

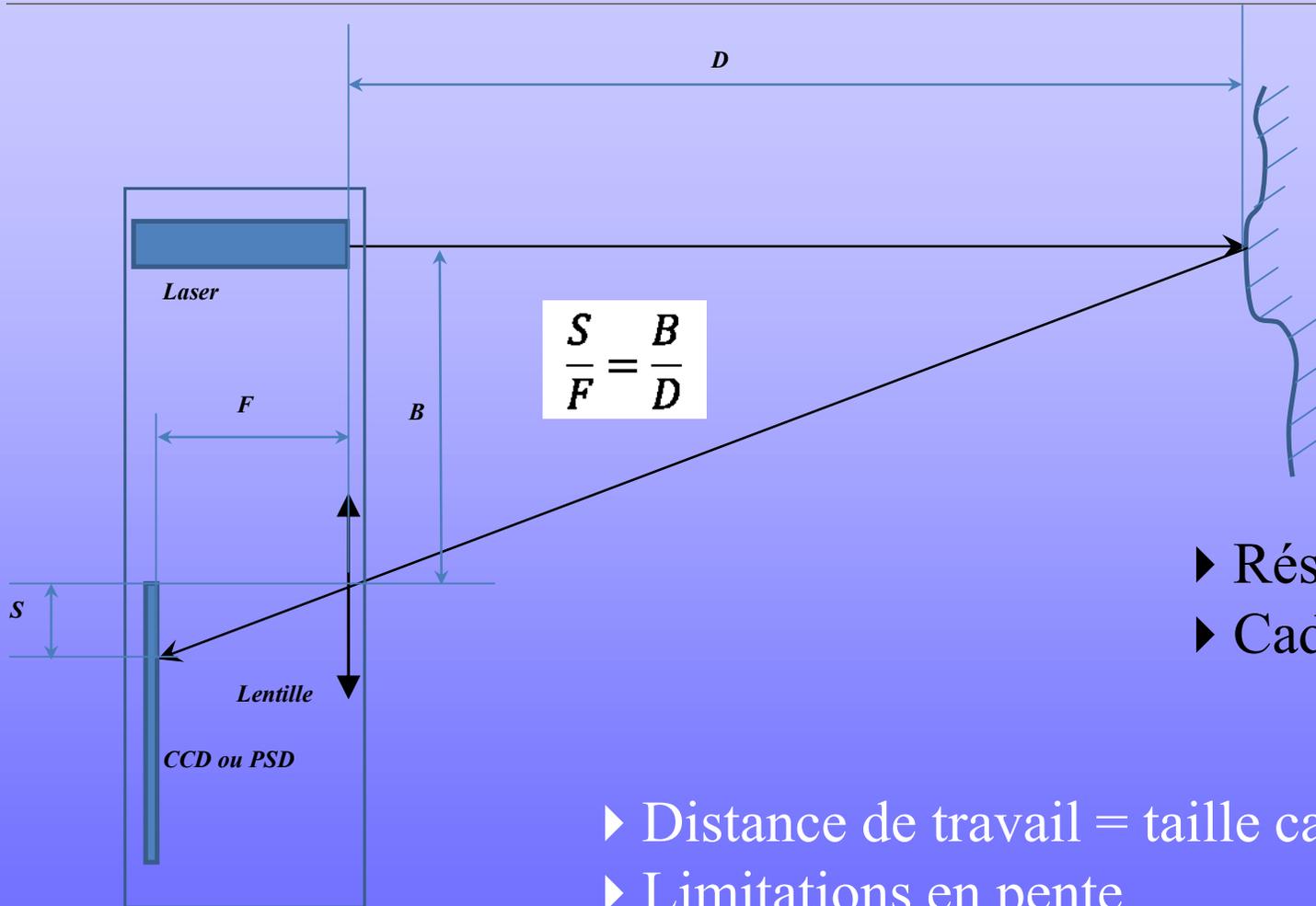
La numérisation 3D laser appliquée à l'industrie

Avantages économiques et contraintes techniques

JP Chambard – HOLO3

- **Les techniques de numérisation**
- **L'importance de la qualité des nuages de points générés**
- **Applications en métrologie**
- **Applications en ingénierie inverse**
- **Applications en Réalité Virtuelle**
- **Conclusion**

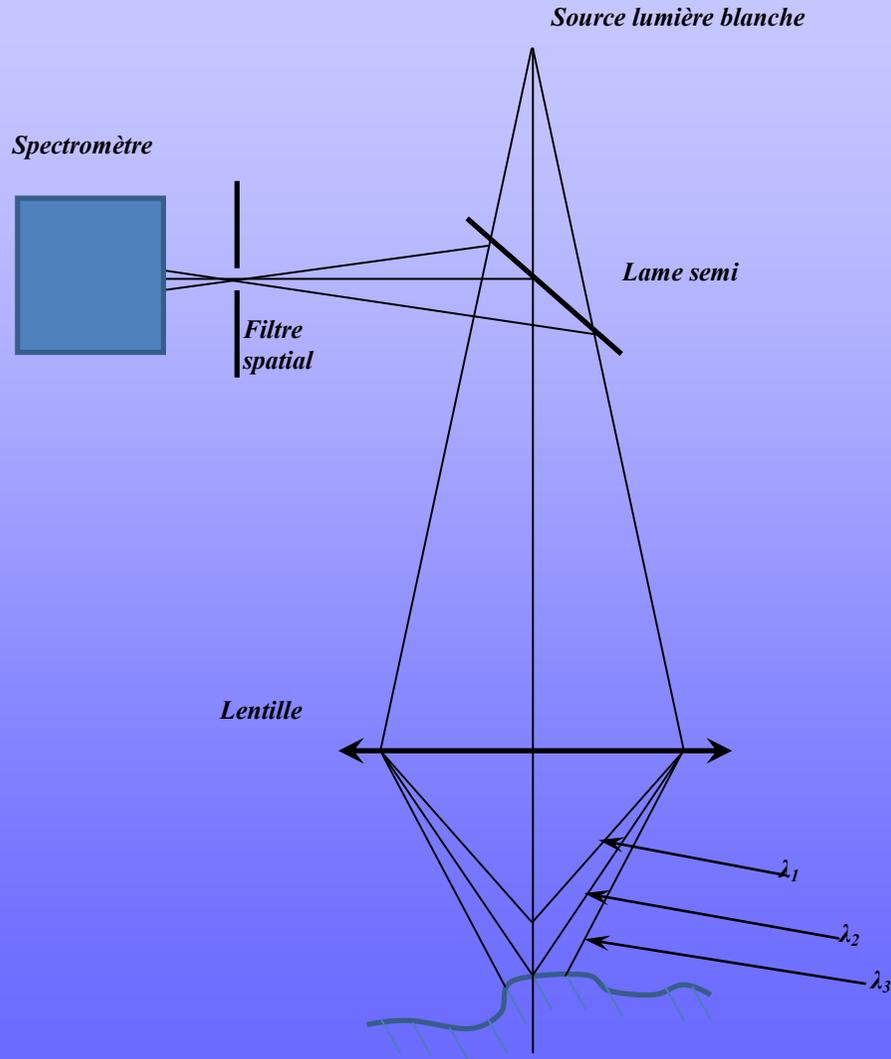
Mesure ponctuelle – Triangulation



- ▶ Résolution : quelques μm
- ▶ Cadences : quelques KHz

- ▶ Distance de travail = taille capteur
- ▶ Limitations en pente
- ▶ Formes concaves étroites
- ▶ Etat de surface

Mesure ponctuelle – Capteur confocal chromatique



- ▶ Résolution : 0.01 μm
- ▶ Cadences : 30 à 50 KHz
- ▶ Tout type de surface
- ▶ Possibilité de mesure multi-points



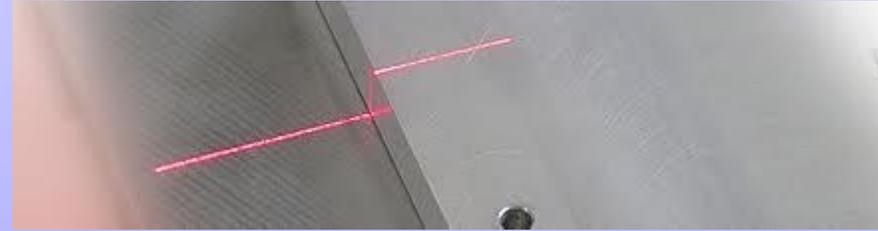
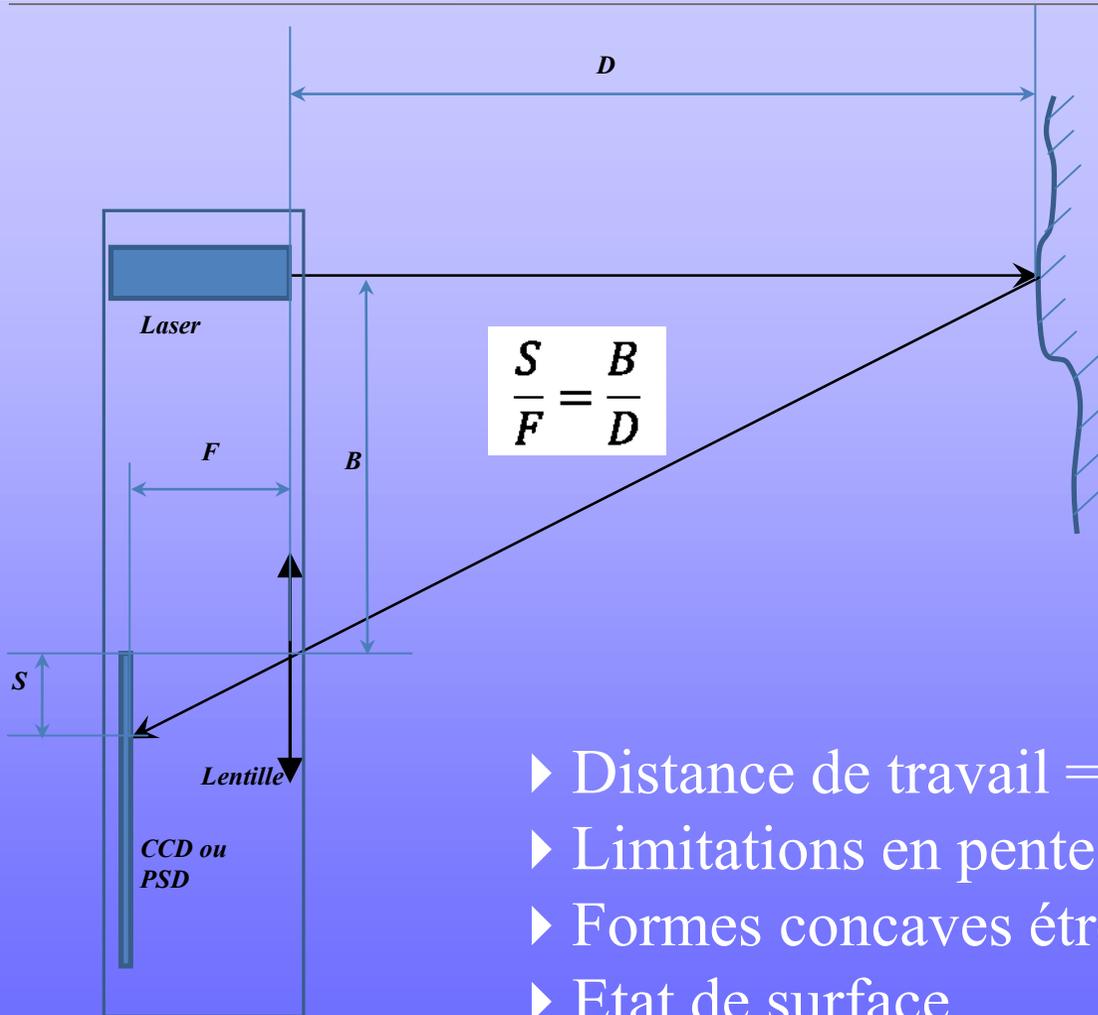
- ▶ Faible distance de travail
- ▶ Limitations en pente
- ▶ Formes concaves étroites

Mesure ponctuelle – Laser temps de vol



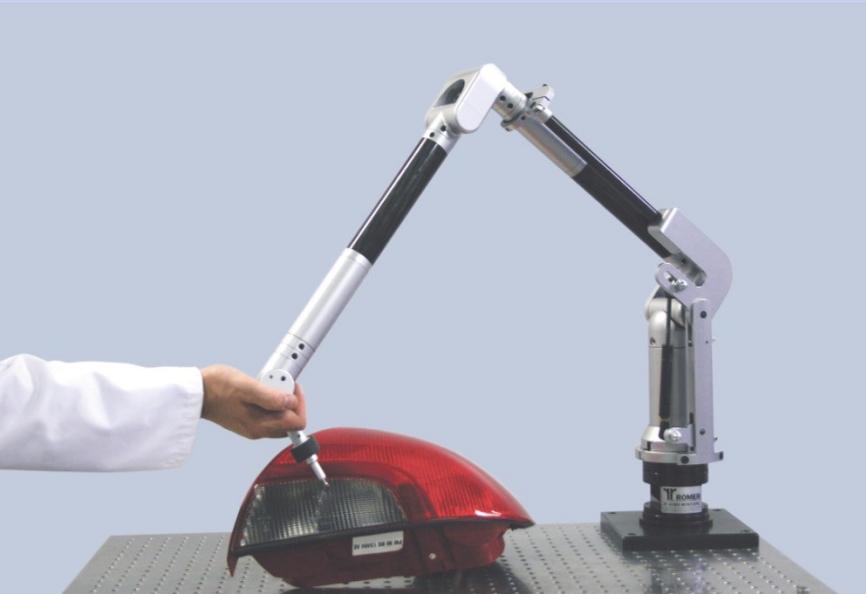
- ▶ Résolution : 1 mm
- ▶ Cadences : 100 Kpoints/s
- ▶ Portée : jusqu'à 300 m

- ▶ Grande distance de travail
- ▶ Numérisation de bâtiments
- ▶ Possibilité d'associer une photo au nuage de points



- ▶ Répétabilité : 5 à 60 μm
- ▶ Cadence : 250 Hz

- ▶ Distance de travail = taille capteur
- ▶ Limitations en pente
- ▶ Formes concaves étroites
- ▶ Etat de surface



- ▶ Scan manuel
- ▶ Formes concaves étroites
- ▶ Etat de surface

- ▶ Répétabilité : 60 μm
- ▶ Cadences : 200 Kpoints/s



Plan(s) laser et photogrammétrie



- ▶ Résolution : 30 μm
- ▶ Cadences : 18000 pts/s
- ▶ Grandes surfaces possibles avec données photogrammétriques

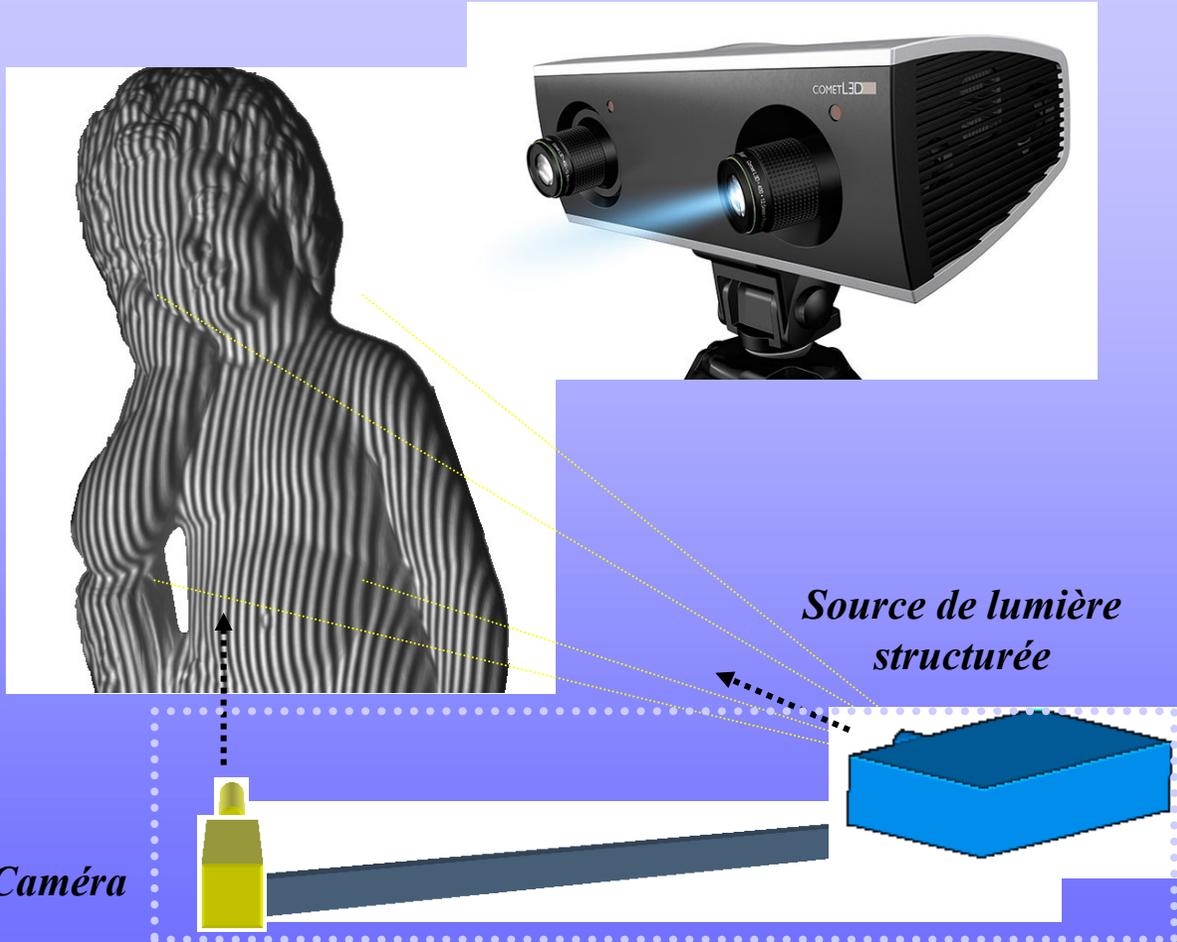
- ▶ Scan manuel
- ▶ Formes concaves étroites
- ▶ Etat de surface



- ▶ Résolution : 30 μm
- ▶ Cadences : 18000 pts/s
- ▶ Grandes surfaces possibles avec données photogrammétriques

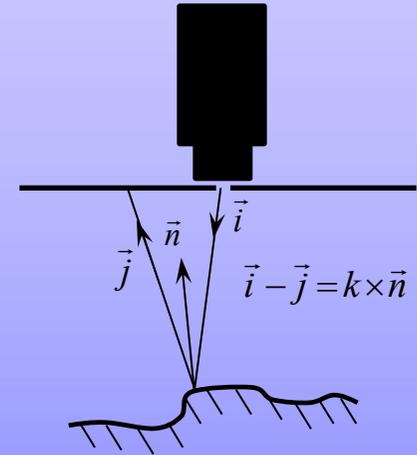


- ▶ Scan manuel ou automatique
- ▶ Formes concaves étroites
- ▶ Etat de surface



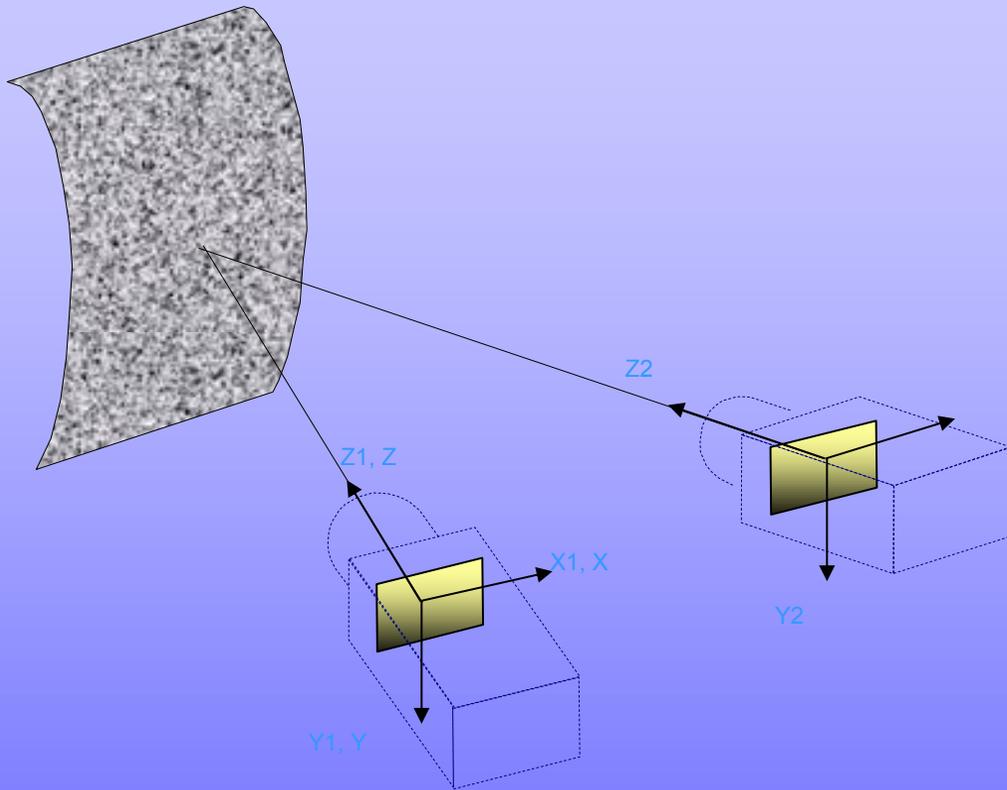
- ▶ Résolution : de 20 μm à 200 μm
- ▶ Cadences : 4 Mpoints/s

- ▶ Recalage des vues
- ▶ Limitations en pente
- ▶ Formes concaves étroites
- ▶ Etat de surface



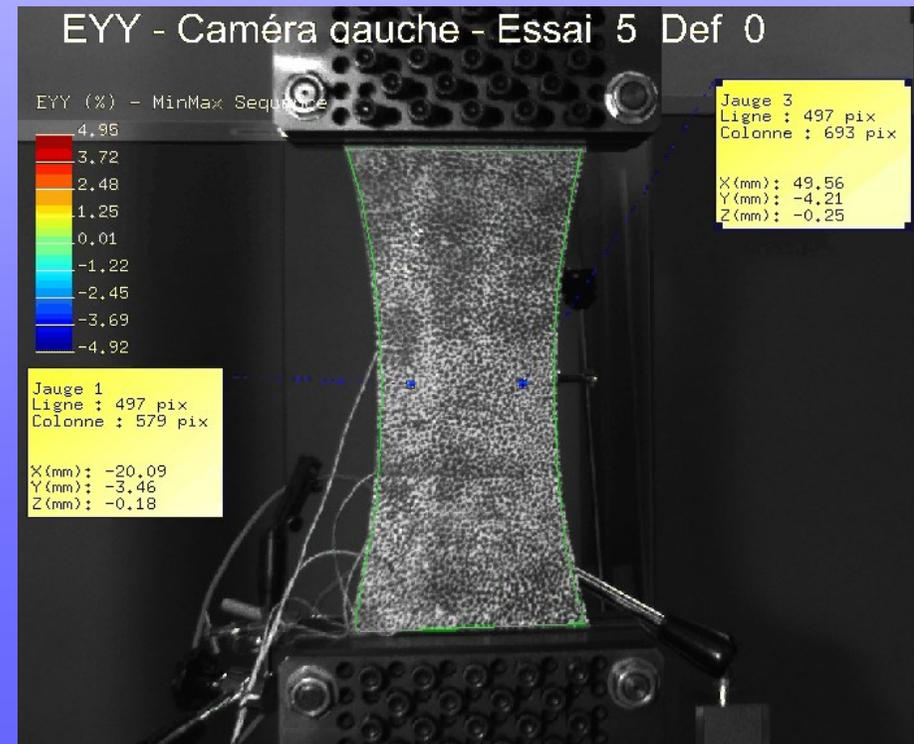
- ▶ Résolution Z : du μm à la centaine de μm
- ▶ Cadences : quelques Mpoints/s
- ▶ Champ analysé : du cm^2 à plusieurs m^2
- ▶ Fonctionne sur surfaces spéculaires

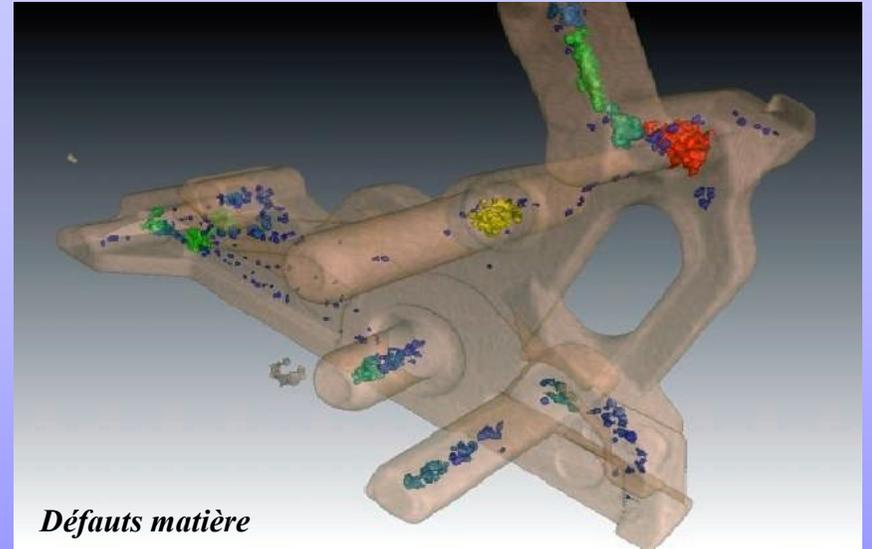




- ▶ Incertitude : de 10 μm à 150 μm
- ▶ Cadences : 1 Mpoints/s + temps calcul

- ▶ Recalage des vues
- ▶ Limitations en pente
- ▶ Formes concaves étroites
- ▶ Surface texturée ou peinte

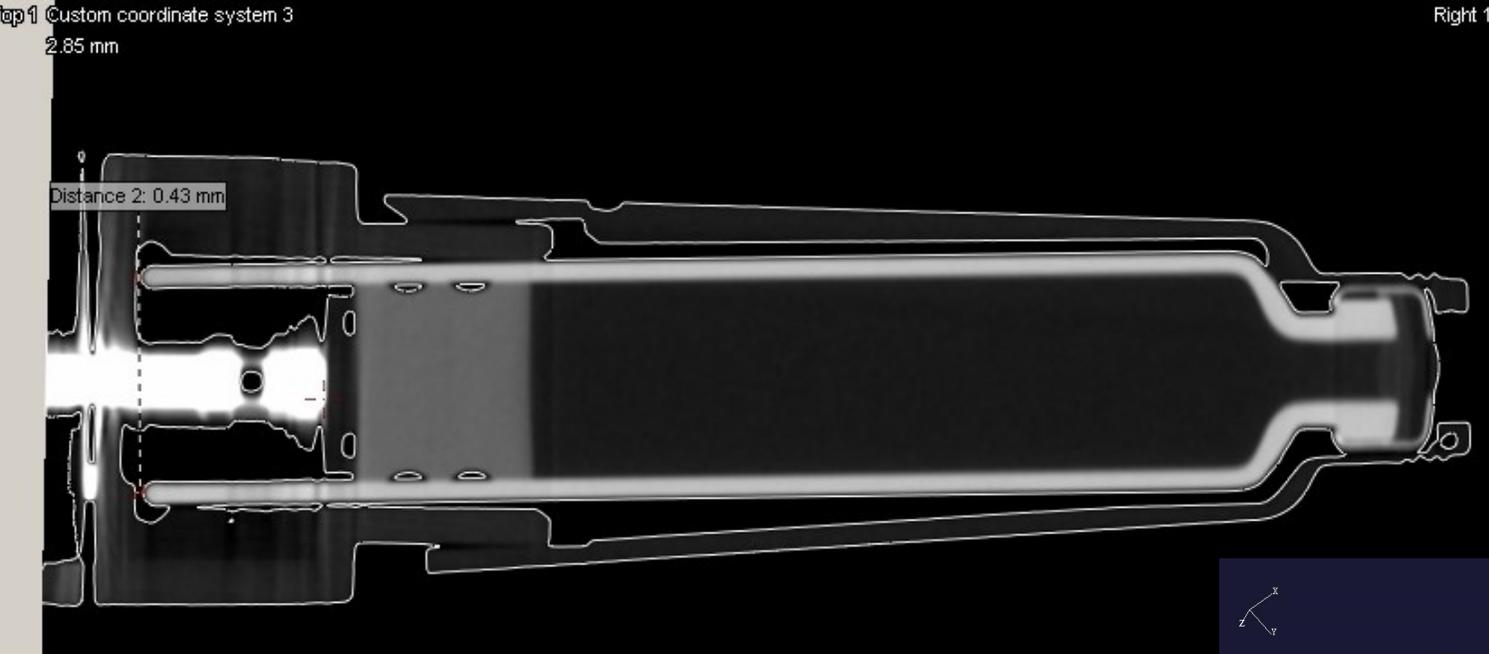




- ▶ Type faisceau : divergent ou collimaté
- ▶ Energie du faisceau = épaisseur objet admissible
- ▶ Spectre du faisceau : possibilité de contraste de phase ou non



Mesure volumique – Tomographie X



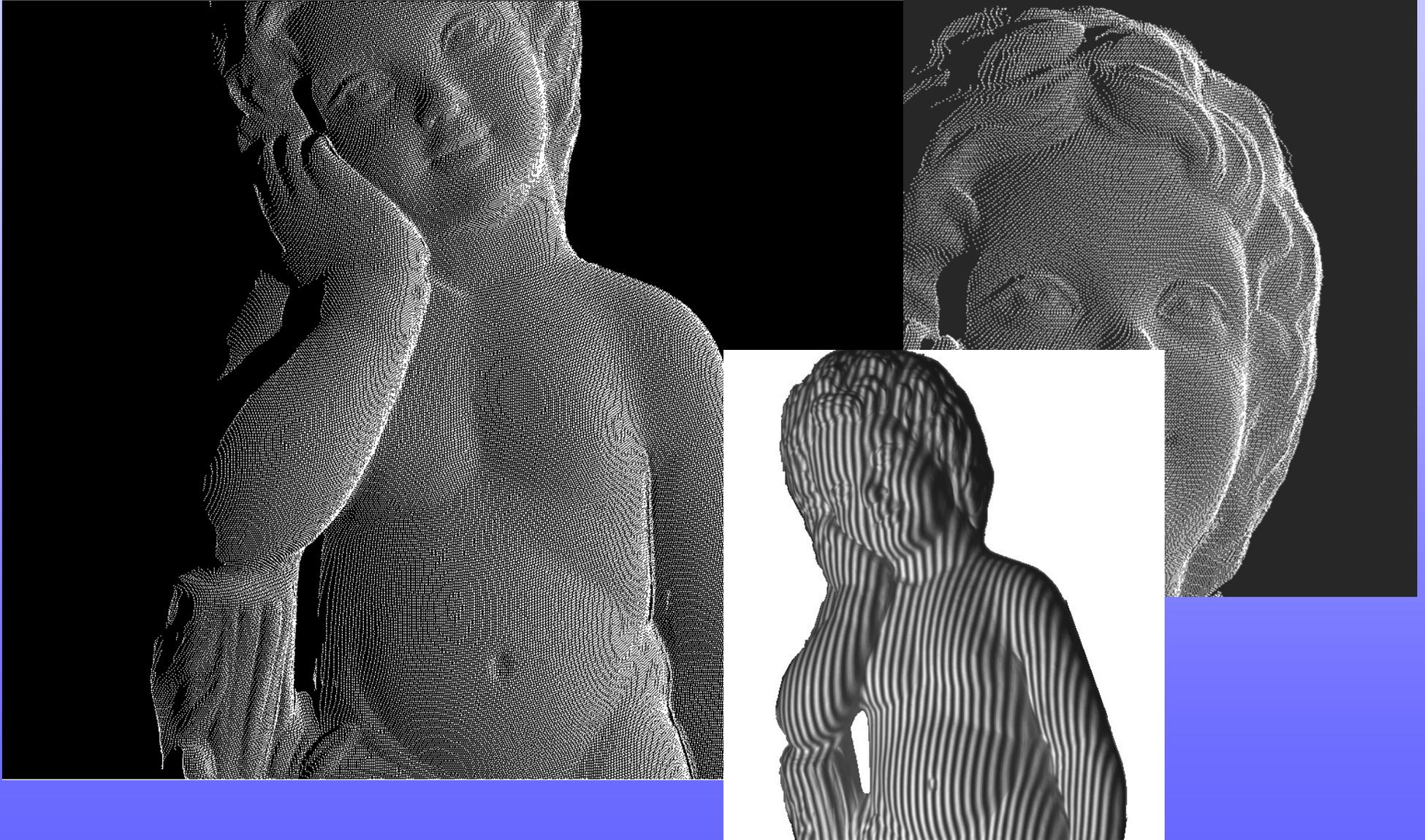
- ▶ Résolution : de 1 à 100 μm
- ▶ Cadences : de 1 mn à 2 heures
- ▶ 3D volumique

- ▶ Gestion de différents matériaux
- ▶ Limitations en épaisseur
- ▶ Contraintes réglementaires



***La qualité du nuage de
points générés***

La qualité des nuages de points générés

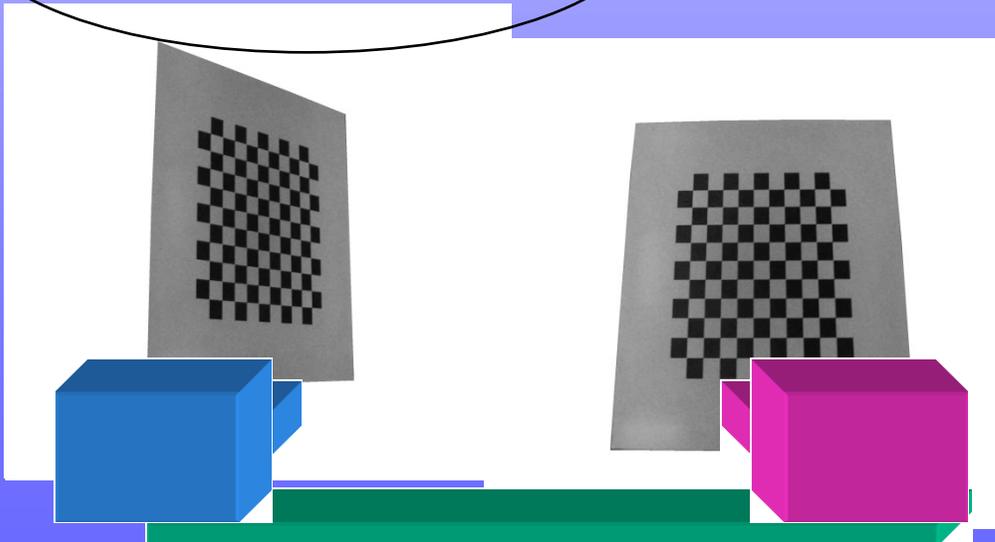
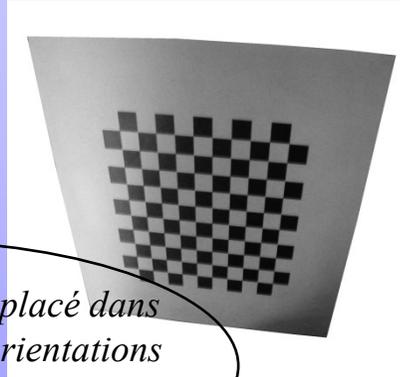


1^{ère} étape : extraction des paramètres intrinsèques de la **caméra** et de la position relative entre **camera** et damier

2^e étape : extraction des paramètres intrinsèques du **projecteur** et de la position relative entre **projecteur** et damier

3^e étape : Calcul des paramètres extrinsèques (T, R) entre **camera** et **projecteur**

Utilisation d'un damier placé dans différentes positions et orientations dans le champ de mesure

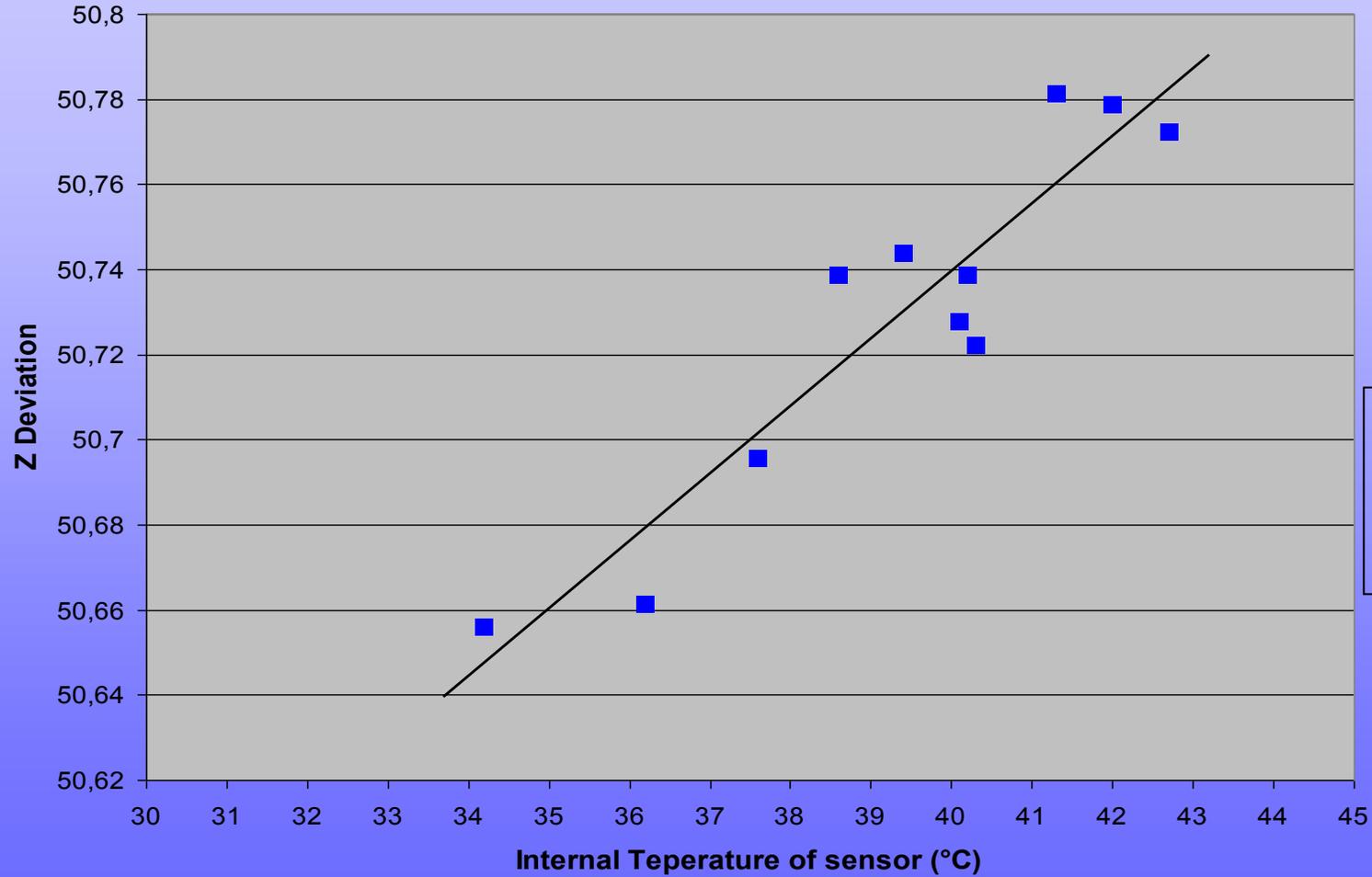


Erreurs sur les paramètres intrinsèques :

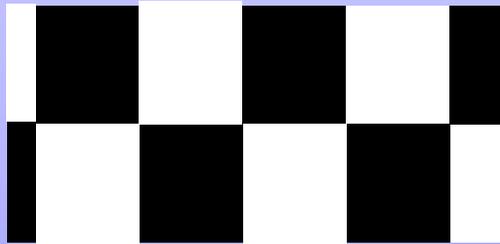
- Distance focale : 0.37 pixels (1σ)
- Point principal : 0.60 pixels (1σ)
- Coefficient de distorsion : 0.0007 (1σ)

Erreurs sur les paramètres extrinsèques :

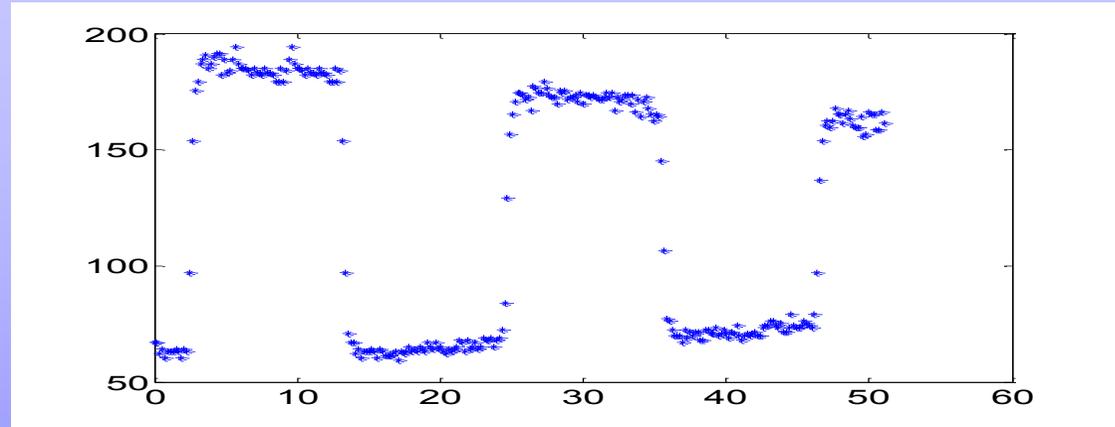
- Translation : 0.007 mm
 - Rotation : 0.03 mrad
- (pour un champ de 500 mm)



Un temps de mise en température à respecter

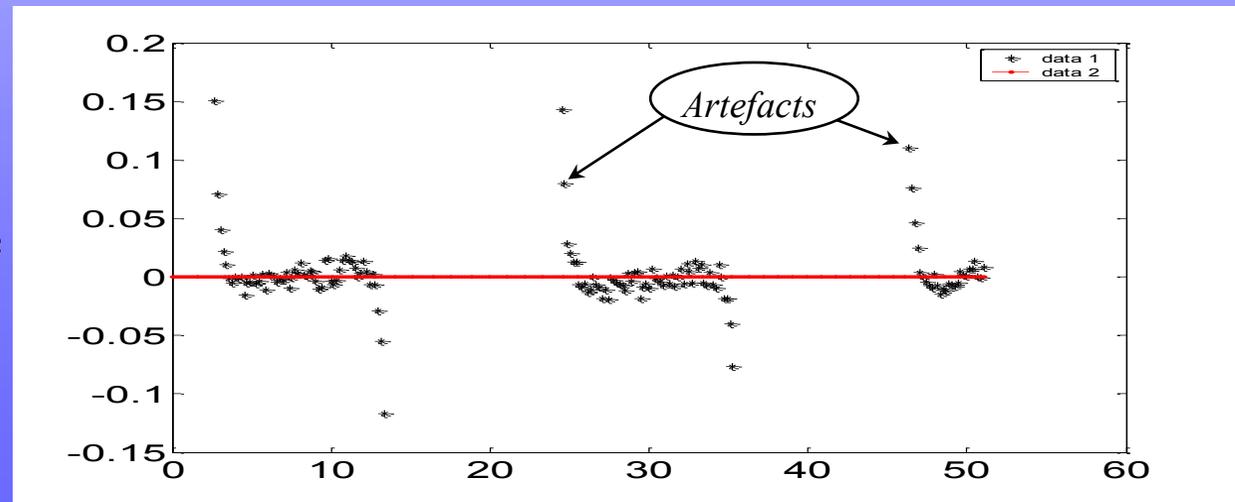


Damier plan numérisé

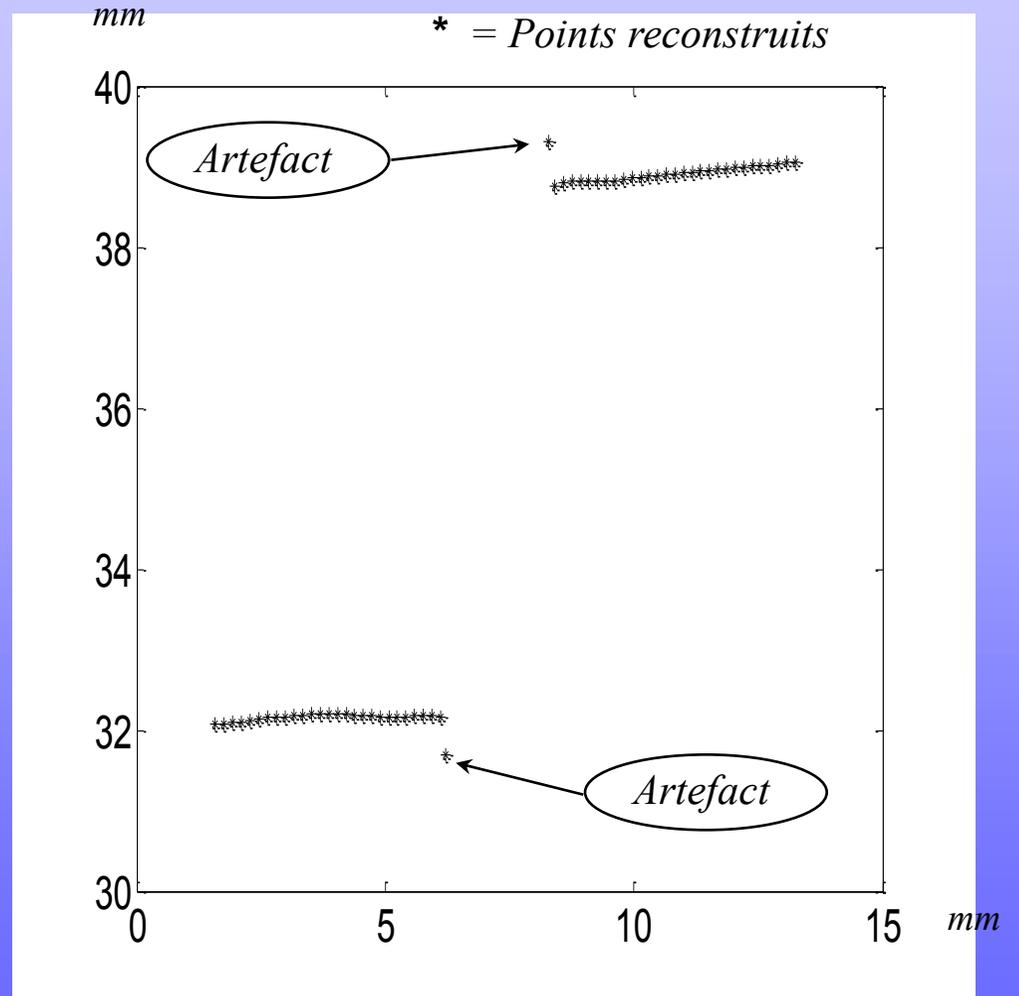
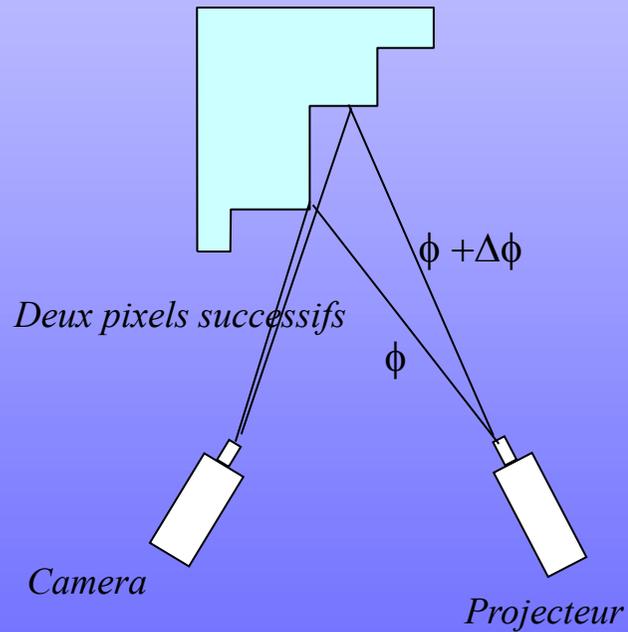


Intensités enregistrées par la caméra

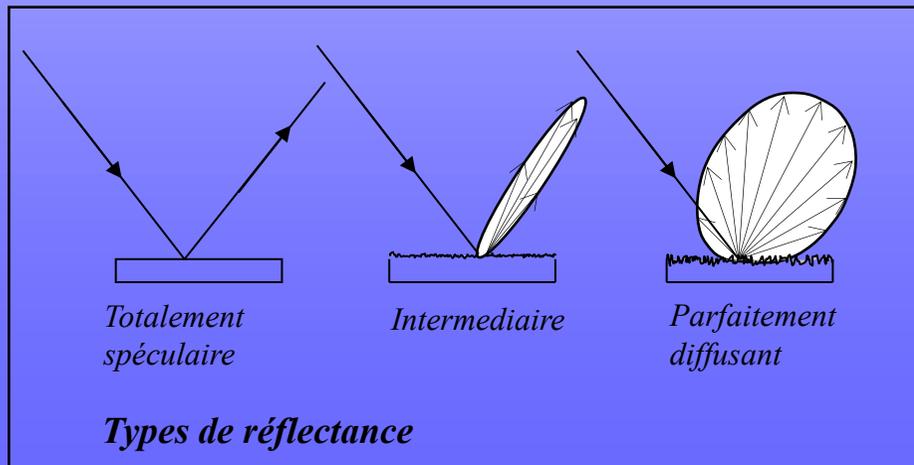
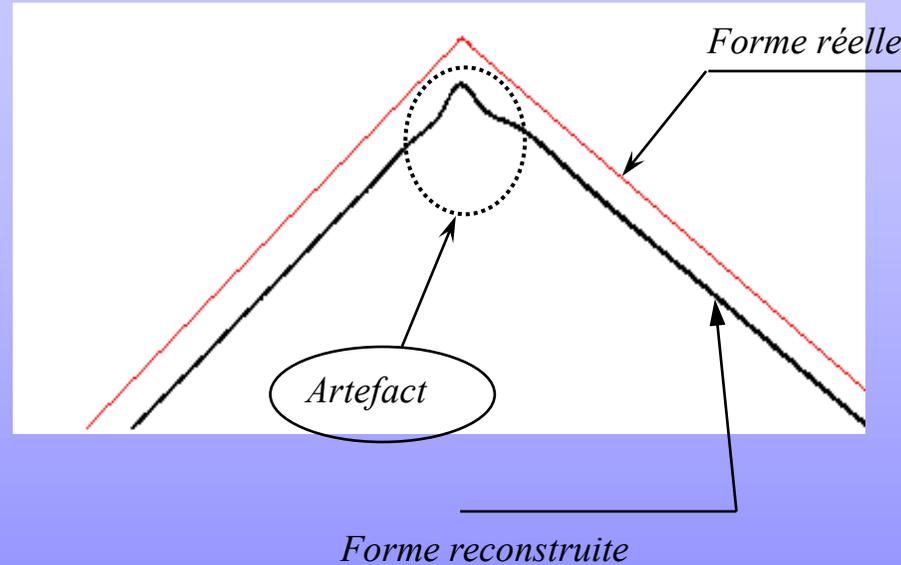
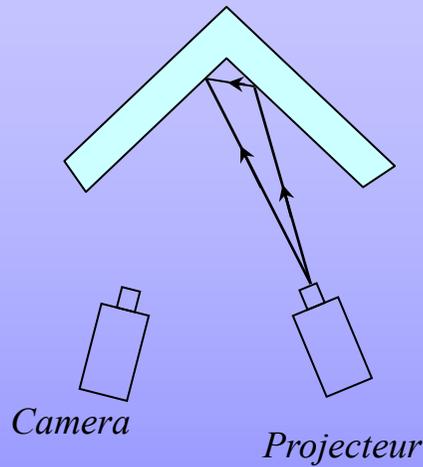
Surface calculée



Incertitude de mesure – Artefacts : Les sauts géométriques



Incertitude de mesure – Artefacts : Angles rentrants

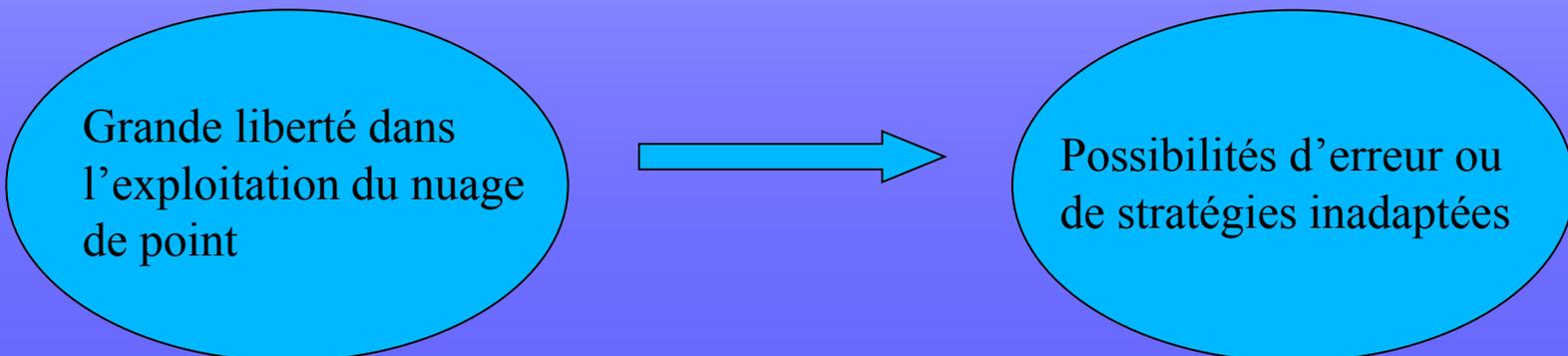


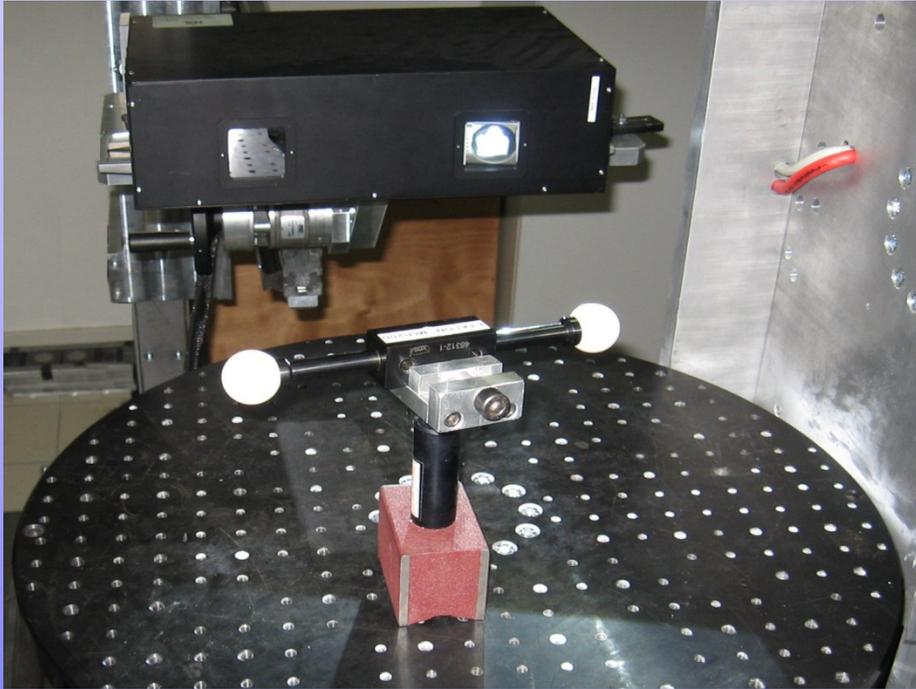
- ▶ Artefacts apparaissant pour des formes concaves
- ▶ Effet d'autant plus grand que le terme spéculaire de la réflectance est élevé

Les méthodes de recalage de vues : (à chaque recalage de vues sera associée une erreur de recalage)

- Mouvement connu du capteur ou de l'objet entre deux vues
- Raccordement sur cibles collées sur l'objet (importance du choix de position des cibles)
- Raccordement sur les surfaces de l'objet (numérisations redondantes)
- Stratégie de numérisation : choix de positions du capteur, choix de méthode de recalage, choix de stratégie de recalage

Le post-traitement des données : Nécessité de définir de bonnes pratiques





Mesurande :

- Diamètre de sphère
- Distance entre sphère

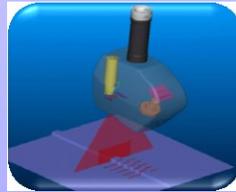
Procédure :

- Répétabilité : 30 enregistrements successifs de la barre à boule
- Reproductibilité : La barre à boule est placée dans 30 positions différentes du volume de mesure

	Diamètre sphere (mm)	Distance entre sphères (mm)
Incertitude sur l'étalon (mm)	0.00125	0.001
Répétabilité (mm)	0.0010	0.0025
Reproductibilité (mm)	0.037	0.023
Incertitude-type composée u_c (mm)	0.037	0.023
Incertitude élargie U (mm)	0.074	0.046

- Technologies étudiées

- Triangulation laser



- Lumière blanche



- Photogrammétrie

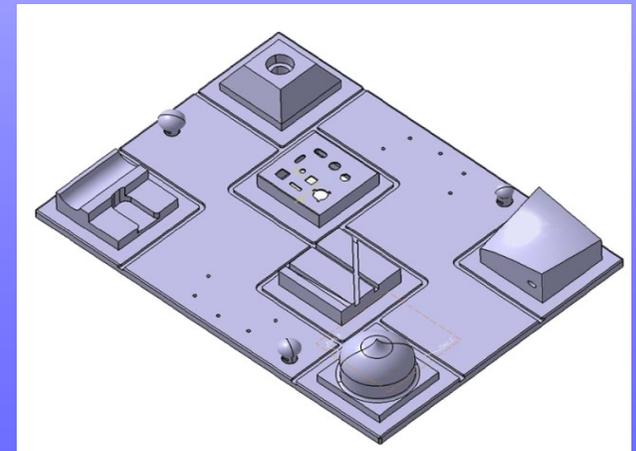


✓ Objectifs

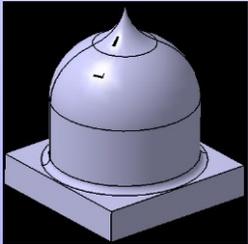
- Obtenir des formes discriminantes
- Vérifier des spécifications géométriques et dimensionnelles

✓ Caractéristiques mécaniques

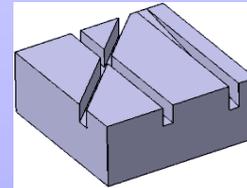
- Surface de la plaque : $370 \times 500 \text{ mm}^2$
- Surface des éléments de mesure : $90 \times 90 \text{ mm}^2$
- Masse de l'assemblage : $15,3 \text{ kg}$
- Matériau : Alliage d'aluminium de nuance 2017A
- Traitement de surface : Anodisation or



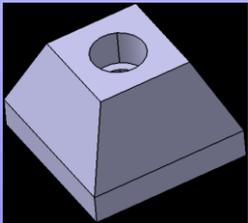
Conception de la pièce finale



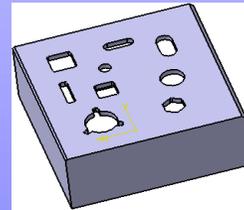
- Vérifier une tolérance de cylindricité.
- Test discriminant : mesure de la hauteur du sommet /la base.



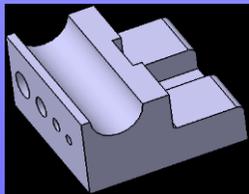
- Rainures à inclinaisons différentes.



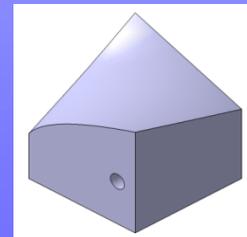
- Vérifier l'accessibilité d'un perçage profond.
- Vérifier planéité et angles plan/plan



- Faible épaisseur sur face supérieure.
- Mesurer différents trous.

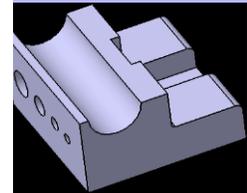
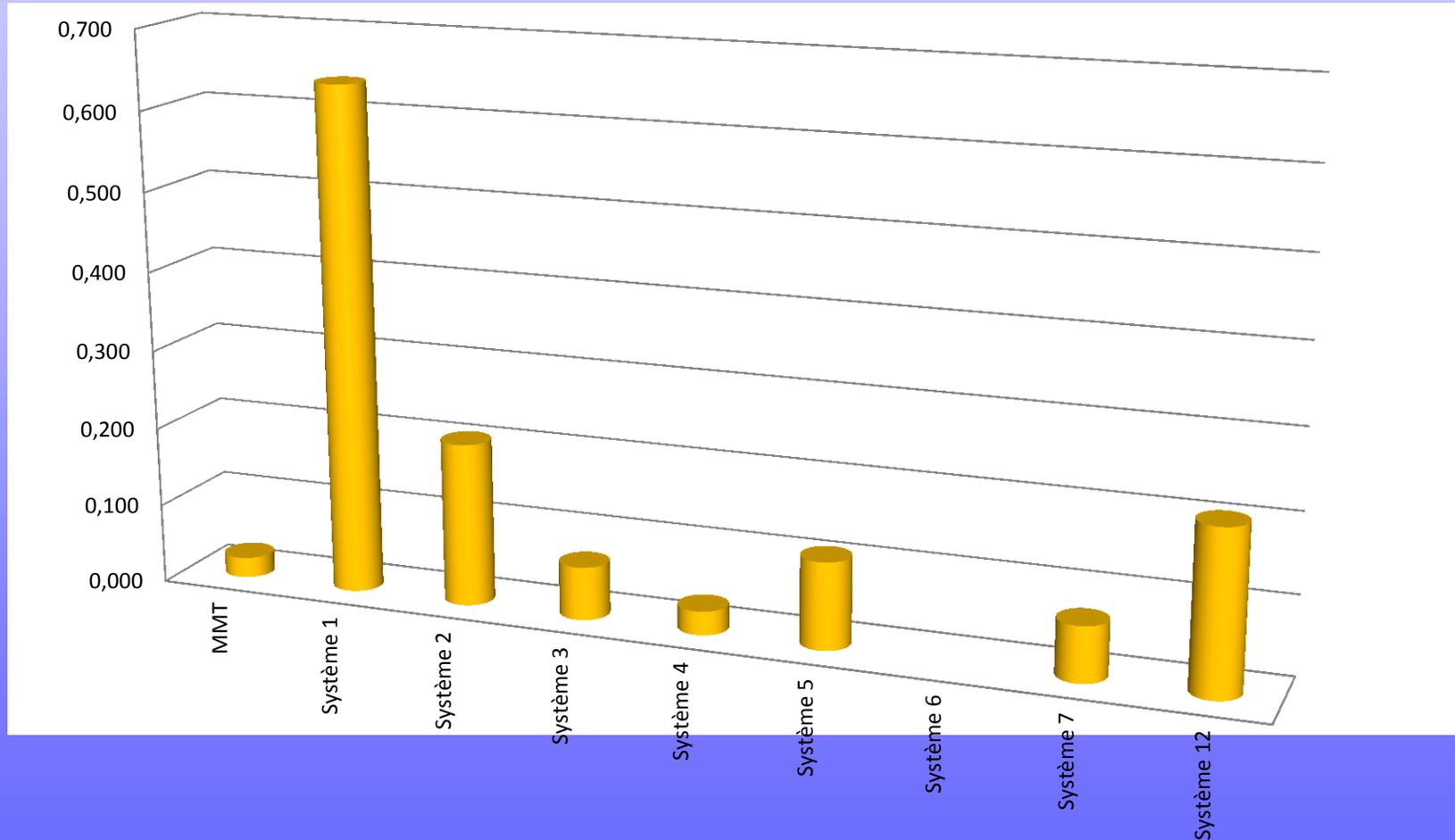


- Influence de la réflexion de différents faisceaux.
- Mesurer des trous de différents diamètres.
- Vérifier la perpendicularité d'un plan/plan.



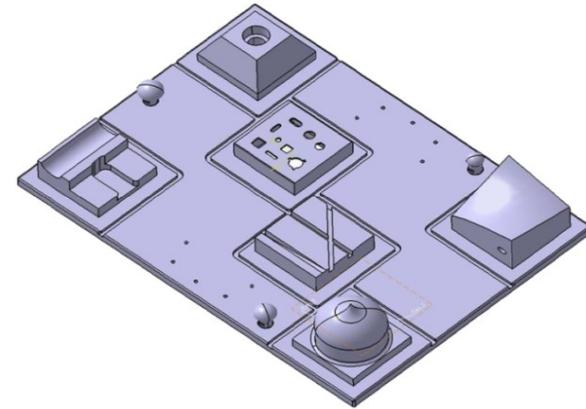
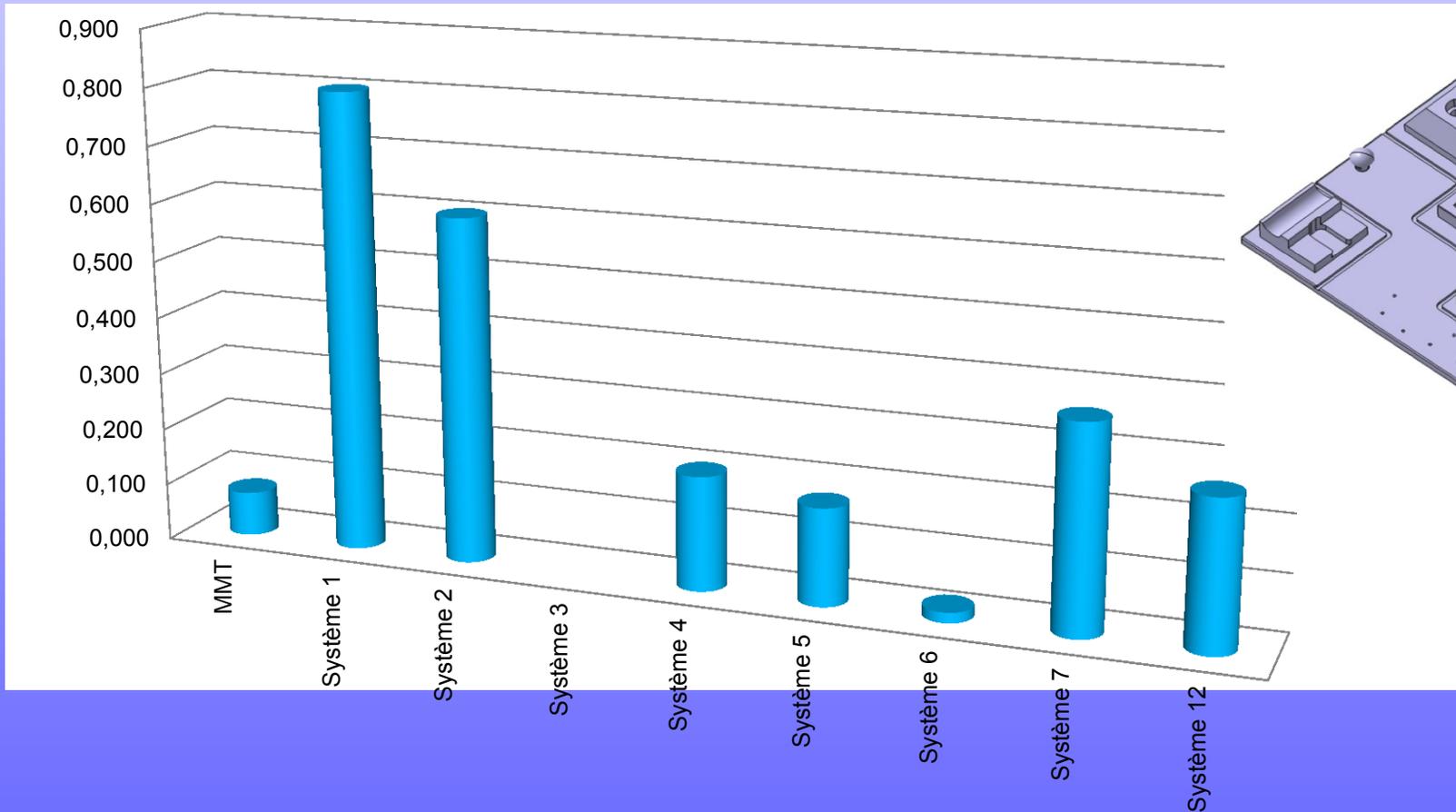
- Évaluer l'aptitude des moyens à mesurer des surfaces gauches.

Perpendicularité n°11 du siège



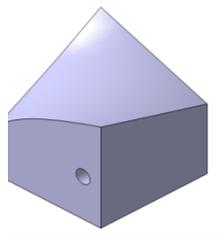
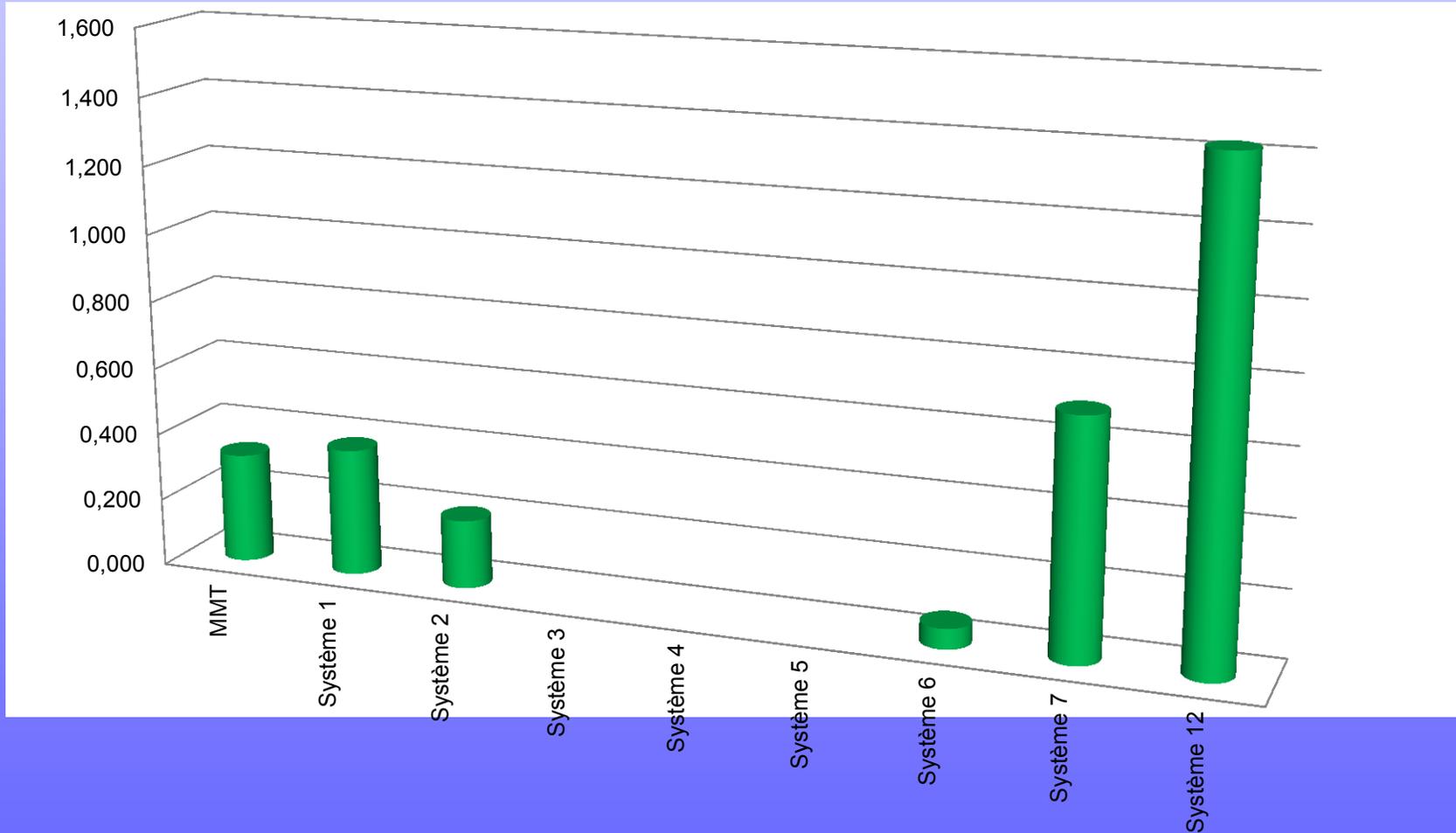
	MMT	Système 1	Système 2	Système 3	Système 4	Système 5	Système 6	Système 7	Système 12
■ perpendicularité n°11 du siège	0,025	0,639	0,206	0,067	0,030	0,110		0,070	0,206

Planéité du support



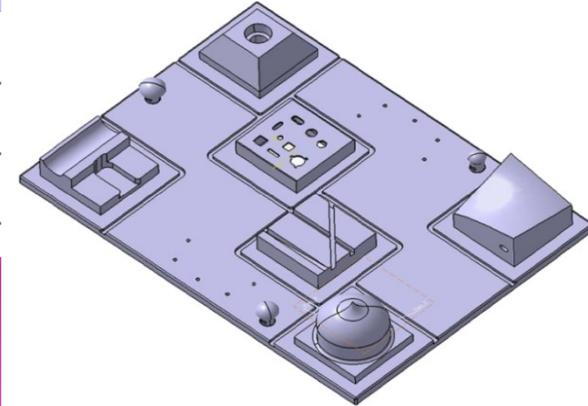
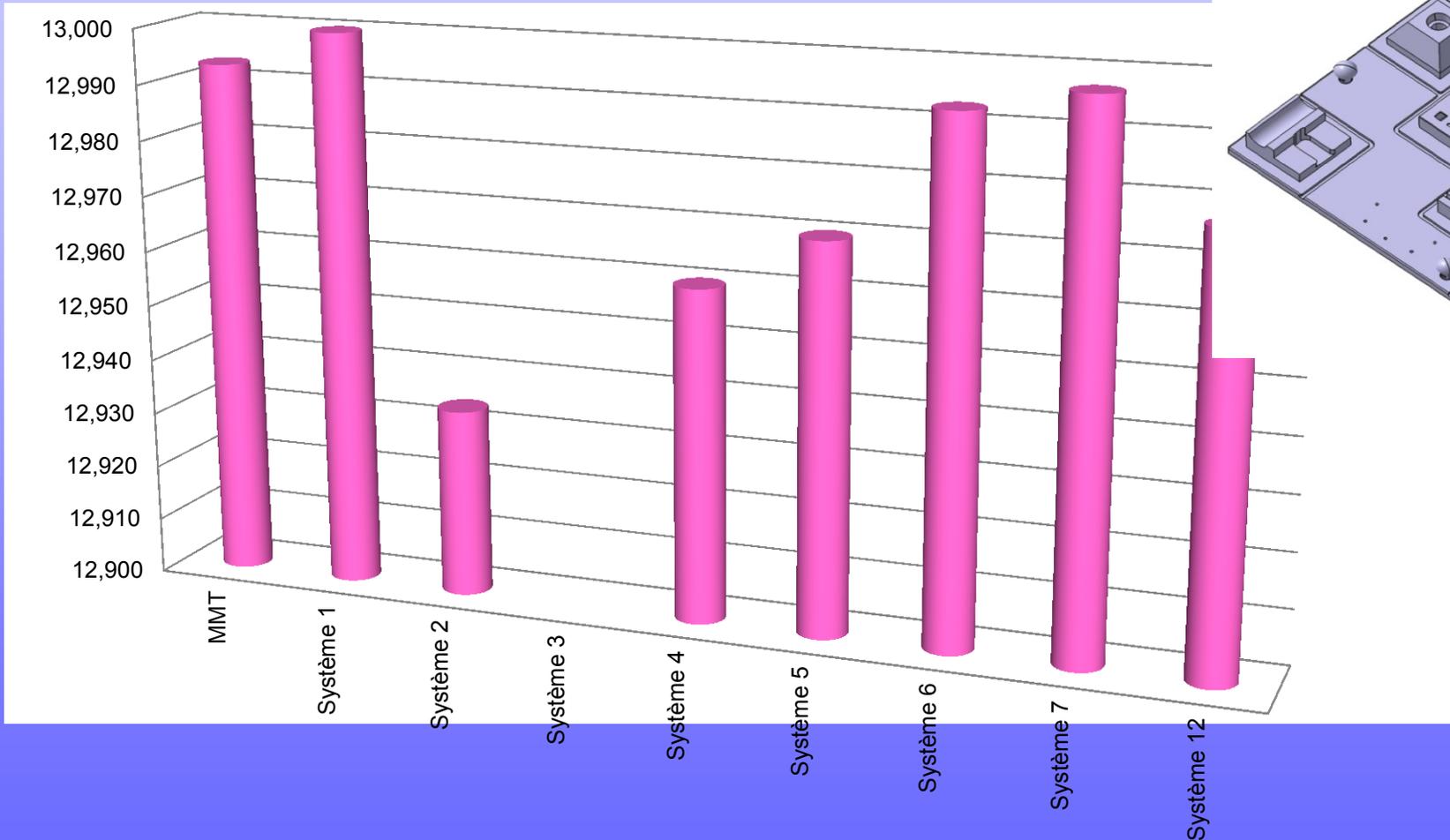
	MMT	Système 1	Système 2	Système 3	Système 4	Système 5	Système 6	Système 7	Système 12
■ Planéité support	0,077	0,802	0,603	0,018	0,200	0,170	0,018	0,360	0,261

Forme quelconque de l'amphi



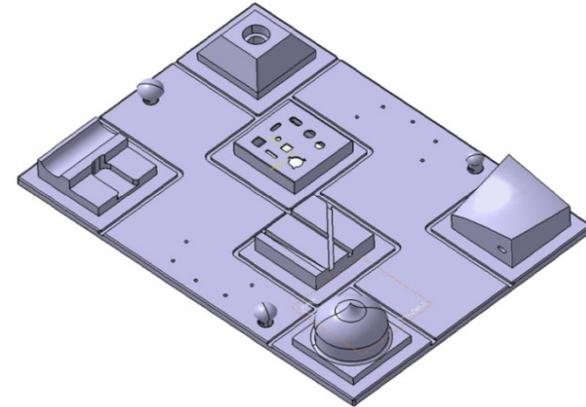
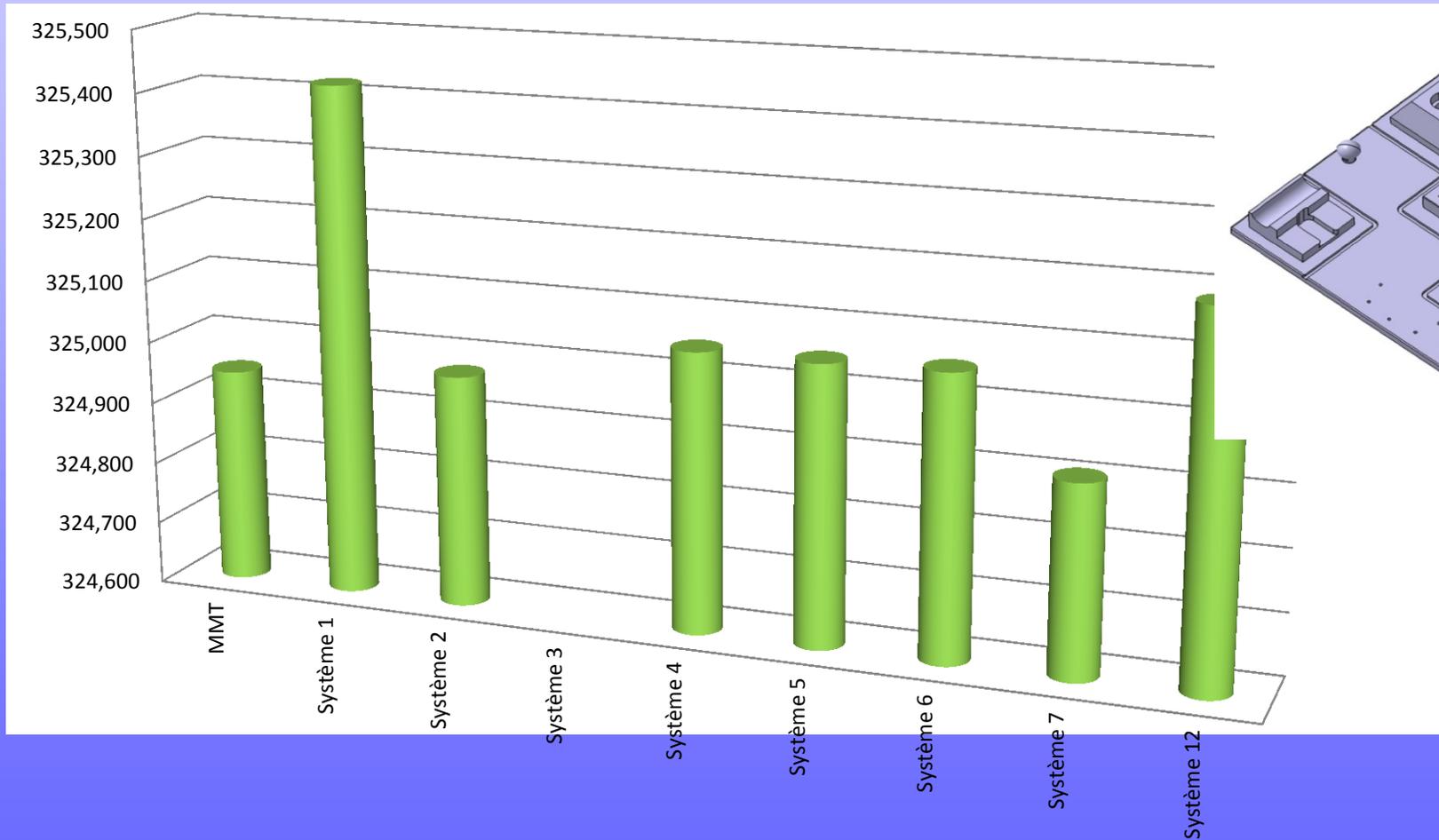
	MMT	Système 1	Système 2	Système 3	Système 4	Système 5	Système 6	Système 7	Système 12
■ Forme quelconque amphi	0,325	0,377	0,203				0,060	0,700	1,426

Rayon sphère 12mm



	MMT	Système 1	Système 2	Système 3	Système 4	Système 5	Système 6	Système 7	Système 12
■ Rayon sphère 12 mm	12,993	13,000	12,934		12,960	12,970	12,993	12,997	12,977

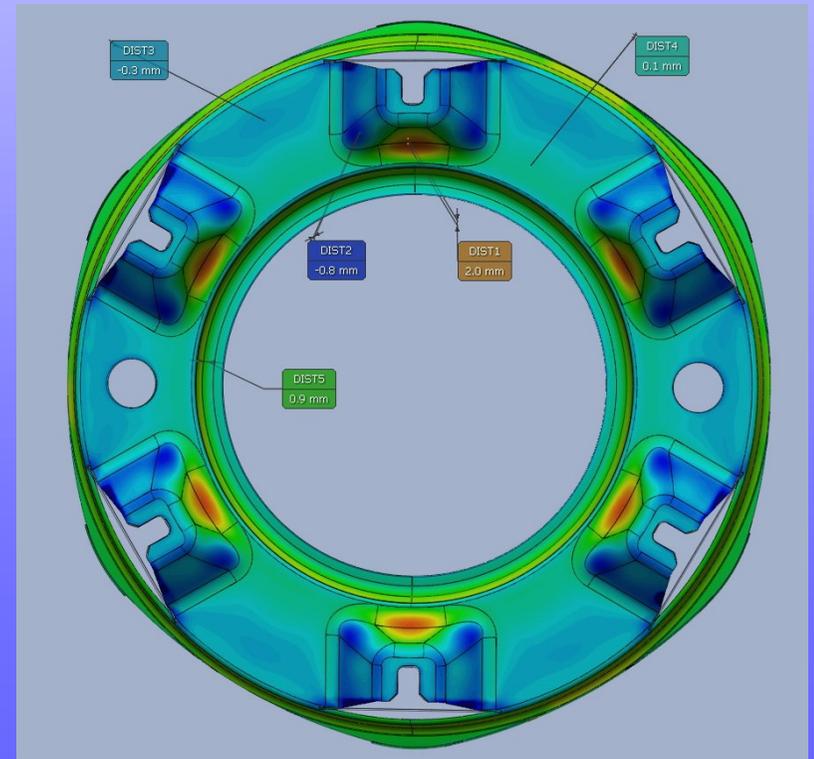
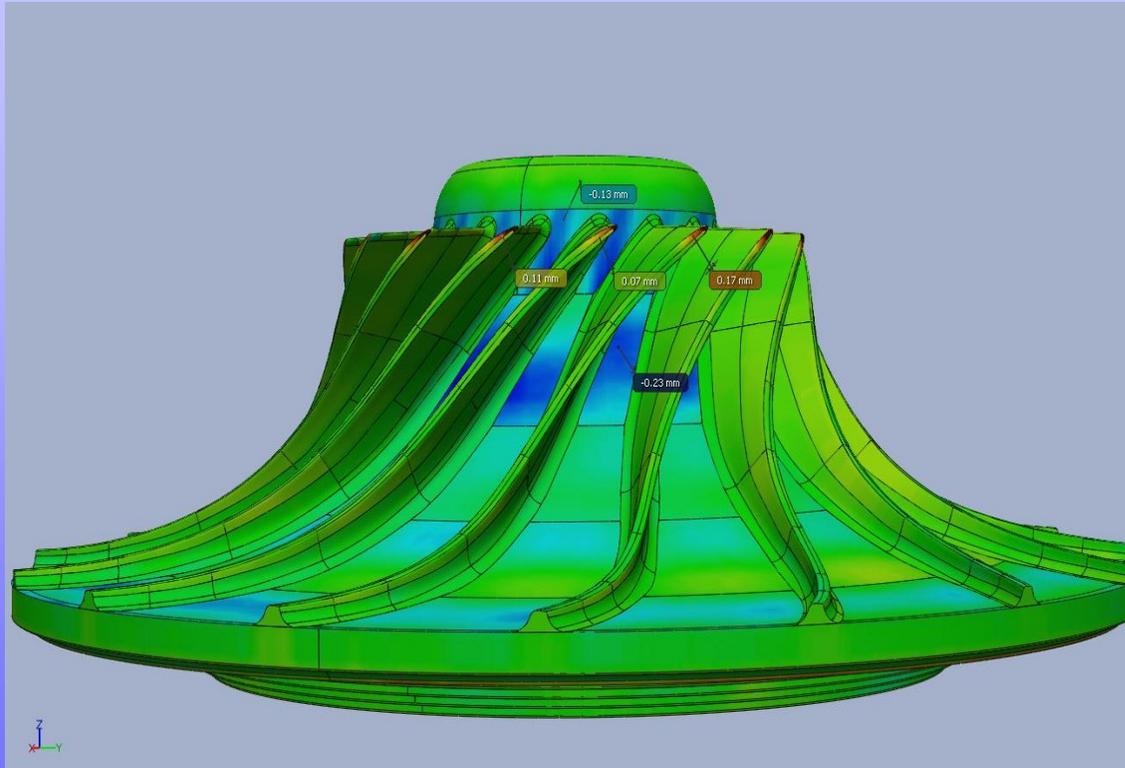
Distance entre sphère C1 C2



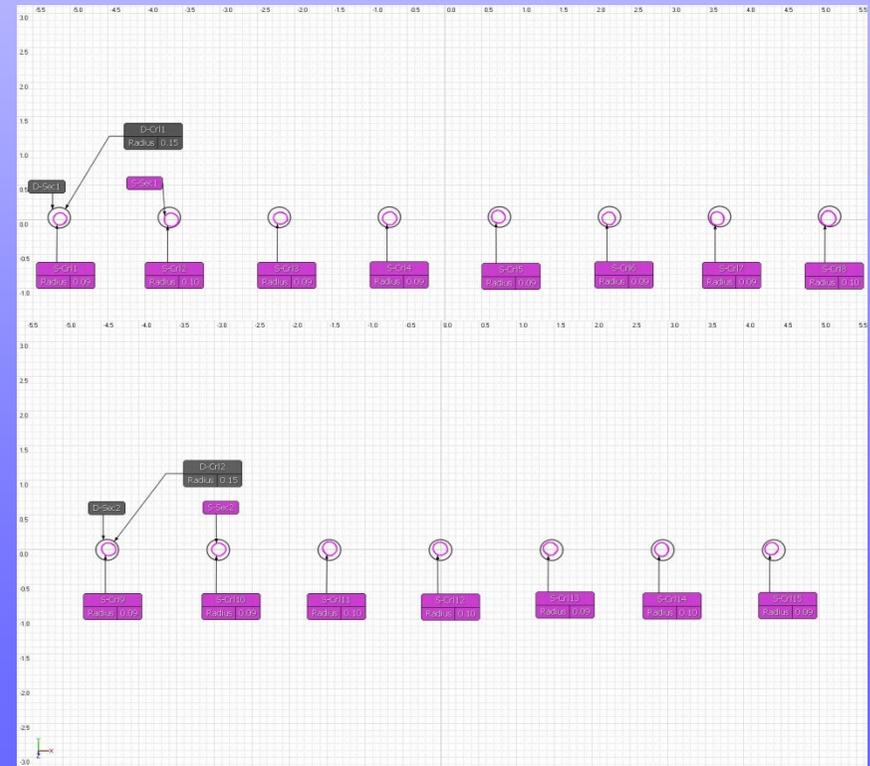
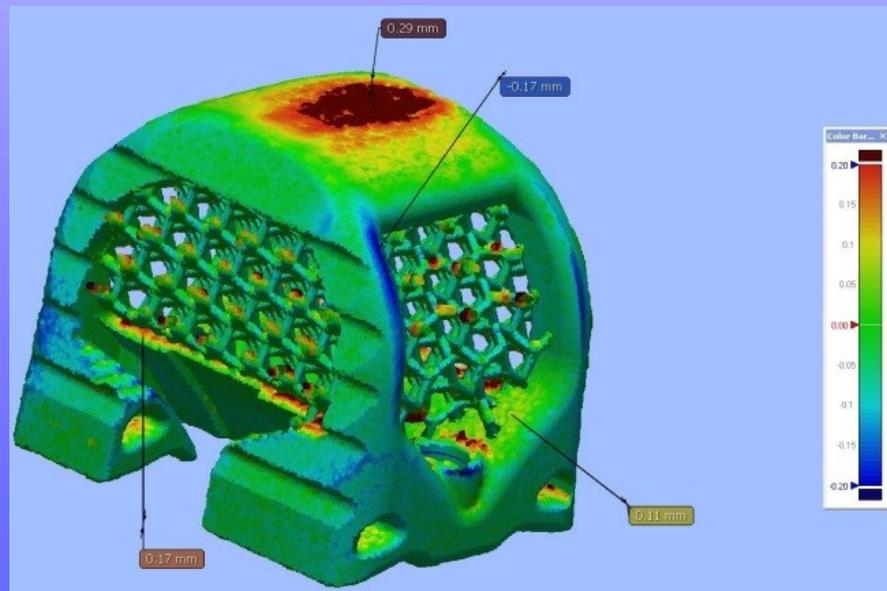
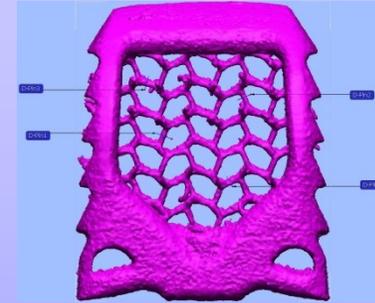
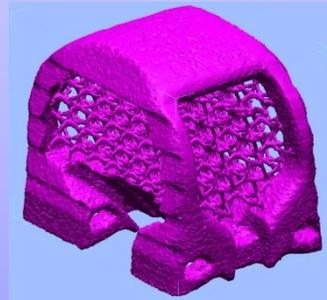
	MMT	Système 1	Système 2	Système 3	Système 4	Système 5	Système 6	Système 7	Système 12
■ Distance C1 C2	324,946	325,420	324,974		325,050	325,050	325,055	324,908	325,187

***Application : contrôle
dimensionnel***

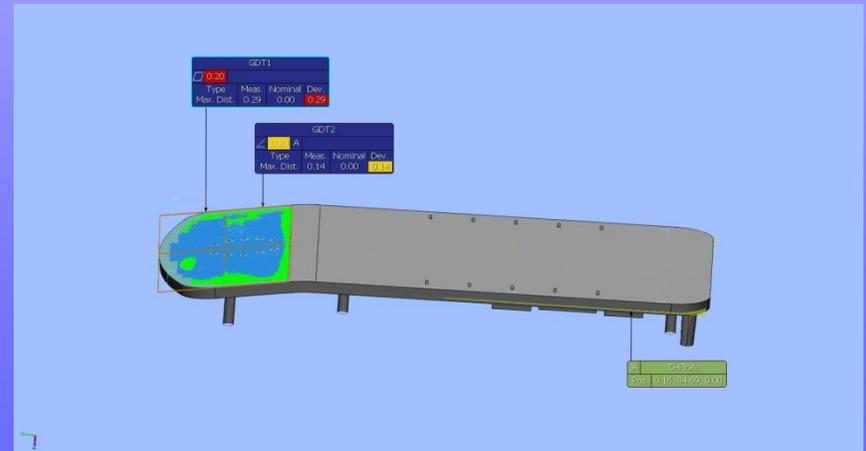
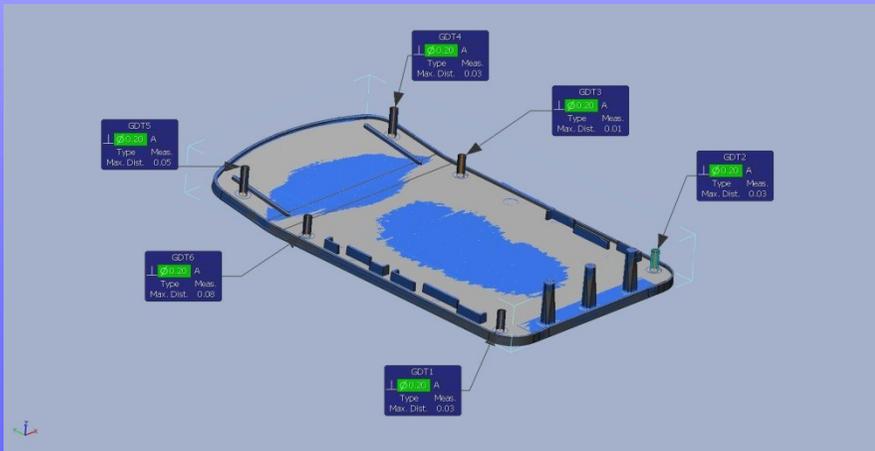
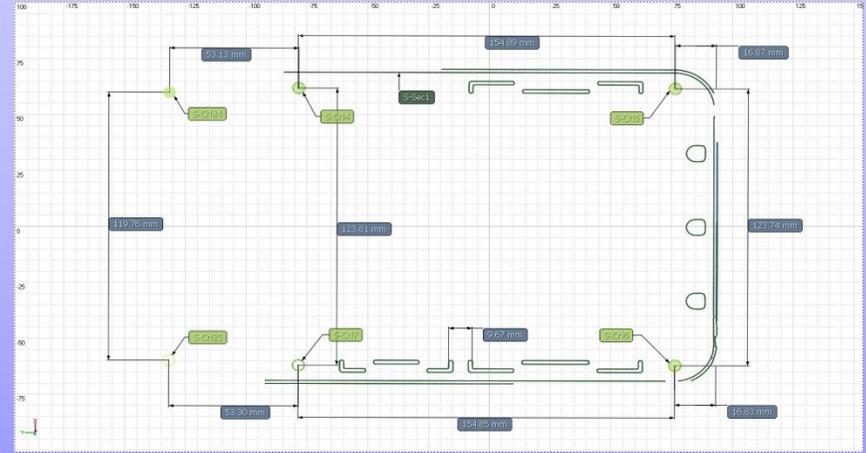
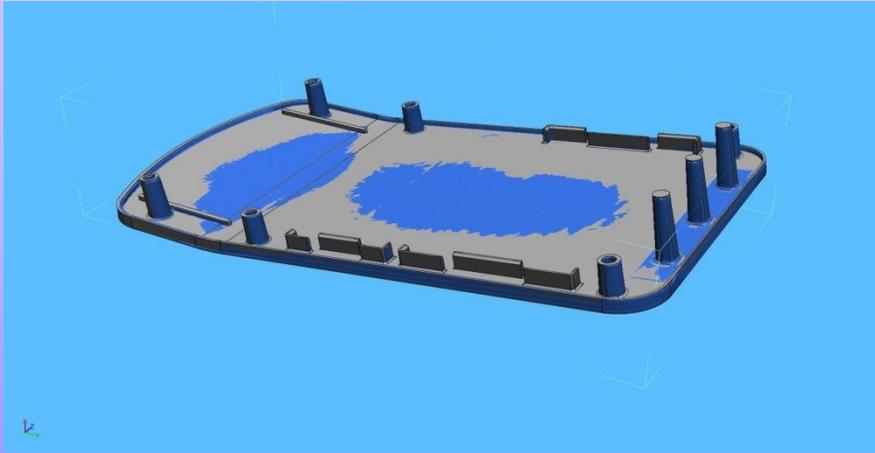
Contrôle de formes : Comparaison CAO – 3D

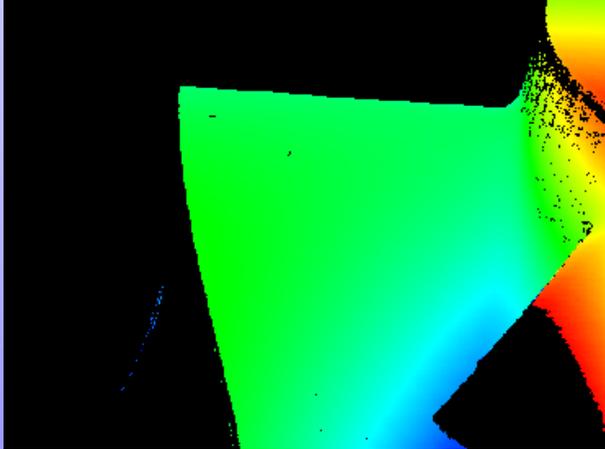


LDR Médical : Num3D Tomographie + comparaison CAO et cotations



PARKEON : Num3D Tomographie + comparaison CAO + cotations + tolérancement



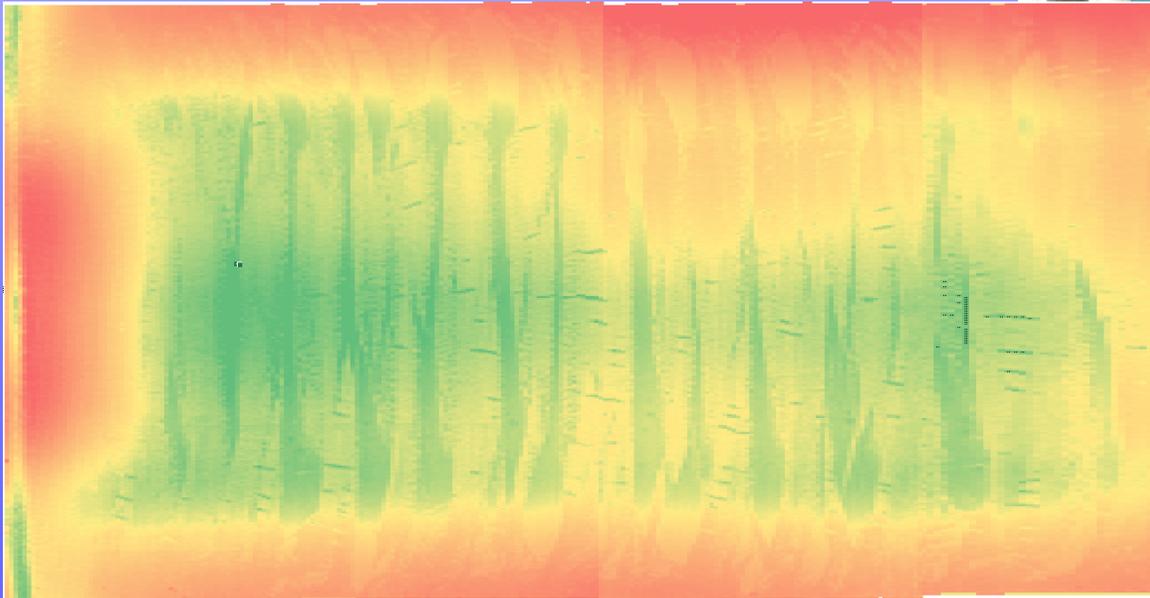
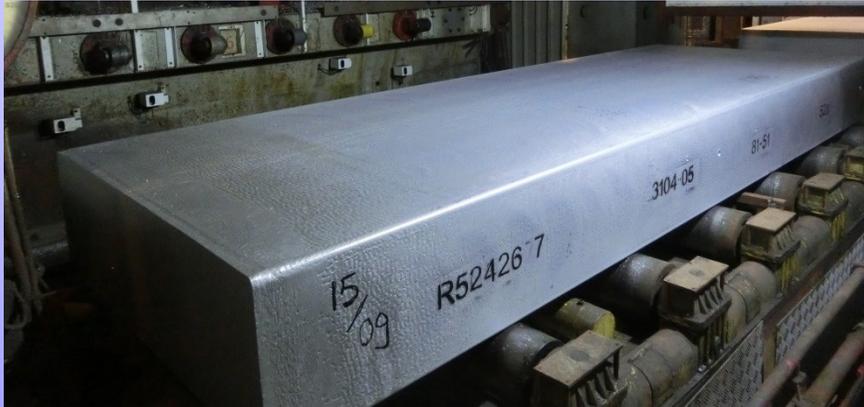


Contrôle qualité de pièces :

- Temps de mesure : 60s
- 300 points par vue
- Répétabilité : 10 μ m



Equipement de contrôle 3D en ligne

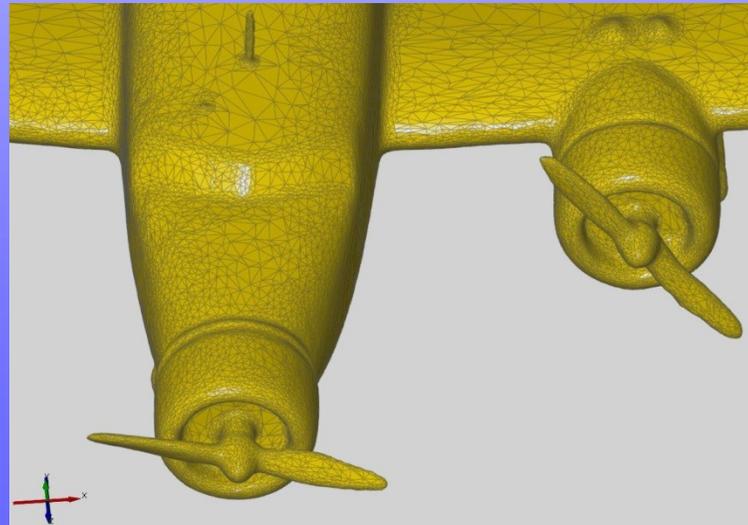


*Contrôle de plateaux aluminium :
Constellium*

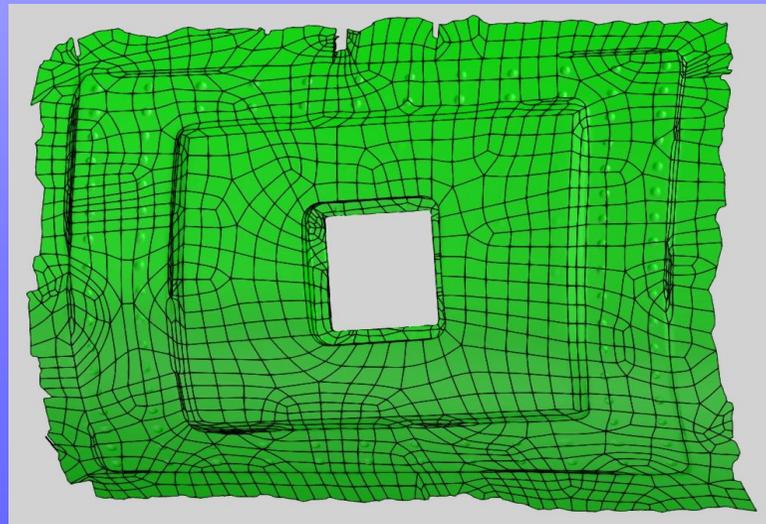
Application : Ingénierie inverse



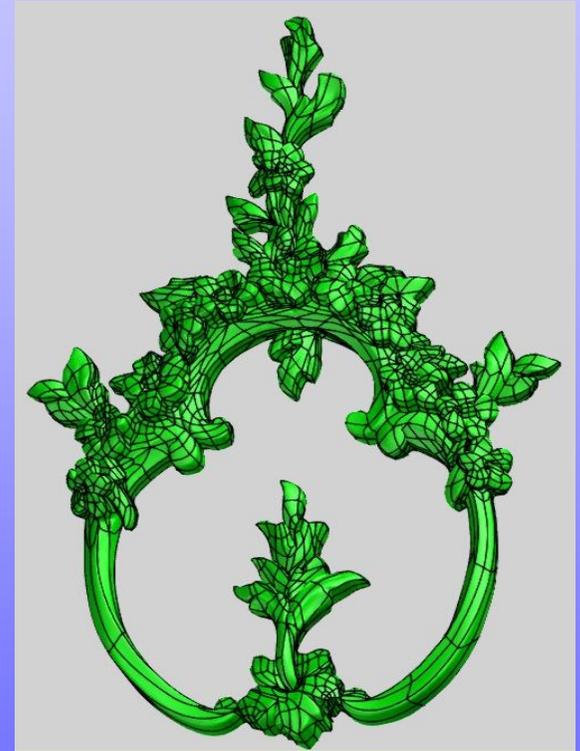
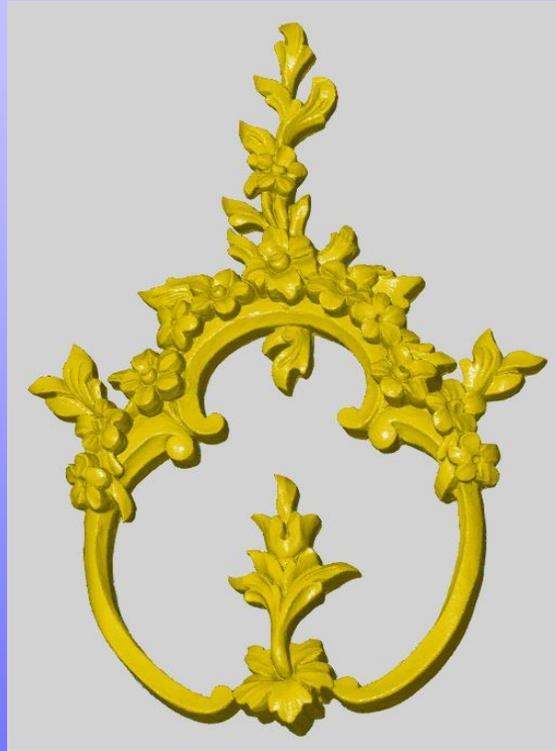
L'Agence Privée : Num3D Bras FARO – Fourniture du fichier stl



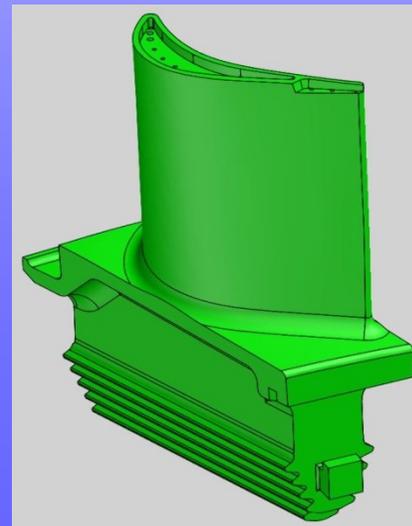
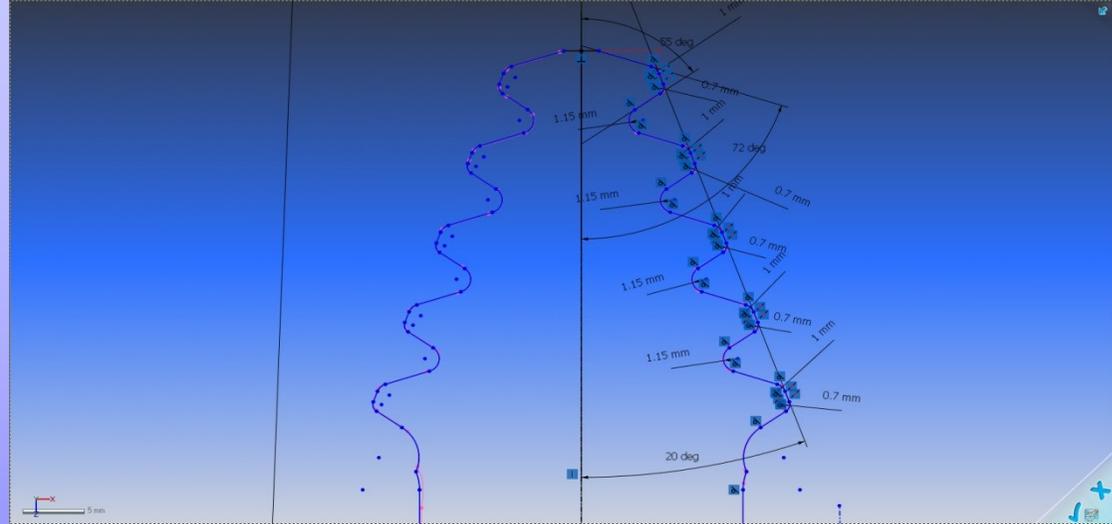
AMAC Aerospace : Num3D Bras FARO + Reconstruction Autosurfacing (Nurbs)



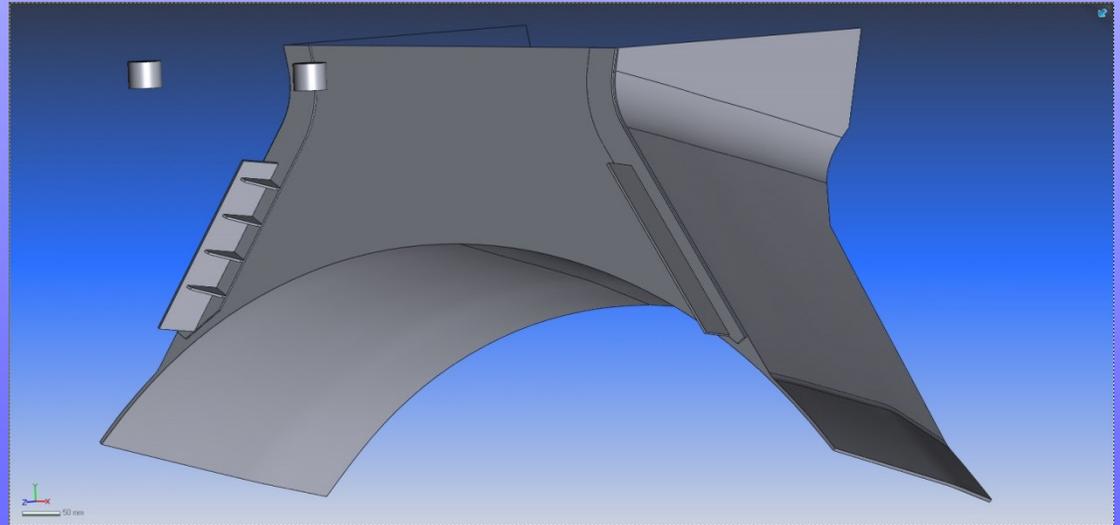
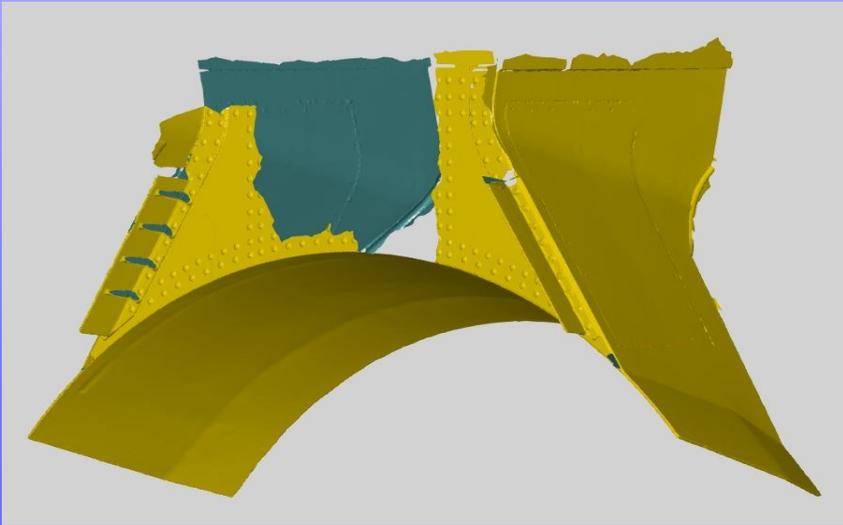
WEIDNER : Num3D Tomographie + Reconstruction Autosurfacing (Nurbs)



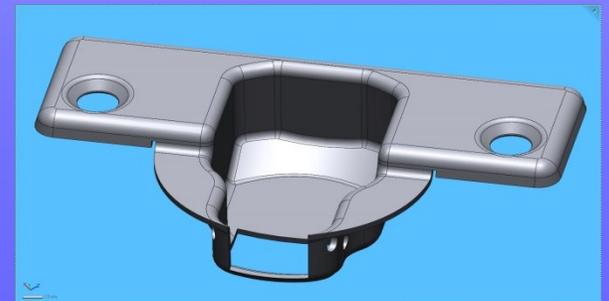
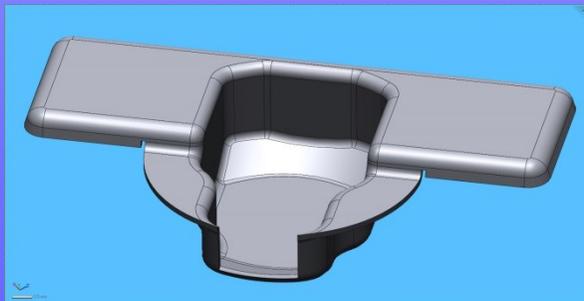
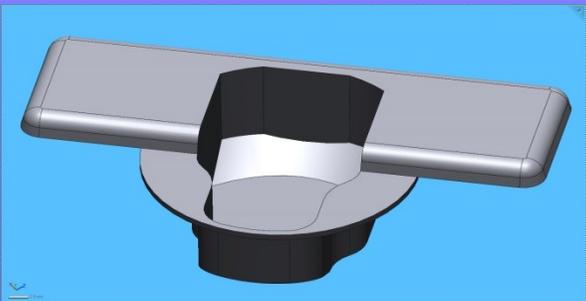
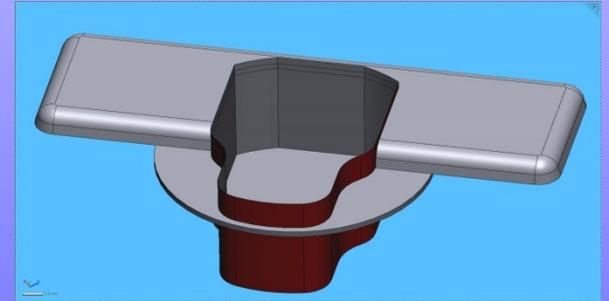
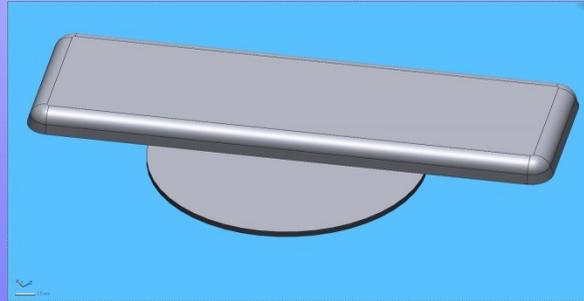
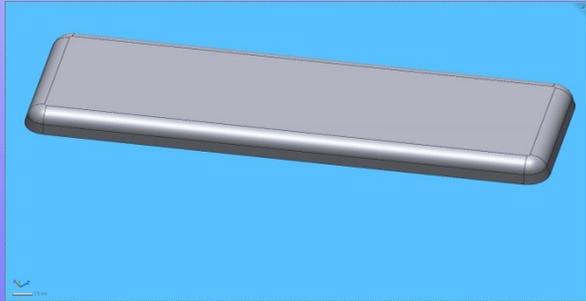
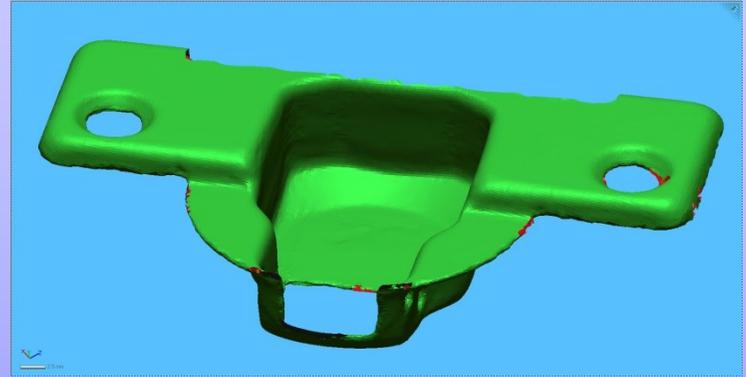
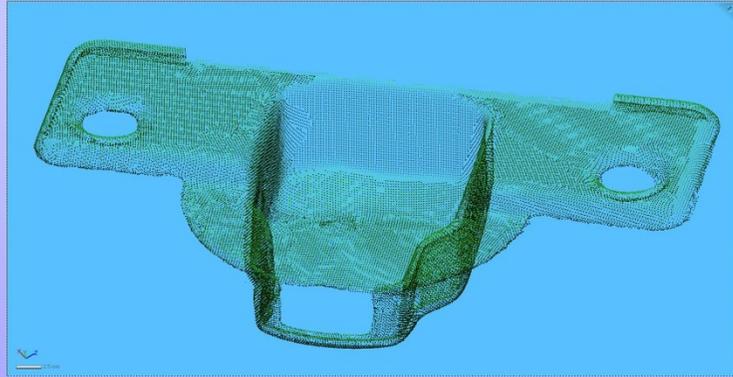
WAMAR : Num3D Bras FARO + Reconstruction paramétrique



FIVES Stein: Num3D Bras FARO + Reconstruction paramétrique



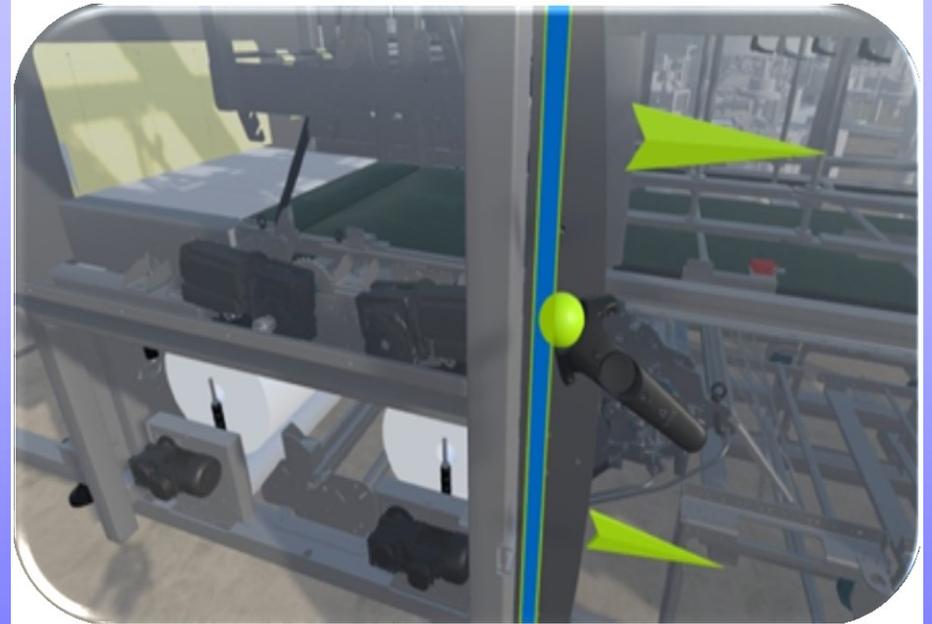
Etapes de reconstruction



La reconstruction CAO paramétrique

Vidéo sur reconstruction

***Application : contrôle
dimensionnel***



Communication industrie – GEBO-CERMEX



Aide à la décision



Analyse de scénarios

Revue de projets industriels – MARS-France

- La numérisation 3D délivre une grande quantité d'informations
- Le choix du moyen de numérisation dépend de l'usage ultérieur des données
- La qualité du nuage de point est fondamentale pour certaines applications

Merci

Jp.chambard@holo3.com