

mémotech

Méthodes et production en usinage

Claude BARLIER
Luc CEPPELLI



casteilla 

extrait

SOMMAIRE

1 Chaîne numérique en conception et fabrication mécanique – CFAO-Simulation



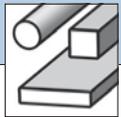
2 La spécification géométrique de produit ISO GPS



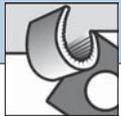
3 Mesure – Contrôle – Qualité



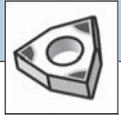
4 Matériaux – Métaux et alliages métalliques



5 Procédés d'usinage
Bases fondamentales de la coupe



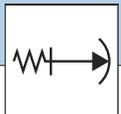
6 Outils – Choix des conditions de coupe



7 Machines-Outils à Commande Numérique (MOCN) – Porte-pièces



8 Préparation des documents de fabrication – Service méthodes



9 Gestion de production



10 Hygiène et sécurité – Maintenance



1. Chaîne numérique en conception et fabrication mécanique – CFAO-Simulation



DONNÉES



Guide de CHOIX

1.1. La chaîne numérique en CFAO.....	10
1.1.1. Définition	10
1.1.2. But recherché de la CFAO	10
1.1.3. La chaîne numérique étendue	12
1.1.4. Description des maillons.....	14
1.1.4.1. Exemple de chaîne	14
1.1.4.2. Maillon CAO : Modèle numérique de la pièce validée par la conception	15
1.1.4.3. Maillon FAO : Préparation méthode-usinage	16
1.1.4.4. Maillon SIMUL : Simulation du programme sur logiciel.	20
1.1.4.5. Maillon MOCN : Réalisation du programme CN	20
1.1.4.6. Maillon MAO : Réalisation du programme de contrôle	22
1.1.4.7. Maillon SIMUL : simulation du programme de contrôle	24
1.1.4.8. Maillon MMT : contrôle de la pièce sur MMT	24
1.1.4.9. Maillon MAO : validation du modèle.....	25
1.1.5. Le PDM (Product Data Management)	25
1.1.5.1. Rôle d'un PDM	25
1.1.5.2. Fonctionnement des logiciels pour le PDM	26
1.1.5.3. Exemple d'application : le PDM dans TopSolid	27
1.1.6. Formats d'échanges en CFAO.....	33
1.1.6.1. Constat	33
1.1.6.2. Les différents formats d'échanges	33
1.1.7. La chaîne numérique et les normes ISO-GPS....	35
1.2. La FAO	37
1.2.1. Rôle de la FAO	37
1.2.2. Exemple d'application : TopSolid'Cam.....	37
1.3. La simulation de l'usinage	49
1.3.1. Intérêt de la simulation.....	49
1.3.2. Différents niveaux de simulation	49
1.4. Liste des principaux éditeurs de CFAO et de simulation.....	51

1.1. La chaîne numérique en CFAO



1.1.1. Définition

Les produits industriels manufacturés sont très majoritairement conçus sur des logiciels de CAO (Conception Assistée par Ordinateur). Certains logiciels incluent les modules de fabrication, on parle alors de logiciels de CFAO (Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur). Parallèlement, le modèle va être contrôlé sur un logiciel de MAO (Mesure Assistée par Ordinateur).

Le modèle numérique issu de la conception va transiter par différents maillons pour aboutir au produit fabriqué. Ces différentes étapes forment la chaîne numérique.

Plus généralement, cette chaîne fait partie de la chaîne numérique du Développement Rapide de Produit (DRP).

En fonction du type d'activité de l'entreprise, les différents maillons de la chaîne seront présents. Cet ouvrage plutôt destiné à la partie méthode ne s'attardera pas sur la partie conception mais traitera plus précisément des maillons méthode, fabrication et contrôle.

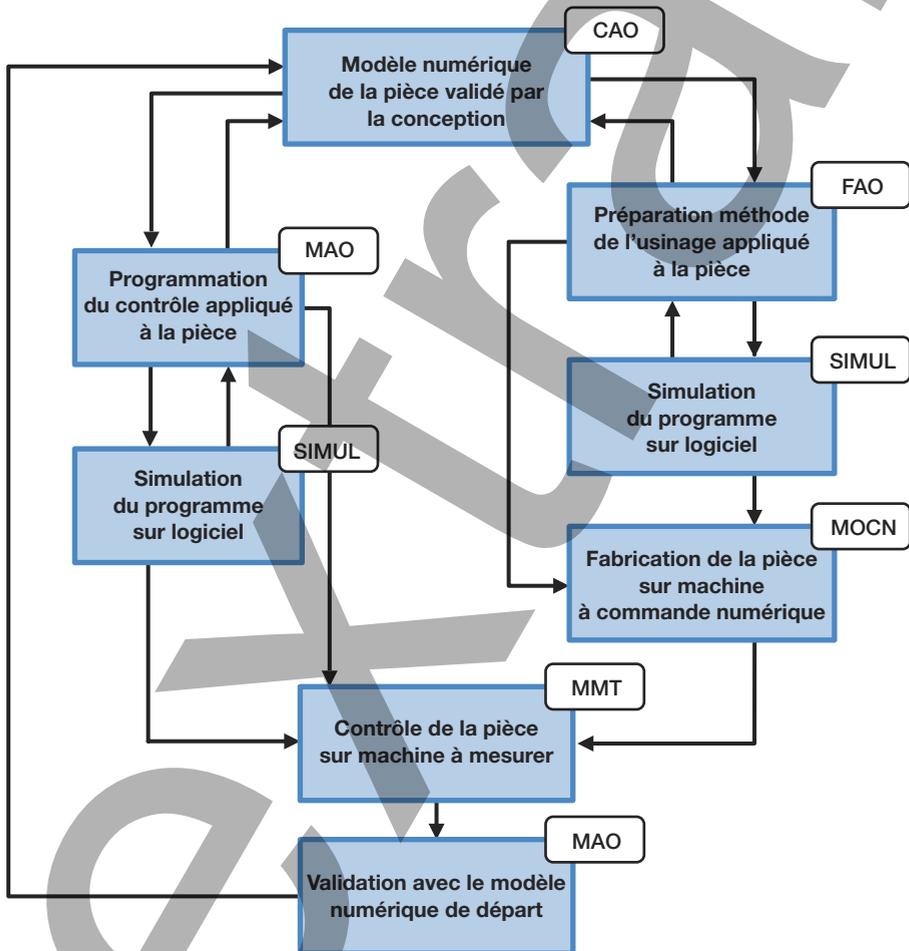


Figure 1 : la chaîne numérique en CFAO

1.1.2. But recherché de la CFAO

Le but d'une chaîne numérique est de pouvoir rapidement récupérer les données du maillon précédent afin de faire évoluer le modèle jusqu'à sa réalisation.

Les transferts entre maillons se font sous forme numérique (fichiers), le but étant de pouvoir récupérer toutes les informations des maillons précédents. L'autre avantage est de pouvoir réaliser toutes les



But recherché de la CFAO (suite)

simulations et les essais sans quitter la maquette numérique. L'idéal est de parvenir à faire remonter les modifications au modèle mère de CAO.

Prenons l'exemple d'un logiciel type de CAO. On va intégrer la chaîne de conception. Pour cela nous partirons du cahier des charges que nous traduirons en données lisibles pour la CAO.

Cas de la conception d'une pompe hydraulique (Pompe TXV de la société HYDRO LEDUC)

- conception de l'assemblage complet
- extraction d'une pièce

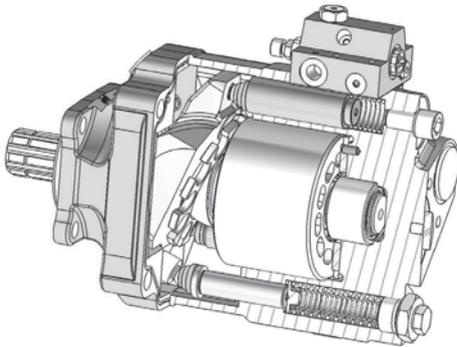


Figure 2 : vue en coupe de la pompe TXV

- calculs de résistance (cas d'une pièce)

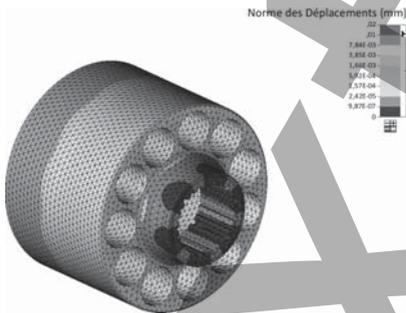


Figure 4 : exemple d'analyse statique du barillet

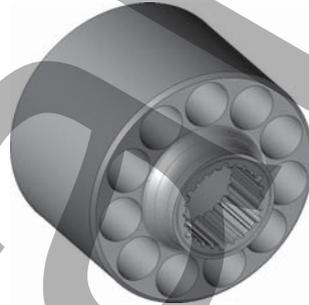


Figure 3 : modèle volumique du barillet

- réalisation du dessin de définition (cas d'une pièce)

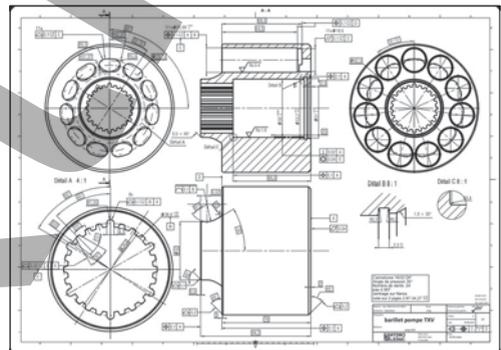


Figure 5 : dessin de définition du barillet

Toutes ces étapes sont intégrées dans les logiciels de CAO. Il faudra simplement veiller aux différents modèles qui pourront être créés (assemblage, pièce, mise en plan, calcul, etc.).

Les modèles qui vont transiter tout au long de la chaîne pourront, selon le modeler, être représentés sous différentes formes :

- Le modèle volumique, sous forme de corps représentatif du volume de la matière. Il peut intégrer les caractéristiques d'un matériau,
- le modèle surfacique. Il sera caractérisé par sa surface que l'on appelle la peau. On ne pourra pas lui appliquer de matériau mais seulement des textures,
- le modèle facétisé, qui sera le résultat d'un maillage, sera utilisé pour les simulations de comportement et pour la réalisation de prototypage rapide. Dans ce cas, le maillage devra donner en plus l'information sur la position de la matière (STL), voire des informations plus avancées (couleur, texture),
- le modèle nuage de points, résultat d'un scanning qui est utilisé en rétro-conception.



But recherché de la CFAO (suite)

Le technicien méthode pourra travailler directement sur les trois premiers modèles, le quatrième nécessitant une reconstruction.

Attention de ne pas confondre le modèle et sa représentation dans l'espace graphique du logiciel.

1.1.3. La chaîne numérique étendue

Le produit va subir tout au long de son cycle de vie des modifications qu'il faudra intégrer dans la chaîne numérique. On utilisera un logiciel de gestion de données qui, d'une façon très résumée, permettra de sécuriser les données, gérer les différentes versions de modèles numériques ainsi que les droits d'utilisation des modèles (voir le fonctionnement du PDM (*Product Data Management*) au paragraphe 1.1.5.

Le maillon supplémentaire est la gestion des différents flux de l'entreprise (voir chapitre 9) :

- les flux physiques (matières, pièces, ressources),
- les flux d'informations (quantités, temps, etc.),
- les données financières (chiffrage, coûts, etc.).

Ce maillon ERP (*Enterprise Resource Planning*) ne s'intègre que partiellement dans la chaîne, le lien principal étant la récupération de la nomenclature.

Les documents gérés par l'ERP viendront en complément des documents techniques mais permettront de gérer l'évolution du temps et des ressources dans la chaîne.

The screenshot displays a software interface with a BOM table and a 3D model. The BOM table is as follows:

Référence	Qté	Unité	Groupe	Désignation	Version S/E	Plan	Indice	Gamme/Production	Version
CAISSON 1815-1	1	U	Pièce Fabriquée	désignation du caisson 1815-1		CAISSON 1815-1			
profilé creux carré 40x3	2	U	Pièce Fabriquée	Encadrement interneus		profilé creux carré 40x3			
profilé creux carré 40x3 1 coupe onglet	2	U	Pièce Fabriquée	encadrement int vertical		profilé creux carré 40x3 1 coupe onglet			
ref profilé creux carré 40x3 2 coupes onglet	1	U	Pièce Fabriquée	encadrement int horizontal		ref profilé creux carré 40x3 2 coupes onglet			
ref profilé car. 50x3 creux	1	U	Pièce Fabriquée	Profites de support		ref profilé car. 50x3 creux			
Ref teleprinc jeb01	1	U	Pièce Fabriquée	tole principale		Ref teleprinc jeb01			
Ref 1119-1	4	U	Pièce Fabriquée	butée 1119-1		Ref 1119-1			
REP11.TOP	1	U	Pièce Fabriquée	rep11		REP11.TOP			
REP19.TOP	2	U	Pièce Fabriquée	rep19		REP19.TOP			
ref 14P230x70x16	2	U	Pièce Fabriquée	Plaque 1 butée 14P230x70x16		ref 14P230x70x16			
PLAT 230x70x16.TOP	1	U	Pièce Fabriquée	Plat 230x70x16		PLAT 230x70x16.TOP			
REP14.TOP	1	U	Pièce Fabriquée	rep14		REP14.TOP			
ref 14P245x70x16-1	2	U	Pièce Fabriquée	Plaque 2 butées 14P245x70x16-1		ref 14P245x70x16-1			
Ref Plat 245x70x16-1	1	U	Pièce Fabriquée	Désignation Plat 245x70x16-1		Ref Plat 245x70x16-1			
REP14.TOP	2	U	Pièce Fabriquée	rep14		REP14.TOP			
REP1.TOP	1	U	Pièce Fabriquée	rep1		REP1.TOP			
REP17SYM.TOP	1	U	Pièce Fabriquée	rep17sym		REP17SYM.TOP			
REP17.TOP	1	U	Pièce Fabriquée	Rep17		REP17.TOP			
REP20.TOP	2	U	Pièce Fabriquée	rep20		REP20.TOP			
REP21.TOP	2	U	Pièce Fabriquée	rep21		REP21.TOP			
REP23.TOP	12	U	Pièce Fabriquée	rep23		REP23.TOP			
REP28.TOP	2	U	Pièce Fabriquée	rep28		REP28.TOP			
REP4.TOP	2	U	Pièce Fabriquée	Rep4		REP4.TOP			
REP5.TOP	2	U	Pièce Fabriquée	rep5		REP5.TOP			
REP6.TOP	2	U	Pièce Fabriquée	Rep6		REP6.TOP			

The 3D model below the table shows a perspective view of the assembly, with various components highlighted in different colors to match the BOM entries.

Figure 6 : exemple de Nomenclature en rapport avec le modèle numérique (TopSolid'Erp)

3.1.6. Le fichier des instruments et des machines de mesure

3.1.6.1. Les instruments coulissants

Les pieds à coulisse (NF EN ISO 13385-1:2011)

Erreurs maximales tolérées : (NF E 11-091:2013)

Les erreurs maximales tolérées G (MPL) sont définies par l'équation fournie ci-après ; les valeurs obtenues doivent être ramenées à deux décimales (0,01 mm). Ces erreurs valent pour des mesurages effectués sans inversion de la force de mesure. Pour tous les autres types de mesurages et ceux exécutés avec la base de mesure de profondeur, les valeurs obtenues doivent être augmentées de 20 µm.

Pieds à coulisse à cadran avec valeur de l'échelon ou du vernier au 0,1 et 0,05 mm :

$$G = (20 + l/10 \text{ mm}) \mu\text{m} \geq 50 \mu\text{m}.$$

Pieds à coulisse à indication analogique (valeur de l'échelon ou sur vernier 0,02 mm) ou numérique :

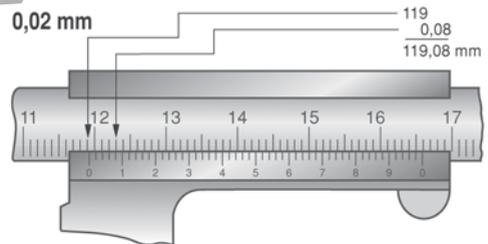
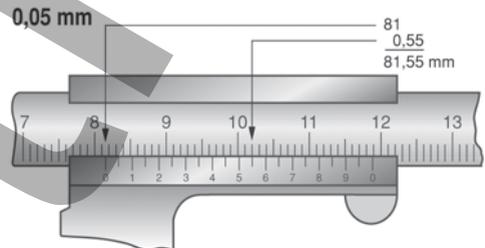
$$G = (22 + l/50 \text{ mm}) \mu\text{m}.$$

Possibilités de mesures



Valeur vernier ou échelon (mm)	0,1-0,05	0,02	0,01
Longueur choisie mm	Erreur mesure µm	Erreur mesure µm	Erreur mesure µm
50			
100	50	20	20
150			
300	50		
400	60	30	30
500	70		
600	80		
700	90		
800	100		
900	110	40	40
1 000	120		
1 200	140		
1 400	160	50	
1 600	180		
1 800	200	60	
2 000	220		

Lecture sur un vernier



Pied à coulisse à vernier (NF E 11-091:2013)

Il existe de nombreuses variantes adaptées à des mesures particulières (voir Figure 18)



Figure 18 : pied à coulisse à vernier standard à becs long à becs d'intérieurs à pointes

Le fichier des instruments et des machines de mesure (suite)

**Pied à coulisse à cadran
(NF E 11-091:2013)**

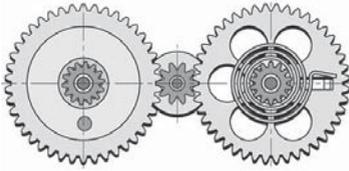
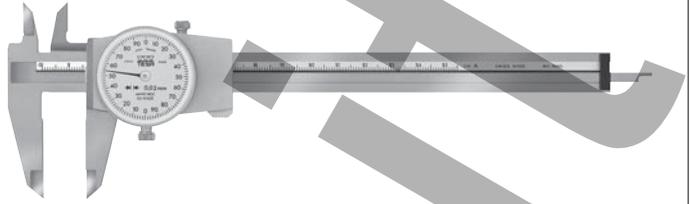


Figure 19 : principe de fonctionnement



Pied à coulisse à affichage digital

L'ambiance de travail d'un atelier impose que l'appareil soit étanche (lubrifiant, graisse), ce qui est le cas des appareils à cadran. Les appareils numériques étanches (IP67) vont remplacer à terme les appareils à cadran.

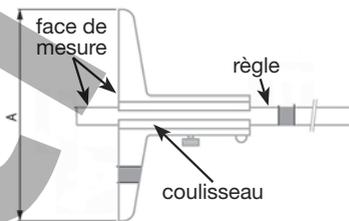


Les jauges de profondeurs

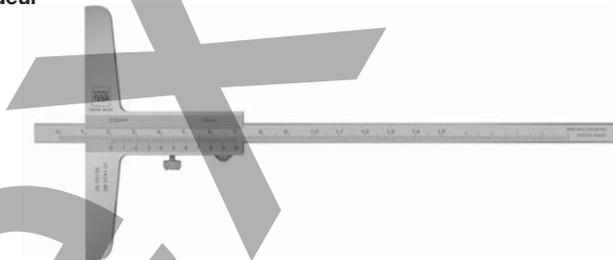
Elles permettent de mesurer des profondeurs ou des hauteurs d'épaulements.

Définition : (NF EN ISO 13385-2: 2011)

Instrument de mesurage qui donne l'évaluation de la quantité dimensionnelle d'un pas ou la profondeur d'un élément correspondant à la distance entre la fin d'une règle et la face d'une base de mesure en fonction du mouvement d'un coulisseau se déplaçant par rapport à une échelle graduée sur une règle fixe.



Les jauges de profondeur à vernier



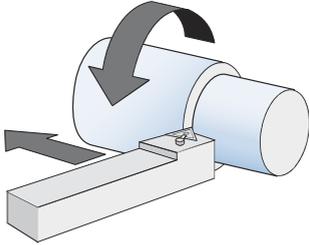
Les jauges de profondeur à affichage digital



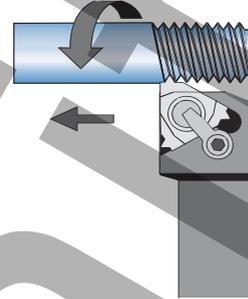


5.1.4. Généralités sur le tournage

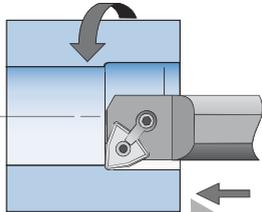
5.1.4.1. Principales opérations en tournage



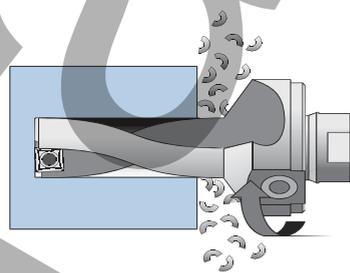
Chariotage



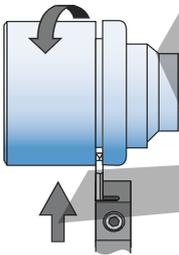
Filetage



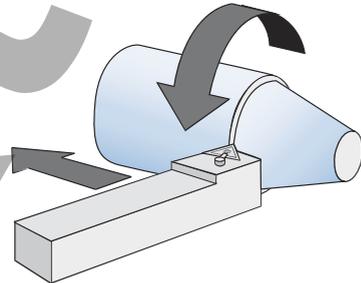
Alésage



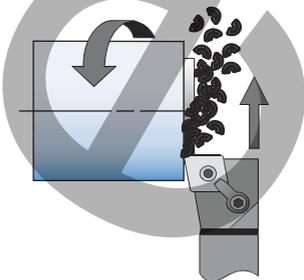
Perçage



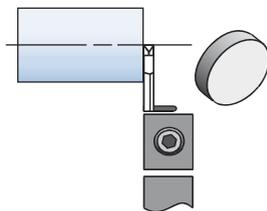
Usinage de gorges



Copiage



Dressage



Tronçonnage



Description d'une machine-outil (suite)



Figure 3 : porte-outil EPB Seco Tools

7.1.2.3. La machine

La machine-outil est composée (voir Figures 4 et 5) :

- d'une structure rigide (bâti de la machine-outil),
- des différentes parties mobiles qui transmettront la puissance,
- d'un pupitre de commande.

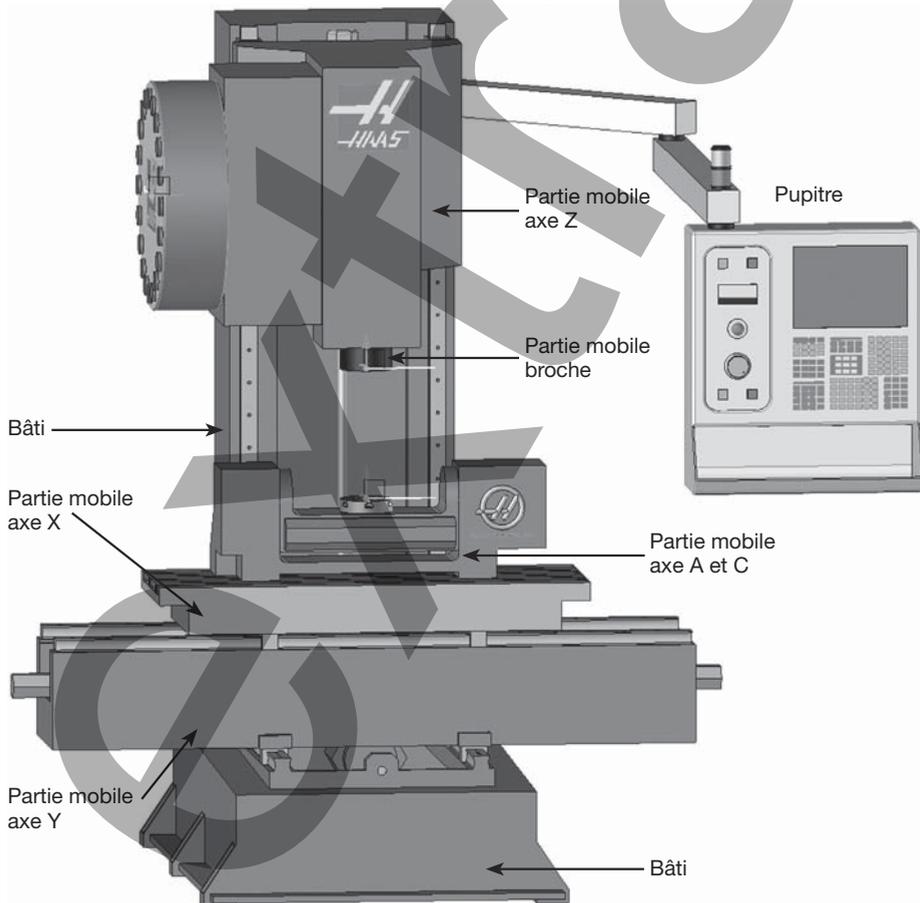


Figure 4 : exemple de machine (centre d'usinage 5 axes VF4 sous TopSolid'Cam)

Remarque : sur la Figure 4, les carters ne sont pas représentés.

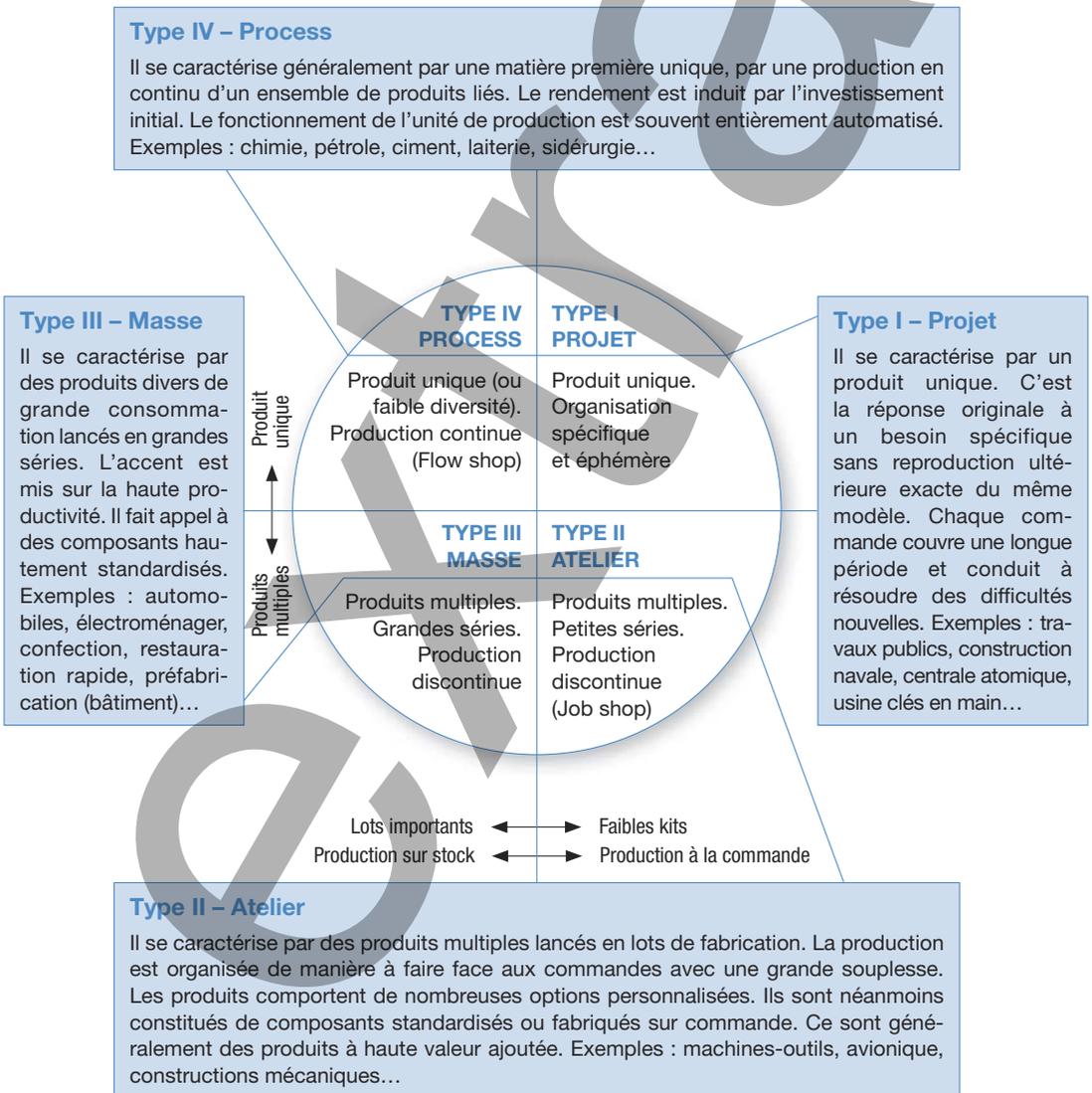
9.1.4. Typologie des systèmes de production

Il est possible de classer les entreprises en fonction des critères suivants :

- degré de complexité des produits (plus ou moins complexe, complexe, très complexe),
- degré de différenciation ou de standardisation des produits (standard, personnalisé, unique, multiple),
- type de flux de production (continu, discontinu),
- type de production (à la commande, sur stock),
- quantité fabriquée et répétitivité (faibles lots, importants, unitaire ou série).

Cet inventaire n'est pas exhaustif, néanmoins il permet de bien cibler et classer la majorité des entreprises. Cette classification est fondamentale car elle conditionne le choix du ou des systèmes de gestion de production à mettre en œuvre.

Typologie de Woodward : c'est une des classifications les plus classiques ; elle fut construite empiriquement par Joan Woodward pour expliquer les différentes organisations des entreprises anglaises.



10.1.1. Le cadre réglementaire de la prévention des risques professionnels dans l'entreprise

10.1.1.1. Le cadre juridique

Les obligations et les droits de l'employeur et du salarié :

- L'obligation pour l'employeur d'assurer la santé et la sécurité des travailleurs (L.230-2, I).
- L'obligation de formation à la sécurité pour les nouveaux embauchés (article L.231-3-1 du Code du travail).

Les obligations de l'employeur concernant les risques professionnels (article L.231-8)

Les autres obligations de l'employeur :

- Le CHSCT (entreprise dont l'effectif est supérieur à 50 salariés).
- Les délégués du personnel (entreprise dont l'effectif est inférieur à 50 salariés).
- Mise en œuvre des principes généraux de prévention des risques professionnels (L.230-2, II)
 - Les 9 principes généraux de prévention.
- L'obligation de procéder à l'évaluation des risques (L.230-2, III).
 - Le document unique.

10.1.2. Les acteurs et organismes de prévention

Les acteurs internes à l'entreprise sont :

- Le chef d'entreprise,
- Les délégués du personnel,
- Le CHSCT (Commission d'Hygiène de Sécurité et des Conditions de Travail),
- Le chargé de prévention ou animateur en santé sécurité,
- Le SST (le Sauveteur Secouriste du Travail), la PRAP (Prévention des Risques liés à l'Activité Physique), HE (Habilitation Électrique).

Les acteurs et organismes externes à l'entreprise sont :

- La CNAMTS (La Caisse Nationale de l'Assurance Maladie des Travailleurs Salariés),
- L'INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité),
- L'Agence Nationale pour l'amélioration des conditions de travail,
- L'inspecteur du travail,
- Le médecin du travail.

10.1.3. La gestion des risques professionnels

L'articulation entre les résultats de l'évaluation des risques et l'élaboration du programme d'actions ne s'opère pas mécaniquement. La mise au point du programme d'actions consiste à rechercher des solutions et à effectuer des choix. Les décisions devront être prises dans le respect des principes généraux de prévention figurant à la suite (article L.230-2, II).

10.1.3.1. L'évaluation des risques : le document unique

Ce document a pour but de recenser les résultats de l'évaluation des risques pour la sécurité et la santé des employés :

- Il correspond à un inventaire des risques identifiés dans chaque unité de travail.
- Il peut se présenter sous la forme papier ou numérique.
- Il doit être mis à jour une fois par an ou dans le cas de changement d'aménagement ainsi que lors de l'acquisition de nouvelles unités.

mémotech

Le Mémotech « *Méthodes et production en usinage* » est une refonte complète de l'ouvrage Mémotech « *Génie mécanique* » qui a fait l'objet de plusieurs éditions depuis 1993.

Ouvrage de synthèse, conforme aux dernières normes en vigueur, il propose des notions de base, des démarches, des guides de choix, des exemples industriels et des données utiles au bureau des méthodes pour la préparation et la mise en œuvre de la fabrication d'une pièce par usinage.

La chaîne numérique pour l'entreprise, arête dorsale de cet ouvrage, est centrée sur le produit fabriqué et utilise les outils de CFAO, de gestion de la donnée technique (PDM) ainsi que ceux de la gestion des flux de l'entreprise (ERP). Un chapitre original positionne la Spécification Géométrique des Produits (ISO-GPS) au cœur de la chaîne numérique.

Le chapitre Mesure, Contrôle et Qualité insiste sur les incertitudes et met en avant l'intégration des appareils de mesure dans la chaîne numérique, particulièrement pour la mesure sans contact des spécifications géométriques et la rugosité 3D. La partie qualité, liée aux normes ISO 9000 - 2008, démontre l'importance d'un système qualité et présente quelques outils utilisés dans la méthode 6 Sigmas.

Au cœur de l'ouvrage, plusieurs chapitres présentent les matériaux et Groupes Matière Usinages associés, les procédés d'usinage et les bases fondamentales de la coupe, le choix des outils et des conditions de coupe, les MOCN et les porte-pièces.

Une partie importante « service méthode » met l'accent sur le lien entre « le modèle produit concepteur » et le « modèle produit méthode » en s'appuyant sur un nouveau document de fabrication normalisé contractuel, le « contrat de la phase ».

La partie gestion de production présente des méthodes totalement intégrées au sein des progiciels d'ERP mais aussi en lien avec la chaîne numérique. Une place a été faite aux notions d'hygiène et sécurité ainsi qu'à la maintenance.

Le Mémotech « *méthodes et production en usinage* » a été réalisé en étroite collaboration avec les industriels, éditeurs de logiciels, fabricants de matériaux et d'outils et à partir de l'expertise des grands usiniers et centres de recherche en usinage. Il est un auxiliaire précieux pour les enseignants, étudiants et apprentis en technologie mais aussi pour les ingénieurs et techniciens de l'industrie.

ISBN : 978-2-7135-3546-8
ISSN : 0986-4024



9 782713 535468