

# TP1

## Morphologie et Architecture des MMT

---

### I. Objectifs

L'étudiant devra être capable de :

- Comprendre la technologie des machines à mesurer tridimensionnelle
- Identifier les différents constituants de la machine MMT disponible à l'ISET
- Caractériser la morphologie et l'architecture de la machine disponible.

### II. Les Machines à mesurer tridimensionnelles

Les moyens de mesure classiques sont aujourd'hui complétés par les techniques de mesure tridimensionnelles qui permettent d'accéder à la géométrie des pièces complexes avec une grande précision et une grande rapidité.

#### II.1. Constitution d'une MMT

Une machine à mesurer tridimensionnelle est constituée de 4 sous-ensembles distincts:

- La structure de déplacement
- Le système de palpation
- Le système électronique
- Le système informatique et le pupitre de commande

##### ***a. La structure de déplacement***

Elle comprend 3 guidages en translation orthogonaux deux à deux notés X, Y et Z. Ces guidages, sans jeu ni frottements, permettent d'atteindre tous les points d'un volume parallélépipédique.

##### ***b. Le système de palpation***

Son rôle est de détecter le contact entre le stylet et la pièce et, à cet instant, d'envoyer une impulsion au système électronique pour qu'il lise les coordonnées du point de contact sur les systèmes de mesure.

##### ***c. Le système électronique***

Il a plusieurs fonctions essentielles :

- Recevoir les impulsions de contact en provenance de la tête de palp
- Envoyer les ordres de lecture sur les 3 systèmes de mesure au moment du contact
- Recevoir du système informatique les ordres de mouvement pour la commande des moteurs d'axes (Machines à CN)
- Gérer les sécurités telles que pression d'air mini sur les patins aérostatiques, fins de courses des mouvements etc.

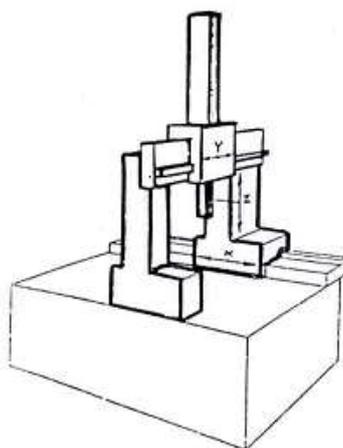
***d. Le système informatique et le pupitre de commande***

- Acquisition et mise en mémoire des gammes de contrôle des pièces
- Exécution des gammes de contrôle
- Traitement des informations et édition des résultats
- Logiciel conversationnel permettant l'utilisation de la machine

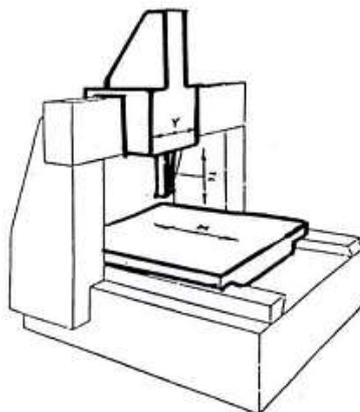
**II.2. Les types de machines**

***a. Morphologie***

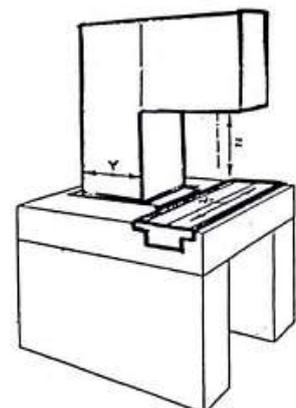
Il en existe de différents types qui sont fonction de la morphologie des pièces à mesurer, des précisions à atteindre, de la facilité d'utilisation, etc.



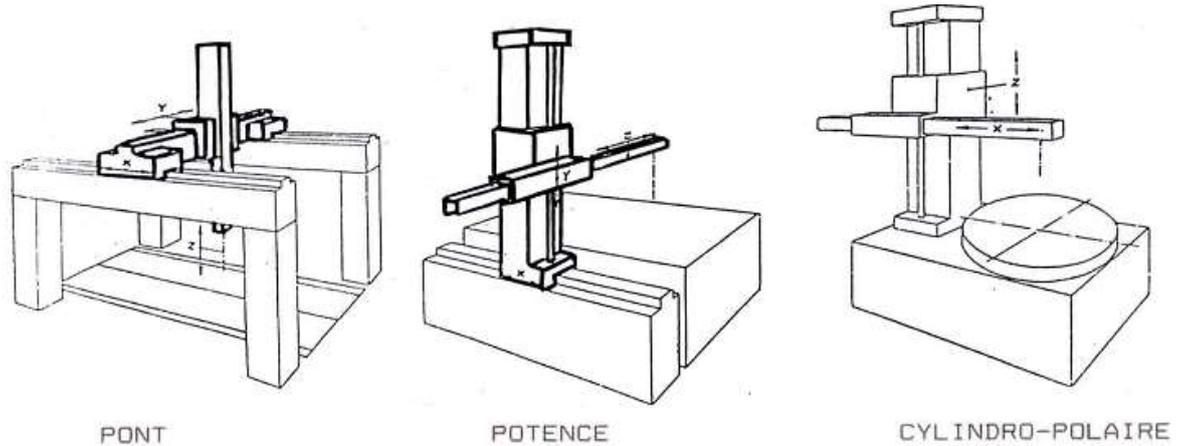
PORTIQUE



PORTIQUE FIXE



COL DE CYGNE



### ***b. Différents types de commandes***

#### Machines Manuelles

C'est l'opérateur qui déplace le palpeur

- Pas de sauvegarde du programme
- La présence de l'opérateur est nécessaire pour chaque palpation
- Incertitudes de mesurage importantes
- Machines de petites dimensions

#### Machines Motorisées

L'opérateur commande les déplacements par l'intermédiaire de manettes de pilotage, mais la vitesse de déplacement est asservie en mode palpation.

- Plus faible influence de l'opérateur
- Pas de limites en dimensions

#### Machines à Commande Numérique

Les axes de déplacement sont asservis en vitesse et position.

La pièce est modélisée par des éléments géométriques calculés à partir des points palpés.

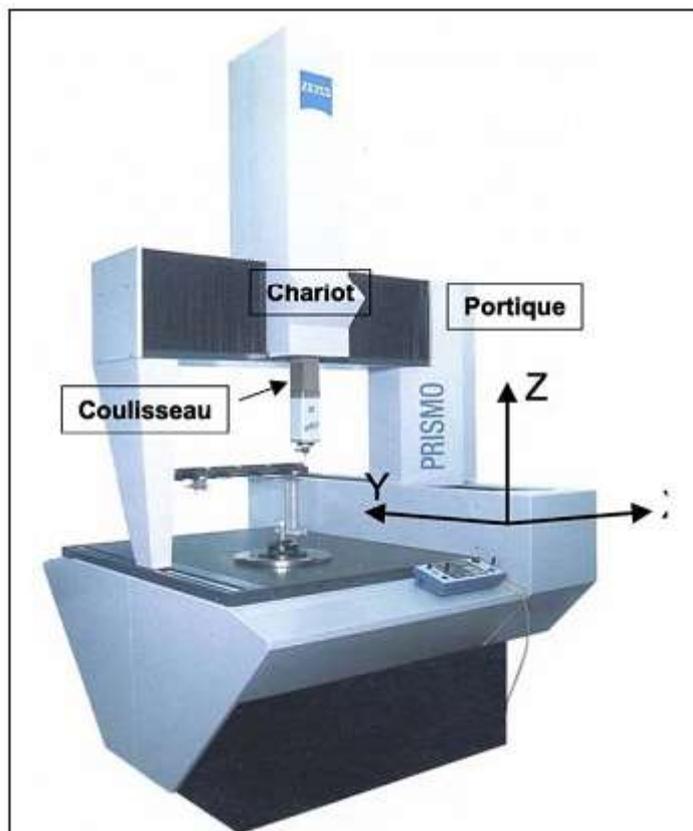
- L'écriture d'une gamme C.N. nécessite la définition d'un repère associé à la pièce
- L'exécution d'une gamme ne nécessite plus la présence d'un opérateur
- La précision de palpation ne dépend plus de l'opérateur
- Le choix de la position des points palpés sur la surface n'est fait qu'une seule fois lors de l'apprentissage ou à l'aide d'un logiciel de FAO.

### II.3. Architecture

La fonction de la structure d'une machine à mesurer tridimensionnelle (MMT) est de mettre en place un système de palpation vis-à-vis d'une pièce à mesurer et de repérer « précisément » le système de palpation dans l'espace.

Les efforts de travail sont de l'ordre de quelques dixièmes de Newton, ce qui permet d'optimiser la qualité métrologique de la machine au détriment de la raideur et de l'amortissement de la structure (dans certaines limites), ce qui explique que l'architecture et la technologie des machines à mesurer soient très différentes de celles des machines-outils.

Sur la Figure, on voit une machine à mesurer dite « à portique ». Cette architecture est de loin la plus courante dans l'industrie mécanique, en dehors du monde de la carrosserie automobile qui est équipée de machines dites « à bras sortant »



#### a. Machine à portique

En termes de vocabulaire concernant les différentes parties constituant la machine, on distingue :

- le mobile portant le palpeur: c'est « le coulisseau » ou « la pinole ». Son déplacement est vertical et peut être noté Z
- le mobile qui porte l'axe Z : c'est «le chariot ». Son déplacement est horizontal et peut être noté Y

- le mobile qui porte les axes Y et Z : c'est « le portique ». Son déplacement est horizontal et peut être noté X. L'orientation des axes est normalement choisie de manière à constituer un repère dextrogyre.



Cette structure en portique et ses variantes, en particulier le portique fixe montré en Figure, ont démontré une réelle capacité à constituer des machines efficaces et de haut niveau métrologique grâce à la rigidité et à la stabilité du cadre fermé ou de la poussée centrale proposée par Zeiss. Cette structure est essentiellement celle des laboratoires de métrologie mécaniques.

### **b. Machine à bras sortant**



Les machines à bras sortant sont très courantes dans l'industrie automobile en métrologie des carrosseries. La structure de ces machines est très ouverte et ressemble à celle des colonnes de mesure en métrologie au marbre. Sur l'image de droite de la Figure, on se rend compte des volumes utiles possibles.

Le principal inconvénient de ces machines tient à la déformation de la colonne verticale liée à la position de la poutre horizontale qui porte le palpeur. Il est clair que cette structure est limitée en termes de qualité métrologique à des incertitudes de un à quelques centièmes de millimètres, voire plus.

### **c. Machine cantilever**

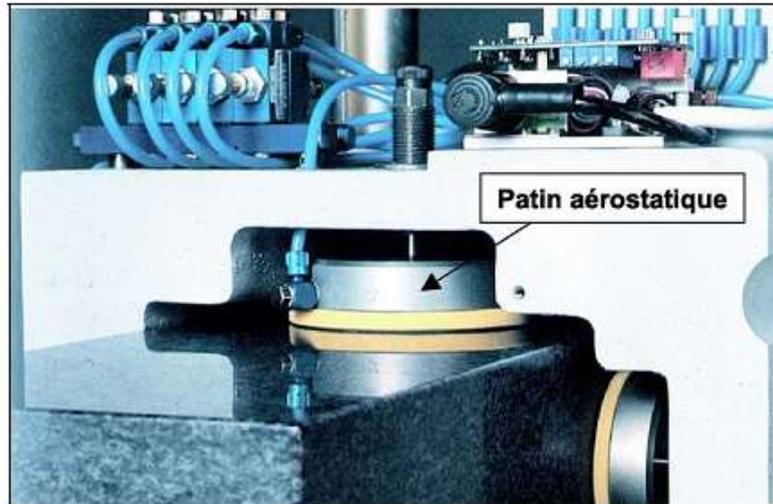


La structure cantilever est moins courante que la structure portique mais elle permet un accès facile et une position de travail agréable.

La qualité métrologique de la machine est délicate à maîtriser et cette structure n'est pas vraiment adaptée pour un grand volume.

## II.4. Guidages aérostatiques

Les guidages des machines à mesurer sont (dans une large majorité) réalisés à partir d'un composant appelé « patin aérostatique » (cf. Figure 5).



Fondamentalement, l'idée consiste à injecter de l'air comprimé entre deux surfaces pour créer un film sous pression. Ce film sous pression tend à séparer les surfaces, ce qui supprime tout contact et donc tout frottement. En pratique, les patins aérostatiques sont généralement de section circulaire et alimentés avec une pression de l'ordre de 4 à 5 bars relatifs. La hauteur de vol est le résultat d'un compromis. Si cette hauteur est trop forte la raideur est mauvaise, si la hauteur est trop faible les éléments sont trop difficiles à réaliser. Le compromis s'est établi entre 5  $\mu\text{m}$  et 10  $\mu\text{m}$  selon les constructeurs.

On voit clairement sur la figure que le patin sur la surface de granit poli réalise un appui plan. On sait qu'un appui plan bloque la translation selon la normale au plan et deux rotations selon des directions orthogonales à cette normale. On monte le patin sur une rotule. La rotule bloque les trois translations mais laisse libre les trois rotations autour de son centre.

Globalement, la superposition de ces deux éléments forme un appui ponctuel. Cela signifie que l'ensemble constitué du patin et de la rotule se comporte comme un point posé sur la surface. Le grand avantage de cette construction soignée est l'absence de contact. Ce type de composant a, théoriquement, une durée de vie infinie.

Pour réaliser un guidage complet, on place trois patins aérostatiques (c'est-à-dire l'équivalent de trois points) pour former un plan, et deux patins pour former une ligne ; on réalise ainsi un posage qui laisse libre le mouvement dans une direction. Pour qu'un patin aérostatique fonctionne bien, il faut que la charge à laquelle il est soumis soit bien choisie pour obtenir la hauteur de vol décrite ci-dessus. C'est la raison pour laquelle on réalise une précontrainte des patins par l'intermédiaire de patins montés sur des ressorts souples.

## II.5. Technologie des palpeurs par contact

### ***a. Palpage par contact***

L'idée du palpation universel par contact est simple: il s'agit de détecter la mise en contact d'une bille sur la pièce pour repérer un point sur la surface. Le choix de la valeur de l'effort de contact résulte d'un compromis entre un effort suffisamment important pour garantir la réalité du contact et un effort suffisamment faible pour éviter des déformations excessives. Les valeurs pratiques se situent entre 0,1N et quelques 0,1N. Le diamètre des billes couramment utilisées est situé entre 1 et 8 mm.

### ***b. Palpeur par contact dynamique***

La mesure à la volée consiste à faire fonctionner le palpeur comme un interrupteur basculant au moment précis où la touche de stylet vient au contact de la pièce. Pendant cette phase de travail, la machine doit présenter une vitesse de déplacement constante qui peut être de l'ordre de 0.5 à 1 mètre par minute. Une vitesse constante correspond à une accélération nulle et donc normalement à des effets nuls des inerties des mobiles.

La MMT (machine à mesurer tridimensionnelle) se trouve donc, théoriquement, dans le même état de déformation qu'à l'arrêt. En pratique, les problèmes sont plus complexes (vibrations, effets des entraînements). Du point de vue technologique, le palpeur le plus simple est dit « à déclenchement ». Il est conçu à partir d'une liaison dite « de Boys », qui est une réalisation axisymétrique d'un positionnement isostatique basée sur six appuis ponctuels regroupés par deux.

Les groupes de deux appuis sont disposés sur un cercle et à 120 degrés les uns des autres. Le solide mis en position est constitué d'une étoile à trois branches à 120 degrés posée sur les six appuis.

Le stylet est fixé à l'étoile à 120 degrés. L'ensemble constitue un solide posé sur les six points de contact. Au moment du contact entre la pièce et la touche, on passe brutalement d'une situation isostatique à une situation hyperstatique à sept points de contact. L'étoile à trois branches tend à se déplacer et l'un au moins des six points de contact de la liaison de Boys tend à décoller. Pour détecter ce décollement, une solution simple consiste à placer en série électrique les six points de contact. Au moment du contact, la résistance du circuit augmente brutalement. Une électronique à seuil déclenche pour une valeur de résistance choisie à l'avance.

Le système décrit ci-dessus n'est pas viable sans un ressort exerçant sur l'étoile à trois branches un effort constant pour garantir un bon comportement des contacts électriques. Il faut également maîtriser l'effort au contact entre la touche et la pièce, et que les accélérations nécessaires pour déplacer la machine entre deux points de mesure ne provoquent pas de déclenchements intempestifs. Ce ressort est tarable en fonction de la géométrie du stylet mis en place.

Le réglage est réalisé en accostant un capteur d'effort pour mesurer l'effort de contact dans une direction perpendiculaire à la direction du stylet.

**c. Palpage par contact statique**

Dans le cas du palpage statique (cf. Figure), la bille est posée sur la pièce et la machine à mesurer s'arrête.

En l'absence de frottement (en première approximation), l'effort au contact bille-pièce est normal à la matière. Il s'agit de contrôler cet effort (ordre de grandeur pratique entre 0.1N et 0.4N environ) tout en mesurant la position de la tête avec une incertitude de l'ordre de 0,1 µm.

Un parallélogramme flexible réalise, pour de faibles déflexions, un guidage linéaire sans jeu et sans frottement. Un système de lecture de déplacement (transformateur différentiel ou petite règle) mesure le déplacement du guidage. Un système de génération actif (électroaimant) ou passif (ressort) d'effort génère la composante de l'effort de contact parallèle à la direction du guidage. Cet ensemble constitue un palpeur unidirectionnel. Il « suffit » de superposer trois palpeurs unidimensionnels pour constituer une véritable petite machine à mesurer.

La course de travail de ces palpeurs est de l'ordre de 100 à 300 micromètres. La course de sécurité est de l'ordre de ± 3 millimètres à ± 5 millimètres en fonction des constructeurs.

<b>Différentes méthodes de palpage</b>		
	<b>Principaux avantages</b>	<b>Principales limitations</b>
<b>Palpeurs à contact</b> - mesurants	- Précision (surtout à basse vitesse) - Convient aux applications de contrôle de forme et de numérisation (scanning)	- Coût - Nécessité de compenser les erreurs dynamiques - Encombrement - Peu adaptés aux matériaux déformables - Peu adaptés aux mesures dans des endroits difficiles d'accès - Nombre limité de configurations de stylets
- à déclenchement	- Rapidité - Robustesse - Compacité - Flexibilité (nombreuses configurations de stylets) - Convient à la prise rapide de points discrets	- Peu adaptés aux matériaux déformables - Peu adaptés aux mesures dans des endroits difficiles d'accès
<b>Palpeurs sans contact</b> (caméra CCD, palpeur laser, etc.)	- Rapidité - Possibilité de réaliser des mesures dans des endroits inaccessibles aux palpeurs à contact - Mesures sur des matériaux déformables, numérisation à grande vitesse de surfaces gauches	- Précision limitée - Sensibilité à l'état de surface des pièces (pour les palpeurs laser)

Nom et Prénom : .....

Nom et Prénom : .....

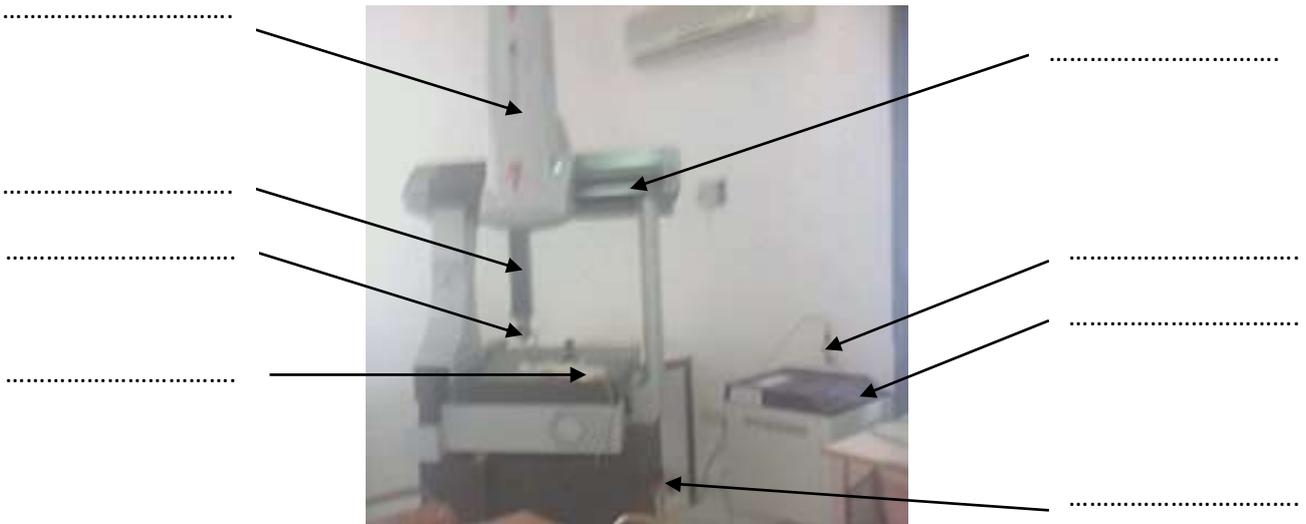
Nom et Prénom : .....

Groupe : .....

### Travail demandé

On considère la machine disponible à l'ISET et on demande de la caractériser en répondant à questions suivantes :

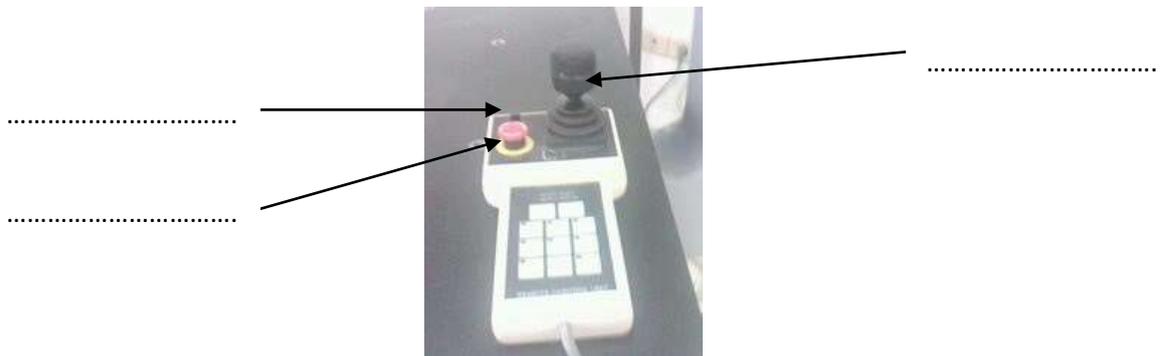
1. Quelle est la morphologie de la machine ?  
.....
2. Quel est son type de commande ?  
.....
3. Identifier les différents composants de la machine.



.....

		
.....	.....	.....
<b>Rôle</b> ..... .....	<b>Rôle</b> ..... .....	<b>Rôle</b> ..... .....
		
.....	.....	.....
<b>Rôle</b> ..... .....	<b>Rôle</b> ..... .....	<b>Rôle</b> ..... .....

4. On considère le pupitre de commande et on vous demande d'identifier les différents composants constitutifs



5. On vous demande de lister les boutons du pupitre de commande et d'indiquer leurs fonctions

Bouton	Fonction

6. De quoi a-t-on besoin pour que le serveur soit prêt « Server Ready »  
 .....  
 .....
7. Dans quel domaine sont utilisées les machines à bras sortant de façon importante ?  
 .....
8. Quelle est l'autre désignation des machines à bras sortant.  
 .....
9. Quelle est l'autre désignation des machines en col de cygne.  
 .....
10. Y-a-il frottement lors du déplacement du coulisseau et du chariot. Expliquer.  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....
11. Quelle est la technologie source de la haute précision des machines MMT.  
 .....
12. Quel est le type de palpation de la machine ?  
 .....
13. Expliquer la codification du système de palpation ?  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....

14. Expliquer la procédure d'étalonnage du palpeur.

.....

.....

.....

.....

15. Indiquer les axes de la machine sur la figure



16. On vous demande d'identifier les différents composants constitutifs de la tête de palpation

