

" Classification des technologies de numérisation 3D"

Pierre Bourdet
Professeur Émérite à l'ENS de Cachan

Systemes de Numérisation 3D

Très grande diversité de systèmes de mesure par coordonnées

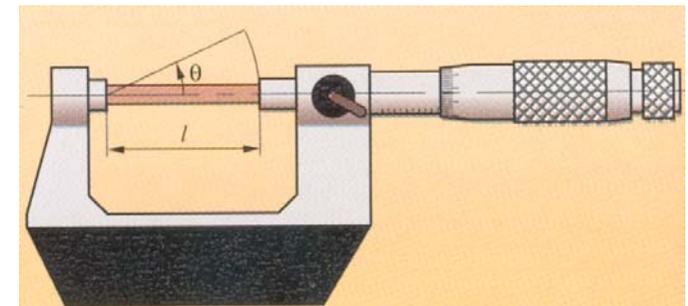
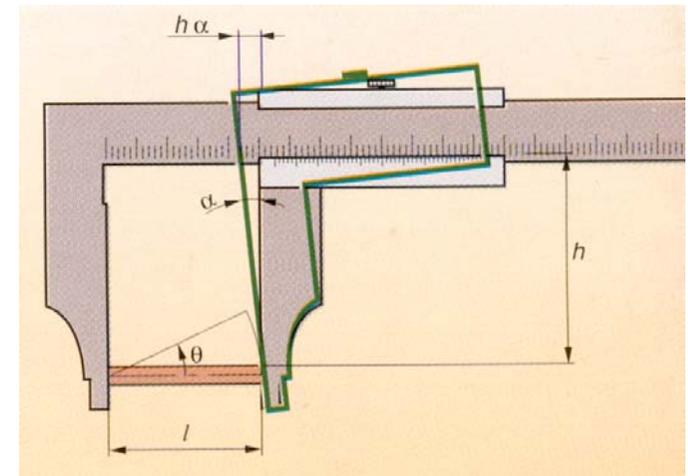
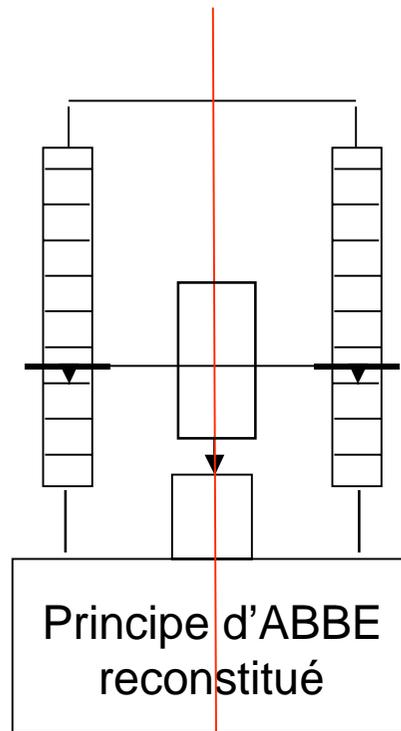
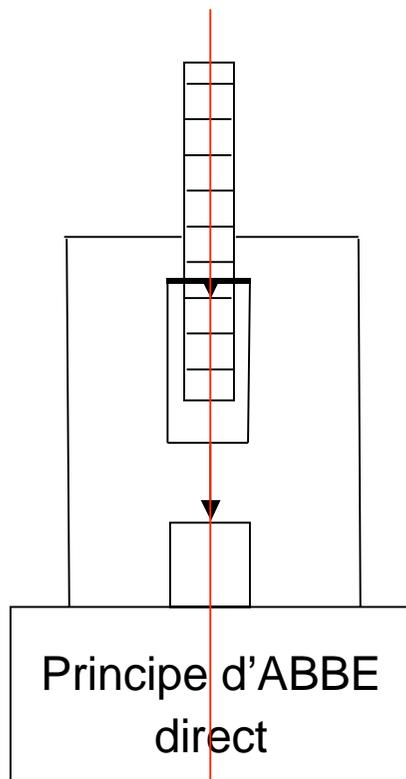
Les critères de choix et de performance :

- ✓ Dimension des objets mesurés
- ✓ Formes connues (métrologie contrôle) - inconnues (rétro-conception)
- ✓ Niveau de détail de la forme : densité de points
- ✓ Quelles grandeurs mesurées avec quelle tolérance
- ✓ Exactitude (étalonnage)
- ✓ Répétabilité
- ✓ Accessibilité des surfaces (externes, internes)
- ✓ Environnement
- ✓ Rapidité de préparation, d'acquisition et de traitement
- ✓ Coût
- ✓ Etc ...

Systemes de Numérisation 3D

Respect du principe d'Abbe

Pour mesurer une longueur en bénéficiant de toute la précision requise de la règle de mesure, il faut placer la longueur dans le prolongement de la règle de mesure



Documents de Jean-Marie David et Thierry Coorevits

Systemes de Numérisation 3D

Avec contact d'un palpeur lié à une chaîne de mesure mécanique

Palpeur rigide *	Palpeur à déclenchement dynamique *	Palpeur à mesure statique *	Palpeur mesurant *	Palpeur à fibre optique *
------------------	-------------------------------------	-----------------------------	--------------------	---------------------------

Sans contact d'une cible optique projetée ou posée sur la surface

<i>Triangulation</i>	<i>Axiale</i>	<i>Imagerie</i>
Capteur à faisceau laser *	Interférométrie laser *	Tomographie *
Lumière structurée	Télémétrie par temps de vol *	
Photogrammétrie	Chromatique *	
Par cibles actives (GPS)	Mise au point optique	

Chaîne de mesure mécanique

Guider et mesurer le déplacement relatif palpeur - objet



1 translations

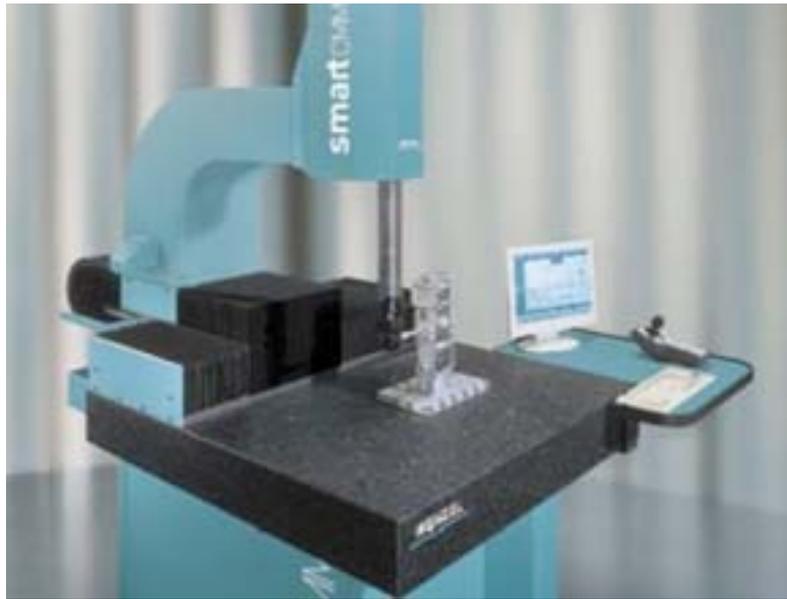


1 rotation - 1 translation

Chaîne de mesure mécanique

Guider et mesurer le déplacement relatif palpeur - objet

Col de cygne



Portique



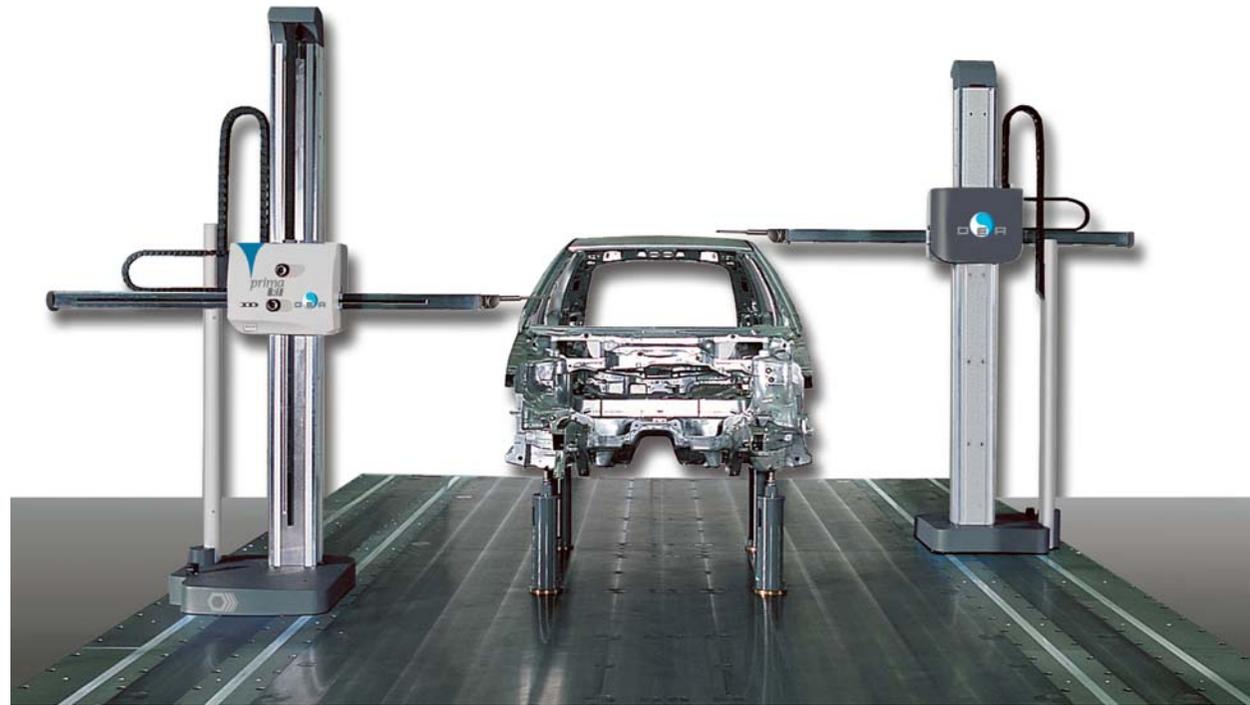
3 translations orthogonales

Chaîne de mesure mécanique

Guider et mesurer le déplacement relatif palpeur - objet



Portique



À bras

3 translations orthogonales

Chaîne de mesure mécanique

Guider et mesurer le déplacement relatif palpeur - objet



Cylindro-polaire

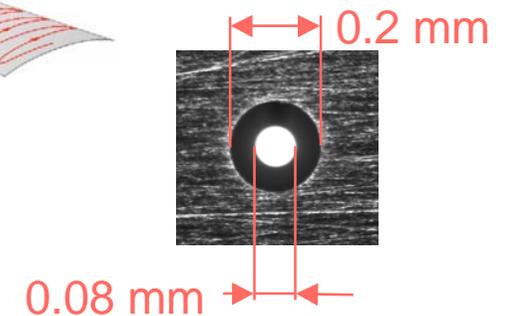
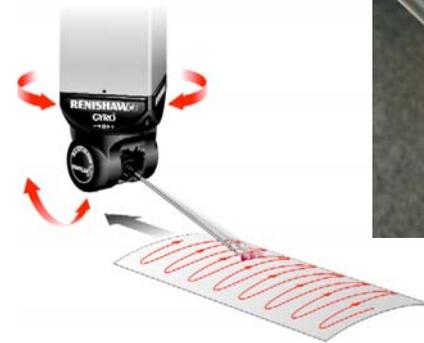


Bras articulé

Types de palpeur

Avec contact d'un palpeur lié à une chaîne de mesure mécanique

Palpeur rigide *	Palpeur à déclenchement dynamique *	Palpeur à mesure statique *	Palpeur mesurant *	Palpeur à fibre optique *
------------------	-------------------------------------	-----------------------------	--------------------	---------------------------



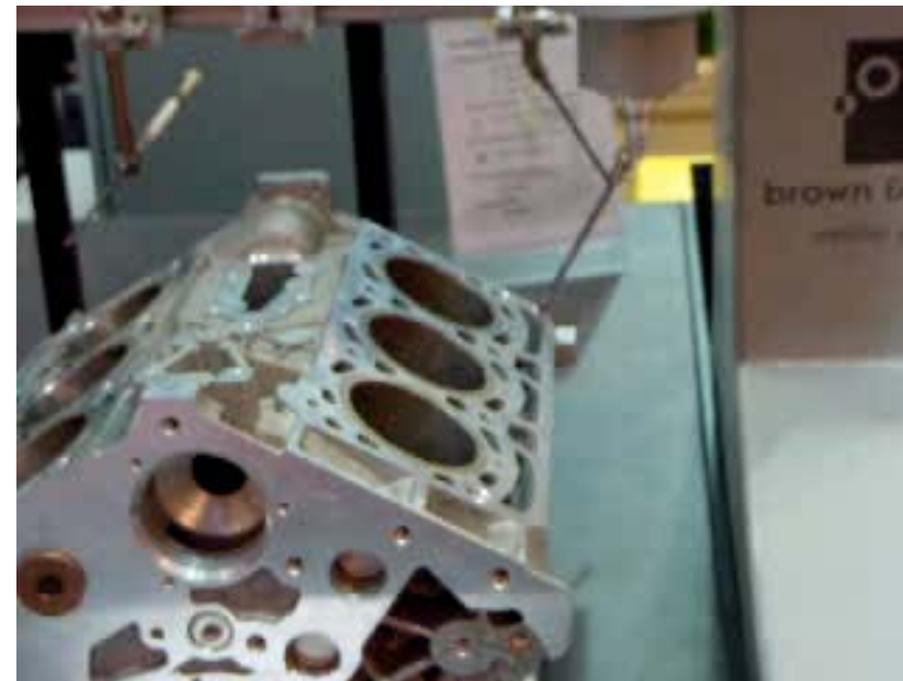
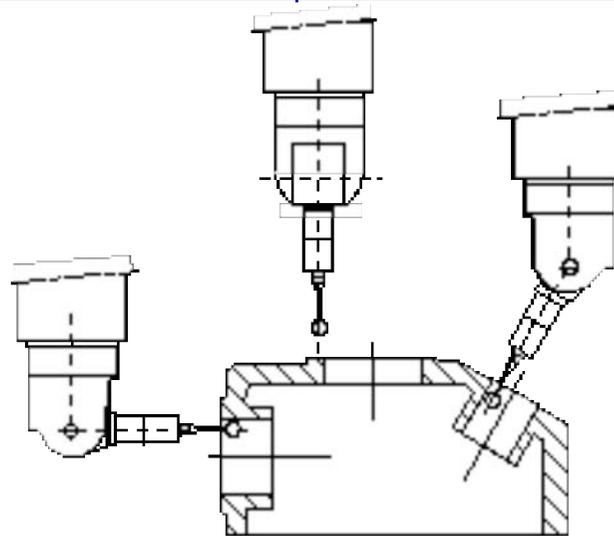
Types de palpeur

Palpeur rigide *	Palpeur à déclenchement dynamique *	Palpeur à mesure statique *	Palpeur mesurant *	Palpeur à fibre optique *
------------------	-------------------------------------	-----------------------------	--------------------	---------------------------



Types de palpeur

Palpeur rigide *	Palpeur à déclenchement dynamique *	Palpeur à mesure statique *	Palpeur mesurant *	Palpeur à fibre optique *
------------------	-------------------------------------	-----------------------------	--------------------	---------------------------



Types de palpeur

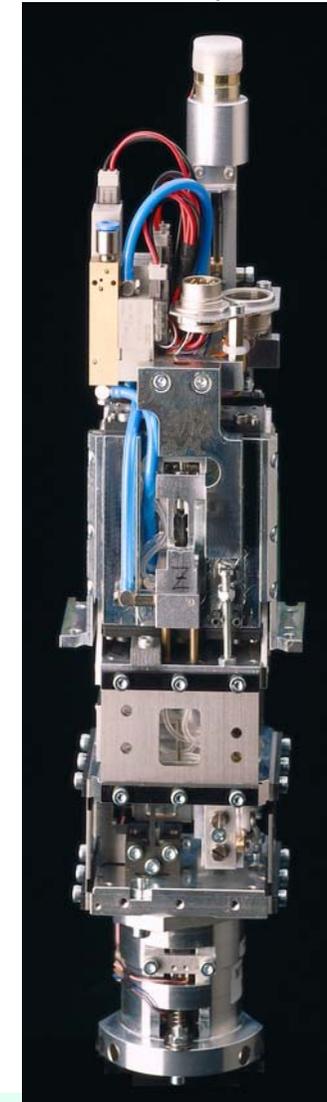
Palpeur rigide *

Palpeur à déclenchement dynamique *

Palpeur à mesure statique *

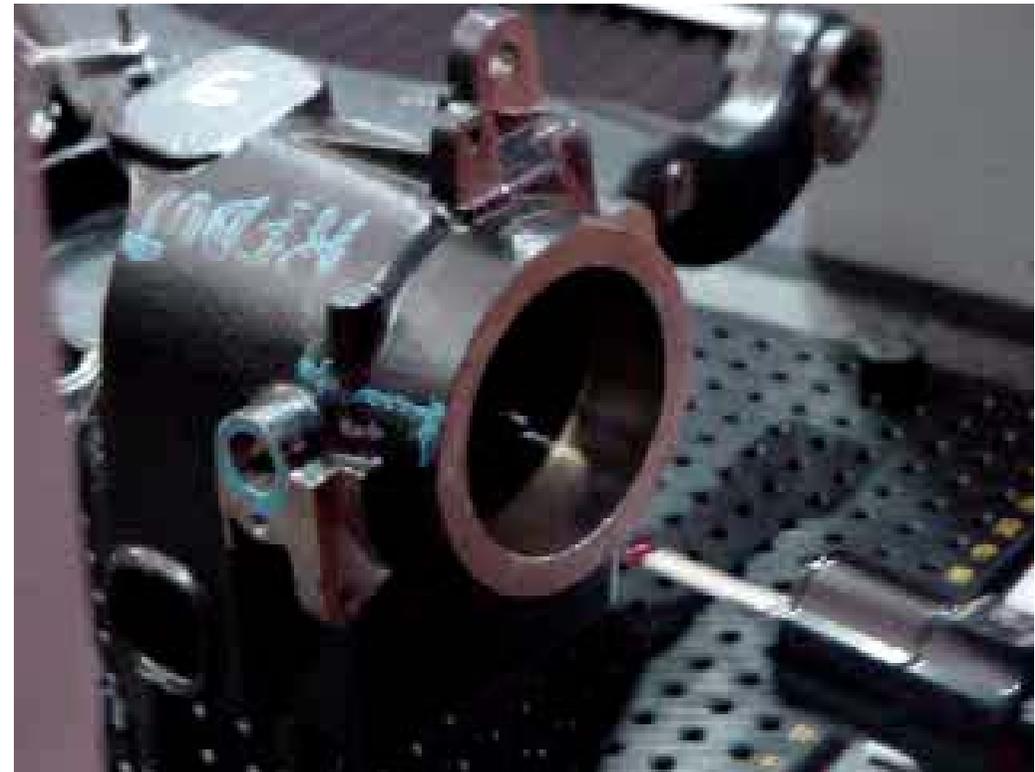
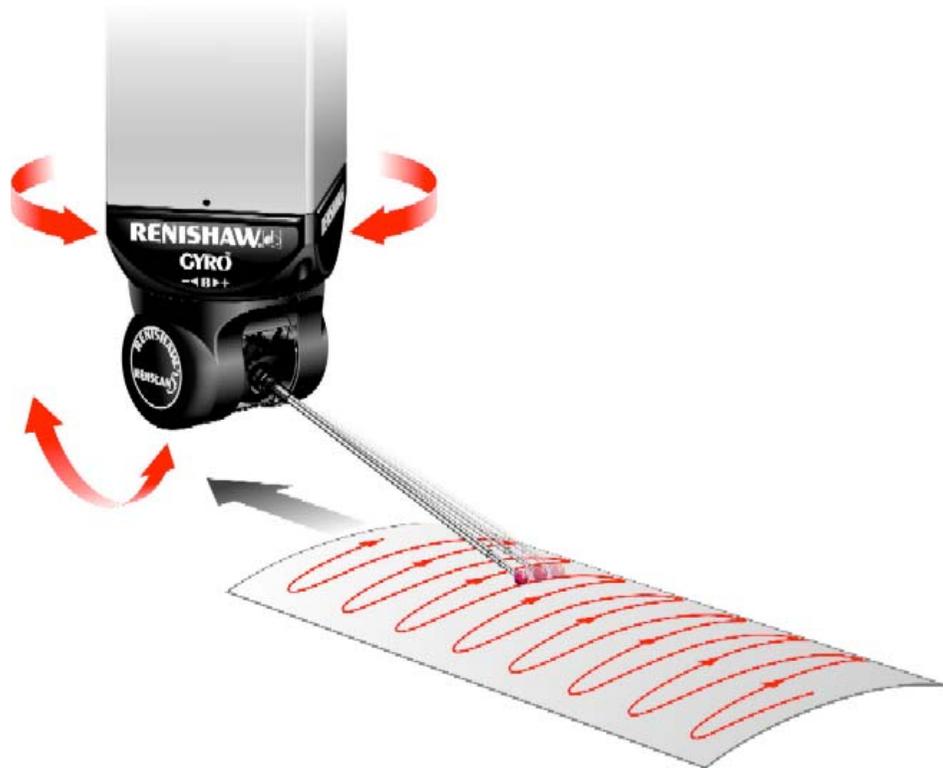
Palpeur mesurant *

Palpeur à fibre optique *



Types de palpeur

Palpeur rigide *	Palpeur à déclenchement dynamique *	Palpeur à mesure statique *	Palpeur mesurant *	Palpeur à fibre optique *
------------------	-------------------------------------	-----------------------------	--------------------	---------------------------



Mesure par balayage de la surface

Types de palpeur

Palpeur rigide *	Palpeur à déclenchement dynamique *	Palpeur à mesure statique *	Palpeur mesurant *	Palpeur à fibre optique *
------------------	-------------------------------------	-----------------------------	--------------------	---------------------------



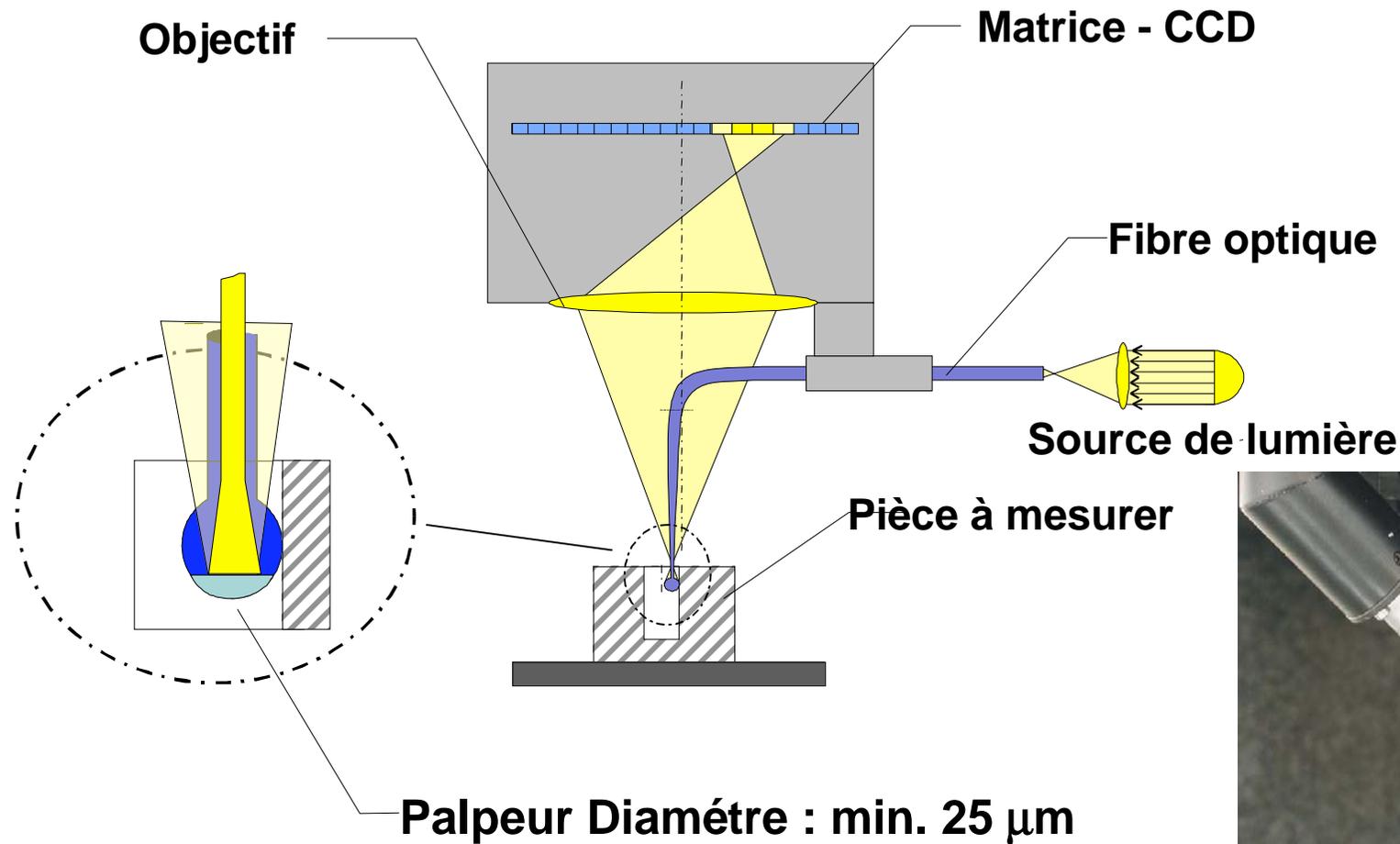
Profil (états de surface)



Cylindricité

Types de palpeur

Palpeur rigide *	Palpeur à déclenchement dynamique *	Palpeur à mesure statique *	Palpeur mesurant *	Palpeur à fibre optique *
------------------	-------------------------------------	-----------------------------	--------------------	---------------------------



Systemes de Numérisation 3D

Sans contact d'une cible optique projetée ou posée sur la surface

<i>Triangulation</i>	<i>Axiale</i>	<i>Imagerie</i>
Capteur à faisceau laser *	Interférométrie laser *	Tomographie *
Lumière structurée	Télémétrie par temps de vol *	
Photogrammétrie	Chromatique *	
Par cibles actives (GPS)	Mise au point optique	

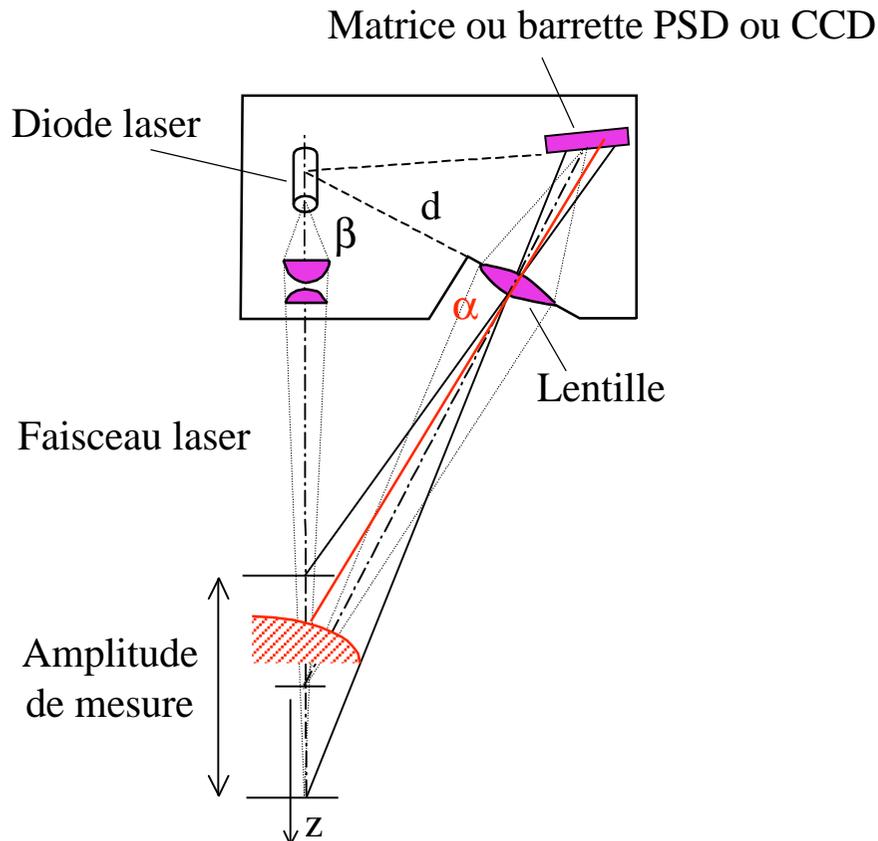
Mesures optiques - Par triangulation

Capteur à faisceau laser

Lumière structurée

Photogrammétrie

Par cibles actives (GPS)



d et β sont des constantes du capteur

Angle α mesuré (déduit des coordonnées de la matrice CCD)

Par triangulation on définit, dans un repère lié au capteur, la coordonnée z du point

Le faisceau laser peut être :

- une ligne (point d'intersection avec la surface)
- un plan (ligne d'intersection avec la surface)

Pour définir une forme 3D, nécessité de déplacer la ligne ou le plan laser par rapport à l'objet.

Mesures optiques - Par triangulation

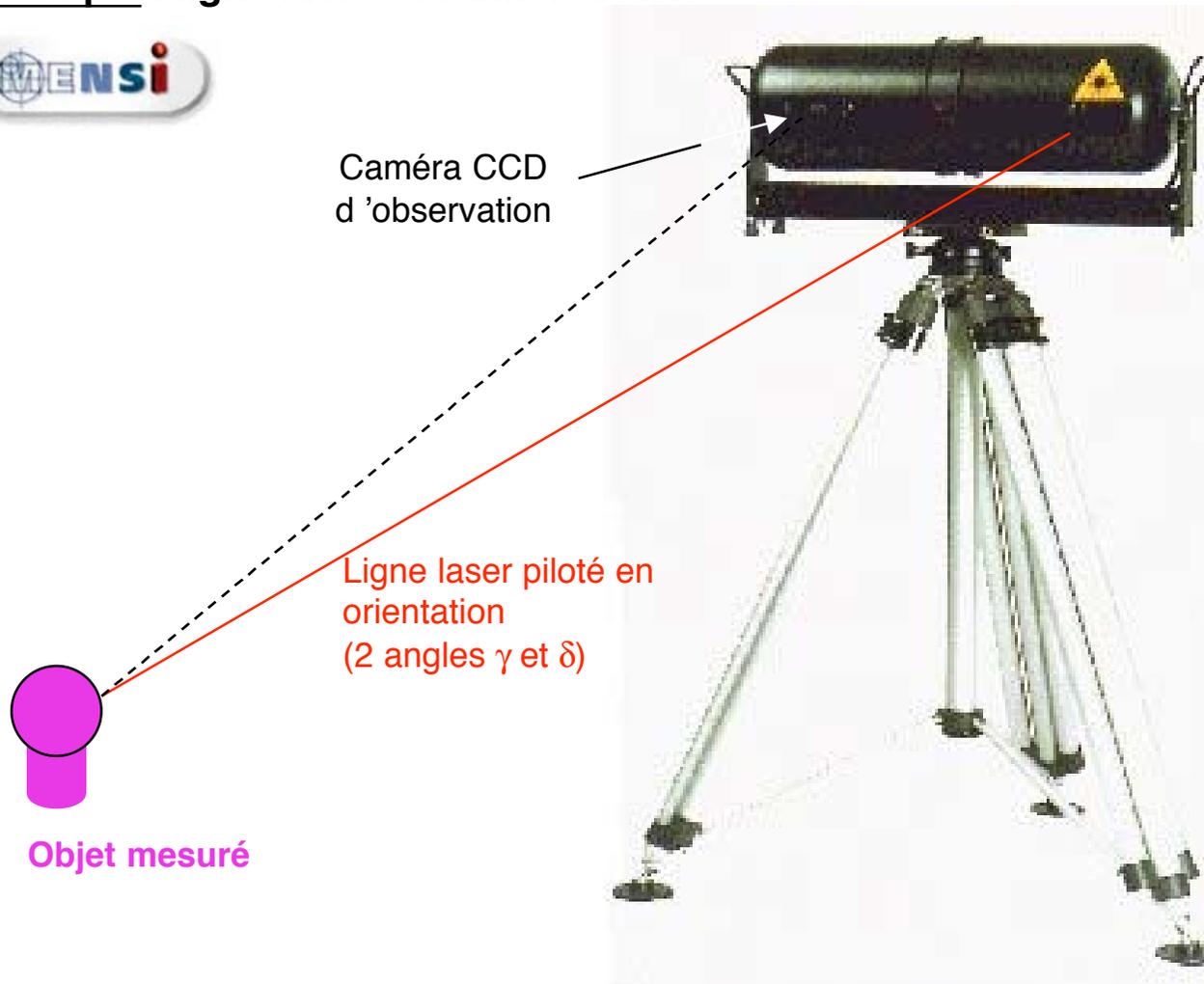
Capteur à faisceau laser

Lumière structurée

Photogrammétrie

Par cibles actives (GPS)

Exemple : ligne laser - Scanner Soisic



Connaissant les valeurs des 2 angles de direction (γ et δ) de la ligne laser et des coordonnées de la tache laser dans la matrice de la camera CCD.

Calcul des coordonnées 3D de la tache laser sur l'objet



Mesures optiques - Par triangulation

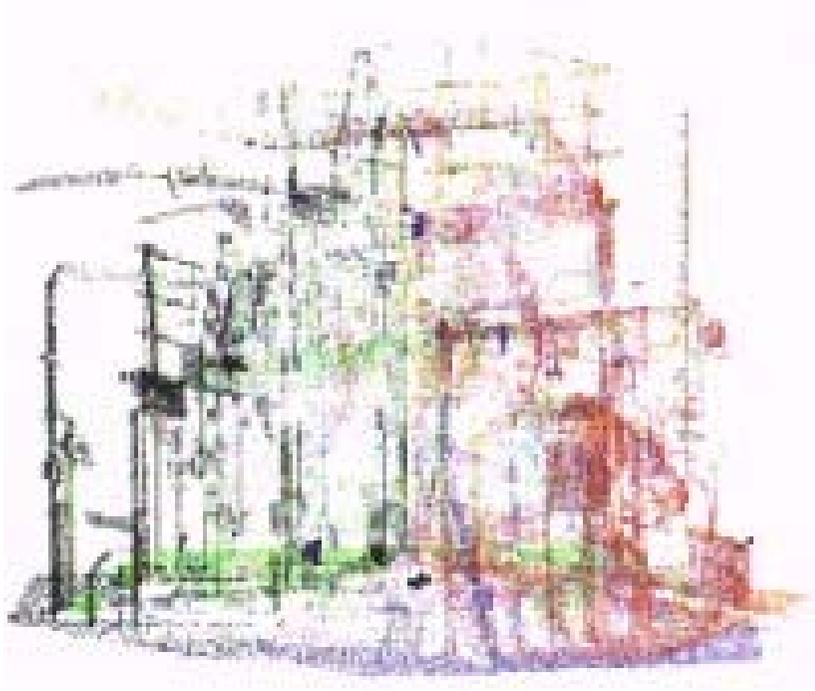
Capteur à faisceau laser

Lumière structurée

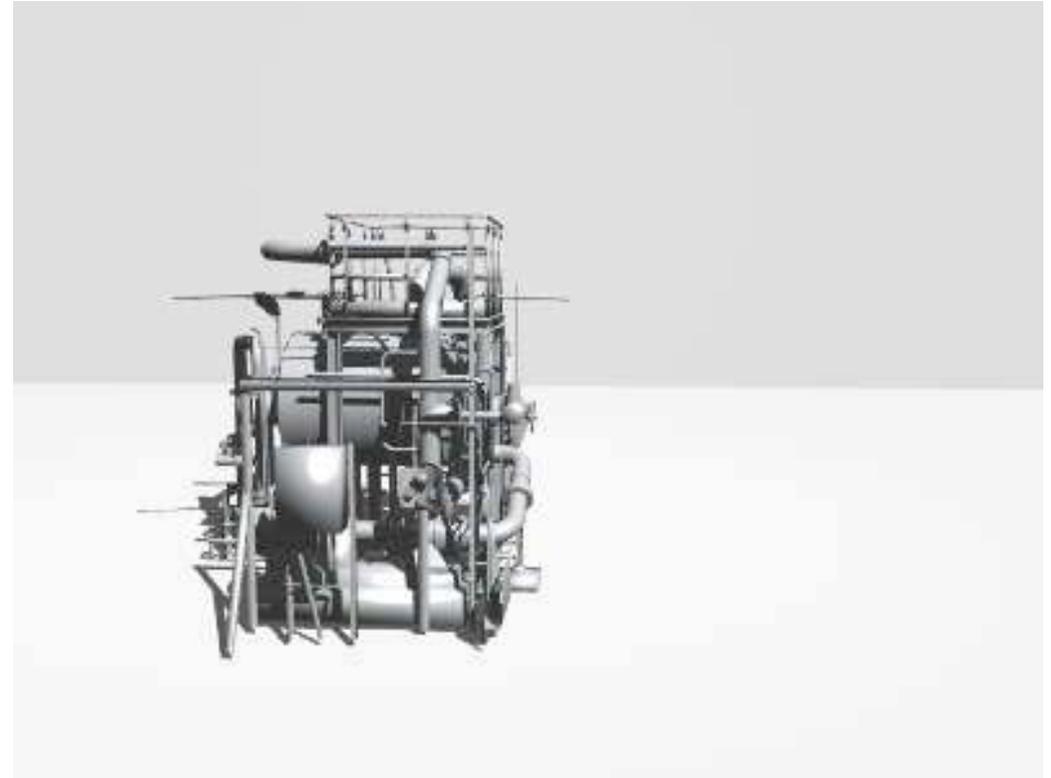
Photogrammétrie

Par cibles actives (GPS)

Exemple : ligne laser - Scanner Soisic



Nuage de points saisis



Reconstruction des formes : logiciel 3Dipsos

Mesures optiques - Par triangulation

Capteur à faisceau laser

Lumière structurée

Photogrammétrie

Par cibles actives (GPS)

Exemple : plan laser - Capteur Kreon

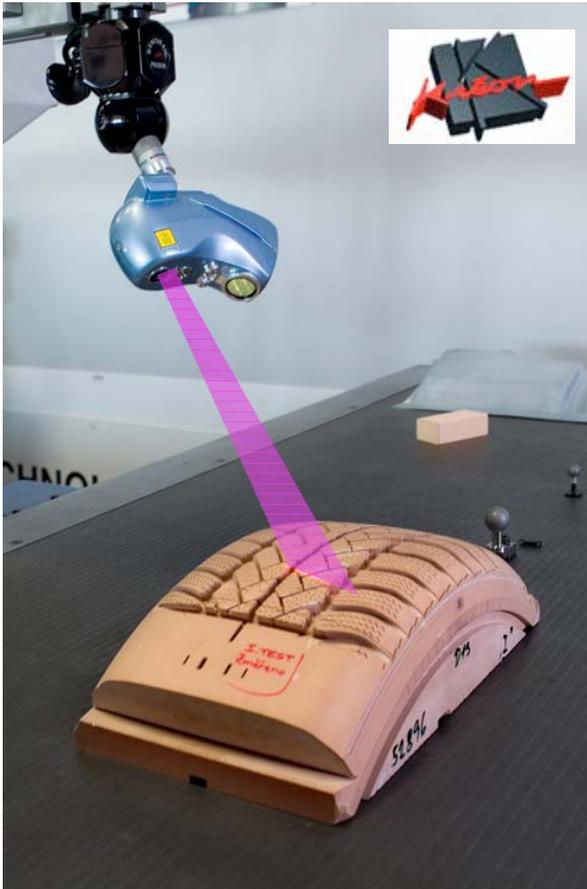


Image vidéo brute

Réglages : puissance laser, temps d'intégration des caméras



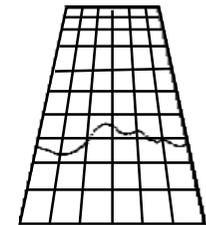
Échantillonnage en points

de la trace laser avec la résolution subpixel



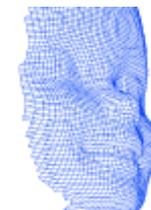
Calibration

Passage du mode pixel 2D des caméras au système métrique 2D lié au capteur



Obtention d'un nuage de points 3D :

après informations sur positionnement ensemble / objet et assemblage des sections



Mesures optiques - Par triangulation

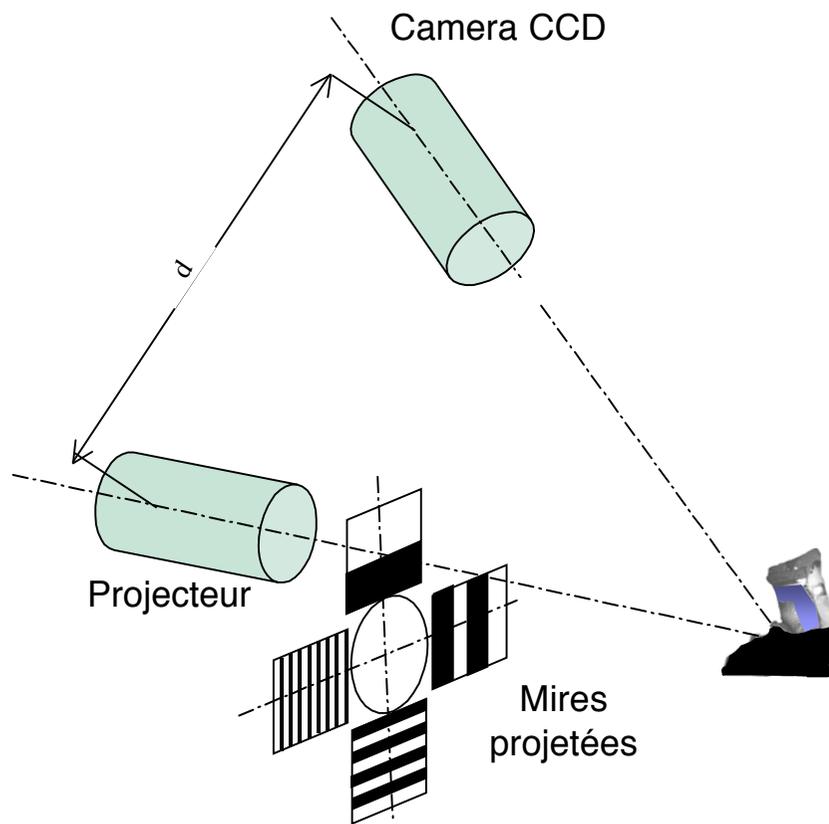
Capteur à faisceau laser

Lumière structurée

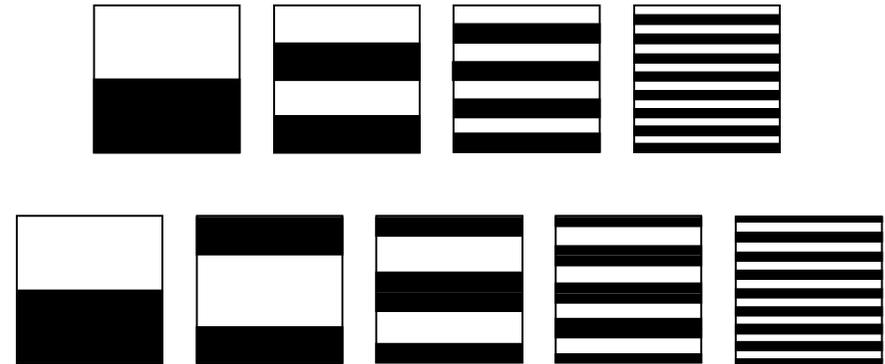
Photogrammétrie

Par cibles actives (GPS)

Par projection de trames en lumière blanche



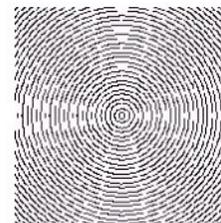
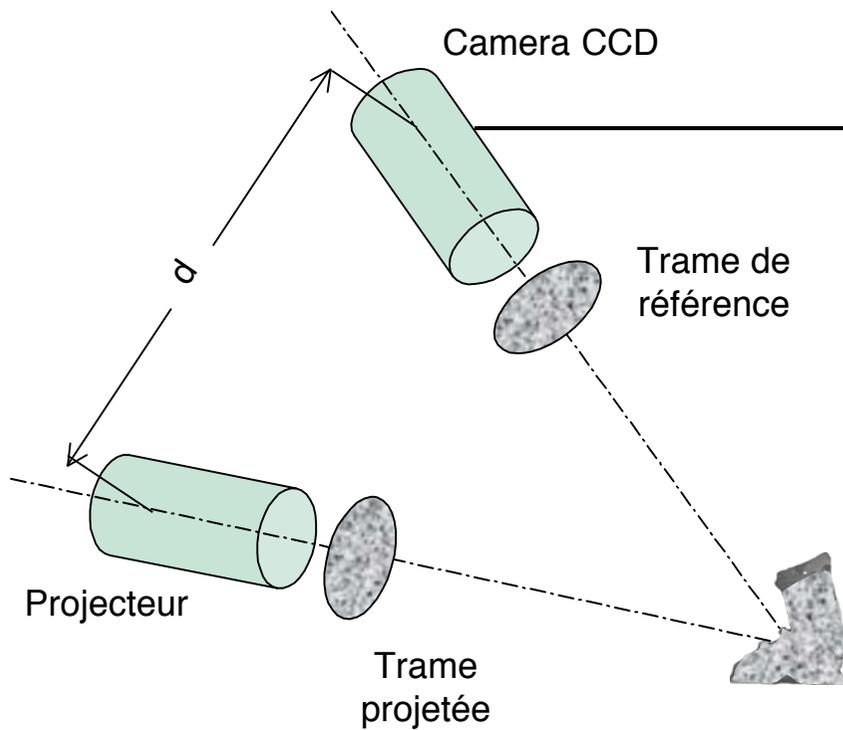
Exemples de série de mires



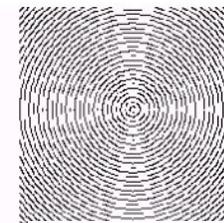
Mesures optiques - Par triangulation

Capteur à faisceau laser	Lumière structurée	Photogrammétrie	Par cibles actives (GPS)
--------------------------	---------------------------	-----------------	--------------------------

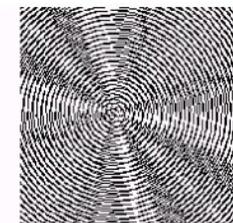
Par franges d'interférence



Trame projetée



Trame de référence



Franges d'interférence

Méthode à effet de Moiré

Mesures optiques - Par triangulation

Capteur à faisceau laser

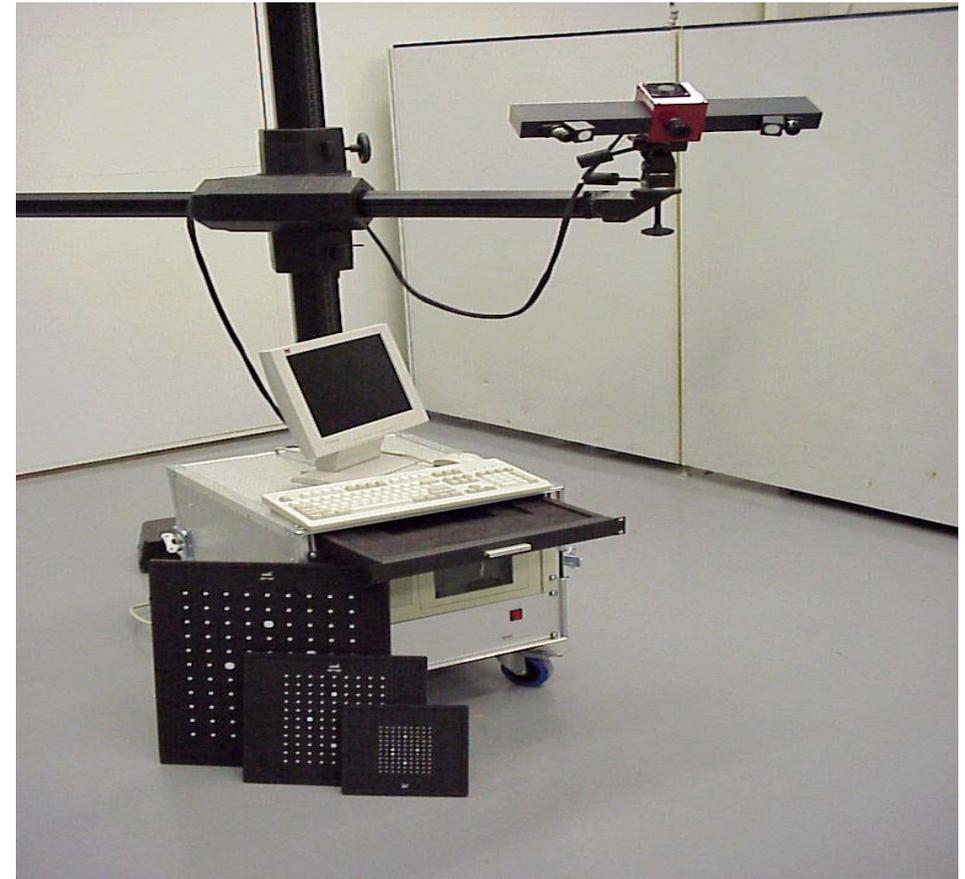
Lumière structurée

Photogrammétrie

Par cibles actives (GPS)

Exemples de matériel

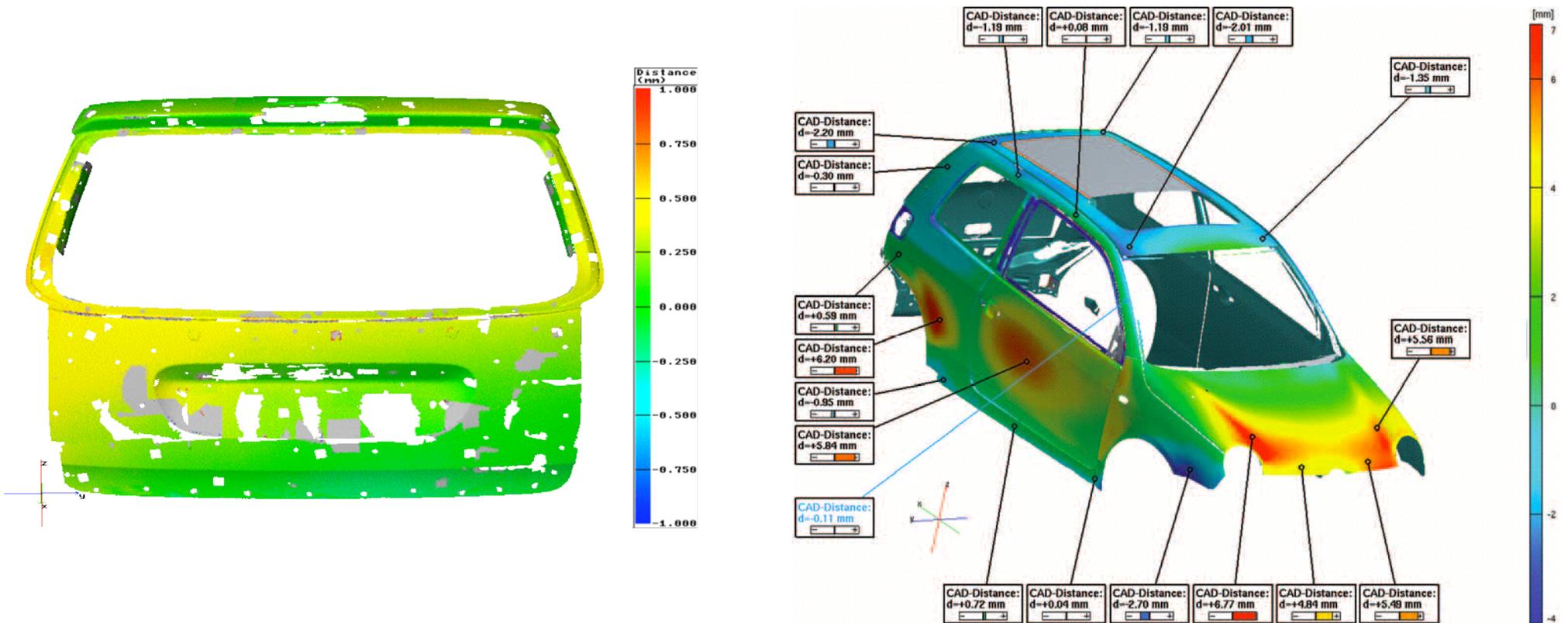
gom
Mesures par Méthodes Optiques



Mesures optiques - Par triangulation

Capteur à faisceau laser	Lumière structurée	Photogrammétrie	Par cibles actives (GPS)
--------------------------	--------------------	-----------------	--------------------------

Exemple de résultat de mesure : capteur Atos de la société GOM



Mesures optiques - Par triangulation

Capteur à faisceau laser

Lumière structurée

Photogrammétrie

Par cibles actives (GPS)

Appareil photo numérique à très Haute définition



Mesures optiques - Par triangulation

Capteur à faisceau laser

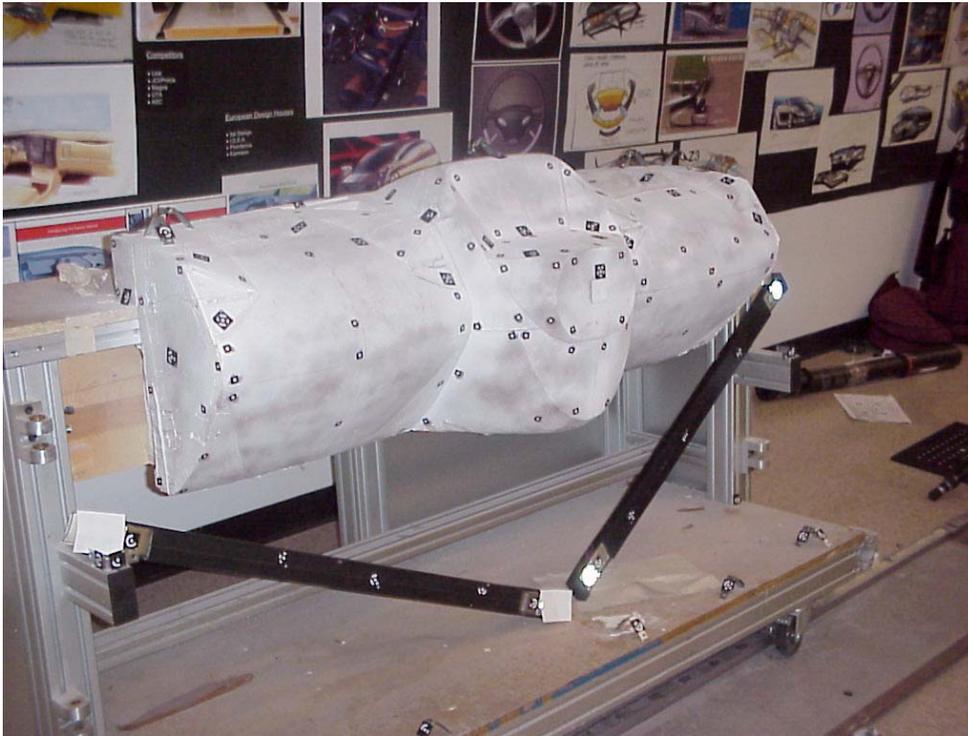
Lumière structurée

Photogrammétrie

Par cibles actives (GPS)

Exemple : solution Triptop (société Gom)

gom
Mesures par Méthodes Optiques



Préparation de la pièce:

Mise en place de vignettes codées et non codées ainsi que des règles de calibration



Photographie

des différents points de vue de la pièce

Mesures optiques - Par triangulation

Capteur à faisceau laser

Lumière structurée

Photogrammétrie

Par cibles actives (GPS)

Exemple : solution Triptop (société Gom)

gom
Mesures par Méthodes Optiques



Avant la photogrammétrie

Après la photogrammétrie

Points codés et non codés référencés



Mesures optiques - Par triangulation

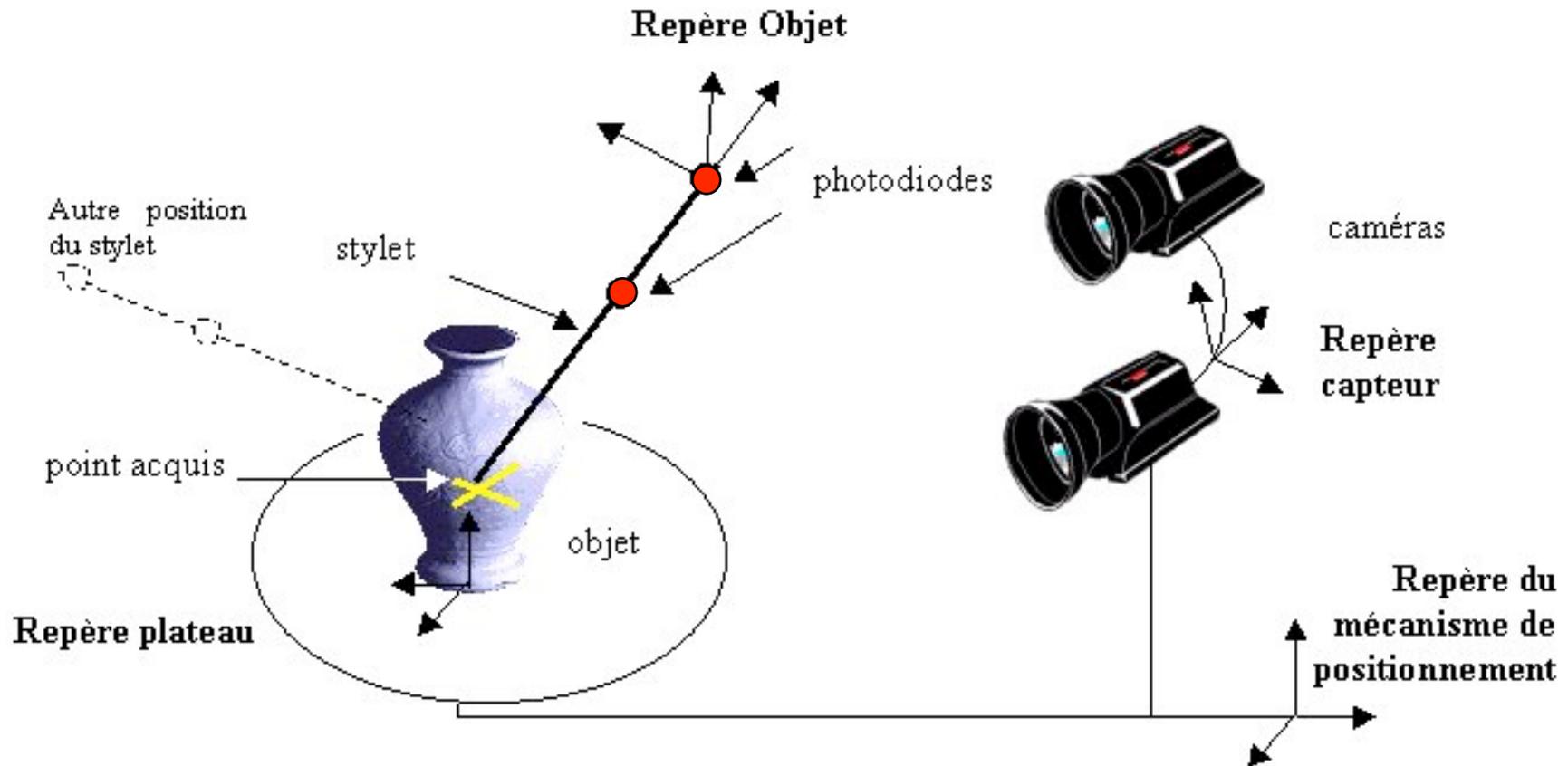
Capteur à faisceau laser

Lumière structurée

Photogrammétrie

Par cibles actives (GPS)

Exemple avec cibles particulières



Mesures optiques - Par triangulation

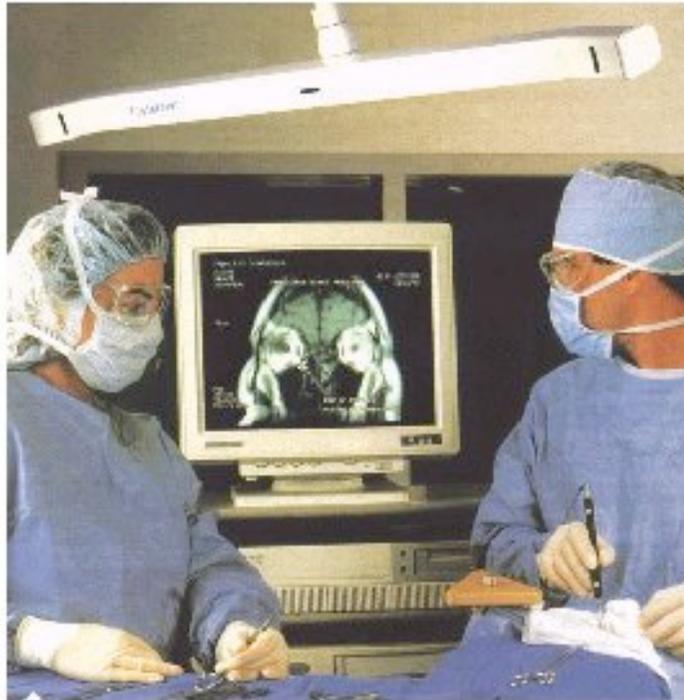
Capteur à faisceau laser

Lumière structurée

Photogrammétrie

Par cibles actives (GPS)

Exemple photogrammétrie cibles particulières



**Image guided
(Medical vision group)**

Metris



Mesures optiques - Par triangulation

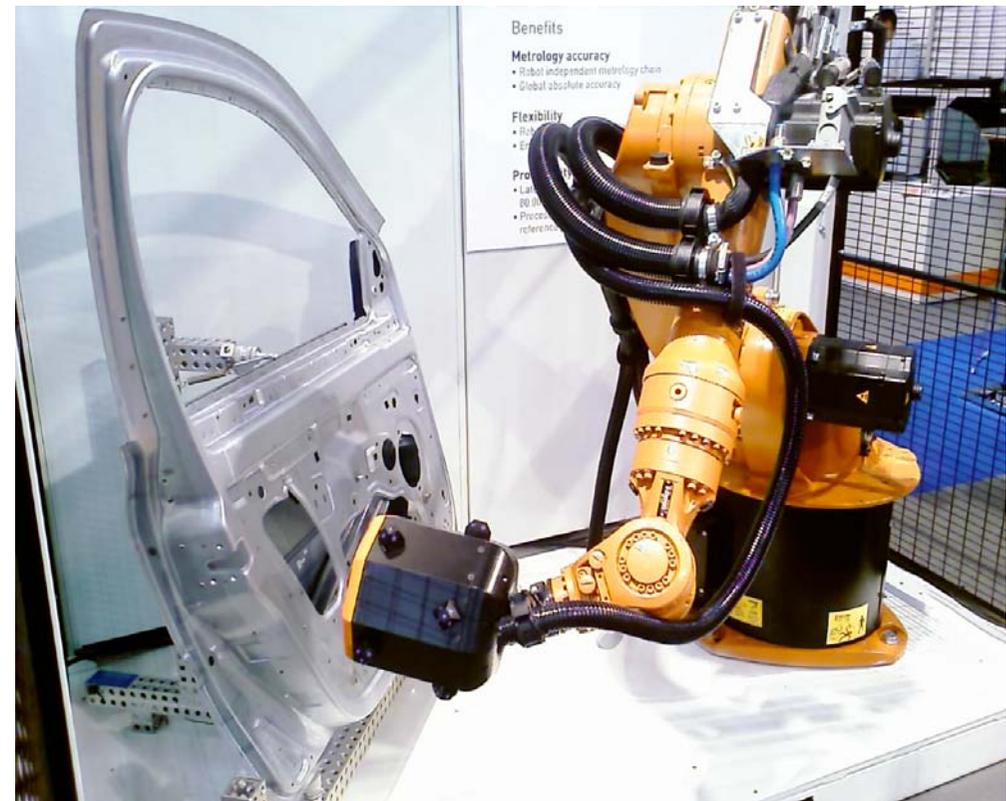
Capteur à faisceau laser

Lumière structurée

Photogrammétrie

Par cibles actives (GPS)

Exemple combinaison photogrammétrie et capteur à faisceau laser



Mesures optiques - Par triangulation

Capteur à faisceau laser

Lumière structurée

Photogrammétrie

Par cibles actives (GPS)

Exemple photogrammétrie et capteur à faisceau laser autonome (Société Creaforme)

CREAFORM
SOLUTIONS NUMÉRIQUES 3D



EXAscan en action

VIUscan en action

Handyscan 3D le fruit de 4 éléments

Mesures optiques - Par triangulation

Capteur à faisceau laser

Lumière structurée

Photogrammétrie

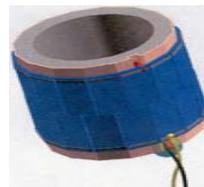
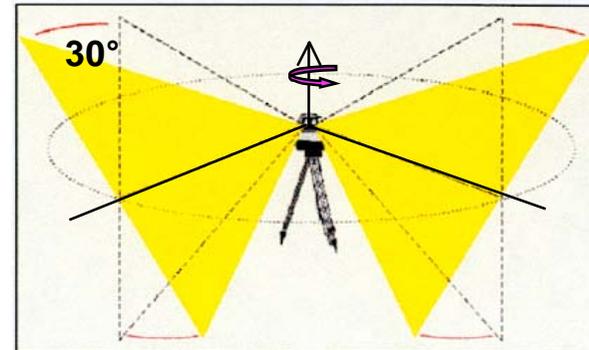
Par cibles actives (GPS)

Système Arc Second

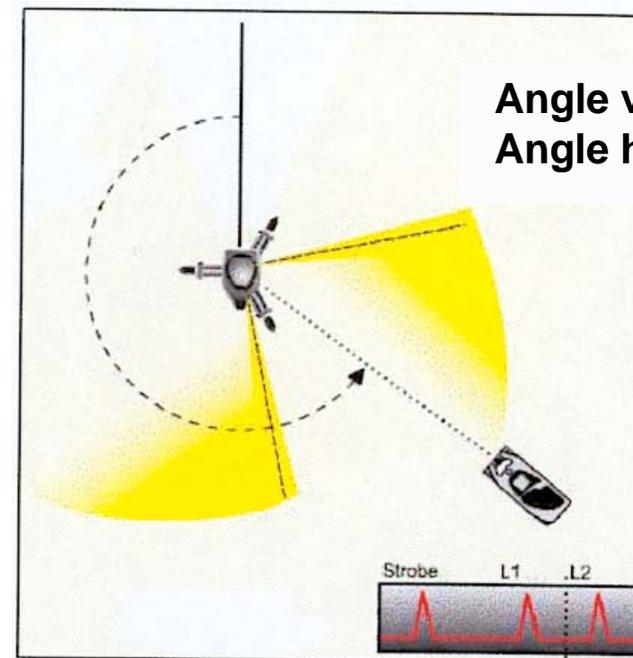


Emetteur

Rotation régulière de deux plans laser lumineux inclinés et Flash lumineux à chaque tour



Cibles réceptrices avec mesure des intervalles de temps



Angle vert. = $f(t_2 - t_1)$
Angle horiz. = $g(t_1 \text{ ou } t_2)$

Mesures optiques - Par triangulation

Capteur à faisceau laser

Lumière structurée

Photogrammétrie

Par cibles actives (GPS)

Système Arc Second



Emetteur

Rotation régulière de deux plans laser lumineux inclinés et Flash lumineux à chaque tour



Mesures optiques - Par triangulation

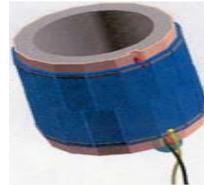
Capteur à faisceau laser

Lumière structurée

Photogrammétrie

Par cibles actives (GPS)

Système Arc Second



**Cibles réceptrices avec mesure
des intervalles de temps**



Mesures optiques - Par triangulation

Capteur à faisceau laser

Lumière structurée

Photogrammétrie

Par cibles actives (GPS)



Systemes de Numérisation 3D

Sans contact d'une cible optique projetée ou posée sur la surface

<i>Triangulation</i>	<i>Axiale</i>	<i>Imagerie</i>
Capteur à faisceau laser *	Interférométrie laser *	Tomographie *
Lumière structurée	Télémétrie par temps de vol *	
Photogrammétrie	Chromatique *	
Par cibles actives (GPS)	Mise au point optique	

Mesures optiques axiales

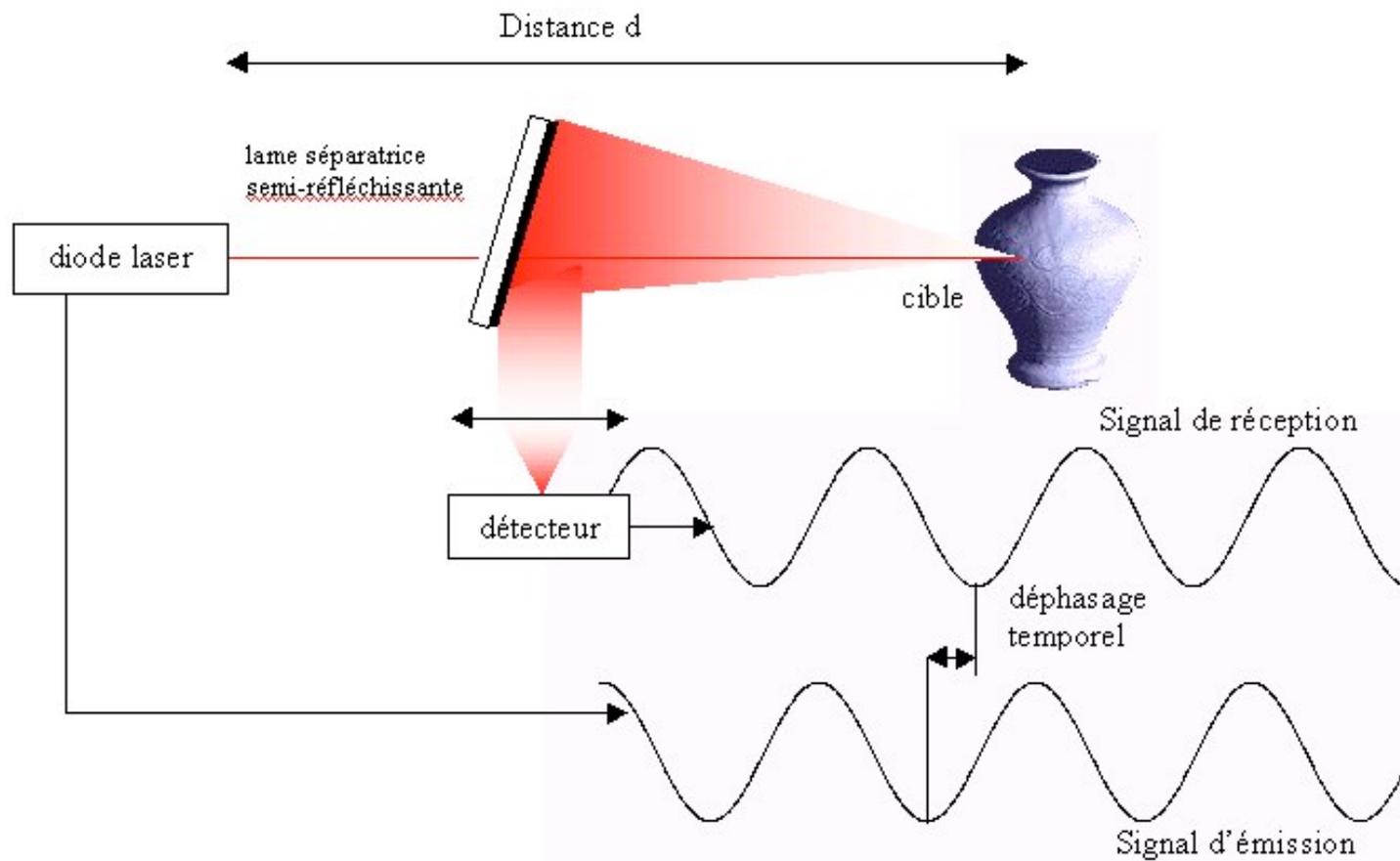
Interférométrie laser

Télémétrie

Chromatique

Mise au point optique

Principe de l'interférométrie



Mesures optiques axiales

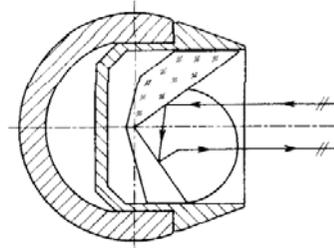
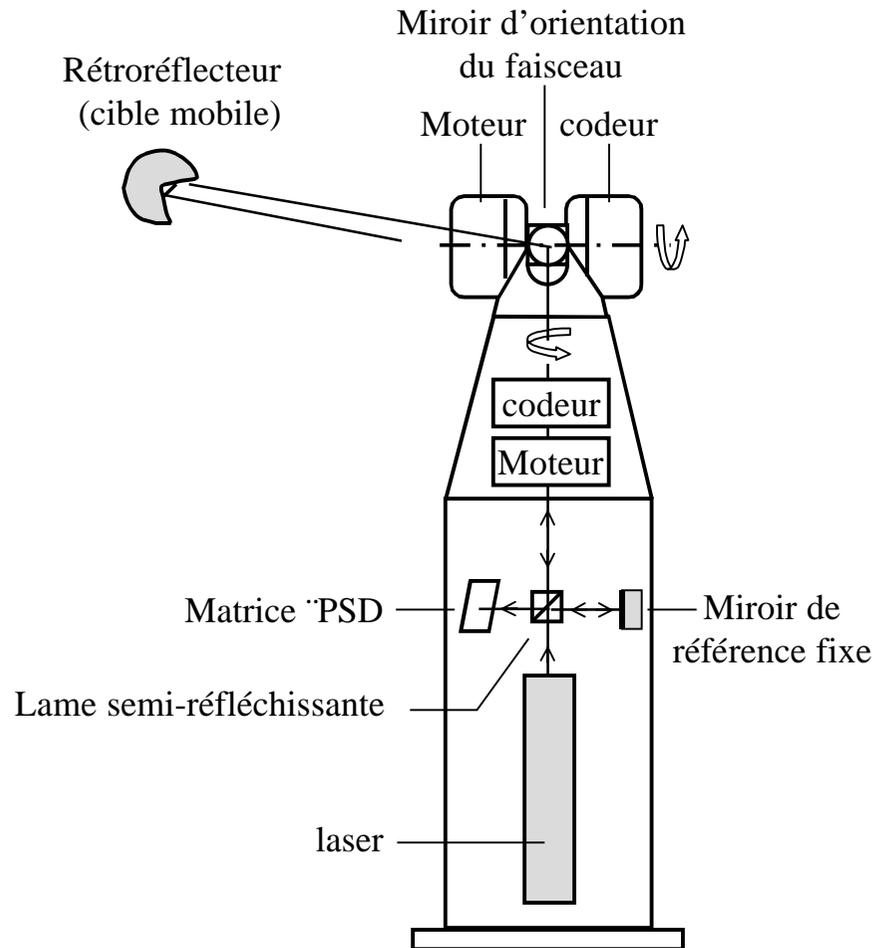
Interférométrie laser

Télemétrie

Chromatique

Mise au point optique

Laser Tracker (Laser de poursuite)



Document Bombardier

Mesures optiques axiales

Interférométrie laser

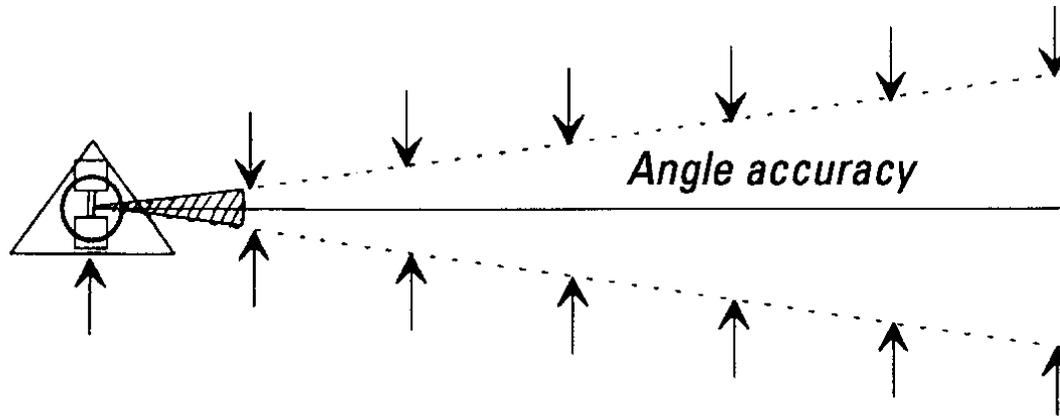
Télémétrie

Chromatique

Mise au point optique

Laser Tracker

Accuracy of a coordinate = ± 10 ppm



M. distance:	2.5 m	5.0 m	7.5 m	10 m	12.5 m	15 m
Accuracy:	± 0.025 mm	± 0.050 mm	± 0.075 mm	± 0.100 mm	± 0.125 mm	± 0.150 mm
Imperial distance:	8.2 ft	16.4 ft	24.6 ft	32.8 ft	41 ft	49.2 ft
Accuracy:	± 0.001 "	± 0.002 "	± 0.003 "	± 0.004 "	± 0.005 "	± 0.006 "



Mesures optiques axiales

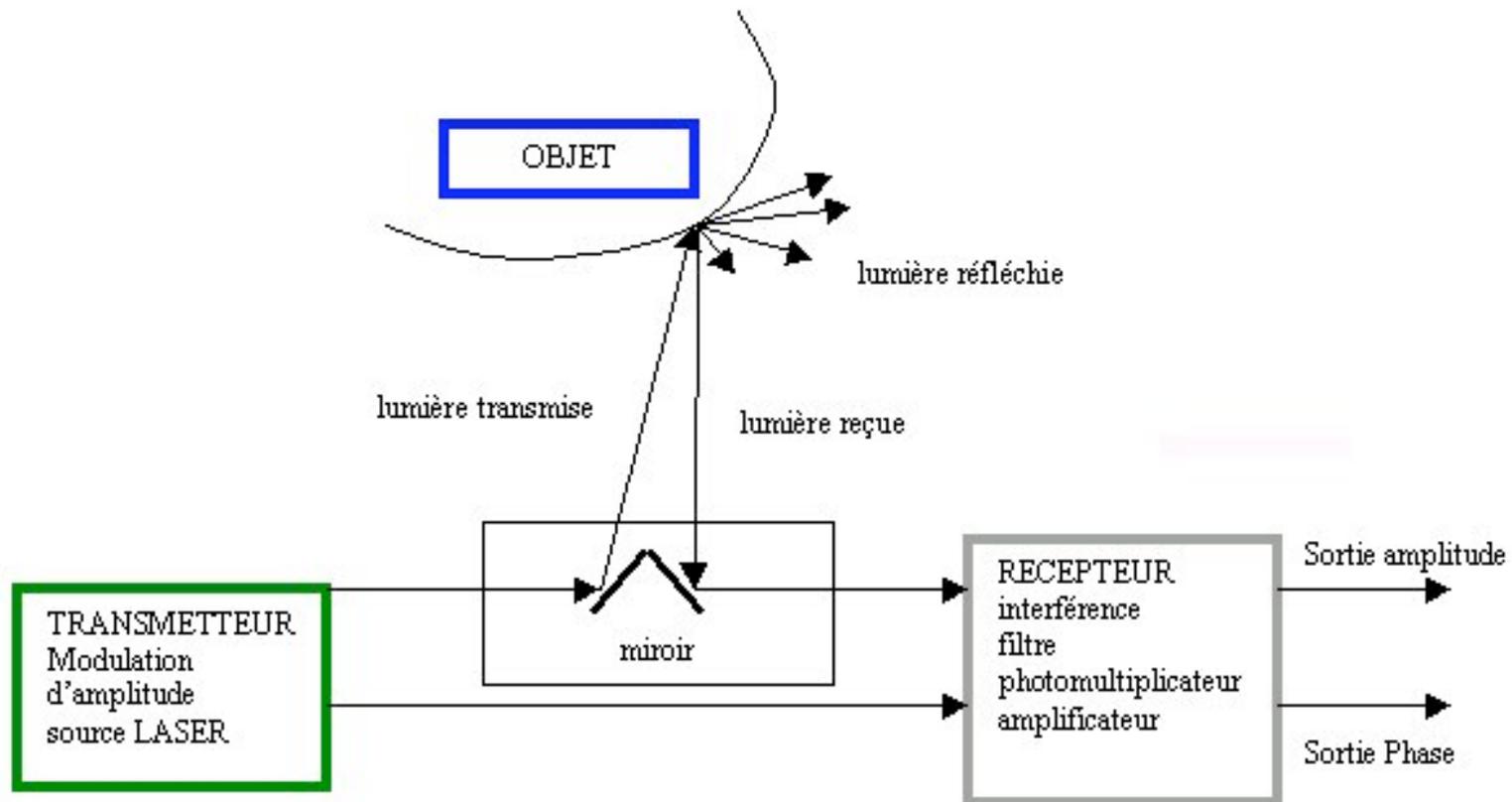
Interférométrie laser

Télémétrie

Chromatique

Mise au point optique

Principe : Temps de vol



Mesures optiques axiales

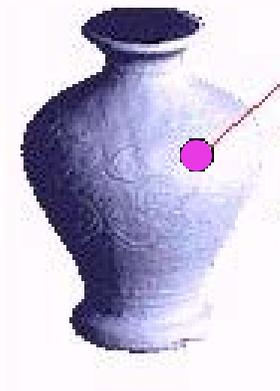
Interférométrie laser

Télémétrie

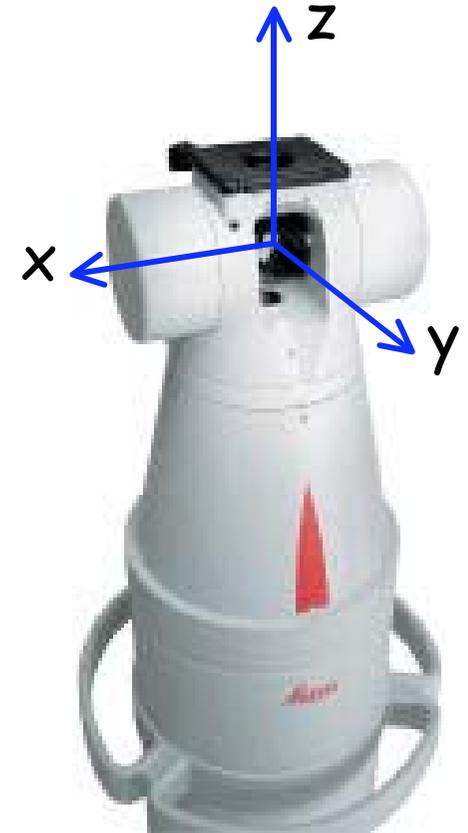
Chromatique

Mise au point optique

Tracker Radar



Sans
cible



Mesures optiques axiales

Interférométrie laser

Télémétrie

Chromatique

Mise au point optique

Laser Radar



Mesures optiques axiales

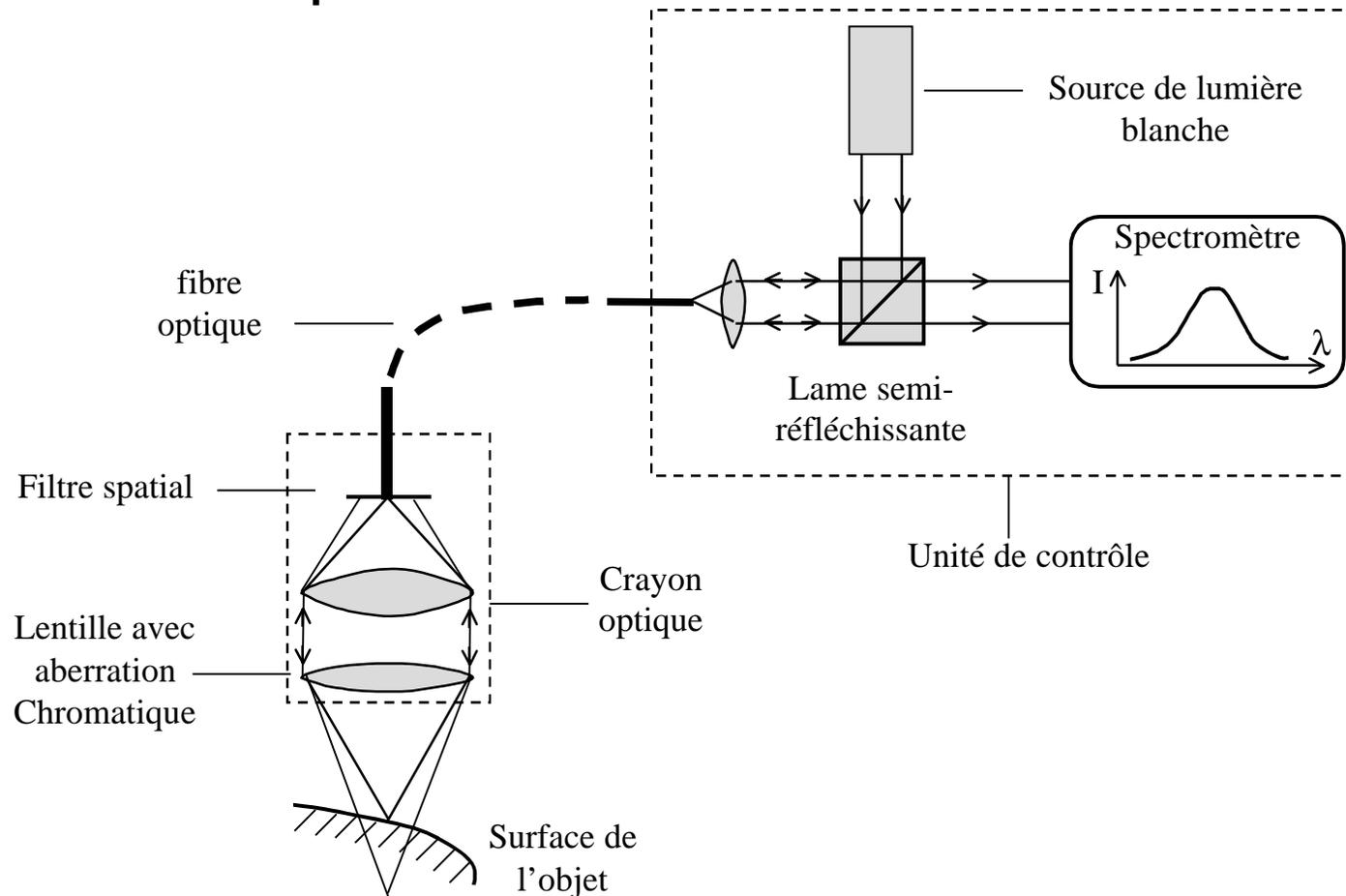
Interférométrie laser

Télemétrie

Chromatique

Mise au point optique

Principe de la mesure chromatique



Mesures optiques axiales

Interférométrie laser

Télemétrie

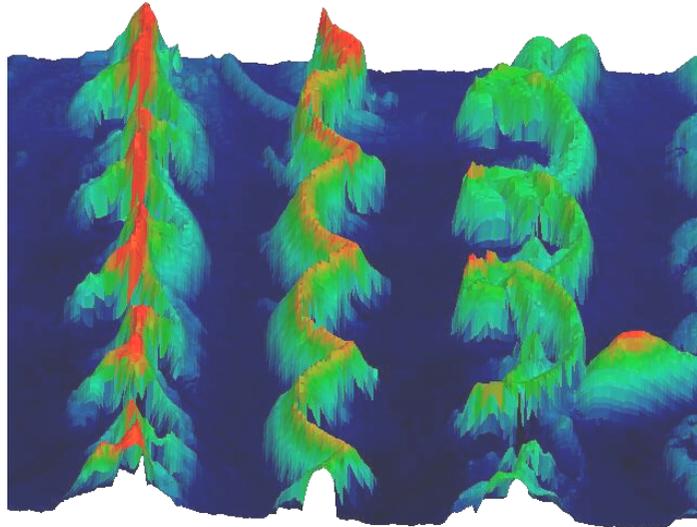
Chromatique

Mise au point optique

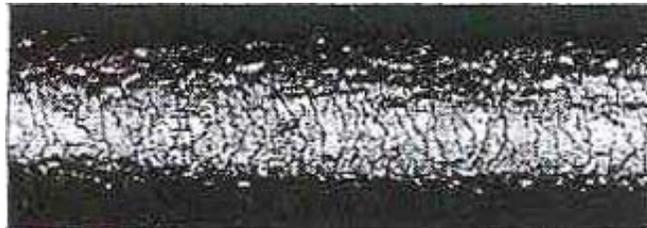
Exemple de résultats (logiciel MountainsMap® de digital surf)



Surface usinées par balayage avec une fraise à bout sphérique



Cheveu



Plage de mesure	Distance de travail	Résolution axiale	Exactitude
0,13mm	3,3 μ m	0,005 μ m	0,02 μ m
1,2mm	12,7 μ m	0,025 μ m	0,2 μ m
12mm	29 μ m	0,280 μ m	0,9 μ m
27mm	19,6 μ m	0,6 μ m	3 μ m

Mesures optiques axiales

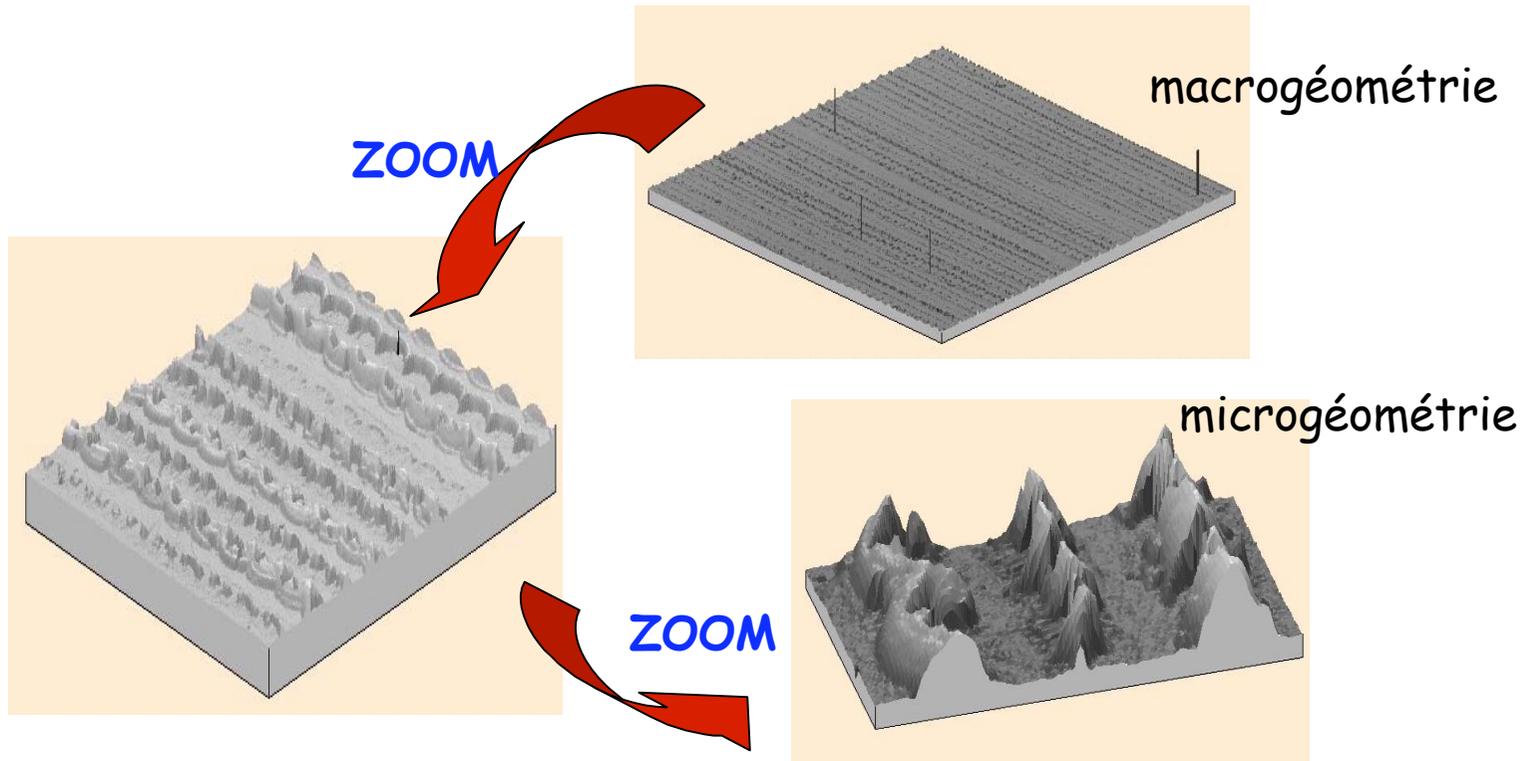
Interférométrie laser

Télémétrie

Chromatique

Mise au point optique

Exemple de résultats



Mesures optiques axiales

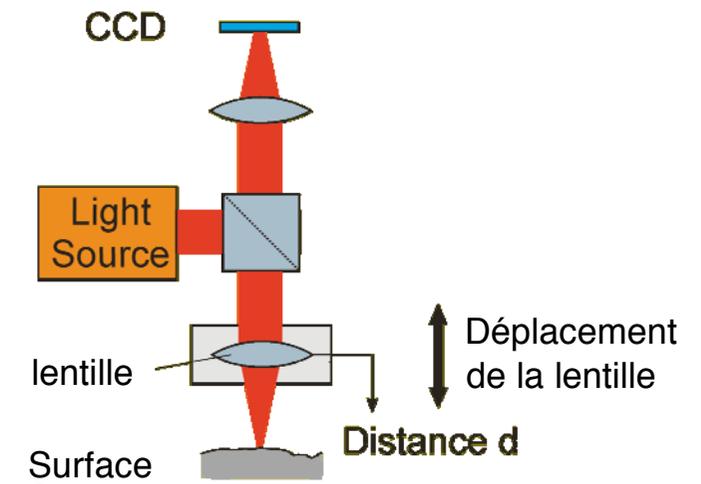
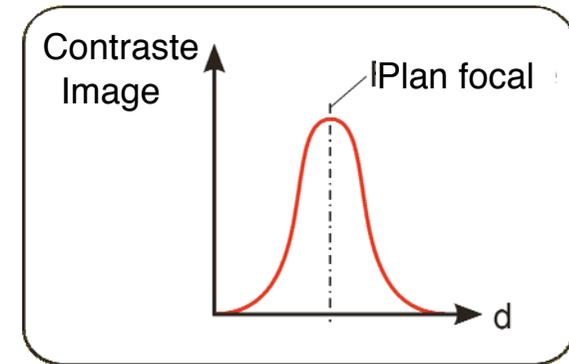
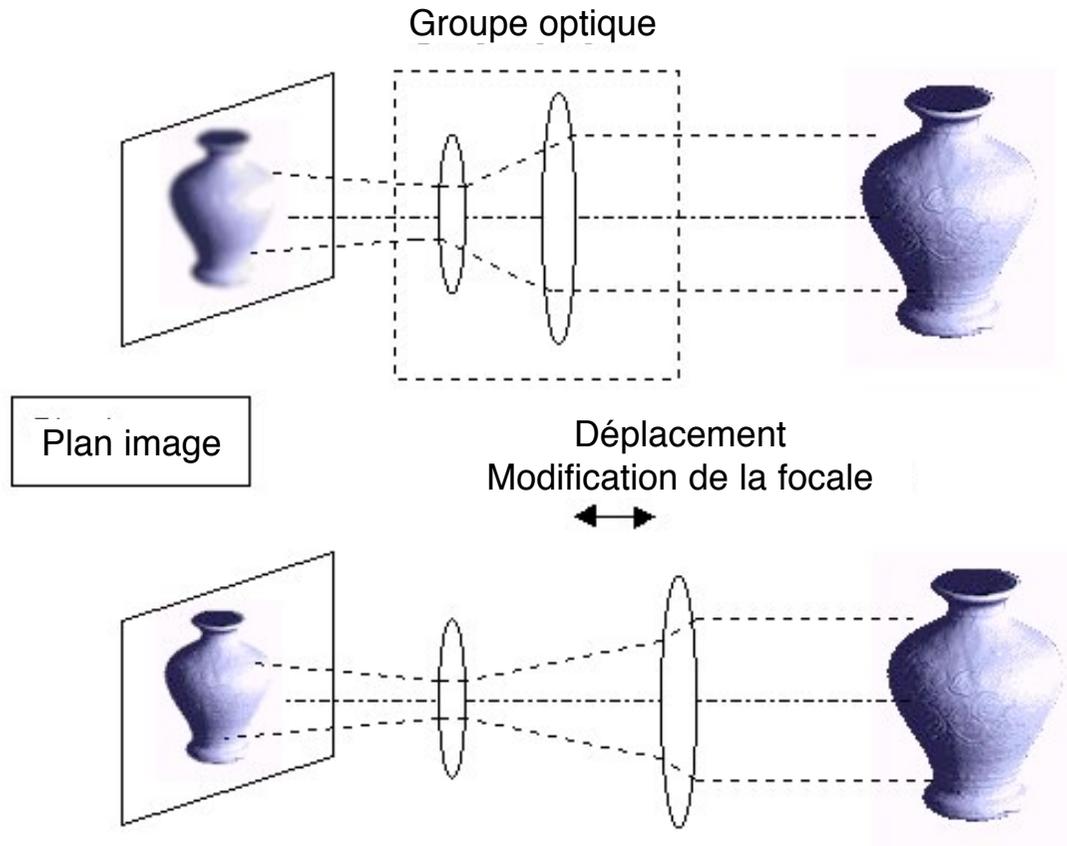
Interférométrie laser

Télémétrie

Chromatique

Mise au point optique

Principe



Systemes de Numérisation 3D

Sans contact d'une cible optique projetée ou posée sur la surface

<i>Triangulation</i>	<i>Axiale</i>	<i>Imagerie</i>
Capteur à faisceau laser *	Interférométrie laser *	Tomographie *
Lumière structurée	Télémétrie par temps de vol *	
Photogrammétrie	Chromatique *	
Par cibles actives (GPS)	Mise au point optique	

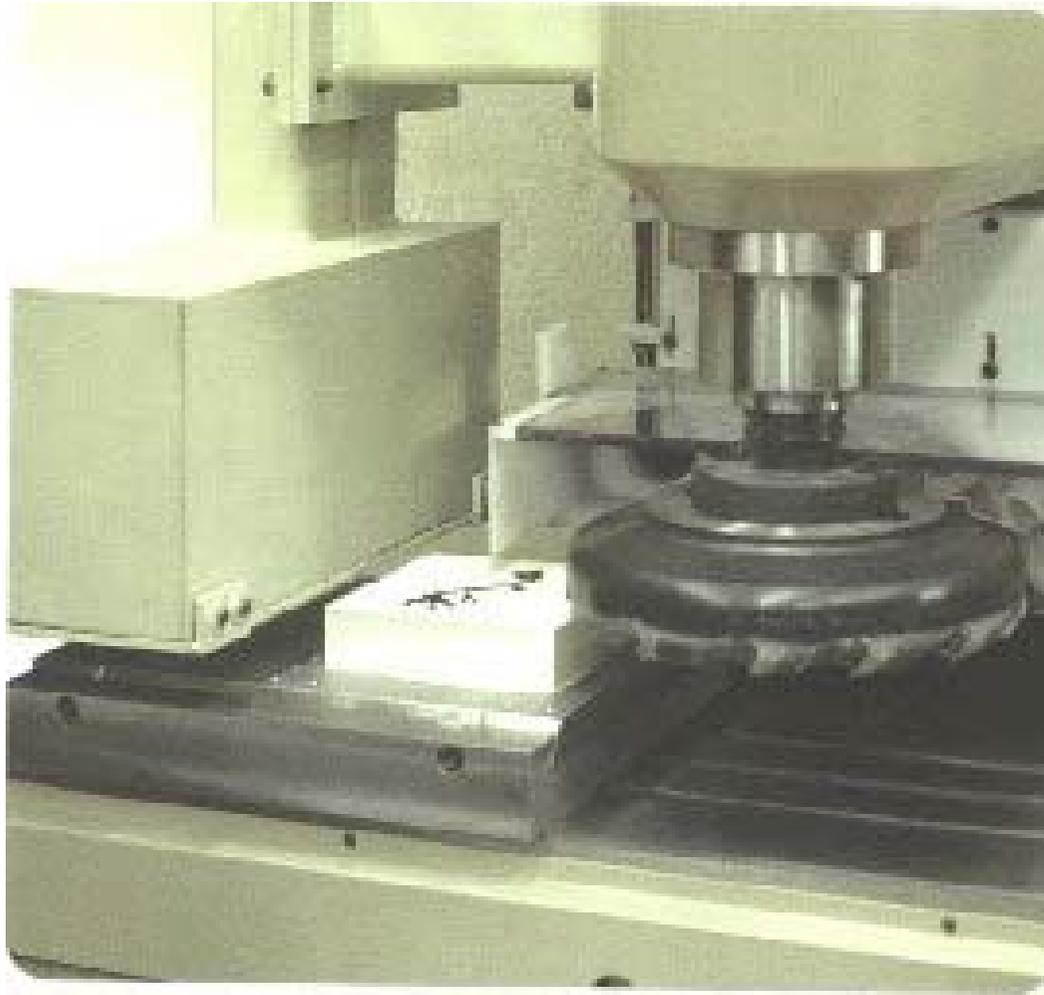
Mesures par Tomographie

En imagerie médicale : I.R.M.



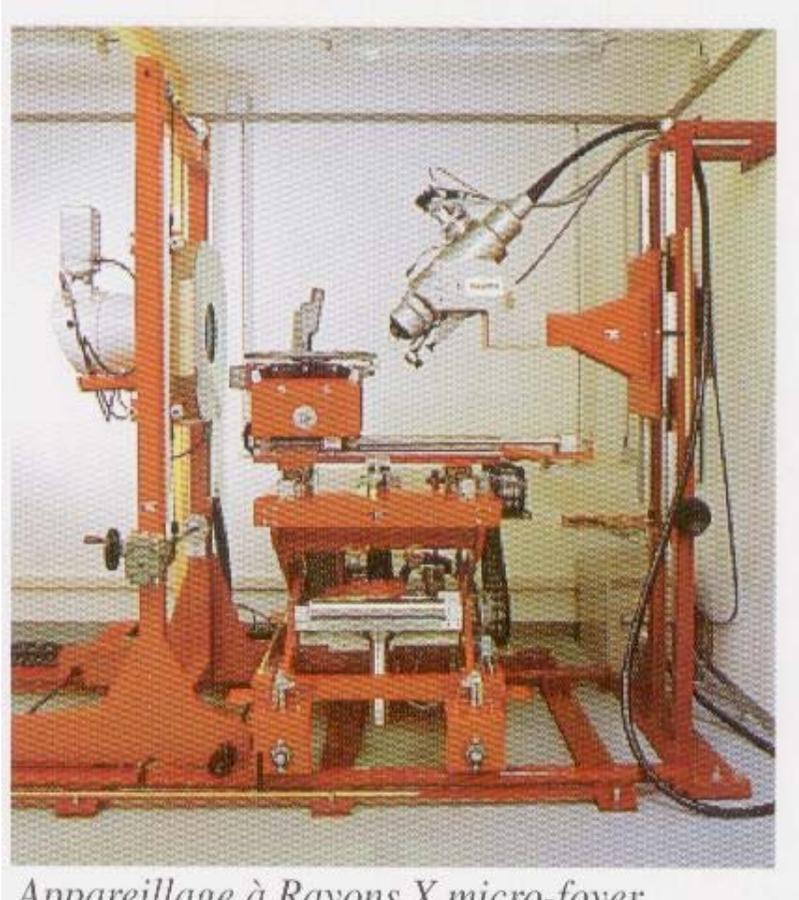
Mesures par Tomographie

En mécanique : mode destructif de numérisation



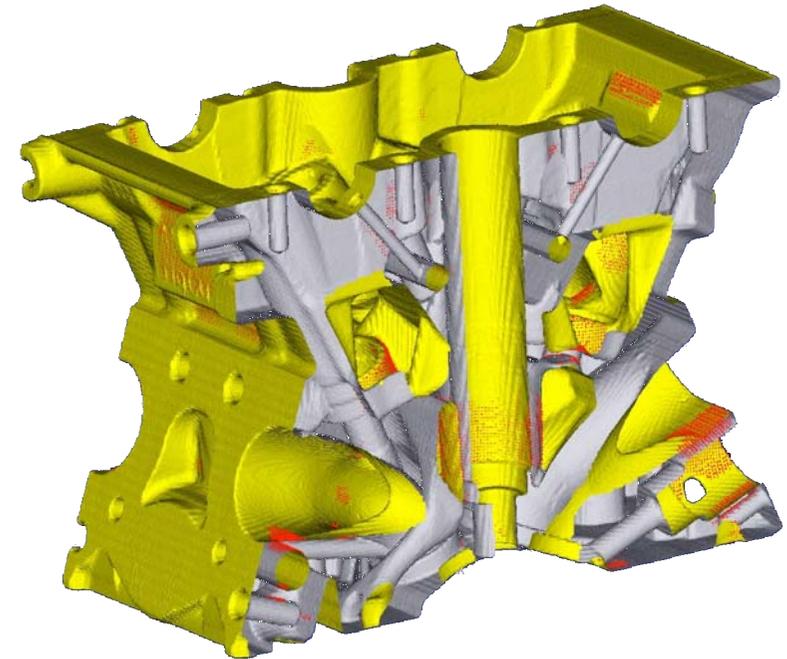
Mesures par Tomographie

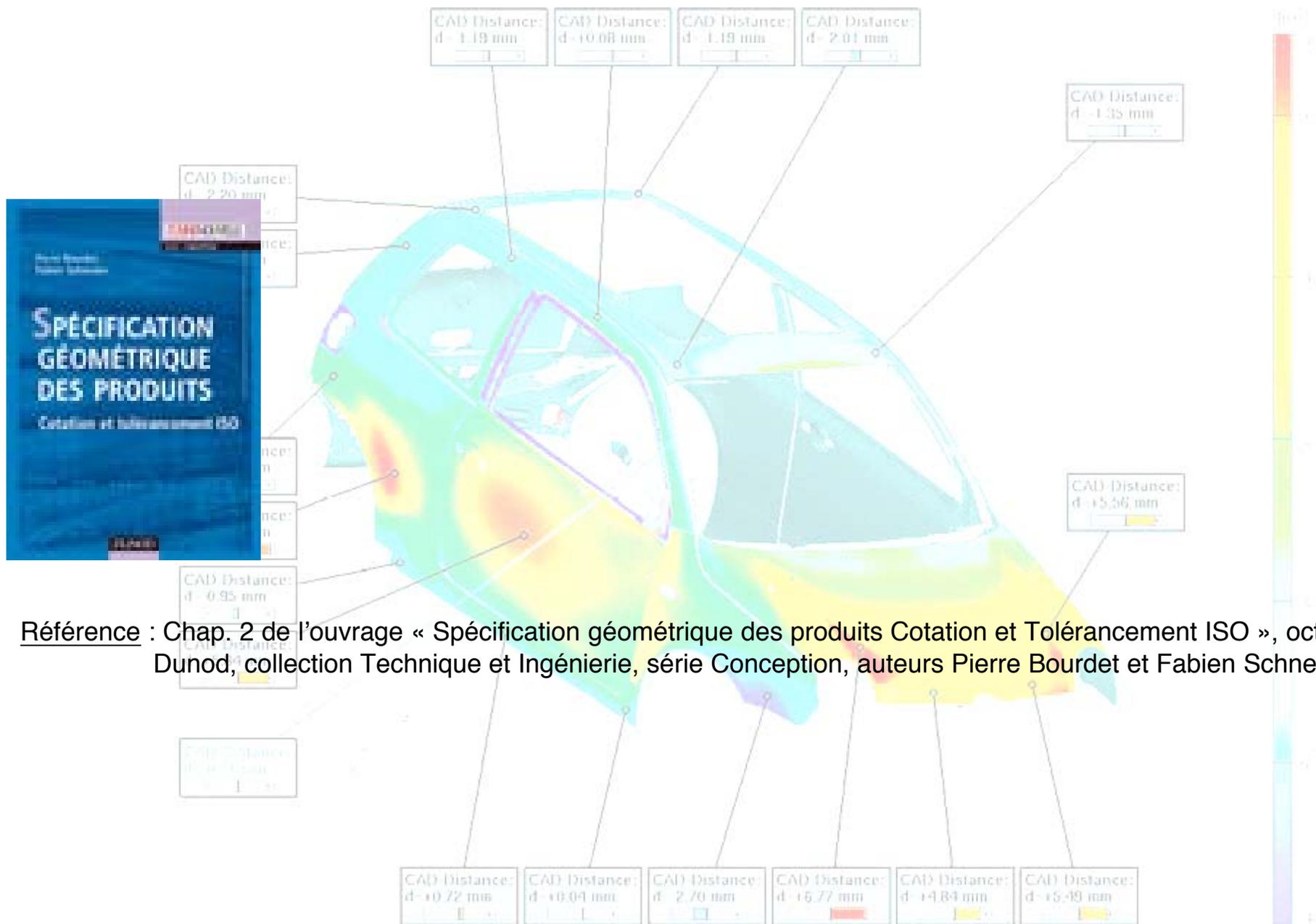
Tomographie rayons X



Appareillage à Rayons X micro-foyer

Reconstitution de la forme 3D à partir de la mesure de lignes obtenues dans des plans de coupes





Référence : Chap. 2 de l'ouvrage « Spécification géométrique des produits Cotation et Tolérancement ISO », oct 2007 Dunod, collection Technique et Ingénierie, série Conception, auteurs Pierre Bourdet et Fabien Schneider