

AUTOMATISATION DE L'INTERFACAGE DES COTES UNIDIRECTIONNELLES DE FABRICATION EN SPECIFICATIONS NORMALISEES ISO-GPS

Reçu le 14/04/2008 – Accepté le 29/11/2008

Résumé

Le passage du modèle géométrique fonctionnel défini suivant le formalisme GPS (Geometrical Product Specification) au modèle équivalent de la simulation de fabrication unidirectionnelle devrait se réaliser suivant une interface. D'autre part, les géométries intermédiaires simulées de la pièce issues des différentes phases du processus de fabrication devraient aussi être traduites à leur tour, en spécifications normalisées. Dans ce contexte, un interfaçage afin d'utiliser les résultats de la simulation dans le domaine industriel a été développé. Cette interface qui a été conditionnée par certaines hypothèses et par la naissance de certaines surcontraintes est le résultat d'un raisonnement logique de la mise en position des surfaces de référence par rapport à celles qui servent dans l'isostatisme. Nous développerons l'interface de traduction des résultats de la cotation de fabrication en système ISO (GPS). Nous présenterons également le logiciel mis au point, ainsi que des exemples de traitement.

Mots clés : Interfaçage, spécifications normalisées, dispersions, GPS, FAO.

Abstract

The passage of the definite functional geometrical model according to formalism GPS (Geometrical Product Specification) with the equivalent model of the simulation of one-way manufacture should be carried out according to an interface. In addition, the simulated intermediate geometries of the part exits of the various phases of the manufacturing process should also be translated in their turn, in standardized specifications. In this context, an interfacing in order to use the results of simulation in the industrial field was developed. This interface which was conditioned by certain assumptions and the birth of certain excess stresses is the result of a logical reasoning of the setting in position of surfaces of reference compared to those which are useful in the isostatism. We will develop the interface of translation of the results of the quotation of manufacture in system ISO (GPS). We will also present the software developed at the point, as well as examples of treatment.

Keys words : Interfacing, standardized specifications, dispersions, GPS, CAM.

¹ D. MOULAI-KHATIR

¹ S. HAMOU

¹ A. CHEIKH

² J.M. LINARES

¹ Laboratoire d'Automatique
Département de Génie Mécanique
Faculté des Sciences de
l'Ingénieur Université Abou Bekr
Belkaid – Tlemcen - Algérie

² Laboratoire CIME/EA(MS)²
Département de Génie Mécanique
I.U.T. d'Aix en Provence
France

ملخص

المروور من النموذج الهندسي الوظيفي الموافق للمواصفات الهندسية للمنتج (GPS) إلى نموذج تشبيه التصنيع الأحادي الأبعاد يمر عبر تحويل. من جهة أخرى، الرسوم الهندسية الوسطية للقطعة الناتجة عن تشبيه التصنيع يجب أن تحول كذلك بدورها إلى مواصفات موحدة. من أجل تجسيد هذه الأفكار و لاستعمال نتائج تشبيه التصنيع في المجال الصناعي قمنا بإنجاز أداة مساعدة التحويل. هذه الأداة ضبطت بفرضيات و كالت بميلاد بعض المعوقات، هذه المعوقات جاءت نتيجة لتحليل منطقي لتموضع سطوح الاستناد بالنسبة لتلك التي تستعمل للسكونية. سنقوم بتطوير أداة مساعدة تحويل أبعاد الصنع إلى نظام ISO (GPS). سنقدم البرنامج الآلي و التطبيقات التي قمنا بها على بعض القطع.

الكلمات المفتاحية : التحويل، مواصفات موحدة، الإرتياب، GPS، FAO

Le bureau d'étude réalise le dessin de définition, qui est exprimé par des spécifications normalisées. Par ailleurs le processus de simulation demande la mise en place d'un modèle équivalent. Ce dernier, une fois simulé, donne la cotation de fabrication qui n'est pas définie suivant le formalisme GPS (Geometrical Product Specification).

Il va falloir, encore une fois traduire ces cotes fabriquées du dessin de fabrication en spécifications normalisées. Ce qui nécessite un développement d'une interface de passage d'un modèle à un autre comme le montre la figure 1.

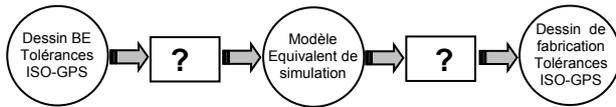


Figure 1 : Problématique de passage du modèle ISO au modèle équivalent

Cette problématique peut être exprimée d'une façon plus précise par le processus de simulation illustré par la figure 2. Sous les hypothèses de la négligence des défauts d'orientation entre les surfaces de références et des défauts de forme de ces surfaces, il est possible de se rapprocher des conditions unidirectionnelles.

De même, on doit imposer des surcontraintes du passage des géométries intermédiaires au dessin de fabrication spécifié en ISO (GPS).

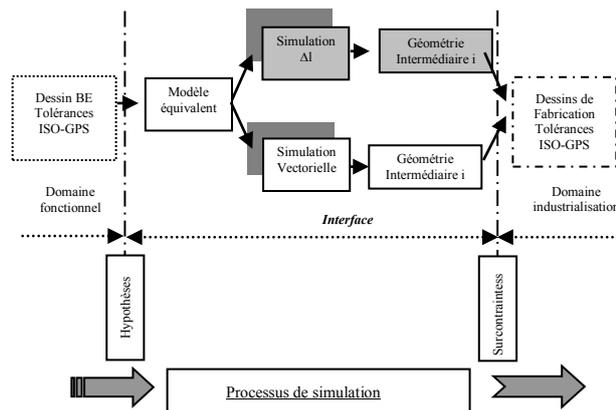


Figure 2 : Processus de simulation

1. Hypothèses

Les dessins de définitions des exemples d'application de la pièce de fraisage (figure 3) et de la pièce de tournage (figure 4), peuvent être schématisés sans prendre en compte les hypothèses de négligences des défauts d'orientation entre les

surfaces ainsi que les défauts de forme de ces surfaces.

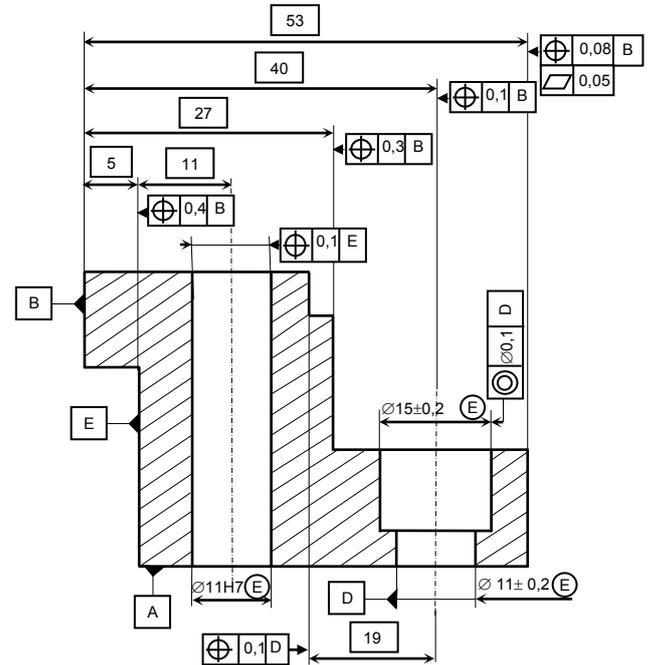


Figure 3 : Dessin de définition de la pièce de fraisage (une vue)

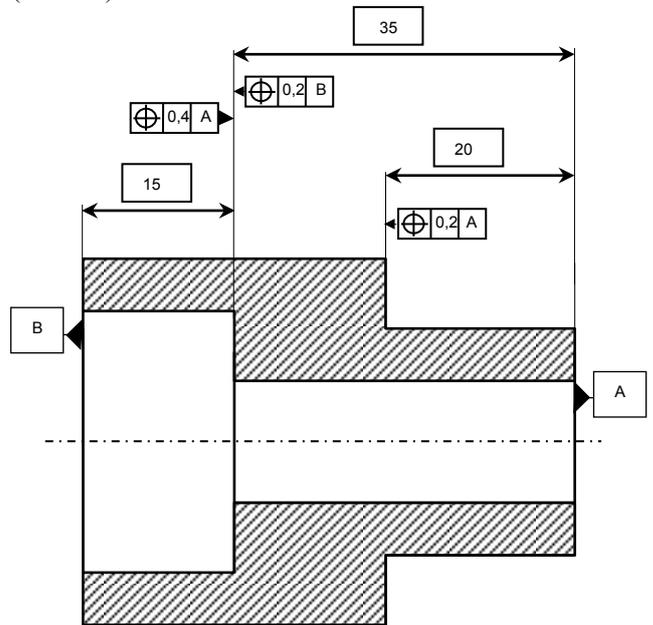


Figure 4 : Dessin de définition de la pièce de tournage (une vue)

La spécification de la localisation ne suffit pas pour coter un dessin. Comme il n'y a aucune spécification d'orientation qui relie les surfaces de références entre elles, on obtient des dessins similaires aux dessins des modèles réels illustrés par les figures 5 et 6.

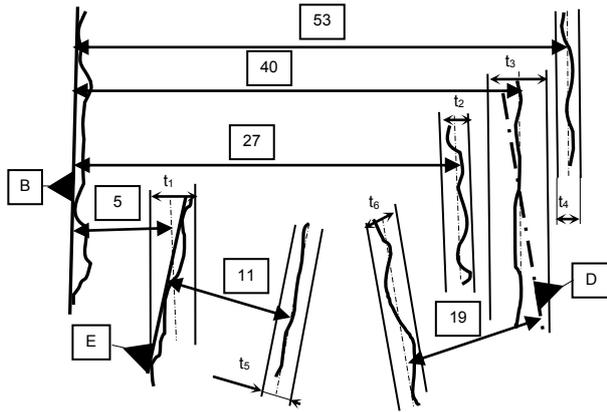


Figure 5 : Dessin avec les défauts d'orientation et de forme (fraisage)

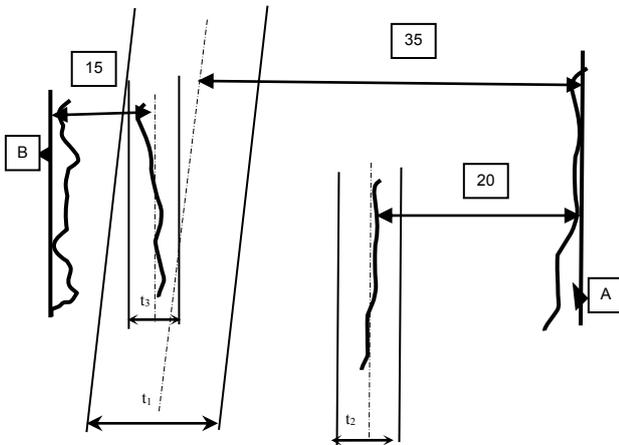


Figure 6 : Dessin avec les défauts d'orientation et de forme (tournage)

Le modèle unidirectionnel suppose que chaque surface, ligne ou point projeté orthogonalement sur la direction de simulation, est représenté par un point de substitution situé à l'extérieur de la matière [1] [2]. Ce dernier est supposé représenter la géométrie réelle des pièces. En conséquence, dans le cas où les défauts d'orientation et de forme sont importants, nous observons les situations illustrées par les cotés gauches des figures 7 et 8.

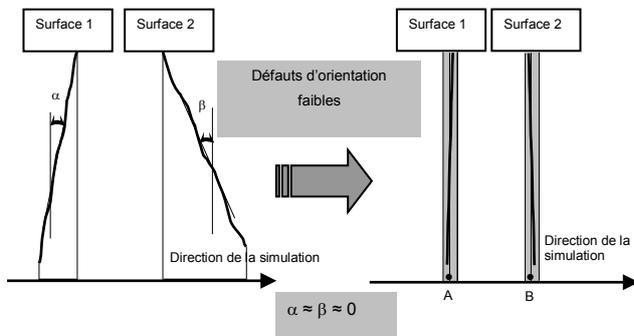


Figure 7 : Hypothèse des défauts d'orientation faibles

Pour obtenir les projections des surfaces sur la direction de simulation des points (points de substitution), il va falloir considérer les défauts d'orientation faibles comme le montre la figure 7.

Par ailleurs, dans le cas où les défauts de forme ne sont pas importants, la projection des surfaces 1 et 2 sur la direction de simulation donne des segments qui tendent vers les points de substitution (figure 8).

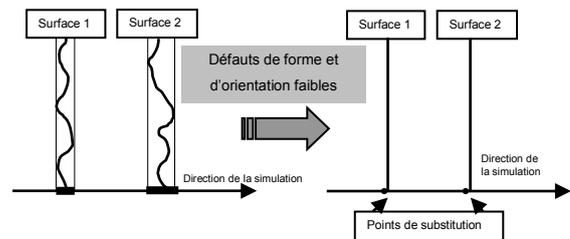


Figure 8 : Hypothèse des défauts de forme et d'orientation faibles

Enfin, sous les hypothèses de défauts de forme et d'orientation faibles, l'interprétation de la figure 5 devient la figure 9 et l'interprétation de la figure 6 devient la figure 10.

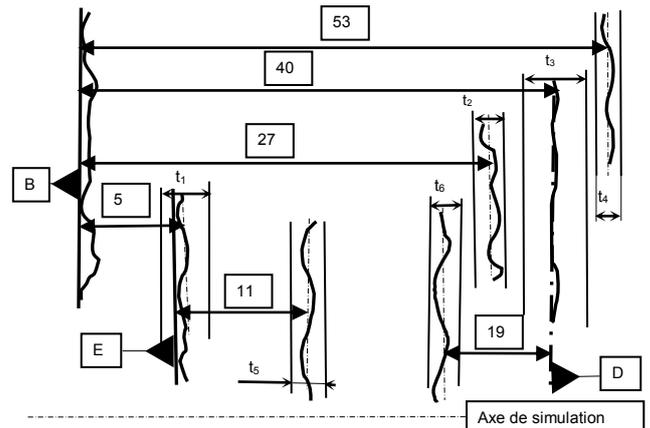


Figure 9 : Dessin sans les défauts d'orientation et de forme (fraisage)

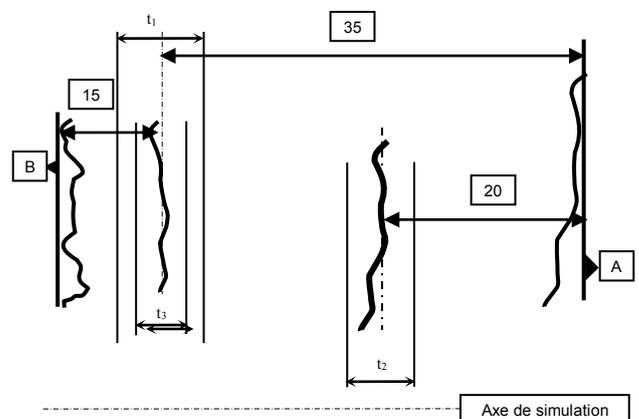


Figure 10 : Dessin sans les défauts d'orientation et de forme (tournage)

Sous l’hypothèse de la négligence des défauts d’orientation et de forme entre les surfaces de références, le passage du modèle fonctionnel au modèle équivalent de simulation est possible.

2. PASSAGE DU MODELE DE SIMULATION AU MODELE ISO

A partir du modèle équivalent de simulation, on peut spécifier les géométries intermédiaires de fabrication en spécifications de localisation puis en spécifications d’orientation et de forme [3].

2.1. Spécifications de localisation

Les cotes de fabrication issues de la simulation sont dépendantes des hypothèses posées précédemment. Du processus de fabrication, on a les surfaces de reprise qui représentent des surfaces de références sur les géométries intermédiaires. A partir de ces surfaces, on peut traduire les cotes de fabrication en spécifications de localisation comme le montre la figure 11.

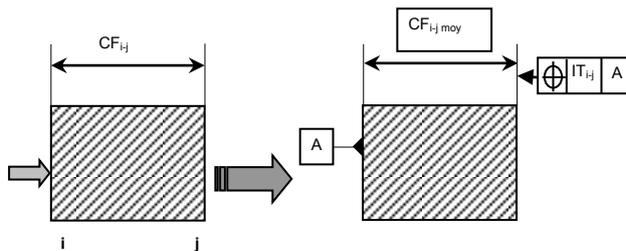


Figure 11 : Traduction d’une cote de fabrication en une spécification normalisée

2.2. Spécifications d’orientation et de forme

En fonction du processus de fabrication, des contraintes supplémentaires sur les surfaces de références devront être ajoutées pour respecter les hypothèses précédentes. La technologie de la prise de pièce (intégrale ou ponctuelle) peut entraîner l’ajout d’une contrainte de forme. Tandis que les défauts d’orientation apparaissent principalement entre le groupe de surfaces servant à l’isostatisme et le groupe de surfaces usinées lorsqu’il y a reprise.

L’ajout de ces spécifications géométriques supplémentaires est défini en première approche par les règles de décision suivantes :

❖ Cas du fraisage

- **Si** toutes les surfaces de référence BE servent comme surfaces d’isostatisme **alors** :
 - **Si** les surfaces de références SRi sont réalisées dans la même phase **alors** il n’y a pas de contraintes géométriques

supplémentaires. Elles sont obtenues en « géométrie machine ».

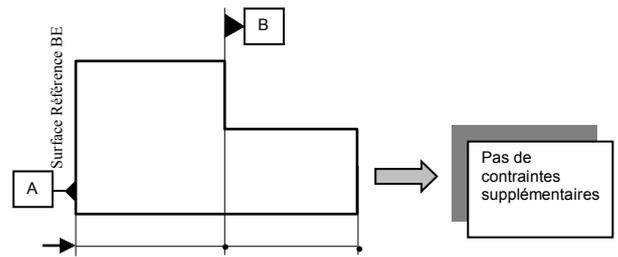


Figure 12 : Cas 1

- **Si non** ; c’est à dire les surfaces SRi sont réalisées en plusieurs phases **alors** :
 - **Si** l’isostatisme est intégral **alors** il y a ajout d’une contrainte d’orientation entre les surfaces de référence SRi.

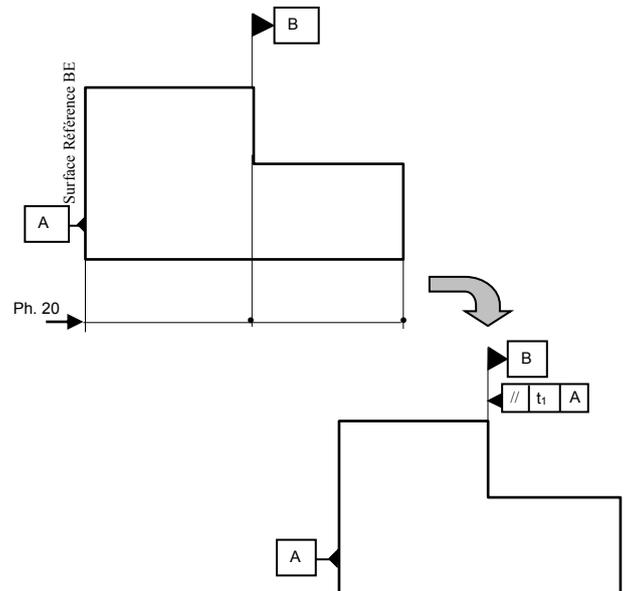


Figure 13 : Cas 2

- **Si** l’isostatisme est constitué de ponctuelles **alors** il y a ajout d’une contrainte d’orientation entre les surfaces de référence et d’une contrainte de forme sur la surface de référence BE servant comme surface de référence à l’isostatisme dans la phase.
- **Sinon**, c’est à dire ; il y a des surfaces de référence BE qui n’ont pas servi comme surfaces de référence à l’isostatisme **alors** dans ce cas, on impose des contraintes d’orientation entre ces surfaces et les surfaces de référence à

l'isostatisme dans la phase où elles sont réalisées et ceci pour respecter les hypothèses décrites précédemment.

❖ **Cas du tournage**

- **Si** toutes les surfaces de référence BE servent comme surfaces d'isostatisme **alors** :
 - **Si** les surfaces de références SR_i sont réalisées dans la même phase **alors** il n'y a pas de contraintes géométriques supplémentaires. Elles sont obtenues en « géométrie machine ».

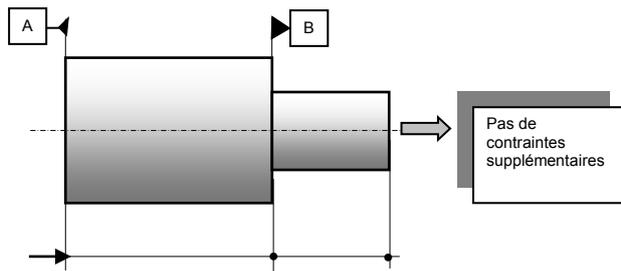


Figure 14 : Cas 1

- **Si non** ; c'est à dire les surfaces SR_i sont réalisées en plusieurs phases **alors** :
 - **Si** l'isostatisme est intégral **alors** il y a ajout d'une contrainte d'orientation entre les surfaces de référence SR_i.

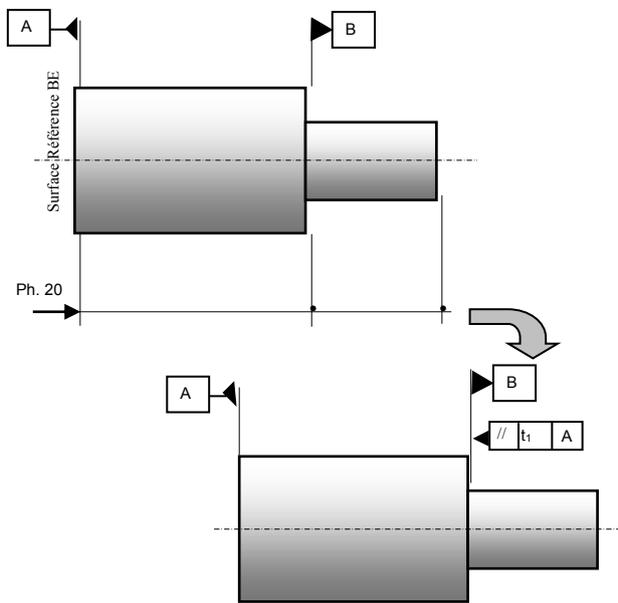


Figure 15 : Cas 2

- **Si** l'isostatisme est constitué de ponctuelles **alors** il y a ajout d'une contrainte d'orientation entre les surfaces de référence et d'une contrainte de forme sur la surface de

référence BE servant comme surface de référence à l'isostatisme dans la phase.

- **Sinon**, c'est à dire ; il y a des surfaces de référence BE qui n'ont pas servi comme surfaces de référence à l'isostatisme **alors** dans ce cas, on impose des contraintes d'orientation entre ces surfaces et les surfaces de référence à l'isostatisme dans la phase où elles sont réalisées et ceci pour respecter les hypothèses décrites précédemment.

Ces règles sont fondées sur un raisonnement logique de la mise en position des surfaces de références à l'isostatisme.

Elles sont regroupées et ordonnées dans un organigramme d'ajout des spécifications d'orientation et de forme de la figure 16 [4]. Cet organigramme est à base d'algorithmes liés à la notion de systèmes experts « Si condition Alors action ».

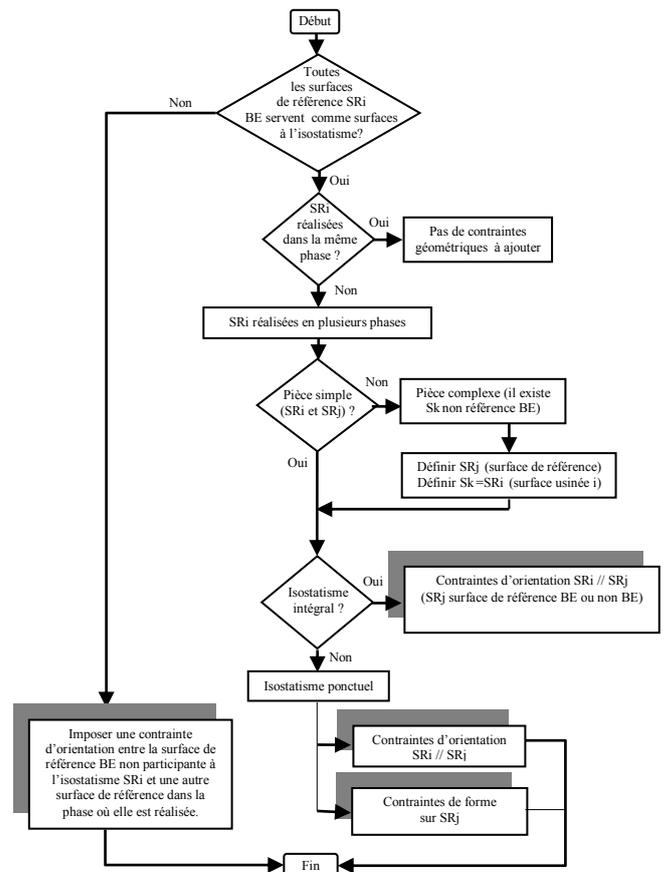


Figure 16 : Organigramme d'ajout des spécifications d'orientation et de forme

Afin d'illustrer ces propos, nous appliquons ces règles à la géométrie intermédiaire de la phase 20 du processus de fabrication initialement prédéfini de la pièce de fraisage (figure 3) et à la géométrie finale de la phase 20 du processus de fabrication de la pièce de tournage (figure 4).

Nous obtenons les résultats suivants :

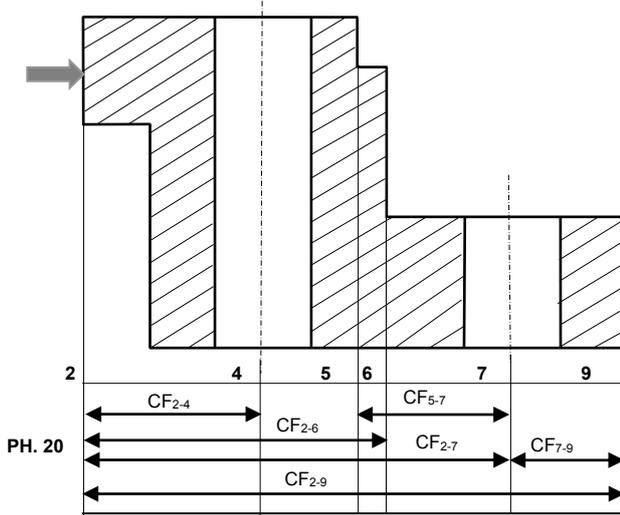


Figure 17 : Géométrie intermédiaire de la phase 20

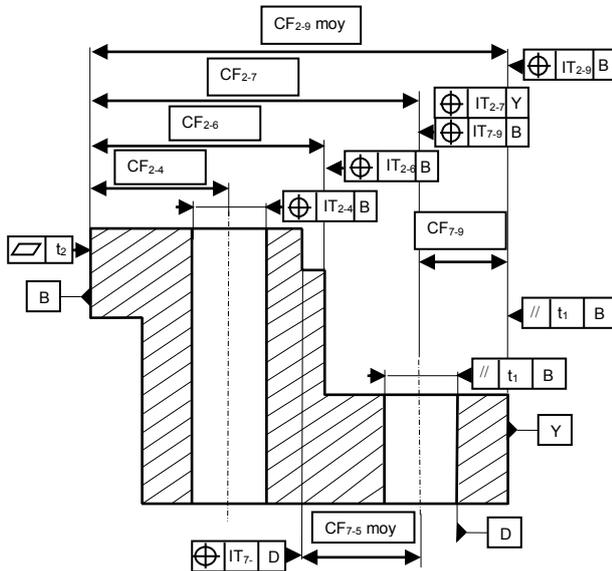


Figure 18 : Dessin de fabrication de la phase 20

Puisque l'isostatisme est ponctuel, alors nous avons ajouté une contrainte d'orientation (parallélisme de t_1) par rapport au plan de référence (surface B) sur les surfaces D et Y, et une contrainte de forme (planéité de t_2) sur le plan de référence (surface B).

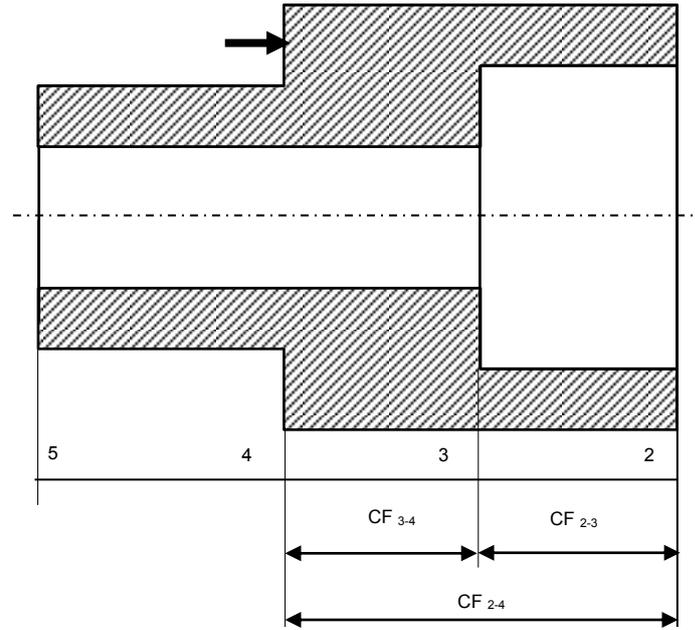


Figure 19 : Géométrie finale de la phase 20

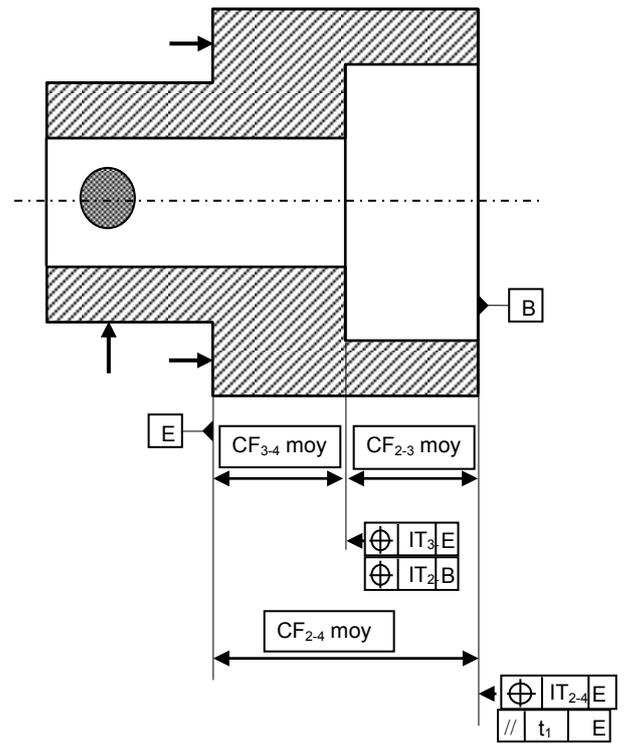


Figure 20 : Dessin de fabrication de la phase 20

Puisque l'isostatisme est intégral, alors nous avons ajouté juste une contrainte d'orientation (parallélisme de t_1) par rapport au plan de référence (surface E) sur la surface B.

3. AUTOMATISATION DE L'INTERFAÇAGE

L'automatisation a été faite sur la base des relations géométriques entre contrainte de localisation et contrainte de parallélisme d'une part, et contrainte de parallélisme et contrainte de forme (planéité) d'une autre part. Tout cela en respectant l'ordre décroissant des tolérances [5], comme l'illustre la figure 21.

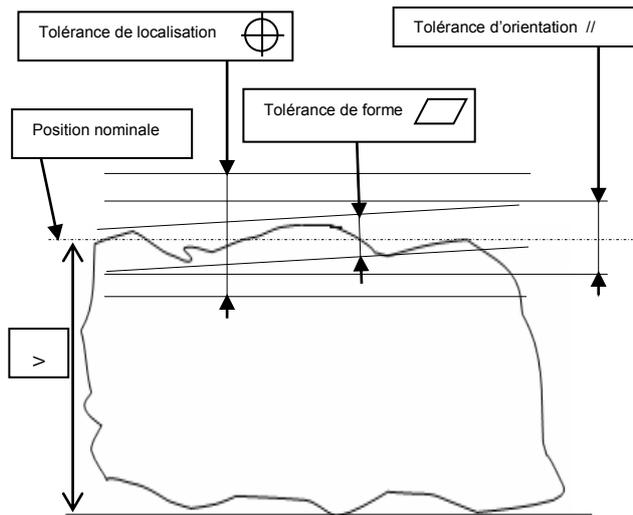


Figure 21 : Ordre des tolérances

3.1. Modélisation

mathématique de l'ajout des spécifications

3.1.1. Spécification d'orientation

Dans le but de faire une approche entre les tolérances de parallélisme et de localisation et en supposant le début de production (les défauts dus à l'usinage des premières pièces sont assez faibles), on peut alors considérer que le défaut de parallélisme (D_p) est suffisamment petit pour qu'il soit contenu dans une zone centrée par rapport au plan médian de localisation. Tout cela en admettant l'hypothèse que le défaut de localisation (D_l) est également assez faible, et qu'il est centré par rapport à ce même plan médian. La figure 22 illustre ces hypothèses.

Sachant que la spécification de localisation est satisfaite si (Anselmetti 2003):

$$\text{Ecart de localisation} \leq \text{tolérance localisation}/2 \quad (1)$$

Sous l'hypothèse de production centrée, donc le plan médian est centré.

Pour que la tolérance de parallélisme soit englobée par la tolérance de localisation, comme l'exige la norme ISO [1101] et comme montré dans la figure 21 (ordre des tolérances) (Anselmetti 2003),

il faut qu'elle soit inférieure ou dans le cas limite égale à celle-ci :

$$\text{Tolérance de parallélisme } (t_1) \leq \text{tolérance de localisation } (t) \quad (2)$$

En prenant le cas limite, on a :

$$\text{Tolérance de parallélisme } (t_1) = \text{tolérance de localisation } (t)$$

Par analogie aux tolérances de la relation (2), si on considère les défauts, on peut écrire :

$$\text{Défaut de parallélisme } (D_p) \leq \text{Défaut de localisation } (D_l) \quad (3)$$

Puisqu'on est en début de production, alors on peut considérer que :

$$\text{Défaut de localisation } (D_l) \leq \text{tolérance de localisation } (t) \quad (4)$$

On peut l'interpréter par la relation suivante :

$$\text{Défaut de localisation } (D_l) = \alpha * \text{tolérance de localisation } (t), \text{ avec } \alpha \leq 1 \quad (5)$$

D'après (3) et en prenant le cas limite, on a :

$$\begin{aligned} \text{Défaut de parallélisme } (D_p) &= \text{Défaut de localisation } (D_l) \\ &= \alpha * \text{tolérance de localisation } (t), \\ &\text{avec } \alpha \leq 1 \end{aligned} \quad (6)$$

Par ailleurs, dans le cas limite le défaut de parallélisme (D_p) est égal à la tolérance de parallélisme (t_1), donc on peut écrire la relation suivante :

$$t_1(//) = \alpha * t(\oplus), \text{ avec } \alpha \leq 1 \quad (7)$$

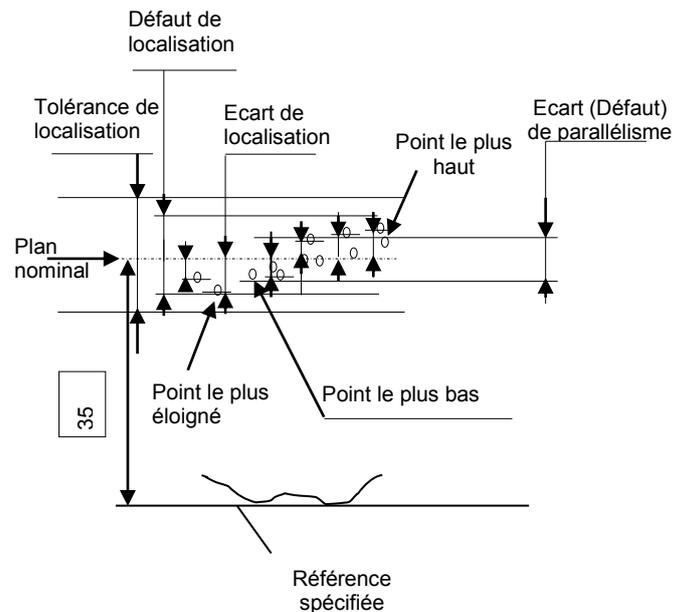


Figure 22 : Relation entre parallélisme et localisation en début de production

En fin de production le cas inverse se présente, les dispersions sont très importantes, alors on peut considérer que le défaut de parallélisme est assez grand c'est-à-dire sensiblement égal à la tolérance de localisation. Nous considérons alors ce défaut centré par rapport au plan médian de localisation. Quant au défaut de localisation, il a également augmenté et par conséquent, nous le considérons égal à la tolérance de localisation. La figure 23 met en évidence ces propos.

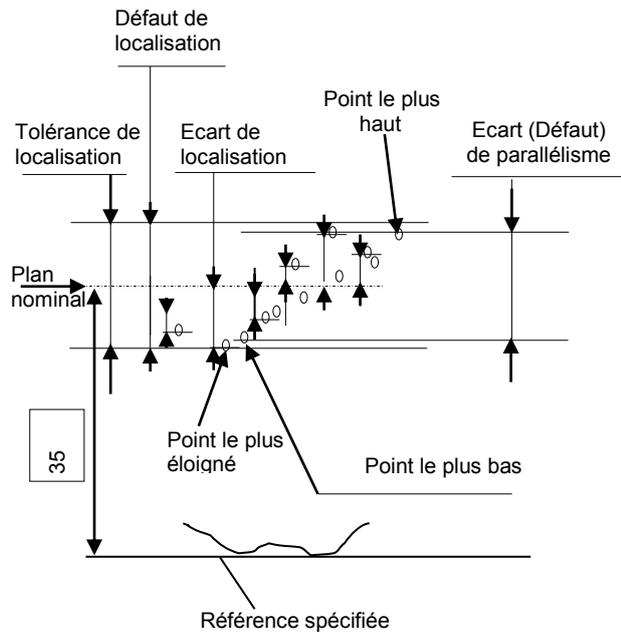


Figure 23 : Relation entre parallélisme et localisation en fin de production

On remarque que l'on peut être dans des cas différents, selon les valeurs de α (avec α strictement comprise entre 0 et 1), l'application de l'un des cas, nous conduit à une étude de fiabilité / productivité, comme l'illustre la figure 24[4].

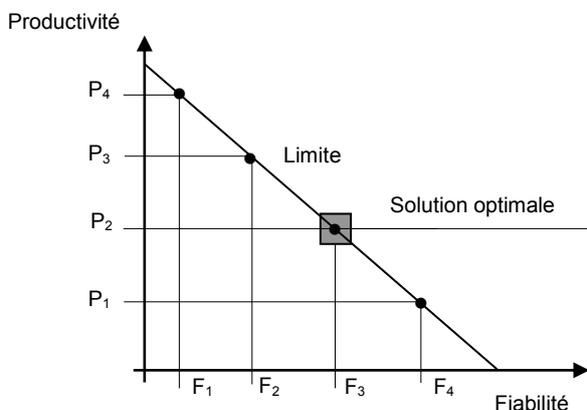


Figure 24 : Diagramme de relation Fiabilité / Productivité

Pour nous simplifier la tâche, on a limité notre étude à quatre valeurs de α , qui sont (0,25 ; 0,5 ; 0,75 et 1).

L'analyse du diagramme (figure 24), montre que si on prend :

- $\alpha = 0,25$; alors on a t_1 (parallélisme) = $0,25 * t$ (localisation), donc on a une très grande fiabilité (F_4) et une très faible productivité (P_1).
- $\alpha = 0,5$; alors on a t_1 (parallélisme) = $0,5 * t$ (localisation), donc on a une bonne fiabilité (F_3) et une bonne productivité (P_2).
- $\alpha = 0,75$; alors on a t_1 (parallélisme) = $0,75 * t$ (localisation), donc on a une fiabilité moyenne (F_2) et une grande productivité (P_3).
- Par contre, si on prend $\alpha = 1$; alors on a t_1 (parallélisme) = t (localisation), donc on a une très grande productivité (P_4) et une très faible fiabilité (F_1).

On a résumé toute cette interprétation dans le tableau 1 :

Tableau 1 : Relation Fiabilité / Productivité

Valeurs de α	Productivité	Fiabilité
$\alpha = 0,25$ (P_1, F_4)	Très faible	Très bonne
$\alpha = 0,5$ (P_2, F_3)	Bonne	Bonne
$\alpha = 0,75$ (P_3, F_2)	Grande	Moyenne
$\alpha = 1$ (P_4, F_1)	Très bonne	Très faible

Lors de la programmation nous allons choisir la solution optimale $\alpha = 0,5$ (la zone grise), elle nous donne une bonne fiabilité (F_3) et une bonne productivité (P_2). Elle est représentée par la relation (8) :

$$t_1(//) = 0,5 * t (\oplus) \quad (8)$$

3.1.2 Spécification d'orientation et de forme

Dans le cas de reprise et que si l'isostatisme est constitué de ponctuelles (exemple butée), alors on ajoute une spécification d'orientation (parallélisme) sur la surface usinée (SR_i), par rapport au référentiel (SR_j) et une contrainte de forme sur le référentiel (SR_j). Ceci pour assurer le « *parallélisme entre les deux plans SR_i et SR_j* ».

La valeur de la tolérance de la contrainte supplémentaire de parallélisme a été calculée en 4.1.1.

La quantification de la contrainte supplémentaire de forme (planéité), nous amène à rechercher la relation entre contrainte de parallélisme et contrainte de planéité.

La tolérance de parallélisme peut englober les tolérances de rectitude et de planéité [6].

D'un autre coté, l'ordre de grandeur des spécifications (figure 21) nous donne l'ordre décroissant des tolérances. En nous basant sur ces deux constats, on a considéré la tolérance de planéité égale à la tolérance de localisation divisée par quatre, comme illustré par la relation (9) suivante :

$$t_2(\square) = 0,25 * t_1(\oplus) \quad (9)$$

3.2 Traduction des CF en spécifications de localisation

La figure 25, illustre l'organigramme de la procédure de traduction des cotes de fabrication (CF) en spécifications de localisation.

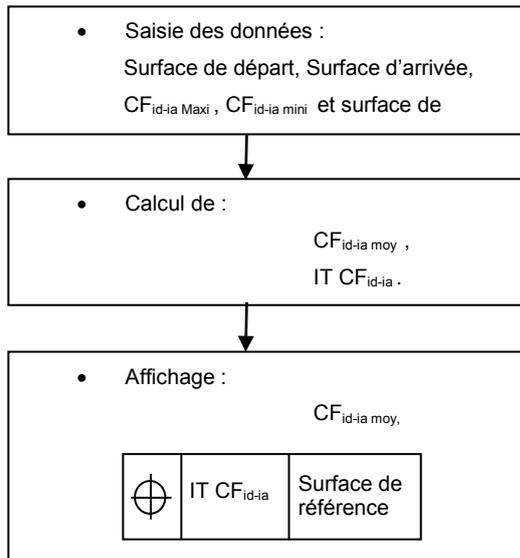


Figure 25 : Organigramme de la procédure de traduction des CF

Le calcul mathématique se fait en deux étapes :

- Etape 1 : Calcul de $CF_{id-ia moy}$

La cote de fabrication $CF_{id-ia moy}$ représente la moyenne arithmétique de $CF_{id-ia Maxi}$ et $CF_{id-ia mini}$, comme le montre l'équation 10.

$$CF_{id-ia moy} = \frac{CF_{id-ia Maxi} + CF_{id-ia mini}}{2} \quad (10)$$

- Etape 2 : Calcul de $IT CF_{id-ia}$

Le calcul de l'intervalle de tolérance $IT CF_{id-ia}$ est établi sur la base de la différence entre $CF_{id-ia Maxi}$ et $CF_{id-ia mini}$ (équation 11).

$$ITCF_{id-ia} = CF_{id-ia Maxi} - CF_{id-ia mini} \quad (11)$$

3.3 Automatisation de l'ajout des spécifications

L'ajout des spécifications de forme et d'orientation va être automatisé selon le cas reprise ou pas de reprise. La figure 26 représente l'organigramme de l'ajout des spécifications.

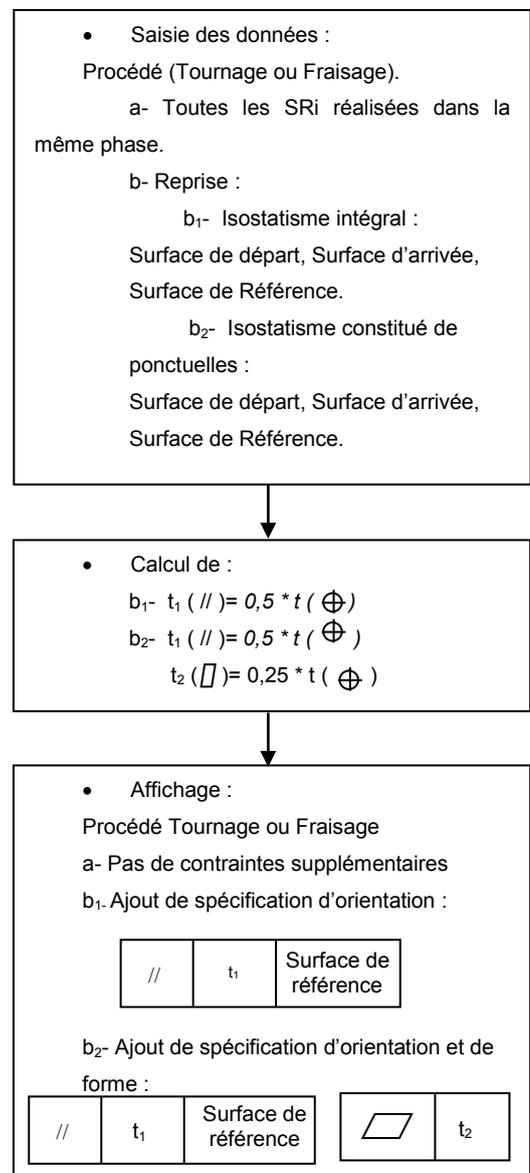


Figure 26 : Organigramme d'ajout des spécifications de forme et d'orientation

5. PROGRAMMATION ET TESTS DE VALIDATION

Un module a été programmé sur la base des organigrammes précédemment donnés. Ce programme est nommé OIRSSN (*Outil d'Interfaçage des Résultats de la Simulation en Spécifications Normalisées*). Il a été programmé sous langage Delphi. Le programme final a été testé sur trois pièces de différentes morphologies (simples et complexes).

Les résultats du traitement automatique concordent avec ceux du traitement manuel. Nous allons appliquer le programme OIRSSN à la pièce de fraisage (figure 3) et à la pièce de tournage (figure 4).

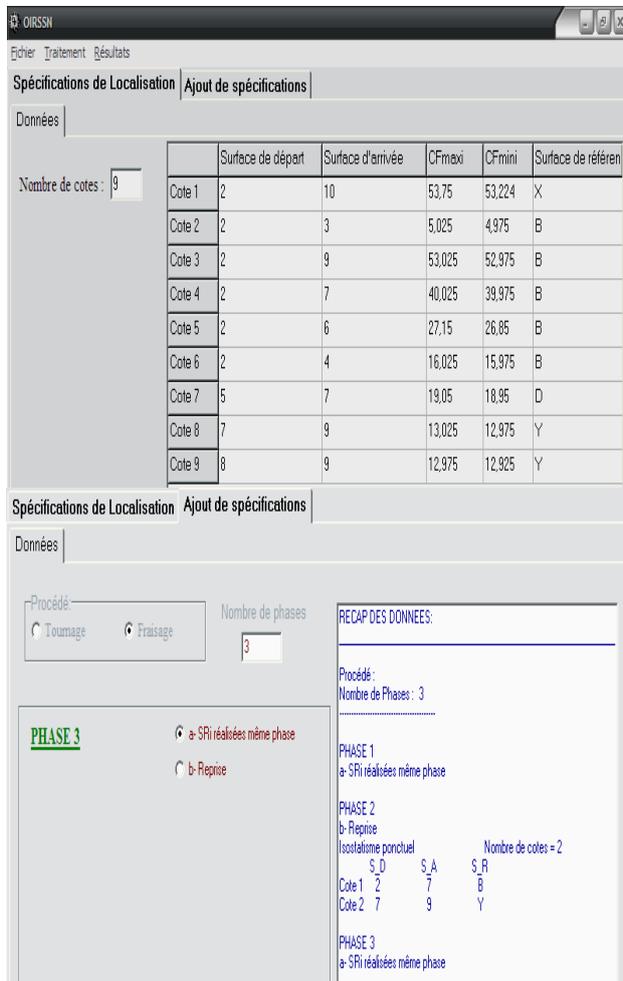


Figure 27 : Fichier de données pour la pièce de fraisage

L'écran de la figure 27, représente le fichier de données de la pièce de fraisage, et l'écran de la figure 28, illustre le fichier des résultats. Ainsi que l'écran de la figure 29, représente le fichier de données de la pièce de tournage, et l'écran de la figure 30, illustre le fichier des résultats.

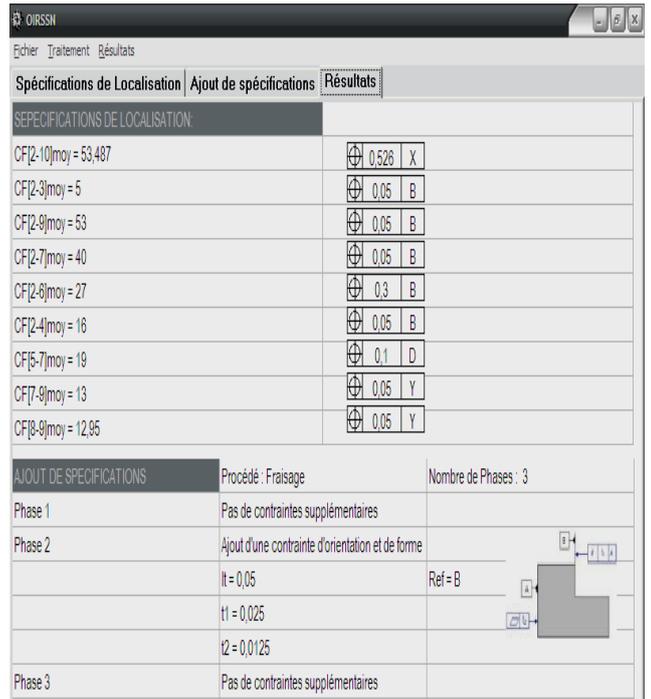


Figure 28 : Fichier des résultats pour la pièce de fraisage

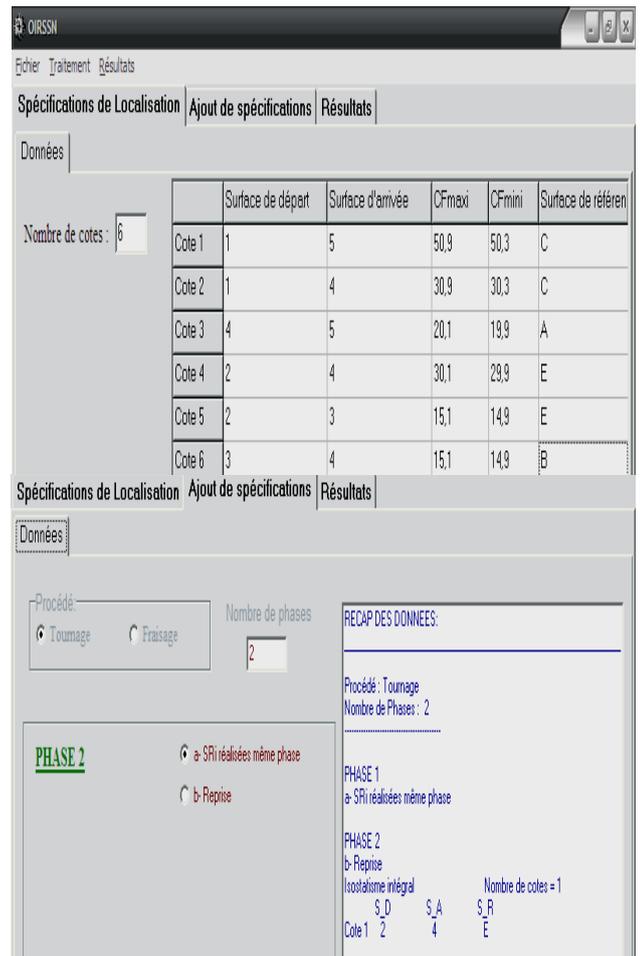


Figure 29 : Fichier de données pour la pièce de tournage

SPEECIFICATIONS DE LOCALISATION		
CF[1-5]moy=50,6	$\oplus 0,6$	C
CF[1-4]moy=30,6	$\oplus 0,6$	C
CF[4-5]moy=20	$\oplus 0,2$	A
CF[2-4]moy=30	$\oplus 0,2$	E
CF[2-3]moy=15	$\oplus 0,2$	E
CF[3-4]moy=15	$\oplus 0,2$	B

AJOUT DE SPECIFICATIONS		
Procédé : Tournage	Nombre de Phases : 2	
Phase 1	Pas de contraintes supplémentaires	
Phase 2	Ajout d'une contrainte d'orientation	
	It=0,2	Ref=E
	t1=0,1	

Figure 30 : Fichier des résultats pour la pièce de tournage

La figure 31 représente le dessin de fabrication de la phase 20 de la pièce de fraiseage, après traitement automatique.

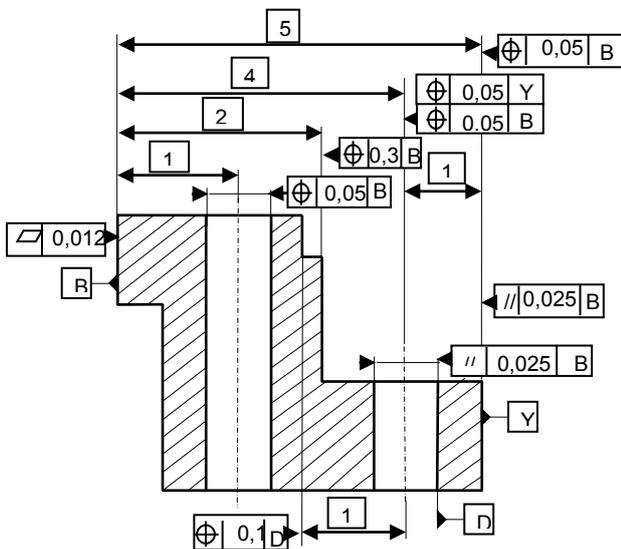


Figure 31 : Dessin de fabrication de la phase 20 de la pièce de fraiseage après traitement automatique

La figure 32 représente le dessin de fabrication de la phase 20 de la pièce de tournage, après traitement automatique.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Cet article montre que le passage du modèle de simulation unidirectionnelle à un modèle défini

suivant le formalisme GPS est possible. Le passage du modèle fonctionnel spécifié en système ISO au modèle de la simulation a été conditionné par certaines hypothèses. Et le passage du modèle équivalent de simulation au modèle géométrique de fabrication a été soldé par la naissance de certaines surcontraintes. Ces dernières sont les résultats d'un raisonnement logique de la mise en position des surfaces de références à l'isostatisme. Le développement de cette interface donc, nous a permis de traduire les résultats de la cotation de la fabrication en système ISO-GPS. Enfin, l'intégration du module OIRSSN, ainsi que le logiciel du tolérancement des cotes de fabrication par la méthode des dispersions [7] dans un logiciel CFAO permet d'avoir automatiquement les dessins de fabrication des différentes phases spécifiés en ISO-GPS comme résultat final.

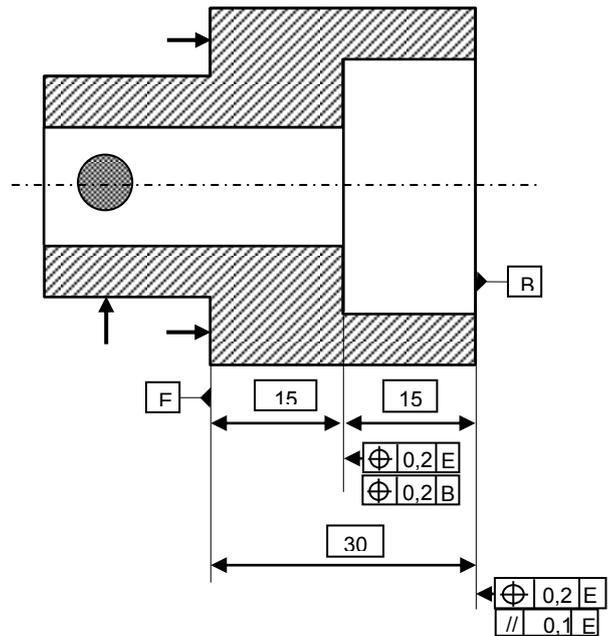


Figure 32 : Dessin de fabrication de la phase 20 de la pièce de tournage après traitement automatique

Notations

Symbole	Désignation
CF	Cote de fabrication
i_d	Surface de départ
i_a	Surface d'arrivée
IT	Intervalle de tolérance
t_1	Contrainte d'orientation (parallélisme)
t_2	Contrainte de forme (planéité)
ISO	International Standard Organisation
GPS	Geometrical Product Specification

REFERENCES

- [1] J.Y. Dantan, "Synthèse des spécifications géométriques : modélisation par Calibre à Mobilités Internes," Thèse de doctorat, Université Bordeaux 1, 2000.
- [2] S. Hamou, "Contribution à l'optimisation de la spécification des états intermédiaires dans le processus de fabrication", Thèse de doctorat, Université de Tlemcen, 2004.
- [3] S. Hamou; D. Moulay-Khatir; F. Hadjoui; J.M Linares, "Interfacing of the Unidirectional Dimensions of Manufacture in Standardized Specifications", Second International Congress Design and Modelling of Mechanical Systems , Tunisia, March 2007, ID-192.
- [4] D. Moulay-Khatir, "Interfaçage du tolérancement de fabrication unidirectionnel en spécifications normalisées", Mémoire de Magister, Université de Tlemcen, 2007.
- [5] B. Anselmetti, "Tolérancement : Langage des normes ISO de cotation", Edition Lavoisier, Tome 1, 2003.
- [6] Barlier, C., and Poulet, B., "Productique mécanique", Edition Casteilla, Paris, 1999.
- [7] S. Hamou; A. Cheikh; J.M. Linares; A. Chikh Daho, "A stochastic concept for the optimization of manufacturing tolerances in computer aided process plan simulation", *International Journal Computer Integrated Manufacturing*, London, October-November 2006, Vol.19, N°7, pp 663-675.