaces pour une définition technique de la solution retenue pour le système.

La condition d'aptitude à l'emploi est un lien entre la CFG et les fonctions de service (d'usage ou d'estime) ou les contraintes (les fonctions d'adaptation) issues de l'analyse fonctionnelle du besoin. Elle exprime la continuité du besoin dans l'expression de la solution technique.

La dernière colonne, qui porte sur les caractéristiques des surfaces du composant étudié, fait apparaître l'utilité d'un langage normalisé (Iso GPS) pour exprimer de manière univoque les spécifications [9].

Les lignes de ce tableau témoignent du rôle fonctionnel du composant au sein du système tout au long du profil de vie. ➔