

# Automatisation de l'acquisition et des post-traitements en numérisation 3D

Benjamin Lorient

Laboratoire Le2i UMR CNRS 5158 - Société Dynamic 3D

25-03-2009



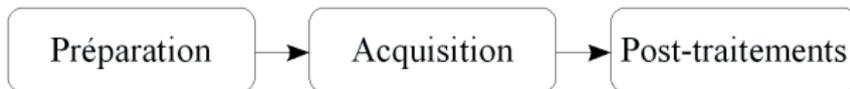
- 1 Numérisation 3D et problématique
- 2 Méthodes d'automatisation
- 3 Simulation
- 4 Prototype et bras robot
- 5 Résultats
- 6 Conclusion et perspectives

- 1 Numérisation 3D et problématique
- 2 Méthodes d'automatisation
- 3 Simulation
- 4 Prototype et bras robot
- 5 Résultats
- 6 Conclusion et perspectives

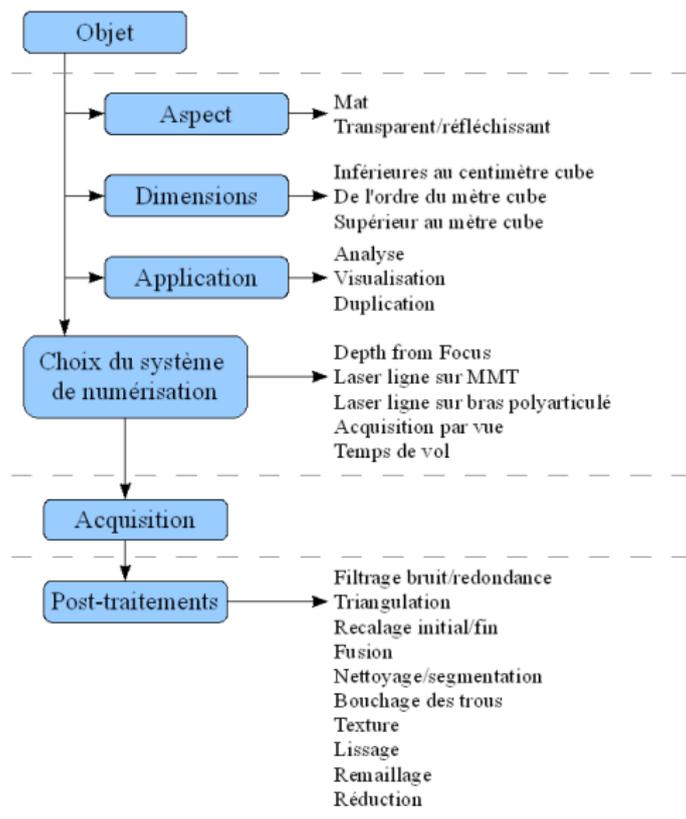
## Numérisation 3D



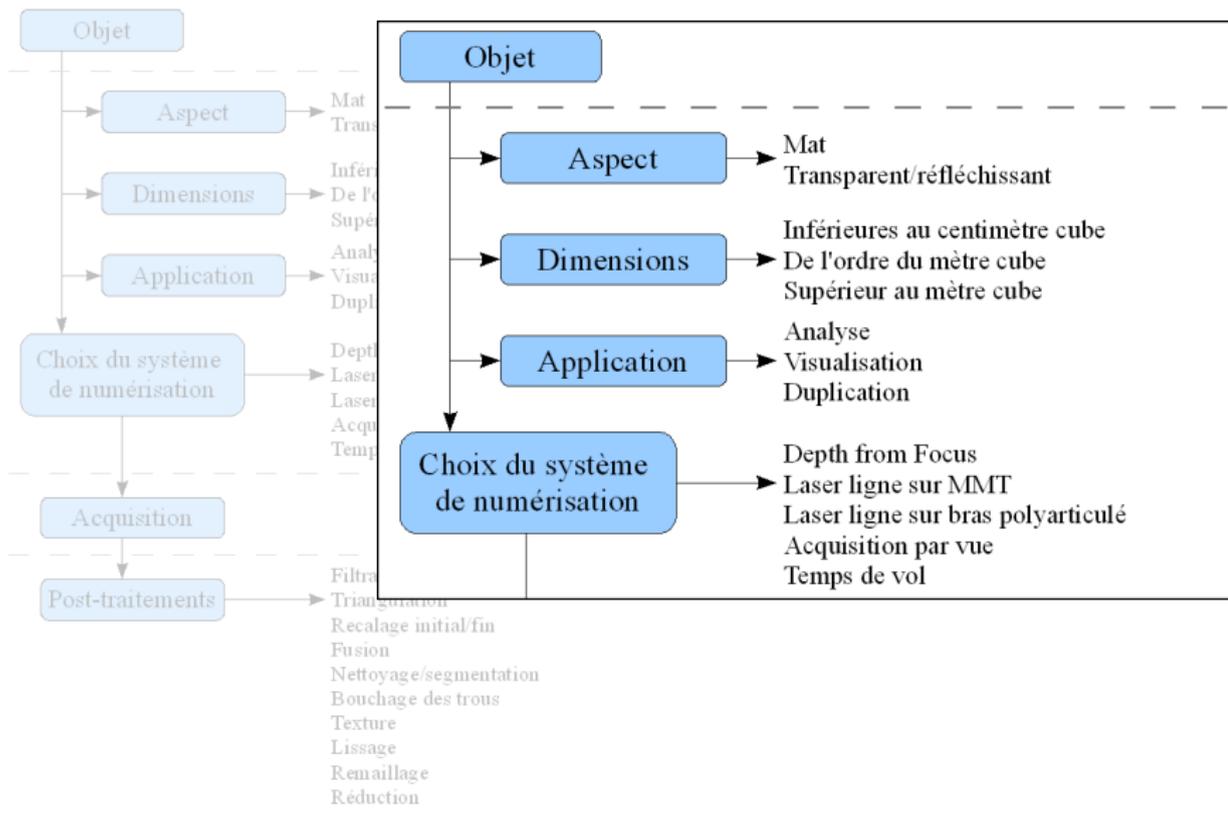
## Numérisation 3D



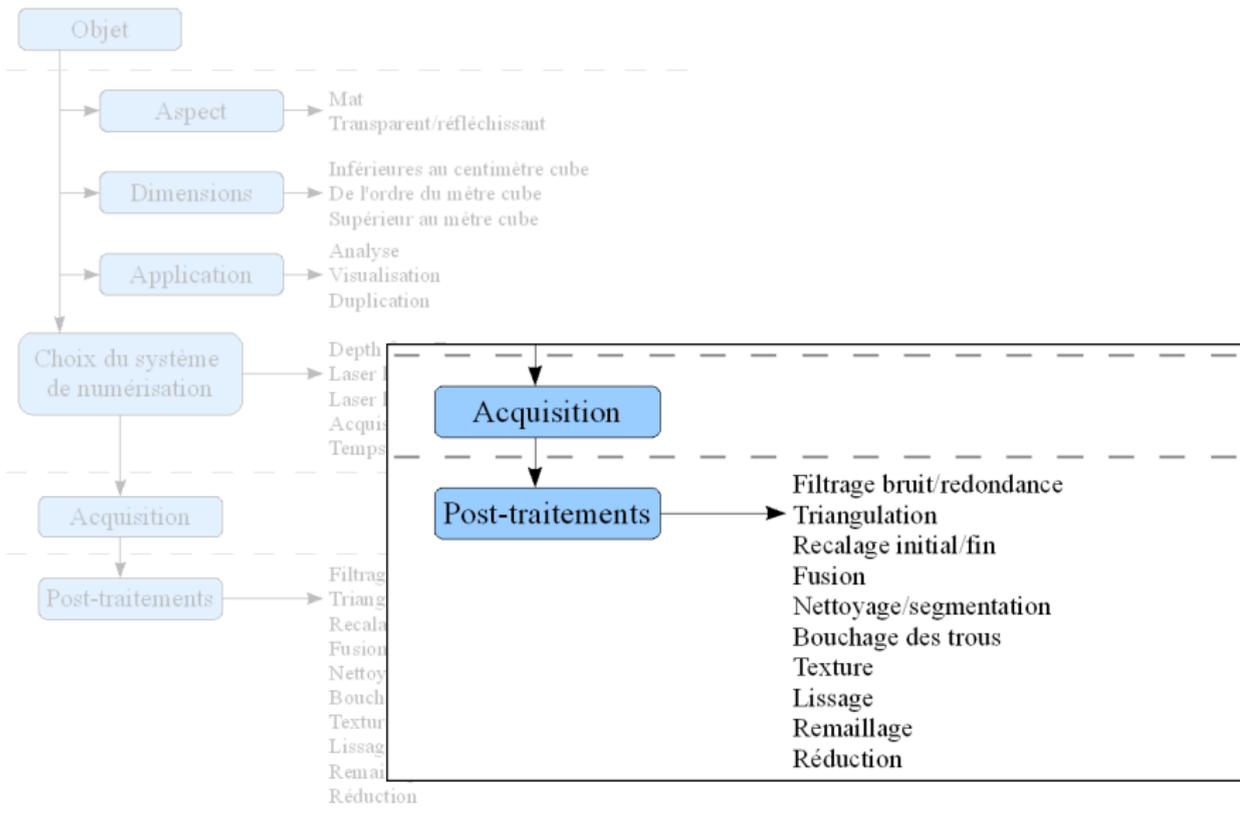
# Méthodologie



# Méthodologie



# Méthodologie





- Aspect : poudrage de l'objet si nécessaire
  - Objet noir
  - Objet réfléchissant
  - Objet transparent / translucide



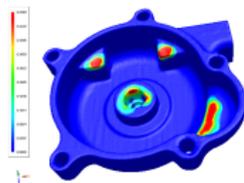


- Aspect : poudrage de l'objet si nécessaire
  - Objet noir
  - Objet réfléchissant
  - Objet transparent / translucide
- Dimensions
  - Inférieur à  $1\text{cm}^3$
  - Entre  $1\text{cm}^3$  et  $1\text{m}^3$
  - Supérieur à  $1\text{m}^3$





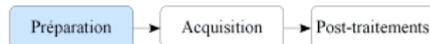
- Aspect : poudrage de l'objet si nécessaire
  - Objet noir
  - Objet réfléchissant
  - Objet transparent / translucide
  
- Dimensions
  - Inférieur à  $1\text{cm}^3$
  - Entre  $1\text{cm}^3$  et  $1\text{m}^3$
  - Supérieur à  $1\text{m}^3$
  
- Application visée
  - Analyse
  - Duplication
  - Visualisation





- Système d'acquisition
  - Système laser ligne
  - Système à projection de franges
  - Système temps de vol
  - ...





- Système d'acquisition
  - Système laser ligne
  - Système à projection de franges
  - Système temps de vol
  - ...
- Système de positionnement
  - Bras polyarticulé
  - MMT
  - Bras robotisé



## Exemple



## Tests d'oursin



## Systèmes d'acquisition possibles :

- Capteur laser ligne sur MMT
- Capteur laser ligne sur bras polyarticulé
- Système temps de vol
- Système à acquisition par vue
- Système Depth from Focus

## Exemple



## Tests d'oursin



- Aspect : mat → poudrage inutile

## Systèmes d'acquisition possibles :

- Capteur laser ligne sur MMT
- Capteur laser ligne sur bras polyarticulé
- Système temps de vol
- Système à acquisition par vue
- Système Depth from Focus

## Exemple



## Tests d'oursin



- Aspect : mat → poudrage inutile
- Dimensions : quelques centimètres cubes

## Systèmes d'acquisition possibles :

- Capteur laser ligne sur MMT
- Capteur laser ligne sur bras polyarticulé
- ~~Système temps de vol~~
- Système à acquisition par vue
- ~~Système Depth from Focus~~

## Exemple



## Tests d'oursin



- Aspect : mat → poudrage inutile
- Dimensions : quelques centimètres cubes
- Application : analyse → résolution et précision très importante

## Systèmes d'acquisition possibles :

- Capteur laser ligne sur MMT
- ~~Capteur laser ligne sur bras polyarticulé~~
- ~~Système temps de vol~~
- Système à acquisition par vue
- ~~Système Depth from Focus~~

## Exemple



## Tests d'oursin



- Aspect : mat → poudrage inutile
- Dimensions : quelques centimètres cubes
- Application : analyse → résolution et précision très importante

## Systèmes d'acquisition possibles :

- Capteur laser ligne sur MMT
- ~~Capteur laser ligne sur bras polyarticulé~~
- ~~Système temps de vol~~
- ~~Système à acquisition par vue~~
- ~~Système Depth from Focus~~

Préparation

Acquisition

Post-traitements

- Plusieurs prises de vue nécessaires

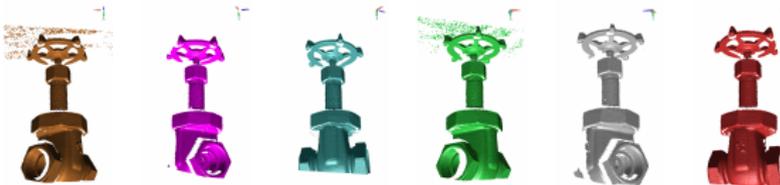


Préparation

Acquisition

Post-traitements

- Plusieurs prises de vue nécessaires



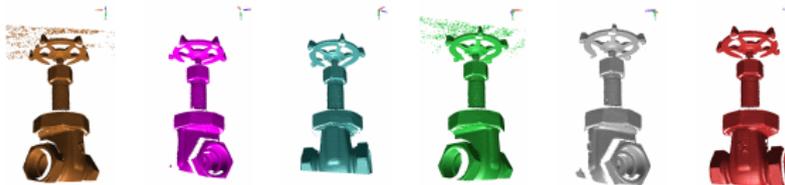
- Définition de trajectoires

Préparation

Acquisition

Post-traitements

- Plusieurs prises de vue nécessaires



- Définition de trajectoires
- Numérisation manuelle

Préparation

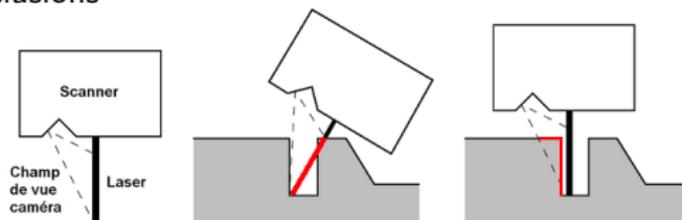
Acquisition

Post-traitements

- Plusieurs prises de vue nécessaires

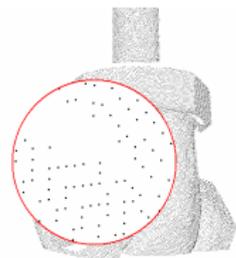
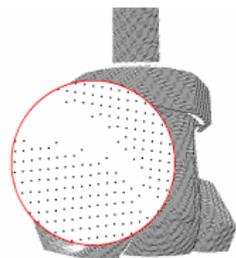


- Définition de trajectoires
- Numérisation manuelle
- Auto-occlusions

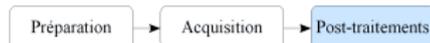




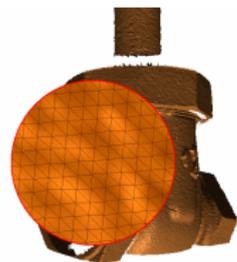
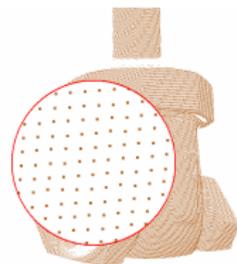
- Filtrage : *bruit, redondance*



# Post-traitements



- Filtrage : *bruit, redondance*
- Triangulation : *création du maillage*





- Filtrage : *bruit, redondance*
- Triangulation : *création du maillage*
- Segmentation - nettoyage : *environnement, facettes anormales*



# Post-traitements



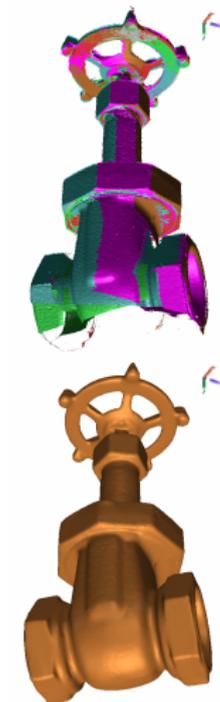
- Filtrage : *bruit, redondance*
- Triangulation : *création du maillage*
- Segmentation - nettoyage : *environnement, facettes anormales*
- Recalage : *référentiel unique*



# Post-traitements

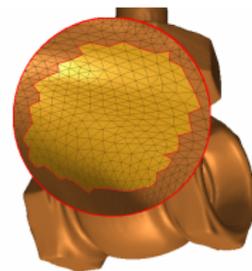
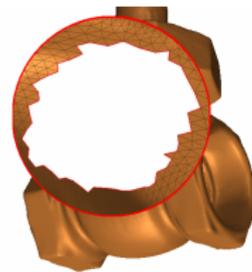


- Filtrage : *bruit, redondance*
- Triangulation : *création du maillage*
- Segmentation - nettoyage : *environnement, facettes anormales*
- Recalage : *référentiel unique*
- Fusion : *modèle 3D unique*





- Filtrage : *bruit, redondance*
- Triangulation : *création du maillage*
- Segmentation - nettoyage : *environnement, facettes anormales*
- Recalage : *référentiel unique*
- Fusion : *modèle 3D unique*
- Bouchage des trous : *interpolation des données manquantes*



Préparation

Acquisition

Post-traitements

- Filtrage : *bruit, redondance*
- Triangulation : *création du maillage*
- Segmentation - nettoyage : *environnement, facettes anormales*
- Recalage : *référentiel unique*
- Fusion : *modèle 3D unique*
- Bouchage des trous : *interpolation des données manquantes*
- Texture

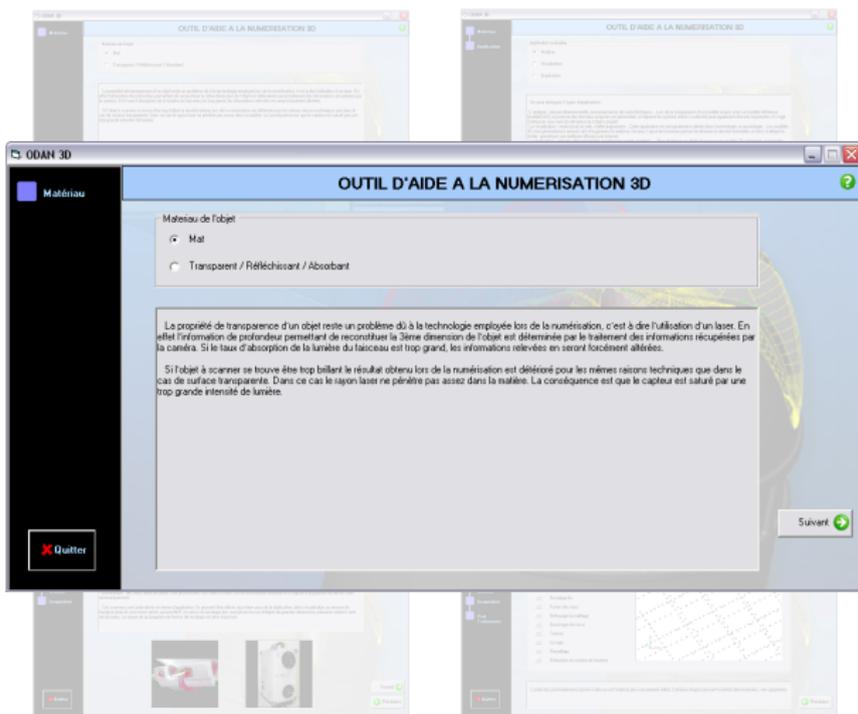




- Filtrage : *bruit, redondance*
- Triangulation : *création du maillage*
- Segmentation - nettoyage : *environnement, facettes anormales*
- Recalage : *référentiel unique*
- Fusion : *modèle 3D unique*
- Bouchage des trous : *interpolation des données manquantes*
- Texture
- ...



## Outil d'aide à la numérisation 3D



## Outil d'aide à la numérisation 3D

Outil d'aide à la numérisation 3D

Matériau

Application

Quitter

Outil d'aide à la numérisation 3D

Application souhaitée

Analyse

Visualisation

Duplication

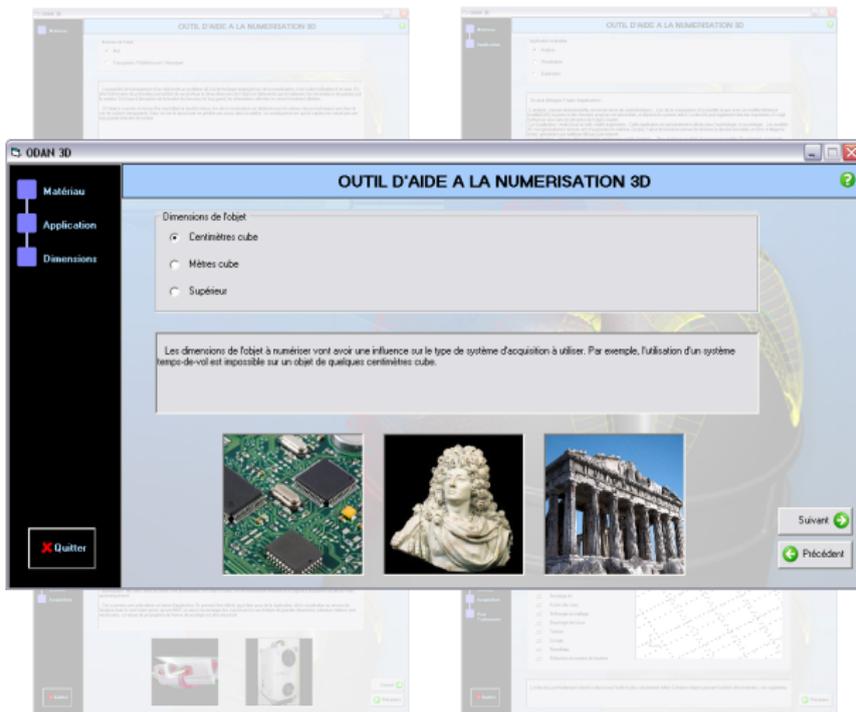
On peut distinguer 3 types d'applications :

- L'analyse : mesure dimensionnelle, reconnaissance de caractéristiques... Lors de la comparaison d'un modèle acquis avec un modèle référence (modèleCAD), la lecture des données acquises est primordiale, et dépend du système utilisé. Le rendu peut également être très importante s'il s'agit d'effectuer une carte de déviation de l'objet complet.
- La visualisation : rendu local ou web, réalité augmentée... Cette application est principalement utilisée dans l'archéologie, la muséologie... Les modèles 3D sont généralement texturés afin d'augmenter le réalisme. De plus, l'ajout de la texture permet de diminuer la densité du modèle, et donc d'alléger le fichier, permettant une meilleure diffusion par internet.
- La duplication : usinage, microconception, prototypage rapide, fonderie... Pour dupliquer un objet, il faut que son modèle 3D soit fermé, c'est-à-dire sans trous dans le maillage. Le fichier utilisé peut être un modèle surface (surfaces mathématiques) ou un modèle maillé (données triangulées).

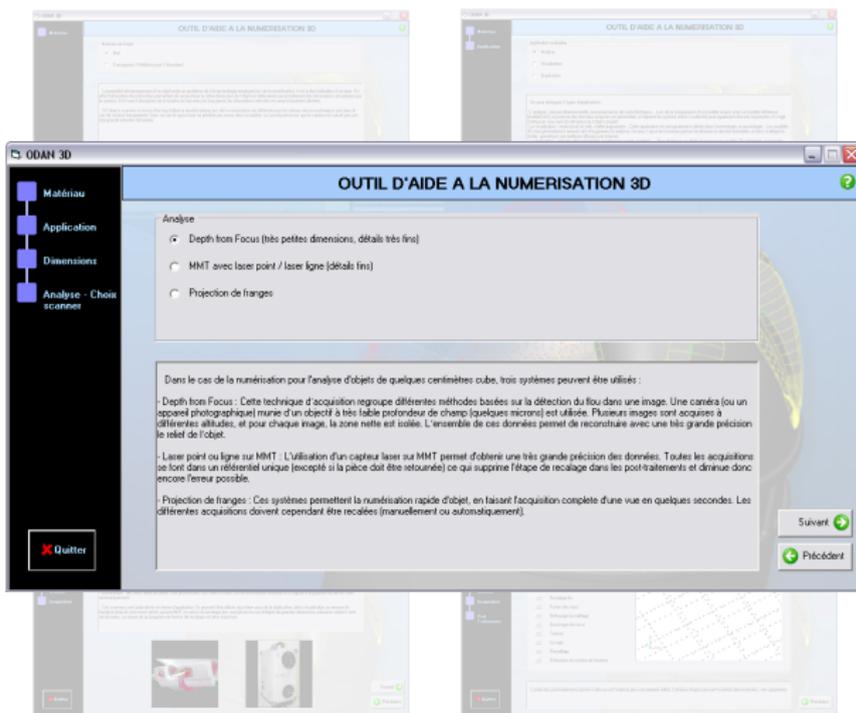
Suivant

Précédent

## Outil d'aide à la numérisation 3D



## Outil d'aide à la numérisation 3D



## Outil d'aide à la numérisation 3D

**Outil d'aide à la numérisation 3D**

Scanner choisi: Projection de franges, acquisition par vues

Ces systèmes permettent l'acquisition d'une surface en une seule prise de vue. La vitesse d'acquisition est donc supérieure à celles des autres systèmes. Certains de ces systèmes permettent l'acquisition de la texture en plus de la géométrie de l'objet. Ces scanners sont portables mais leur positionnement peut s'avérer difficile dans le cas d'objets complexes. Le modèle fourni est un modèle maillé.

En fonction du système utilisé, le recalage entre les vues peut être :

- manuel : l'utilisateur effectue un recalage en 2 temps, le recalage grossier en sélectionnant des points de correspondance sur chaque vue, puis un recalage fin avec un algorithme de type ICP par exemple
- automatique : des métriques réfléchissantes sont positionnées sur l'objet ou dans son environnement immédiat et le logiciel d'acquisition recalc les vues automatiquement.

Ces scanners sont polyvalents en terme d'application. Ils peuvent être utilisés aussi bien pour de la duplication, de la visualisation ou encore de l'analyse mais ils sont moins précis qu'une MHT (en raison du recalage des vues). Dans le cas d'objets de grandes dimensions, plusieurs stations sont nécessaires. Le risque de propagation de l'erreur de recalage est alors important.

Suivant

Précédent

Matériau

Application

Dimensions

Analyse - Choix scanner

Acquisition

Quitter

## Outil d'aide à la numérisation 3D

**Outil d'aide à la numérisation 3D**

Matériau  
Application  
Dimensions  
Analyse - Choix scanner  
Acquisition  
Post Traitements

Quitter

**Post-traitements**

- Filtrage du bruit
- Filtrage de la redondance
- Triangulation
- Recalage initial
- Recalage fin
- Fusion des vues
- Nettoyage du maillage
- Bouchage des trous
- Texture
- Lissage
- Remaillage
- Réduction du nombre de facettes

L'ordre des post-traitements donné ci-dessus est l'ordre le plus couramment utilisé. Certaines étapes peuvent toutefois être inversées, voir supprimées.

Précédent

# Problématique

## Préparation

- Méthode déterministe

## Acquisition

- Manuelle ou semi-automatique
- Influence de l'opérateur sur la qualité
- Influence de l'opérateur sur le temps de numérisation

## Post-traitements

- Influence de l'opérateur sur le choix des paramètres

# Problématique

## Préparation

- Méthode déterministe

## Acquisition

- Manuelle ou semi-automatique
- Influence de l'opérateur sur la qualité
- Influence de l'opérateur sur le temps de numérisation

## Post-traitements

- Influence de l'opérateur sur le choix des paramètres

## Limitations

- Influence de l'opérateur durant toute la procédure → expérience

# Problématique

## Préparation

- Méthode déterministe

## Acquisition

- Manuelle ou semi-automatique
- Influence de l'opérateur sur la qualité
- Influence de l'opérateur sur le temps de numérisation

## Post-traitements

- Influence de l'opérateur sur le choix des paramètres

## Limitations

- Influence de l'opérateur durant toute la procédure → expérience
- Durée de la numérisation → coût

# Problématique

## Préparation

- Méthode déterministe

## Acquisition

- Manuelle ou semi-automatique
- Influence de l'opérateur sur la qualité
- Influence de l'opérateur sur le temps de numérisation

## Post-traitements

- Influence de l'opérateur sur le choix des paramètres

## Limitations

- Influence de l'opérateur durant toute la procédure → expérience
- Durée de la numérisation → coût
- Numérisation manuelle impossible pour les grandes séries d'objets

## Solution

Automatisation de la numérisation 3D : acquisition et post-traitements

## Solution

Automatisation de la numérisation 3D : acquisition et post-traitements

Objectifs :

- Taux de couverture maximale
- Aucune intervention de l'opérateur

## Solution

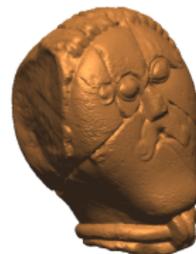
Automatisation de la numérisation 3D : acquisition et post-traitements

Objectifs :

- Taux de couverture maximale
- Aucune intervention de l'opérateur



Capteur  
Système de  
positionnement  
Méthodologie



# Systèmes de numérisation pour l'automatisation

2 types de systèmes

# Systèmes de numérisation pour l'automatisation

## 2 types de systèmes

- Scanner laser ligne sur MMT ou bras robot
  - Distance de travail faible ( $\approx 10\text{cm}$ )
  - Système de déplacement précis



# Systèmes de numérisation pour l'automatisation

## 2 types de systèmes

- Scanner laser ligne sur MMT ou bras robot
  - Distance de travail faible ( $\approx 10\text{cm}$ )
  - Système de déplacement précis
  
- Scanner à acquisition par vue sur bras robot
  - Distance de travail élevée ( $> 50\text{cm}$ )
  - Système de positionnement



# Systèmes de numérisation pour l'automatisation

## 2 types de systèmes

- Scanner laser ligne sur MMT ou bras robot
  - Distance de travail faible ( $\approx 10\text{cm}$ )
  - Système de déplacement précis
  
- Scanner à acquisition par vue sur bras robot
  - Distance de travail élevée ( $> 50\text{cm}$ )
  - Système de positionnement



# Méthodes d'automatisation

2 familles de méthodes :

2 familles de méthodes :

- Méthodes basées sur un modèle (*Model-Based Methods*)
  - Modèle de référence nécessaire
  - Applications industrielles
  - Planification hors-ligne



2 familles de méthodes :

- Méthodes basées sur un modèle (*Model-Based Methods*)
  - Modèle de référence nécessaire
  - Applications industrielles
  - Planification hors-ligne



- Méthodes sans connaissance a priori (*Non-Model Based Methods*)
  - Absence de modèle de référence
  - Applications pour l'archéologie, biologie, industrie ...



- 1 Numérisation 3D et problématique
- 2 **Méthodes d'automatisation**
  - Basées sur un modèle
  - Non-basées sur un modèle
- 3 Simulation
- 4 Prototype et bras robot
- 5 Résultats
- 6 Conclusion et perspectives

## Basées sur un modèle

Analyse de visibilité des surfaces du modèle de référence

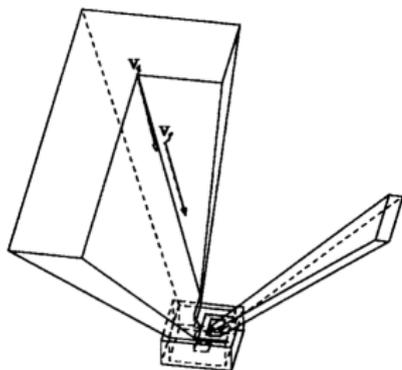


## Basées sur un modèle

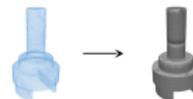


Analyse de visibilité des surfaces du modèle de référence

Tarabanis (95) : Définition de volumes de positionnement pour chaque surface



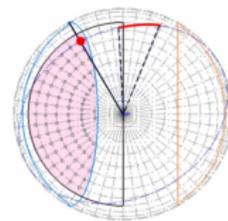
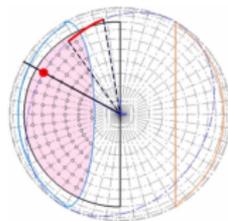
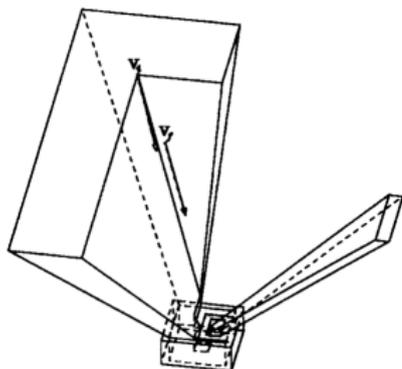
## Basées sur un modèle



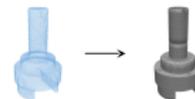
Analyse de visibilité des surfaces du modèle de référence

Tarabanis (95) : Définition de volumes de positionnement pour chaque surface

Derigent (07), Mahmud (05) : Etude en fonction du capteur



## Basées sur un modèle

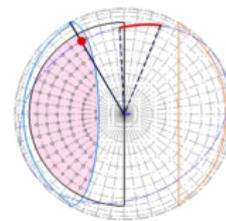
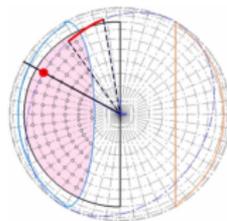
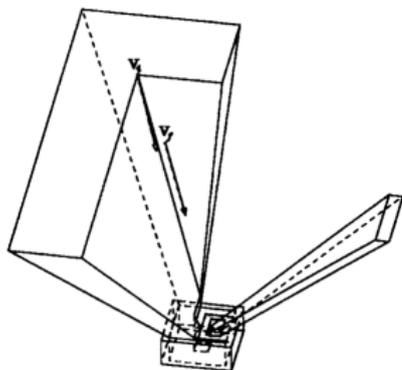


Analyse de visibilité des surfaces du modèle de référence

Tarabanis (95) : Définition de volumes de positionnement pour chaque surface

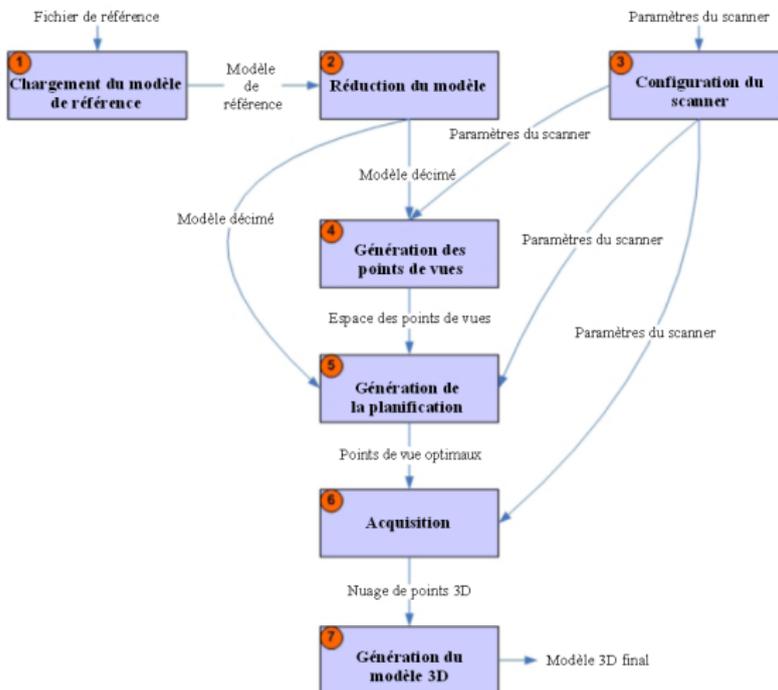
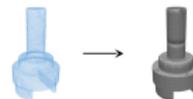
Derigent (07), Mahmud (05) : Etude en fonction du capteur

Tarbox (94) : Matrice de mesurabilité



	v <sub>1</sub>	v <sub>2</sub>	v <sub>3</sub>	v <sub>4</sub>	v <sub>5</sub>	v <sub>6</sub>	v <sub>7</sub>	v <sub>8</sub>	v <sub>9</sub>	v <sub>10</sub>	...
#1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	...
#2	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	...
#3	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	...
#4	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	...
#5	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	...
#6	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	...
#7	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	...
#8	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	...
#9	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

## Principe



# Initialisation



## Modèle de référence

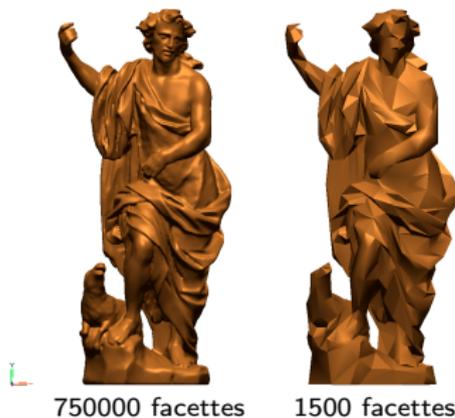
- Modèle CAO
- Modèle maillé

## Réduction du nombre de facettes

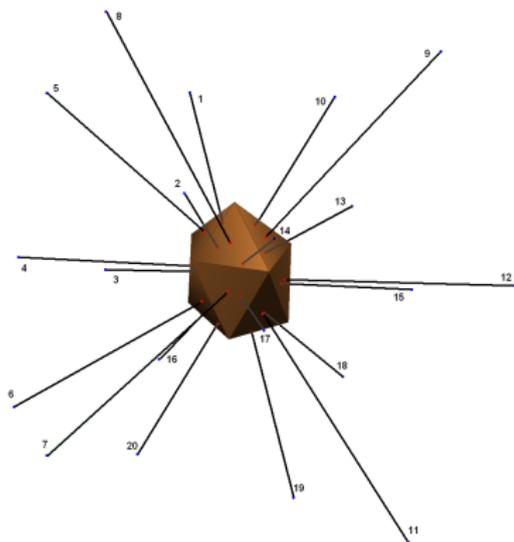
- Complexité
- Génération des points de vues

## Optimal Scanning Zone ([Scott \(05\)](#))

- Une facette = un point de vue

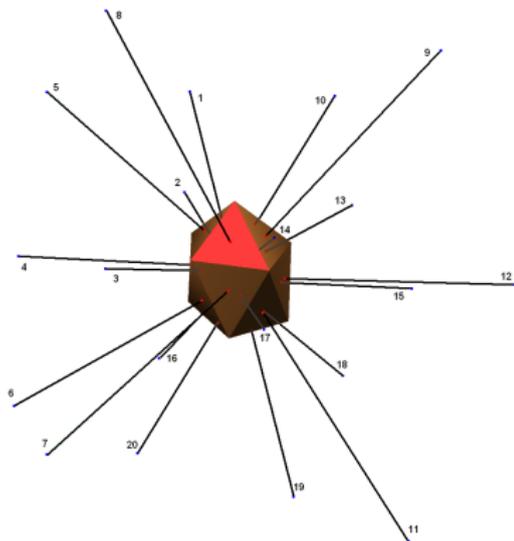


## Matrice de mesurabilité



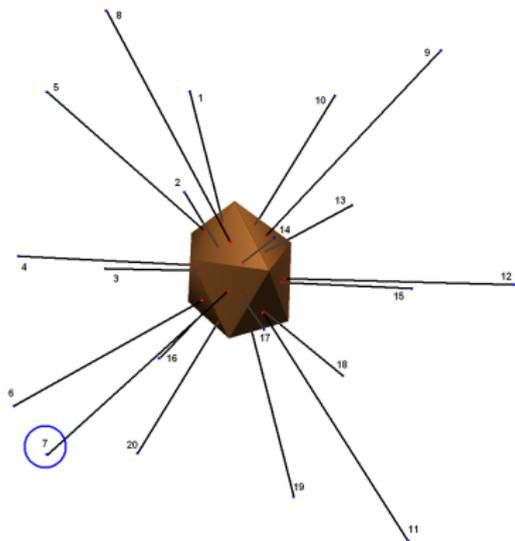
	$v_1$	$v_2$	$v_3$	$v_4$	$v_5$	$v_6$	$v_7$	$v_8$	$v_9$	$v_{10}$	...
$s_1$	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	...
$s_2$	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	...
$s_3$	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	...
$s_4$	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	...
$s_5$	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	...
$s_6$	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	...
$s_7$	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	...
$s_8$	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	...
$s_9$	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

## Matrice de mesurabilité



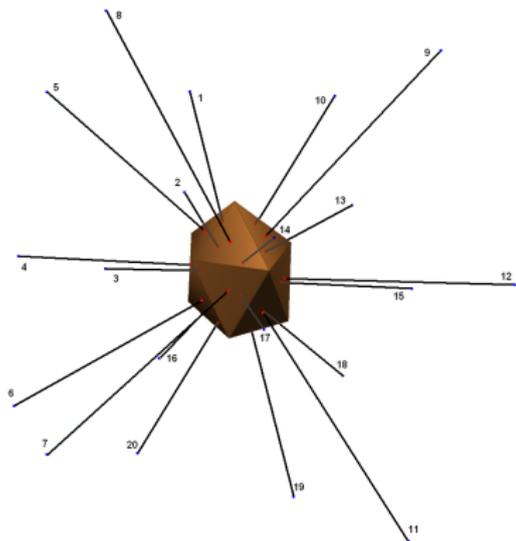
	$v_1$	$v_2$	$v_3$	$v_4$	$v_5$	$v_6$	$v_7$	$v_8$	$v_9$	$v_{10}$	...
$s_1$	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	...
$s_2$	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	...
$s_3$	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	...
$s_4$	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	...
$s_5$	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	...
$s_6$	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	...
$s_7$	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	...
$s_8$	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	...
$s_9$	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

## Matrice de mesurabilité



	$v_1$	$v_2$	$v_3$	$v_4$	$v_5$	$v_6$	$v_7$	$v_8$	$v_9$	$v_{10}$	...
$s_1$	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	...
$s_2$	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	...
$s_3$	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	...
$s_4$	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	...
$s_5$	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	...
$s_6$	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	...
$s_7$	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	...
$s_8$	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	...
$s_9$	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

## Matrice de mesurabilité



$$M_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si } s_i \text{ est visible depuis } v_j \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

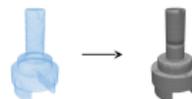
	$v_1$	$v_2$	$v_3$	$v_4$	$v_5$	$v_6$	$v_7$	$v_8$	$v_9$	$v_{10}$	...
$s_1$	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	...
$s_2$	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	...
$s_3$	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	...
$s_4$	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	...
$s_5$	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	...
$s_6$	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	...
$s_7$	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	...
$s_8$	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	...
$s_9$	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...



Algorithmes de résolution de "Set Covering Problem"

	v1	v2	v3	v4	v5	v6
s1	1	0	1	0	1	1
s2	1	1	0	0	0	1
s3	1	1	0	0	0	0
s4	0	1	0	0	0	0
s5	0	0	1	0	1	0
s6	0	0	0	1	1	0

## Points de vue optimaux



Algorithmes de résolution de “Set Covering Problem”

	v1	v2	v3	v4	v5	v6
s1	1	0	0	0	0	0
s2	1	0	0	0	0	0
s3	1	0	0	0	0	0
s4	0	1	0	0	0	0
s5	0	0	1	0	1	0
s6	0	0	0	1	1	0

Sélection du point de vue maximum  
Mise à 0 des surfaces vues

## Points de vue optimaux

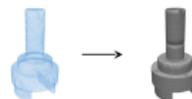


Algorithmes de résolution de "Set Covering Problem"

	v1	v2	v3	v4	v5	v6
s1	1	0	0	0	0	0
s2	1	0	0	0	0	0
s3	1	0	0	0	0	0
s4	0	1	0	0	0	0
s5	0	0	0	0	1	0
s6	0	0	0	0	1	0

Sélection du point de vue maximum  
Mise à 0 des surfaces vues

## Points de vue optimaux



## Algorithmes de résolution de "Set Covering Problem"

	v1	v2	v3	v4	v5	v6
s1	1	0	0	0	0	0
s2	1	0	0	0	0	0
s3	1	0	0	0	0	0
s4	0	1	0	0	0	0
s5	0	0	0	0	1	0
s6	0	0	0	0	1	0

Sélection du point de vue maximum

Mise à 0 des surfaces vues

→ 3 positions calculées ...



## Algorithmes de résolution de "Set Covering Problem"

	v1	v2	v3	v4	v5	v6
s1	1	0	0	0	0	0
s2	1	0	0	0	0	0
s3	1	0	0	0	0	0
s4	0	1	0	0	0	0
s5	0	0	0	0	1	0
s6	0	0	0	0	1	0

Sélection du point de vue maximum  
 Mise à 0 des surfaces vues  
 → 3 positions calculées ...

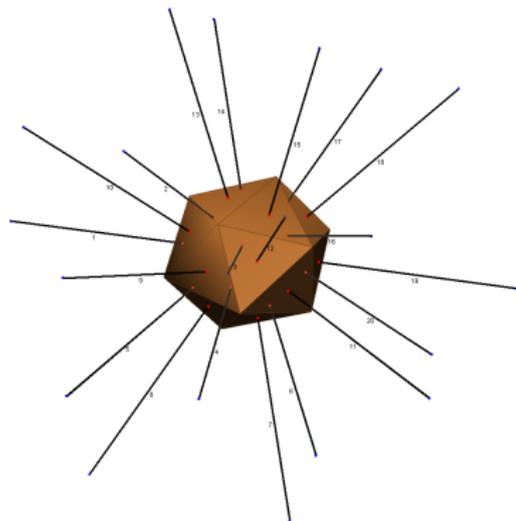


	v1	v2	v3	v4	v5	v6
s1	1	0	1	0	1	1
s2	1	1	0	0	0	1
s3	1	1	0	0	0	0
s4	0	1	0	0	0	0
s5	0	0	1	0	1	0
s6	0	0	0	1	1	0

... mais 2 positions nécessaires



- Meta-Heuristic for Randomized Priority Search
- Développé par Lan (07)
- Entrée : matrice de mesurabilité
- Sortie : liste des points de vue optimaux



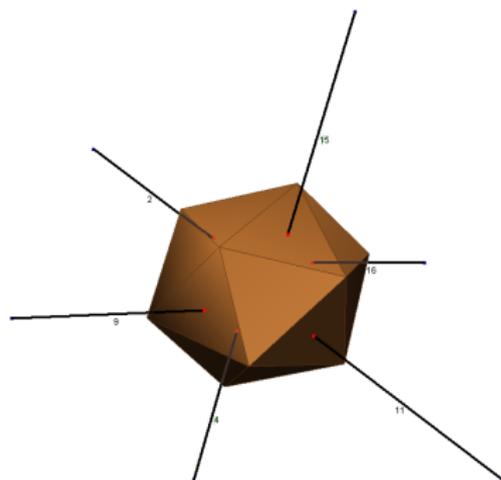
	v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7	v8	v9	v10	...
s1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	...
s2	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	...
s3	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	...
s4	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	...
s5	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	...
s6	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	...
s7	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	...
s8	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	...
s9	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...



- Meta-Heuristic for Randomized Priority Search
- Développé par Lan (07)
- Entrée : matrice de mesurabilité
- Sortie : liste des points de vue optimaux

```

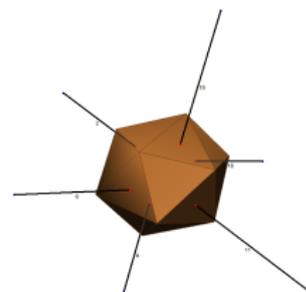
Optimal Result:
**The no. of covers: 6
**The best solution is:
Element, Cover
1      2
2      2
3      2
4      4
5      4
6      4
7      11
8      9
9      9
10     9
11     11
12     9
13     15
14     2
15     15
16     16
17     16
18     15
19     11
20     16
  
```





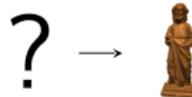
## Méthode basée sur un modèle

- Modèle maillé
- Génération des points de vues
- Génération d'une matrice de mesurabilité
- Points de vue optimaux par SCP
- Planification hors-ligne

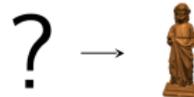


## Non-basées sur un modèle

2 types d'approche

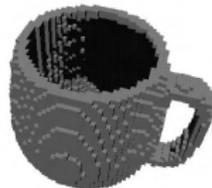


## Non-basées sur un modèle

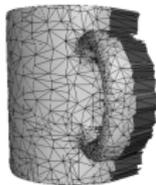


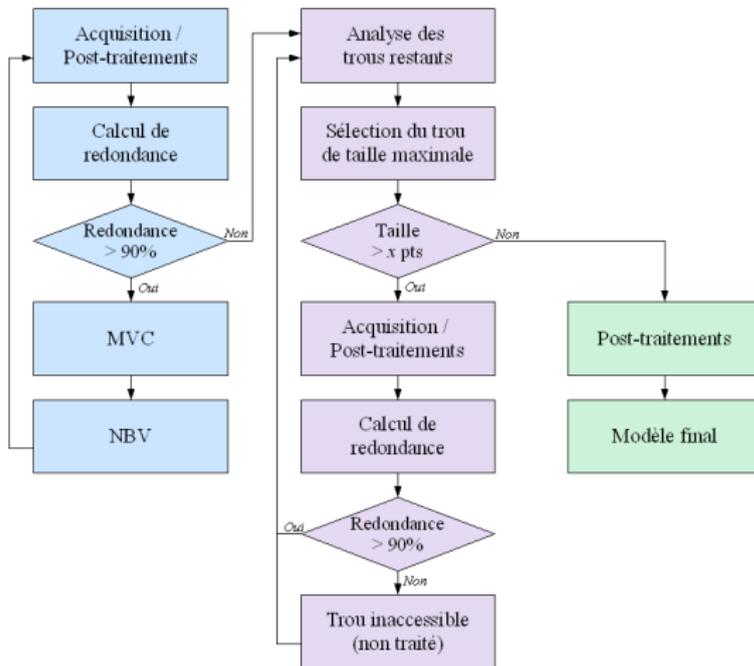
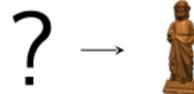
2 types d'approche

- Les méthodes volumiques : voxelisation de l'espace de travail ([Connolly \(85\)](#), [Banta \(00\)](#), [Wong \(01\)](#) ...)

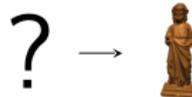


- Les méthodes surfaciques : utilisation des caractéristiques des données acquises ([Maver \(93\)](#), [Pito \(97\)](#), [Yuan \(95\)](#), [Li \(05\)](#) ...)

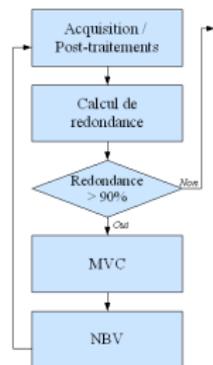




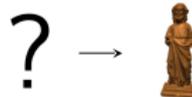
## Première phase



Algorithme de la première phase

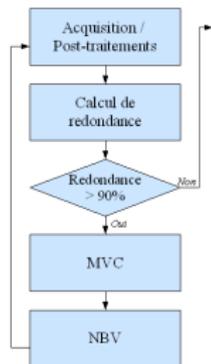


## Première phase

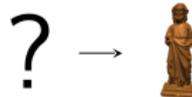


Algorithme de la première phase

- Acquisition / post-traitements

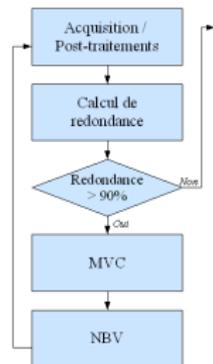


## Première phase

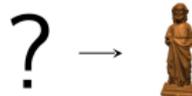


Algorithme de la première phase

- Acquisition / post-traitements
- Calcul du critère d'arrêt

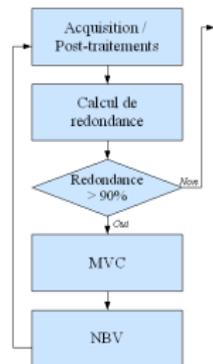
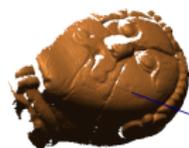


## Première phase

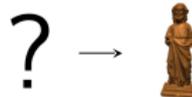


## Algorithme de la première phase

- Acquisition / post-traitements
- Calcul du critère d'arrêt
- Calcul du MVC

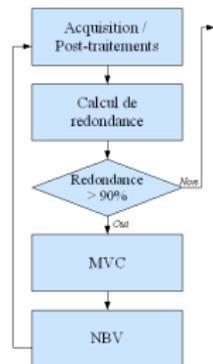
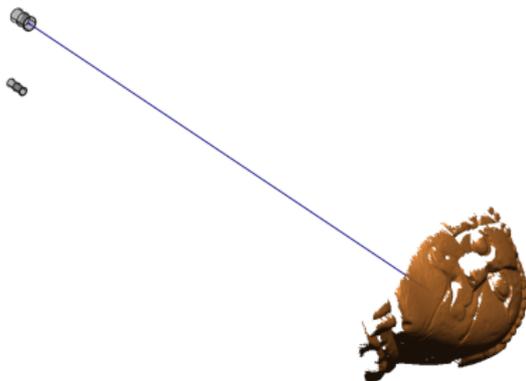


## Première phase

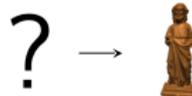


## Algorithme de la première phase

- Acquisition / post-traitements
- Calcul du critère d'arrêt
- Calcul du MVC
- Positionnement et orientation du scanner

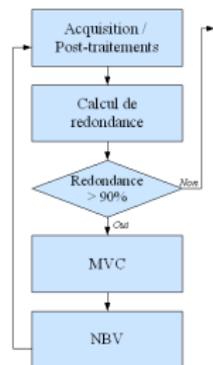


## Première phase

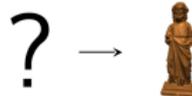


## Algorithme de la première phase

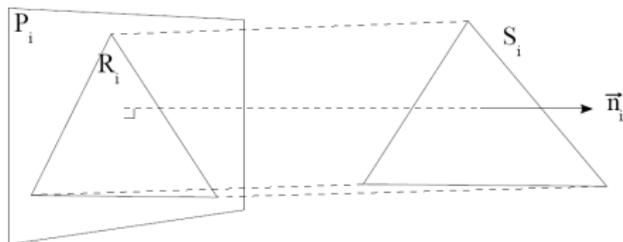
- Acquisition / post-traitements
- Calcul du critère d'arrêt
- Calcul du MVC
- Positionnement et orientation du scanner



## Mass Vector Chain

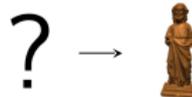


Développé par Yuan

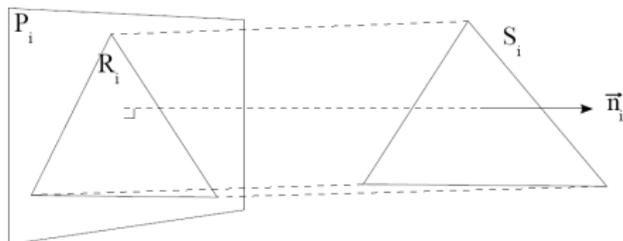


$$\vec{V}_i = \vec{n}_i \cdot R_i$$

## Mass Vector Chain



Développé par Yuan

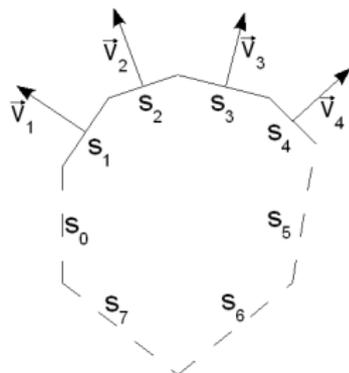


$$\vec{V}_i = \vec{n}_i \cdot R_i$$

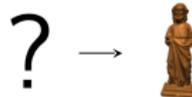
$$\sum_{i=0}^{m-1} \vec{V}_i = \sum_{i=0}^{m'-1} \vec{V}_i + \sum_{i=m'}^{m-1} \vec{V}_i = 0$$



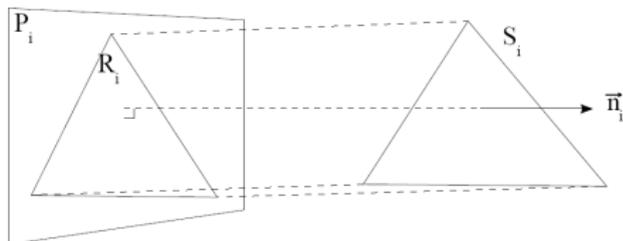
$$\sum_{i=m'}^{m-1} \vec{V}_i = -\sum_{i=0}^{m'-1} \vec{V}_i = -\vec{V}_{dir}$$



## Mass Vector Chain



Développé par Yuan

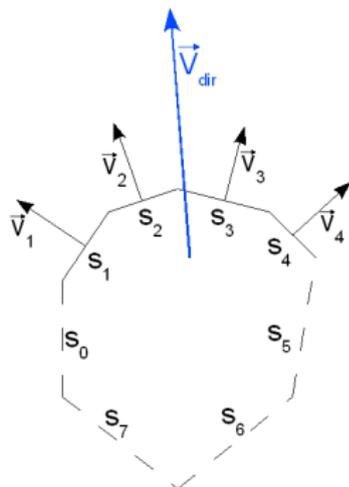


$$\vec{V}_i = \vec{n}_i \cdot R_i$$

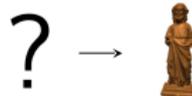
$$\sum_{i=0}^{m-1} \vec{V}_i = \sum_{i=0}^{m'-1} \vec{V}_i + \sum_{i=m'}^{m-1} \vec{V}_i = 0$$



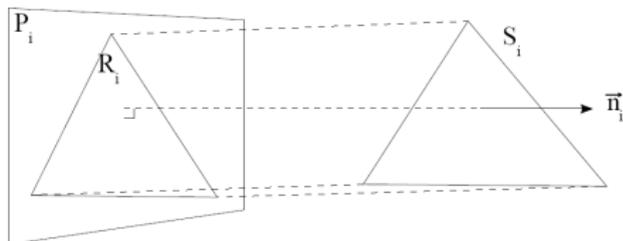
$$\sum_{i=m'}^{m-1} \vec{V}_i = -\sum_{i=0}^{m'-1} \vec{V}_i = -\vec{V}_{dir}$$



## Mass Vector Chain



Développé par Yuan

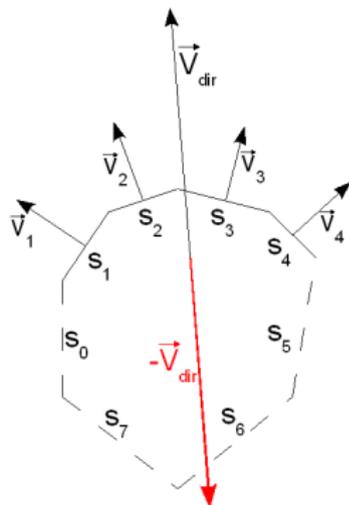


$$\vec{V}_i = \vec{n}_i \cdot R_i$$

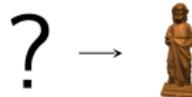
$$\sum_{i=0}^{m-1} \vec{V}_i = \sum_{i=0}^{m'-1} \vec{V}_i + \sum_{i=m'}^{m-1} \vec{V}_i = 0$$



$$\sum_{i=m'}^{m-1} \vec{V}_i = -\sum_{i=0}^{m'-1} \vec{V}_i = -\vec{V}_{dir}$$

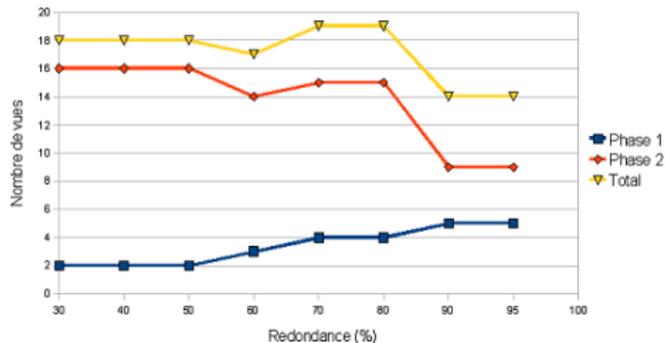
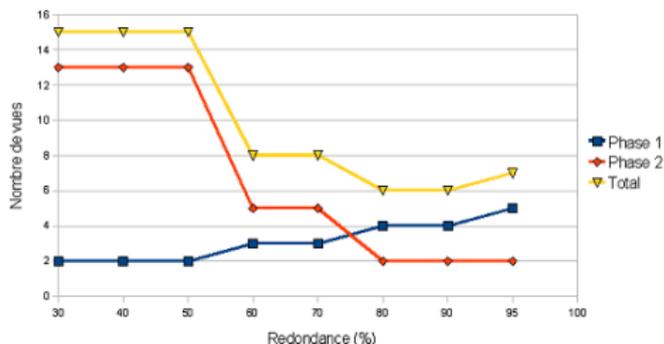


## Mass Vector Chain



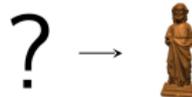
## Critère d'arrêt

- Evolution de l'aire du modèle
- Minimiser le nombre de vues



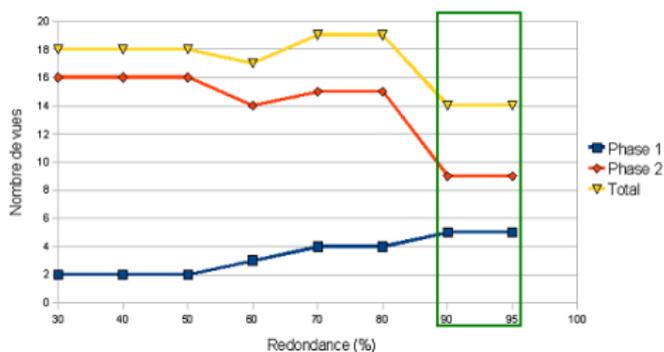
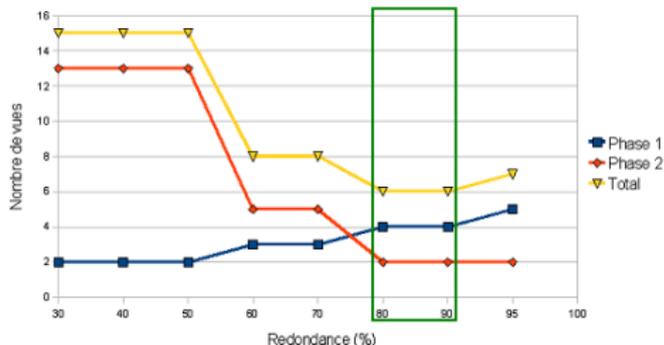
$$\frac{((aire_{prec} + aire_{nouv}) - aire_{fusion})}{aire_{nouv}}$$

# Mass Vector Chain



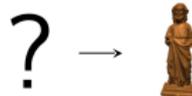
## Critère d'arrêt

- Evolution de l'aire du modèle
- Minimiser le nombre de vues



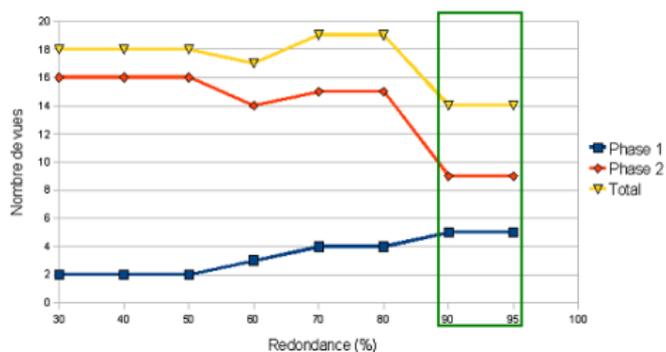
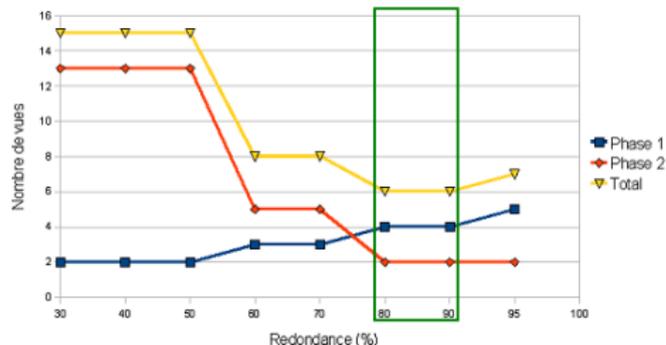
$$\frac{((aire_{prec} + aire_{nouv}) - aire_{fusion})}{aire_{nouv}}$$

## Mass Vector Chain



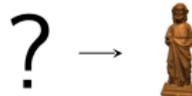
## Critère d'arrêt

- Evolution de l'aire du modèle
- Minimiser le nombre de vues

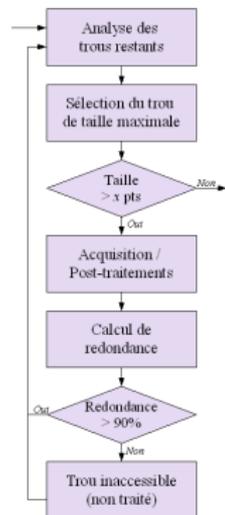


$$\frac{((aire_{prec} + aire_{nouv}) - aire_{fusion})}{aire_{nouv}}$$

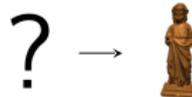
## Seconde phase



## Algorithme de la seconde phase

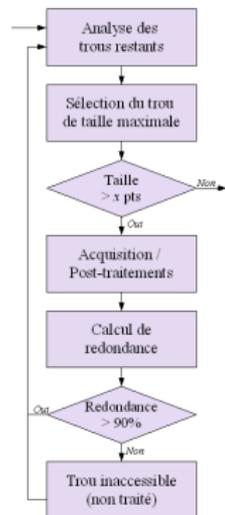


## Seconde phase

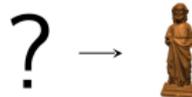


## Algorithme de la seconde phase

- Identification des trous

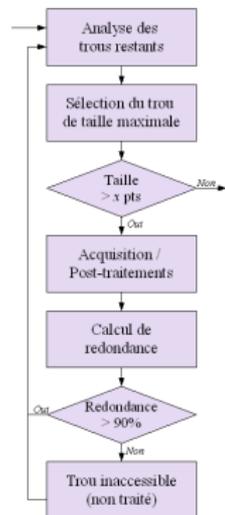


# Seconde phase

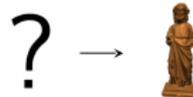


## Algorithme de la seconde phase

- Identification des trous
- Sélection du trou de taille maximale

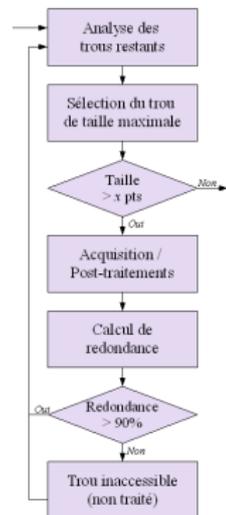
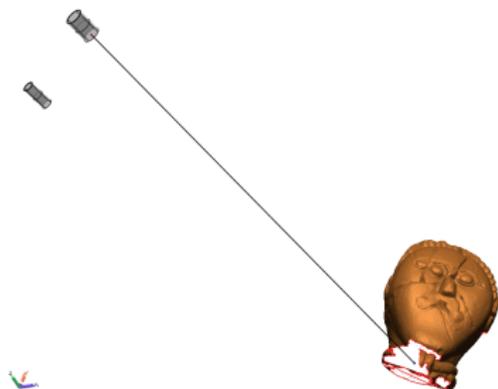


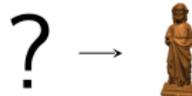
# Seconde phase



## Algorithme de la seconde phase

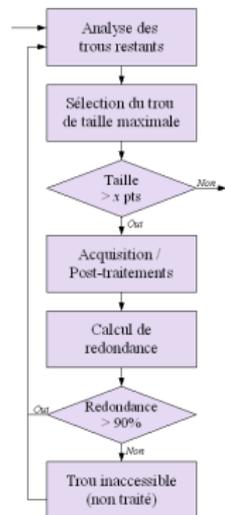
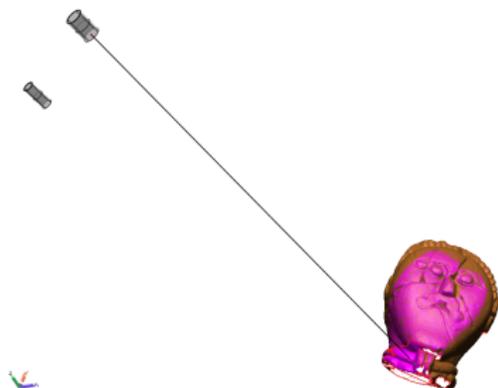
- Identification des trous
- Sélection du trou de taille maximale
- Positionnement et orientation du scanner



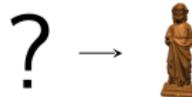


## Algorithme de la seconde phase

- Identification des trous
- Sélection du trou de taille maximale
- Positionnement et orientation du scanner
- Acquisition

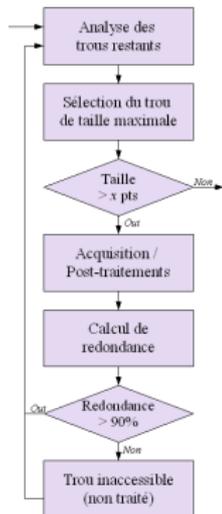
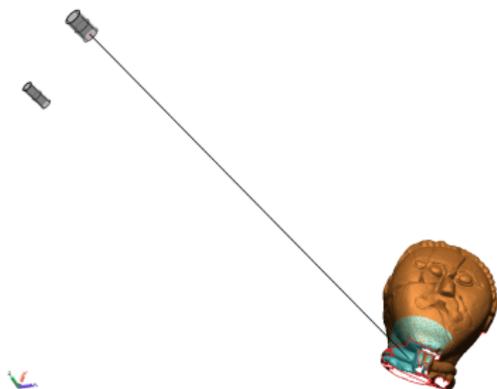


# Seconde phase

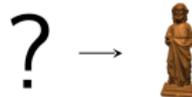


## Algorithme de la seconde phase

- Identification des trous
- Sélection du trou de taille maximale
- Positionnement et orientation du scanner
- Acquisition
- Segmentation des données et fusion

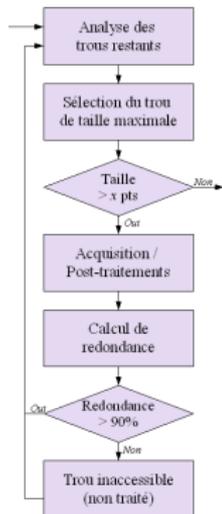
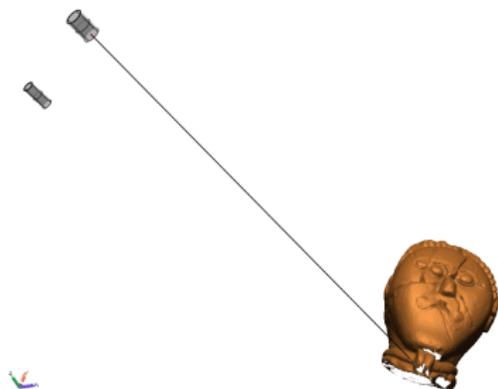


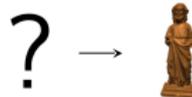
# Seconde phase



## Algorithme de la seconde phase

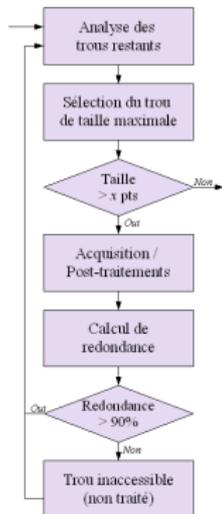
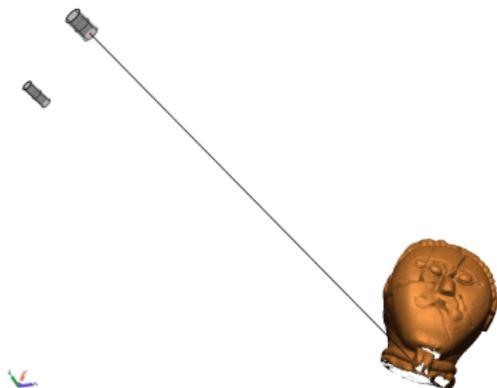
- Identification des trous
- Sélection du trou de taille maximale
- Positionnement et orientation du scanner
- Acquisition
- Segmentation des données et fusion

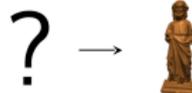




### Algorithme de la seconde phase

- Identification des trous
- Sélection du trou de taille maximale
- Positionnement et orientation du scanner
- Acquisition
- Segmentation des données et fusion
- Calcul du critère d'arrêt

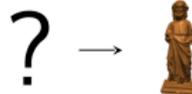




### Définition d'un trou

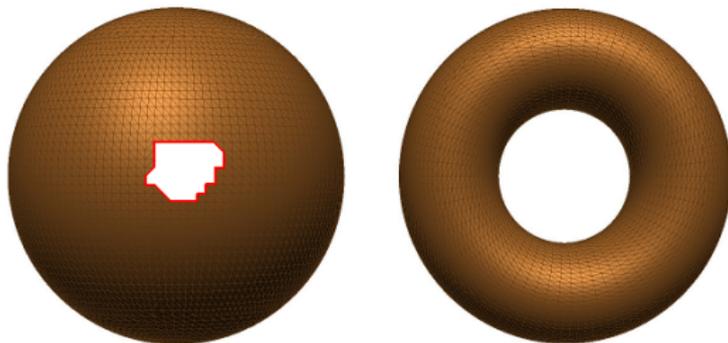
Polygone créé par des arêtes n'appartenant qu'à une seule facette

Trou de maillage  $\neq$  Trou topologique

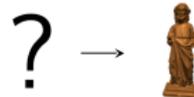


### Définition d'un trou

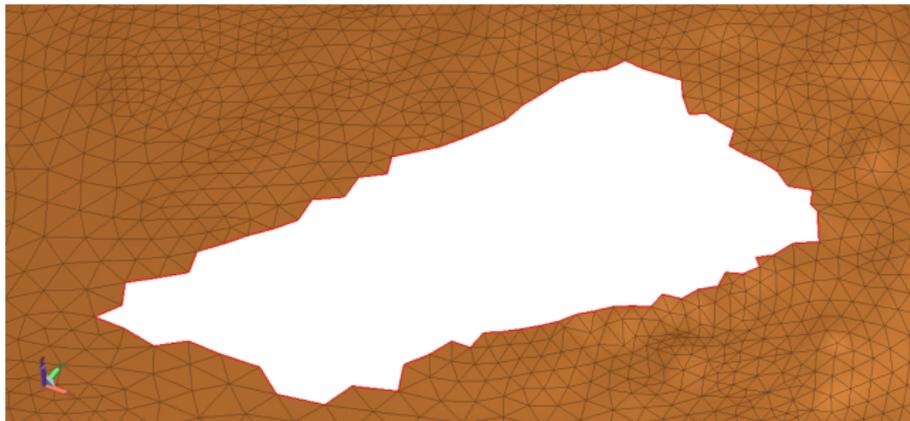
Polygone créé par des arêtes n'appartenant qu'à une seule facette  
Trou de maillage  $\neq$  Trou topologique



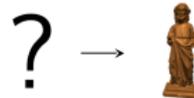
## Bouchage des trous



Identification des trous

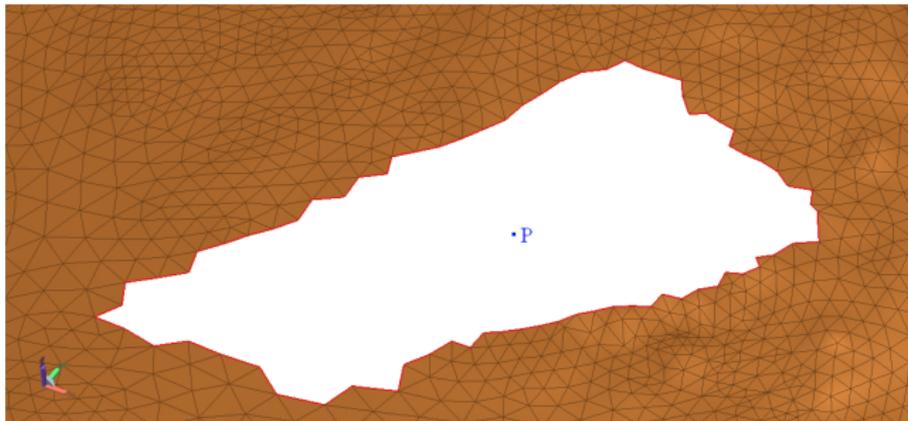


# Bouchage des trous



## Identification des trous

- Position  $P$



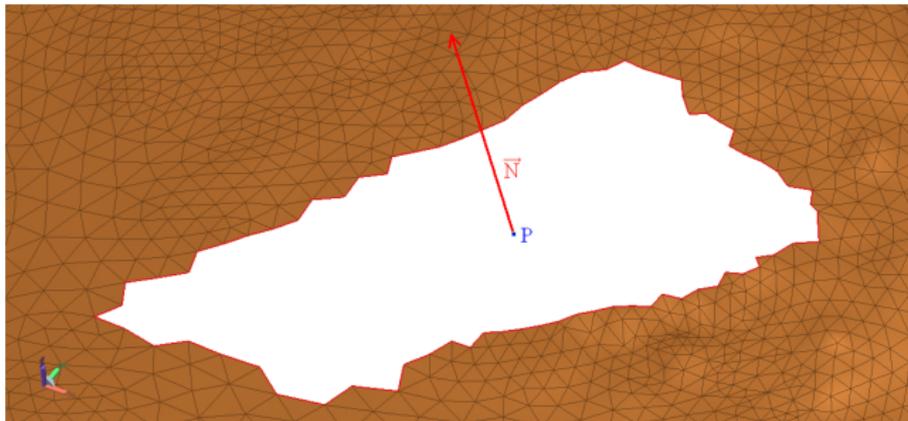
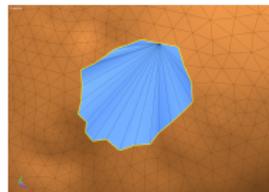
## Bouchage des trous

? →

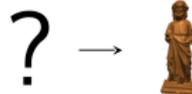


## Identification des trous

- Position  $P$
- Normale  $\vec{N}$

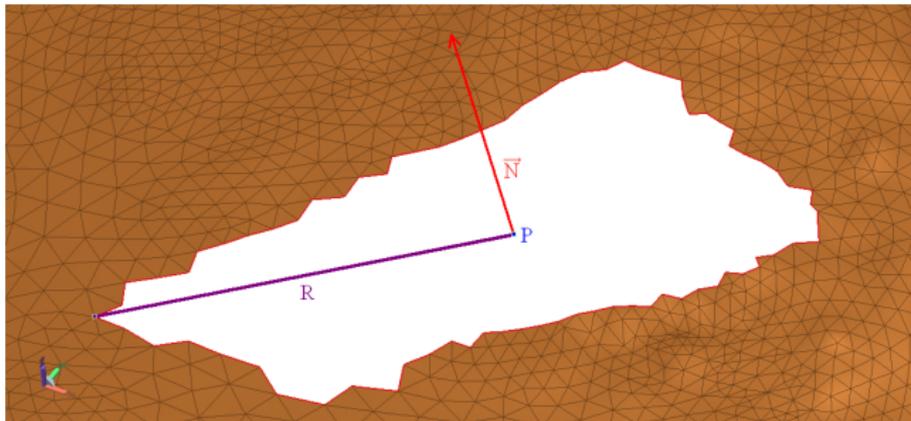


## Bouchage des trous

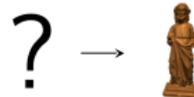


## Identification des trous

- Position  $P$
- Normale  $\vec{N}$
- Rayon  $R$

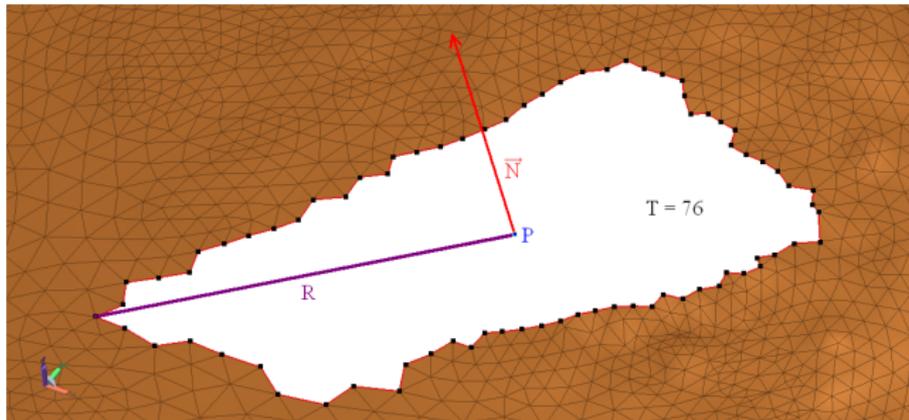


## Bouchage des trous

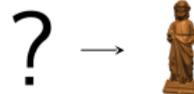


## Identification des trous

- Position  $P$
- Normale  $\vec{N}$
- Rayon  $R$
- Taille  $T$



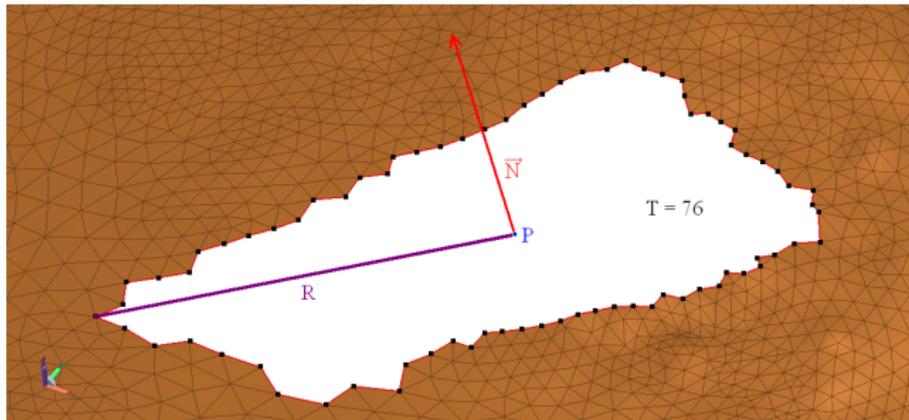
## Bouchage des trous



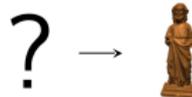
## Identification des trous

- Position  $P$
- Normale  $\vec{N}$
- Rayon  $R$
- Taille  $T$

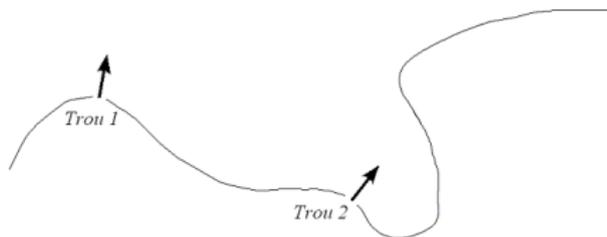
Génération d'une liste  
des trous



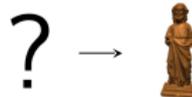
## Bouchage des trous



2 cas de figure

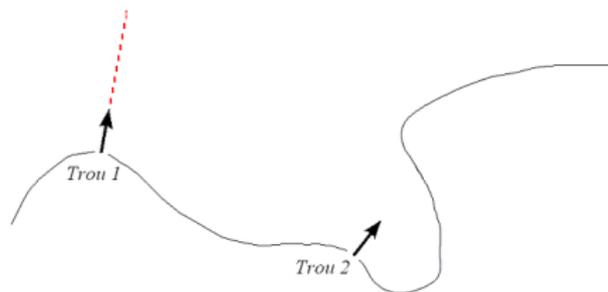


## Bouchage des trous

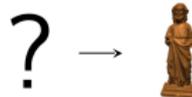


2 cas de figure

- Prise de vue possible

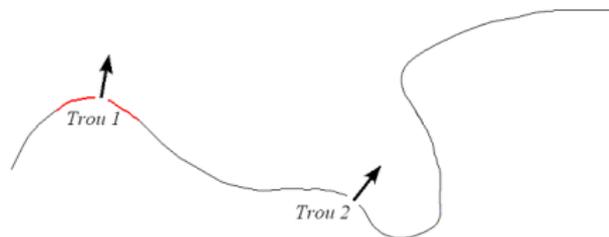


## Bouchage des trous

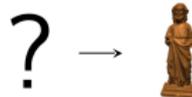


2 cas de figure

- Prise de vue possible → Acquisition

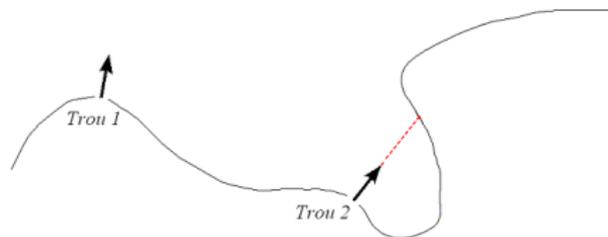


# Bouchage des trous

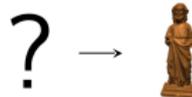


2 cas de figure

- Prise de vue possible → Acquisition
- Auto-occlusion

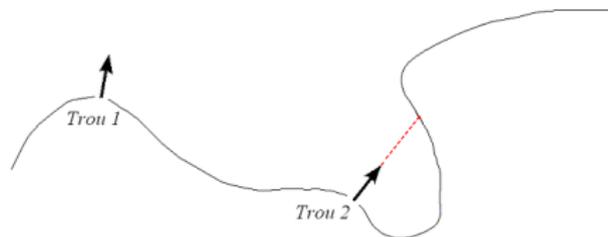


## Bouchage des trous

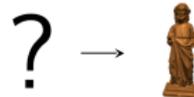


2 cas de figure

- Prise de vue possible → Acquisition
- Auto-occlusion → Calcul d'une nouvelle position



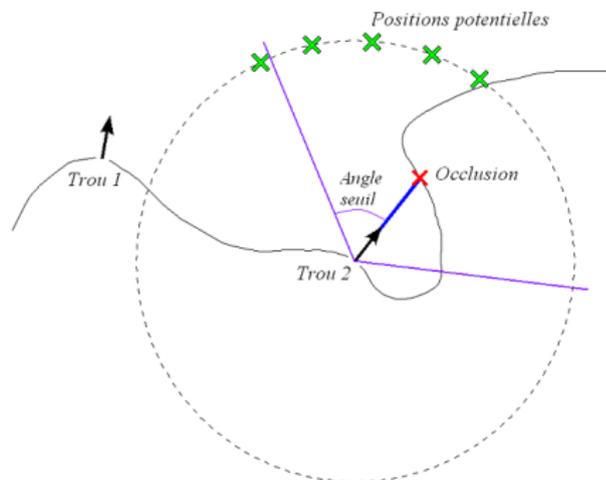
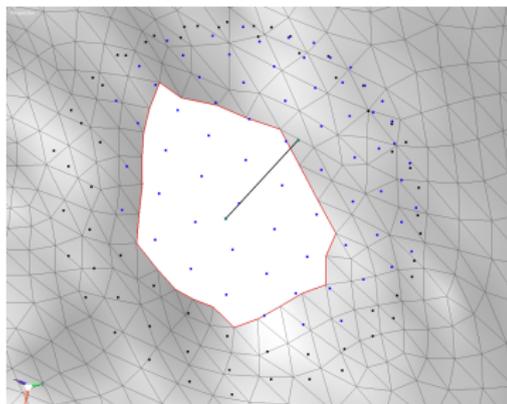
## Bouchage des trous



2 cas de figure

- Prise de vue possible → Acquisition
- Auto-occlusion → Calcul d'une nouvelle position

Viewsphere de positionnement



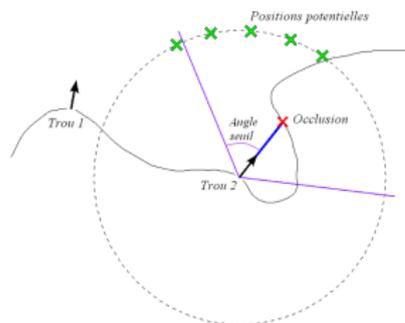
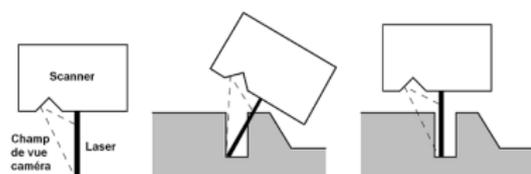
## Bouchage des trous

? →

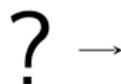


## Trous inaccessibles

- Configuration du scanner : distance caméra-source lumineuse

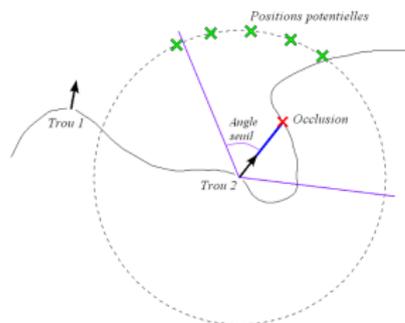
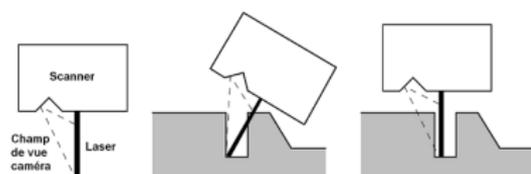


# Bouchage des trous



## Trous inaccessibles

- Configuration du scanner : distance caméra-source lumineuse

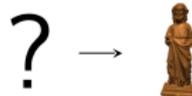


## Utilisation de deux listes

- Liste complète des trous
- Liste des trous impossibles

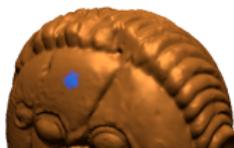
→ Mémorisation de la position et de la normale du trou

## Bouchage des trous

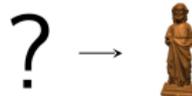


## Segmentation des données acquises

- Position  $P$  et rayon  $R$  du trou
- Segmentation :  $\{Sommets S_i / |PS_i| < 1.5 \times R\}$
- Fusion



## Bouchage des trous

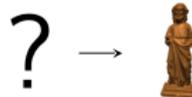


## Segmentation des données acquises

- Position  $P$  et rayon  $R$  du trou
- Segmentation :  $\{ \text{Sommets } S_i / |PS_i| < 1.5 \times R \}$
- Fusion



Limiter l'influence du bruit de mesure



- Méthode itérative en 2 phases
  - Modèle incomplet : MVC
  - Bouchage de trou
- Critères d'arrêt
- Gestion des auto-occlusions
- Gestion des trous inaccessibles



- 1 Numérisation 3D et problématique
- 2 Méthodes d'automatisation
- 3 Simulation**
- 4 Prototype et bras robot
- 5 Résultats
- 6 Conclusion et perspectives

## Environnement de simulation

- Permet de simuler le fonctionnement d'un scanner à acquisition par vues
- Permet de s'affranchir des contraintes physiques

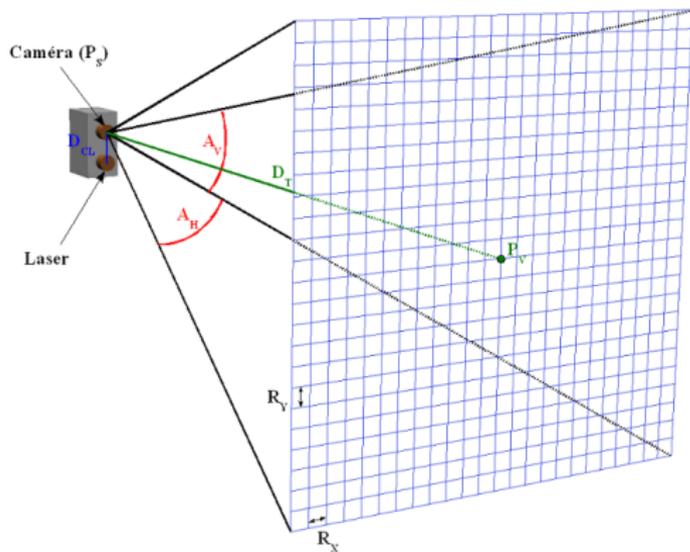
Simulateur de Numérisation

Modèle de référence | Paramètres du scanner | Numérisation simple | Model Based | Non Model Based

Position	Position visée	Définition Scanner
X <input type="text" value="0"/>	X <input type="text" value="0"/>	
Y <input type="text" value="0"/>	Y <input type="text" value="0"/>	
Z <input type="text" value="500"/>	Z <input type="text" value="0"/>	
Résolution	Champ de vue	
X <input type="text" value="0.1"/>	H <input type="text" value="40"/>	
Y <input type="text" value="0.1"/>	V <input type="text" value="40"/>	
Portée	Autres	Affichage FOV
Min <input type="text" value="500"/>	C-L <input type="text" value="100"/>	Suppression FOV
Max <input type="text" value="1500"/>	AS <input type="text" value="60"/>	

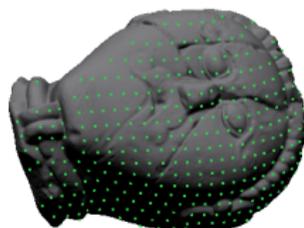
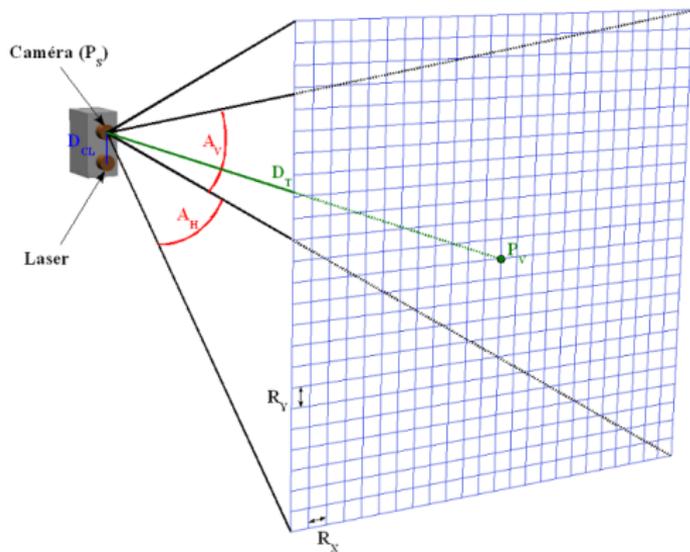
## Acquisition

- Génération d'un grille
- Positionnement et orientation du scanner
- Lancer de rayon



## Acquisition

- Génération d'un grille
- Positionnement et orientation du scanner
- Lancer de rayon





Acquisition réelle



Acquisition simulée

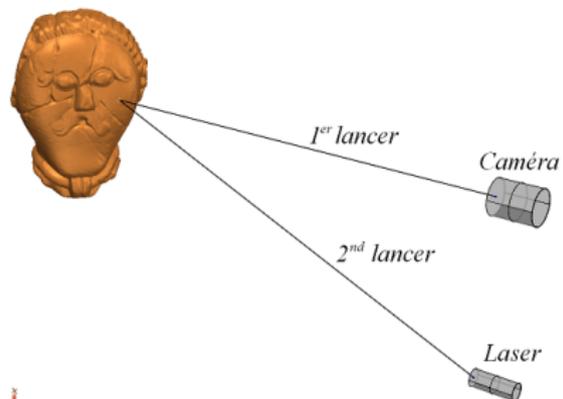
## Gestion des auto-occlusions

- Premier lancer de la caméra à l'objet
- Deuxième lancer de l'objet à la source lumineuse

# Auto-occlusions

## Gestion des auto-occlusions

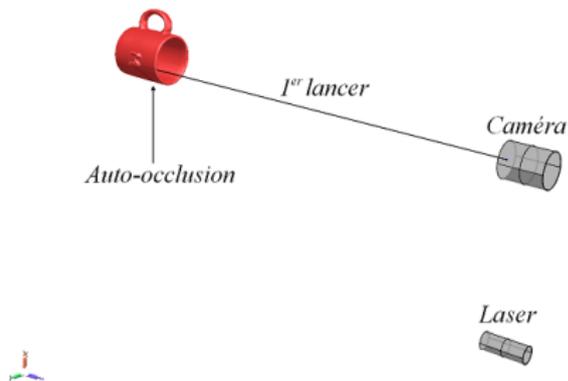
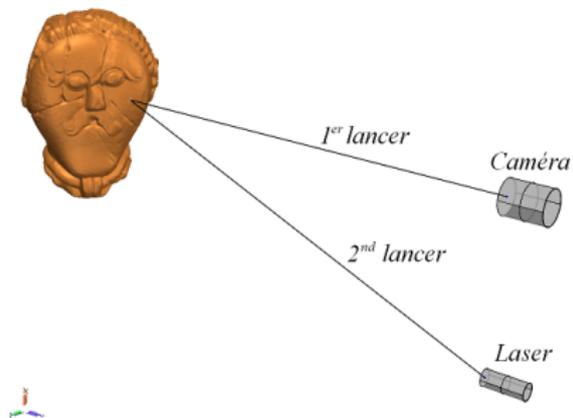
- Premier lancer de la caméra à l'objet
- Deuxième lancer de l'objet à la source lumineuse



# Auto-occlusions

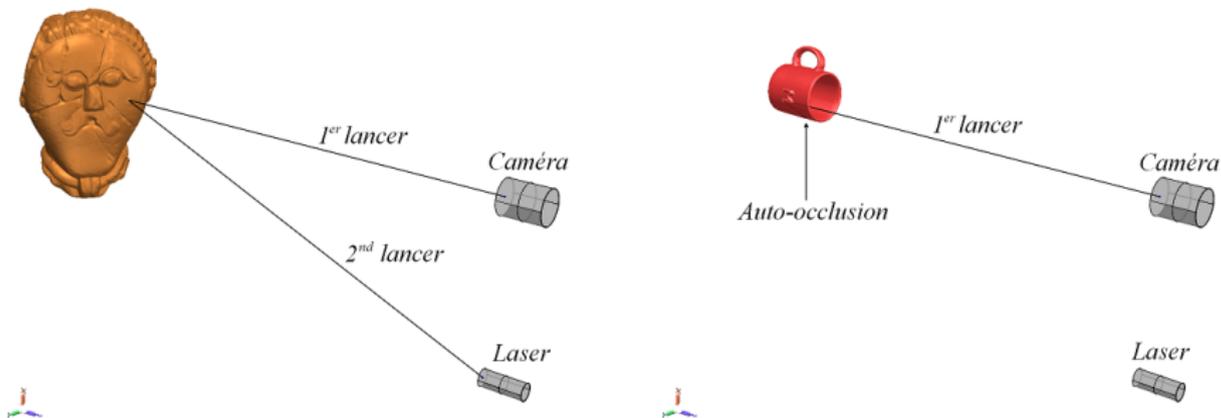
## Gestion des auto-occlusions

- Premier lancer de la caméra à l'objet
- Deuxième lancer de l'objet à la source lumineuse



## Gestion des auto-occlusions

- Premier lancer de la caméra à l'objet
- Deuxième lancer de l'objet à la source lumineuse



⇒ Procédé utilisé pour les tests de visibilité

## Post-traitements

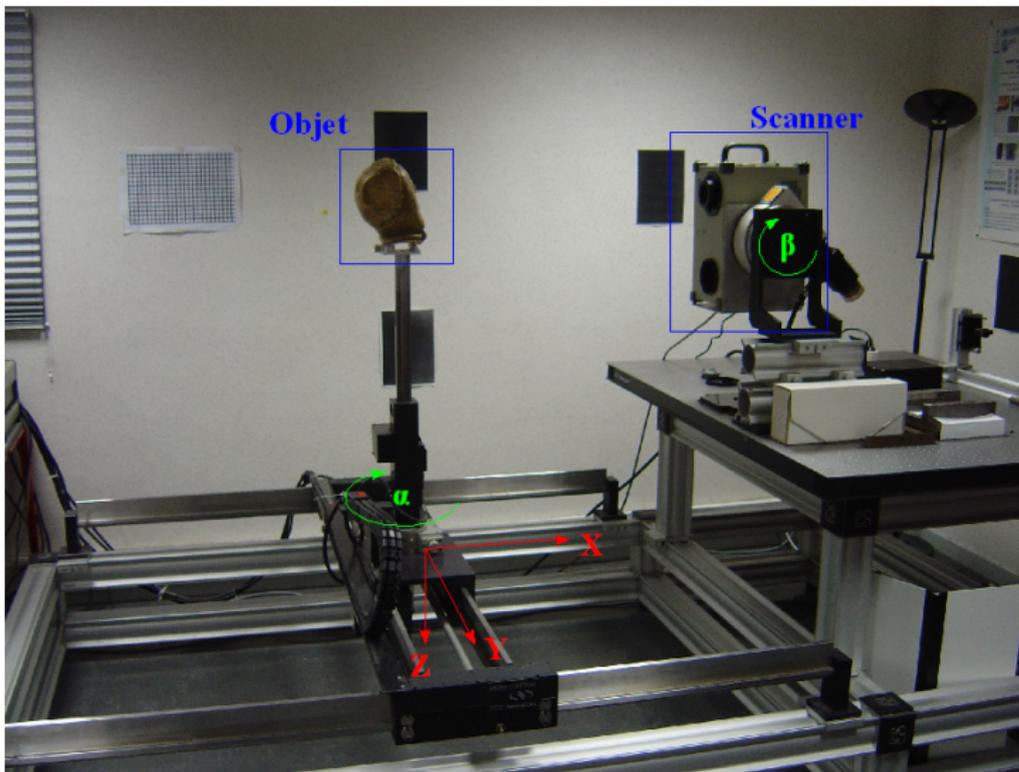
- Suppression des facettes anormales  
→ En fonction des caractéristiques des facettes
- Segmentation en composantes connexes



# Plan

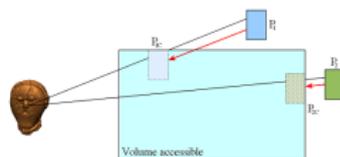
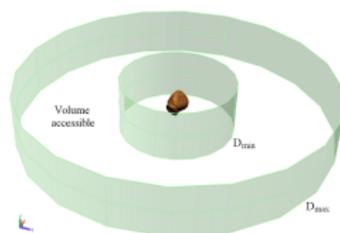
- 1 Numérisation 3D et problématique
- 2 Méthodes d'automatisation
- 3 Simulation
- 4 Prototype et bras robot**
- 5 Résultats
- 6 Conclusion et perspectives

## Prototype de validation



# Contraintes

- Calibration du système
- Contraintes de positionnement au simulateur
- Gestion des positions inaccessibles
- Contrainte de poids
- Vibrations
- Gestion de l'éclairage



# Exemple

Pierre savon :



## Caractéristiques

- Contre-dépouilles, cavités
- Dimensions adaptées au prototype

## Exemple

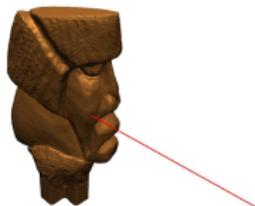
Pierre savon :



### Caractéristiques

- Contre-dépouilles, cavités
- Dimensions adaptées au prototype

Acquisition



## Exemple

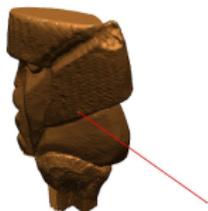
Pierre savon :



## Caractéristiques

- Contre-dépouilles, cavités
- Dimensions adaptées au prototype

MVC/NBV



Acquisition



Fusion



## Exemple

Pierre savon :



## Caractéristiques

- Contre-dépouilles, cavités
- Dimensions adaptées au prototype

Analyse



MVC/NBV



Acquisition/Fusion



# Exemple

Pierre savon :



## Caractéristiques

- Contre-dépouilles, cavités
- Dimensions adaptées au prototype

Modèle 3D en fin de phase 1 :



## Résultat

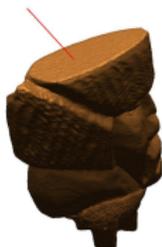
- 6 acquisitions
- Deux trous restants
- Trou inférieur ignoré

## Exemple (suite)

Début seconde phase :



NBV

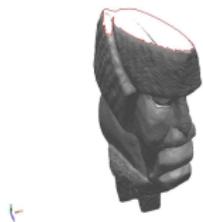


Acquisition



## Exemple (suite)

Début seconde phase :



Modèle final :

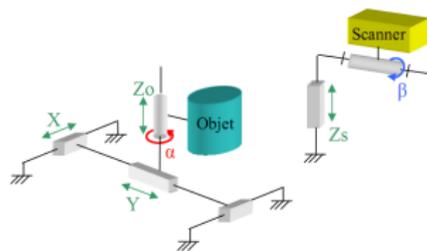


### Résultat

- 6 acquisitions en phase 1
- 1 acquisition en phase 2
- 98% de couverture

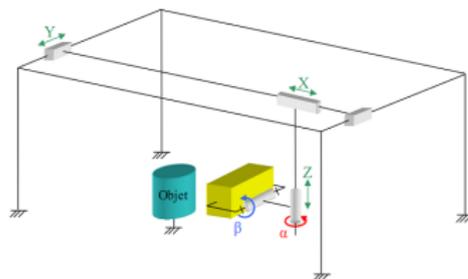
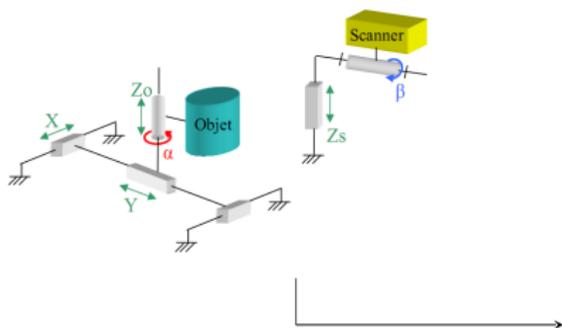
## Système de numérisation 3D

Prototype



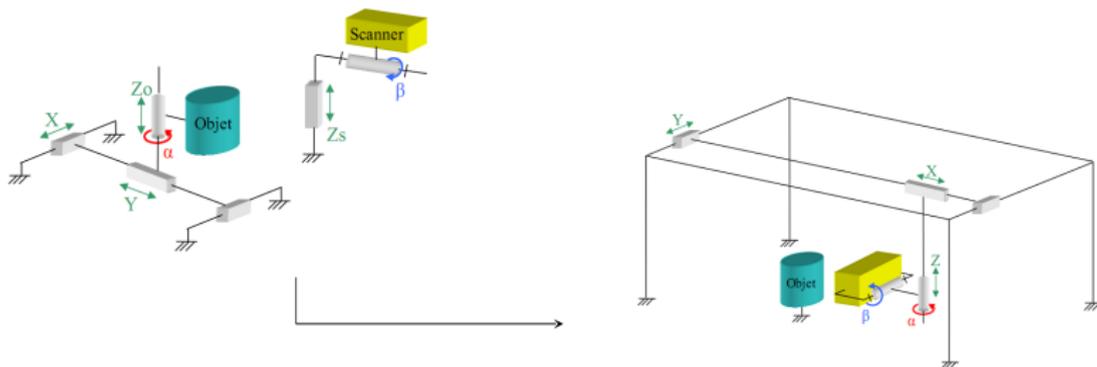
## Système de numérisation 3D

Prototype



## Système de numérisation 3D

## Prototype

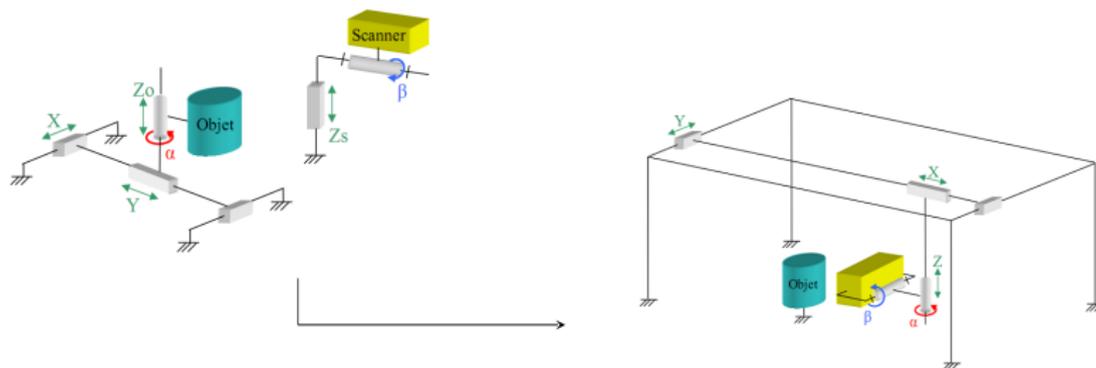


## Limitations

- Dimensions :  $4\text{m} \times 4\text{m} \times 3\text{m}$  ( $2\text{m} \times 3\text{m} \times 3\text{m}$ )
- Calibrage et conception logiciel

## Système de numérisation 3D

## Prototype



## Limitations

- Dimensions :  $4\text{m} \times 4\text{m} \times 3\text{m}$  ( $2\text{m} \times 3\text{m} \times 3\text{m}$ )
- Calibrage et conception logiciel

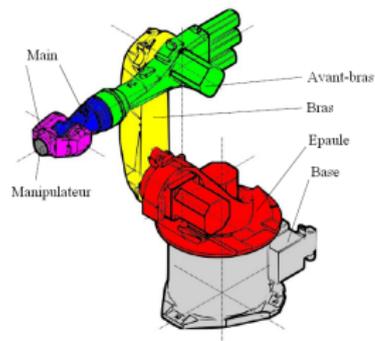
## Solution

Bras robotisé avec table rotative

# Bras robot

Méthode développée par [Corke \(96\)](#) (Robotics Toolbox Matlab)

- Calcul de la cinématique avant (Denavit-Hartenberg)
- Cinématique inverse pour l'accessibilité d'une position



Jointure	$\alpha$	$a$	$\theta$	$d$
1	$-\frac{\pi}{2}$	260	0	675
2	0	680	$-\frac{\pi}{2}$	0
3	$\frac{\pi}{2}$	0	0	0
4	$-\frac{\pi}{2}$	0	0	-670
5	$\frac{\pi}{2}$	0	0	0
6	$\pi$	0	0	-158

- 1 Numérisation 3D et problématique
- 2 Méthodes d'automatisation
- 3 Simulation
- 4 Prototype et bras robot
- 5 Résultats**
- 6 Conclusion et perspectives

## Objets d'étude

 <p><b>Mug</b> Points : 71994 Facettes : 149988 Dimensions : 120 × 100 × 94mm</p>	 <p><b>Trophée</b> Points : 169952 Facettes : 399900 Dimensions : 248 × 215 × 88mm</p>	 <p><b>Robinet</b> Points : 81450 Facettes : 162916 Dimensions : 275 × 144 × 130mm</p>	 <p><b>Grenouille</b> Points : 64002 Facettes : 128000 Dimensions : 234 × 172 × 270mm</p>
 <p><b>Mzeke</b> Points : 93169 Facettes : 186334 Dimensions : 228 × 270 × 221mm</p>	 <p><b>Humérus</b> Points : 138966 Facettes : 277928 Dimensions : 288 × 51 × 43mm</p>	 <p><b>Saint Jean</b> Points : 374995 Facettes : 749994 Dimensions : 139 × 300 × 87mm</p>	 <p><b>Ammonite</b> Points : 74997 Facettes : 149994 Dimensions : 270 × 228 × 69mm</p>

 <p><b>Statue</b> Points : 149993 Facettes : 299986 Dimensions : 338 × 129 × 109mm</p>	 <p><b>Beetle</b> Points : 149997 Facettes : 299990 Dimensions : 274 × 117 × 90mm</p>	 <p><b>Pierre savon</b> Points : 169600 Facettes : 339178 Dimensions : 144 × 275 × 213mm</p>	 <p><b>Buste</b> Points : 55233 Facettes : 110462 Dimensions : 270 × 176 × 152mm</p>
 <p><b>Vierge</b> Points : 34995 Facettes : 69987 Dimensions : 300 × 122 × 96mm</p>	 <p><b>Niepce</b> Points : 31884 Facettes : 63764 Dimensions : 273 × 209 × 142mm</p>	 <p><b>Jante</b> Points : 57943 Facettes : 115930 Dimensions : 285 × 285 × 136mm</p>	 <p><b>Shrek</b> Points : 102969 Facettes : 205934 Dimensions : 227 × 235 × 294mm</p>

## Exemples

Mzeke



5 vues

Robinet



8 vues

Vierge



8 vues

## Exemples

Mzeke



4 vues

Robinet



19 vues

Vierge



37 vues

## Exemples

Mzeke



9 vues

99%

Robinet



27 vues

99%

Vierge



45 vues

97%

- Taux de couverture supérieur à 90%
- Temps nécessaire à la numérisation 3D d'un objet diminué  
Temps d'acquisition et de positionnement identique  
Durée des post-traitements divisée par 15

- Taux de couverture supérieur à 90%
- Temps nécessaire à la numérisation 3D d'un objet diminué  
Temps d'acquisition et de positionnement identique  
Durée des post-traitements divisée par 15
- Pas d'acquisition "inutile"
- Post-traitements "uniformisés"

- Taux de couverture supérieur à 90%
- Temps nécessaire à la numérisation 3D d'un objet diminué  
Temps d'acquisition et de positionnement identique  
Durée des post-traitements divisée par 15
- Pas d'acquisition "inutile"
- Post-traitements "uniformisés"
- Sans intervention de l'opérateur

# Plan

- 1 Numérisation 3D et problématique
- 2 Méthodes d'automatisation
- 3 Simulation
- 4 Prototype et bras robot
- 5 Résultats
- 6 Conclusion et perspectives

# Conclusion

## Méthodes d'automatisation

- Avec ou sans connaissance de la forme de l'objet
- Gestion des post-traitements
- Taux de complétude supérieur à 90%

# Conclusion

## Méthodes d'automatisation

- Avec ou sans connaissance de la forme de l'objet
- Gestion des post-traitements
- Taux de complétude supérieur à 90%

## Environnement de simulation

- Modélisation de différents capteurs et systèmes de positionnement

# Conclusion

## Méthodes d'automatisation

- Avec ou sans connaissance de la forme de l'objet
- Gestion des post-traitements
- Taux de complétude supérieur à 90%

## Environnement de simulation

- Modélisation de différents capteurs et systèmes de positionnement

## Systemes de numérisation 3D

- Prototype de validation
- CometV sur bras robotisé (simulation)

# Conclusion

## Méthodes d'automatisation

- Avec ou sans connaissance de la forme de l'objet
- Gestion des post-traitements
- Taux de complétude supérieur à 90%

## Environnement de simulation

- Modélisation de différents capteurs et systèmes de positionnement

## Systemes de numérisation 3D

- Prototype de validation
- CometV sur bras robotisé (simulation)

## Publications :

- 1 revue internationale
- 4 conférences internationales
- 1 conférence nationale

# Perspectives

- Implémentation des méthodes sur système réel (CometV de Steinbichler sur bras robot Kuka KR16)
- Contrainte de champ de vue
- Gestion du 6<sup>ème</sup> axe de liberté (rotation du bras manipulateur)
- Optimisation de la visibilité et de la matrice de mesurabilité
- Optimisation des algorithmes de SCP et planification des trajectoires
- Gestion de la texture

# Automatisation de l'acquisition et des post-traitements en numérisation 3D

Benjamin Lorient

Laboratoire Le2i UMR CNRS 5158 - Société Dynamic 3D

25-03-2009

