

# Recalages et Calibrages Automatiques pour l'Acquisition de Champs Lumineux Surfacciques

**Frédéric LARUE,**  
Jean-Michel DISCHLER

*LSiIT*  
*UMR CNRS-ULP 7005*  
*Strasbourg I University*  
*France*



# Motivations

- Contexte:

- Projet national financé par le Ministère de la Recherche.
- Projet RIAM *AMI3D* (no. 04 C 292).
- *Archivage et Micro-Identification en 3 Dimensions*:
  - Visualisation (galeries virtuelles).
  - Authentification.

- Buts:

- *Visualisation*: capturer la forme et l'apparence.
- Mesures effectuées par un opérateur non spécialiste:
  - Traitements automatisés.

# Motivations

## Champs lumineux surfaciques?

- Champs lumineux surfaciques (*CLS*):
  - Representation de la luminance à la surface d'un objet.
  - Déplacement libre dans un environnement lumineux fixe.
- Notre choix:
  - Rendu de pièces d'art dans les conditions d'éclairage du musée.
- Géométrie et luminance doivent être capturées.

# Mesure de forme

## Problématique

- Outils de numérisation:
  - Incapables de capturer l'intégralité d'une surface en une fois.
  - Nécessitent plusieurs acquisitions.
  - Chacune est définie dans son propre repère.
- Bancs de numérisation:
  - Enregistrement des mouvements du scanner.
  - *MAIS*: dispositifs coûteux.
  - Contraintes de mobilité: ne peuvent être déplacés vers un site de mesure.
- Utilisation de méthodes de recalage numériques.

# Mesure de forme

## Travaux antérieurs

- Méthodes itératives:
  - [Besl 92], [Turk 94], [Benjemaa 99], [Greenspan 00], [Greenspan 01]
  - Précises mais pas automatiques.
- Extraction de particularités:
  - [Zhang 04], [Rusinkiewicz 02]
  - Automatique mais spécifique à certaines scènes.
- Caractéristiques invariantes:
  - [Johnson 97], [Chen 98], [Zhang 99]
  - Aucune hypothèse sur la scène mais calculs coûteux.
- Recalage global:
  - [Pulli 99], [Huber 01], [Nishino 02], [Zhang 04]
  - Souvent basé sur de l'itératif: pas totalement automatique.

# Mesure de luminance

## Problématique

- Capture des effets dus au déplacement de l'observateur:
  - Echantillonnage sur plusieurs points de vue.
- Interprétation des données résultantes:
  - Déterminer le point de vue de chaque photographie.
  - Recaler les photos sur la géométrie.
- Solution: calibrage caméra.
  - Des correspondances point-pixel doivent être connues.

# Mesure de luminance

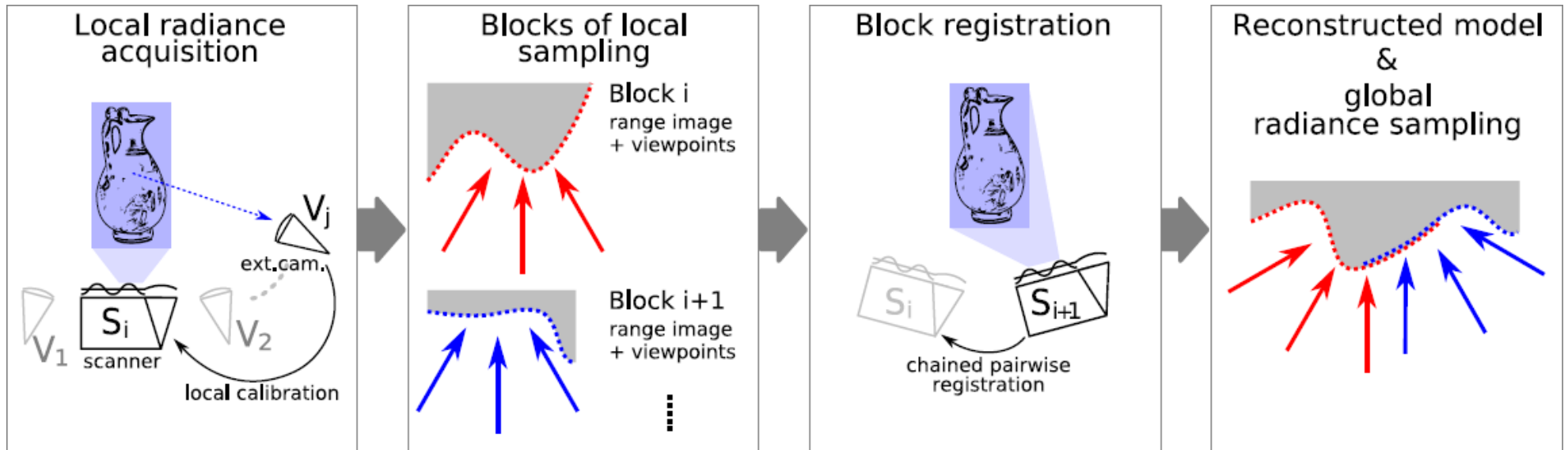
## Travaux antérieurs

- Extraction de mires:
  - [Chen 02]
  - Problèmes d'occlusion.
  - La segmentation d'image peut échouer.
- Concordance de silhouettes:
  - [Matsushita 99]
  - Peut échouer pour des objets symétriques.
- Inférence de correspondances image-géométrie:
  - [Franken 05]
  - Capable de générer automatiquement de nouvelles correspondances.
  - *MAIS*: un ensemble initial doit être fourni.

# Acquisition de CLS

## Principe de la méthode

- Notre protocole d'acquisition:
  - Recalages et calibrages automatiques.
  - Mobilité: matériel impliqué peu onéreux.
  - Adapté à la mesure de modèles délicats (pièces d'art).
  - Rapide – retour interactif durant la mesure.





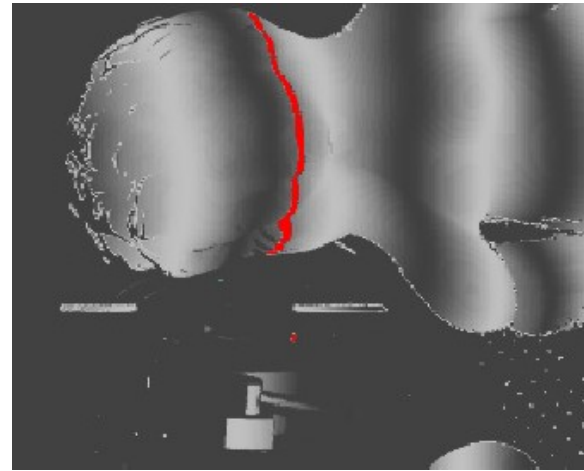
# Acquisition de CLS

## Lumière structurée & paramétrisation

- Lumière structurée par décalage de phase:
  - Projection d'une sinusoïde en niveaux de gris.
  - Capture de la phase en chaque point de la surface.
- Induit une paramétrisation 1D de la surface:
  - Génère des lignes d'iso-phase strictement différentes.



*Projection d'une sinusoïde  
en niveaux de gris*



*Lignes d'iso-phase observées  
sur la carte de phase*

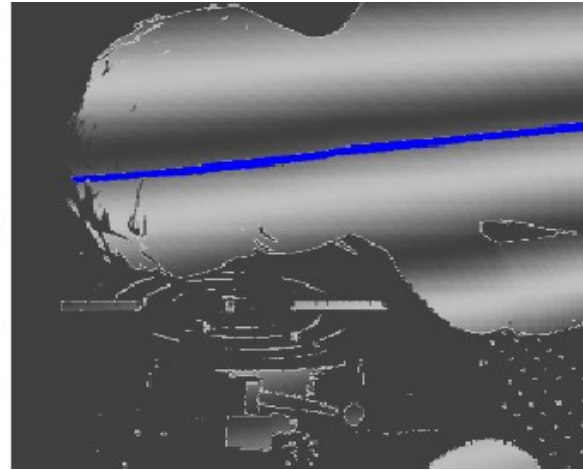
# Acquisition de CLS

## Lumière structurée & paramétrisation

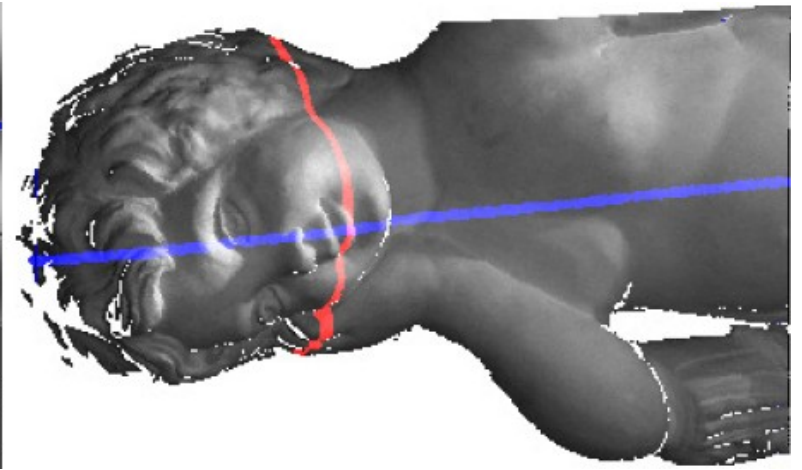
- Extension à une paramétrisation 2D:
  - Projection pour deux orientations de franges différentes.
  - En chaque point: intersection de deux lignes d'iso-phase.
  - Définit un couple unique de coordonnées.



*Paramétrisation 1D induite  
par la première orientation  
de franges*



*Paramétrisation 1D induite  
par la seconde orientation  
de franges*

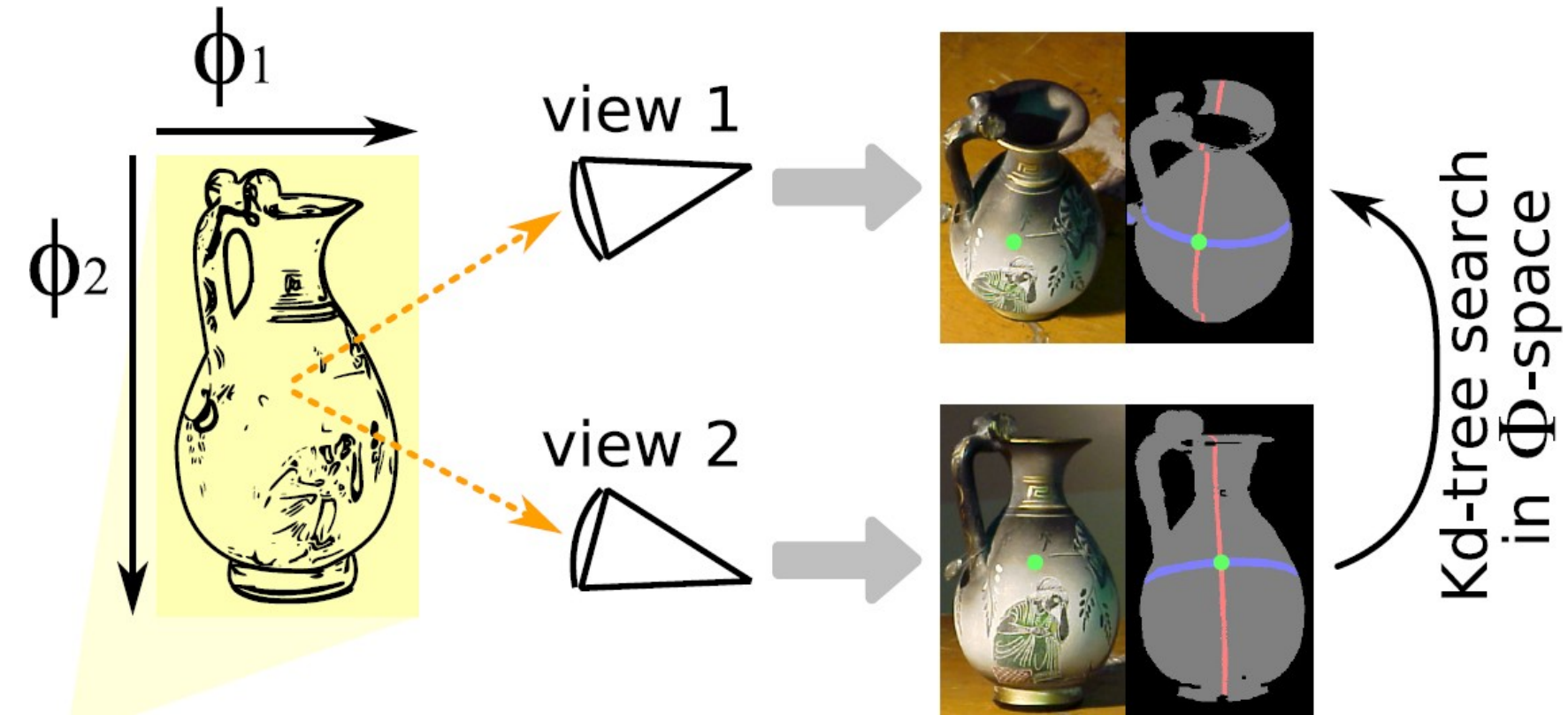


*Un couple unique de coordonnées  
est défini en chaque point de la  
surface*

# Acquisition de CLS

## Lumière structurée & paramétrisation

- Extraction de correspondances:



*Projection de la paramétrisation 2D*

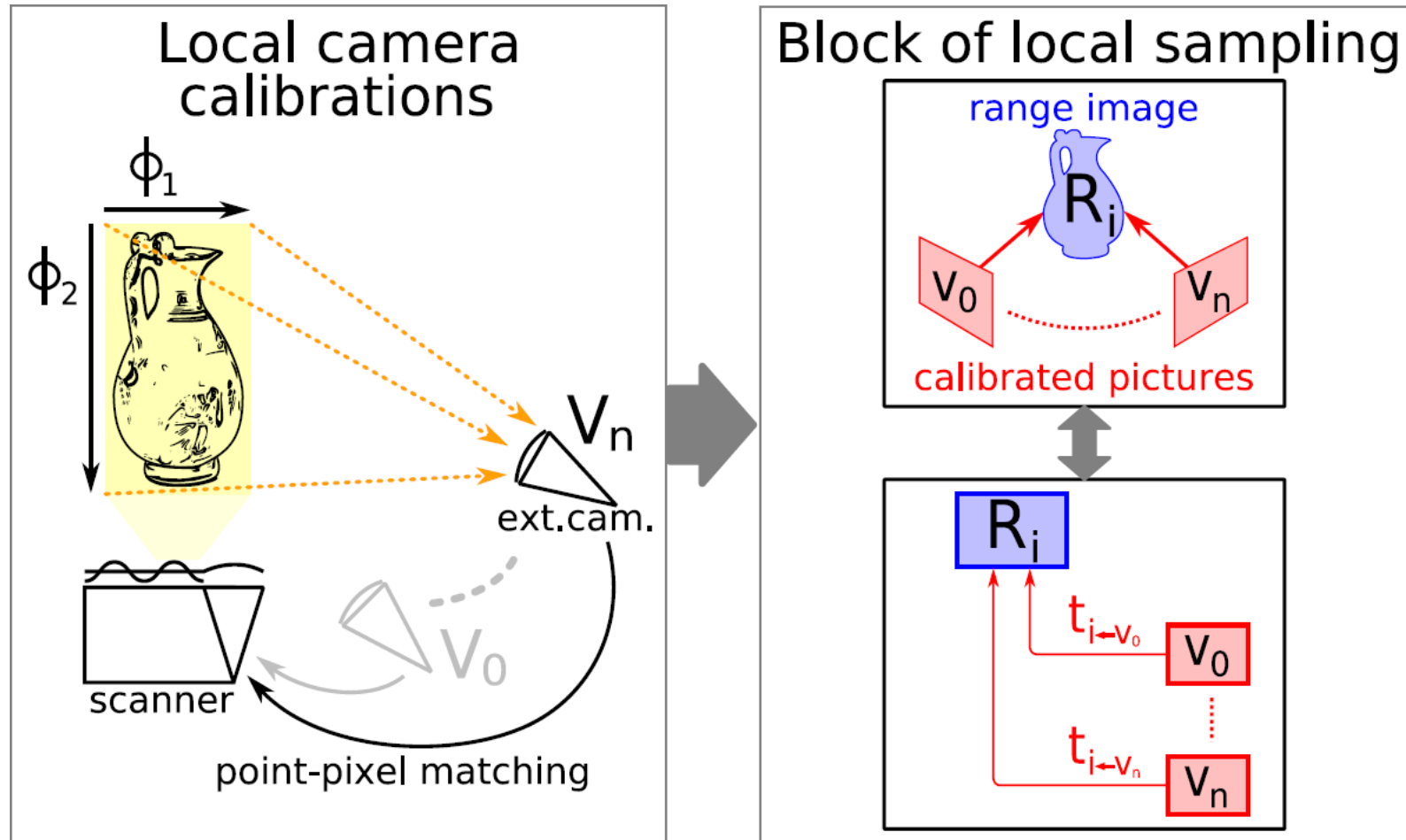
*Acquisition de la paramétrisation depuis deux points de vue différents*

*Recherche des éléments qui ont des coordonnées de phase similaires*

Kd-tree search  
in  $\Phi$ -space

# Acquisition de CLS

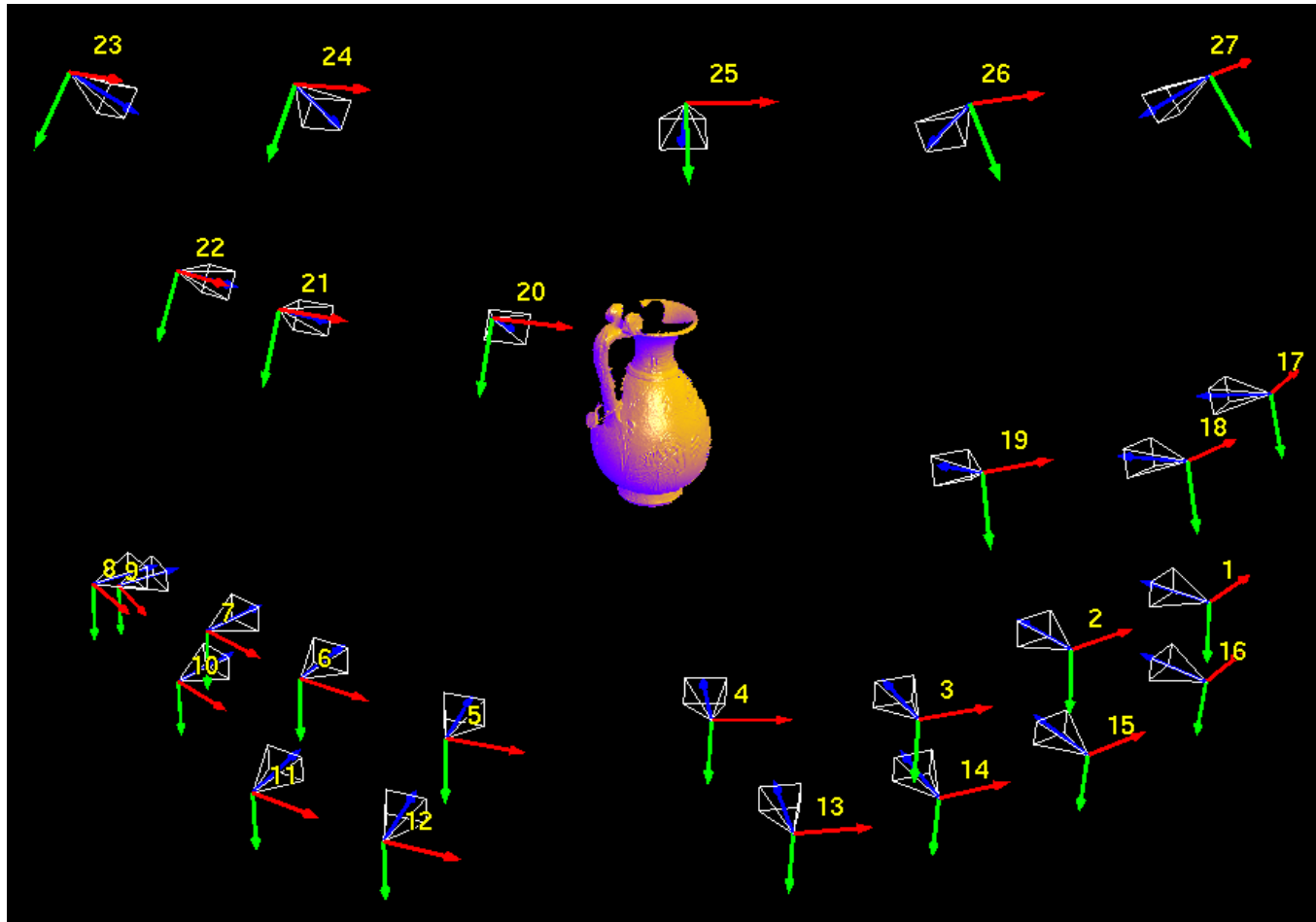
## Etape 1 – Echantillonnage local



*La luminance est échantillonnée localement par un ensemble de photographies qui sont calibrées par rapport au scan 3D courant*

# Acquisition de CLS

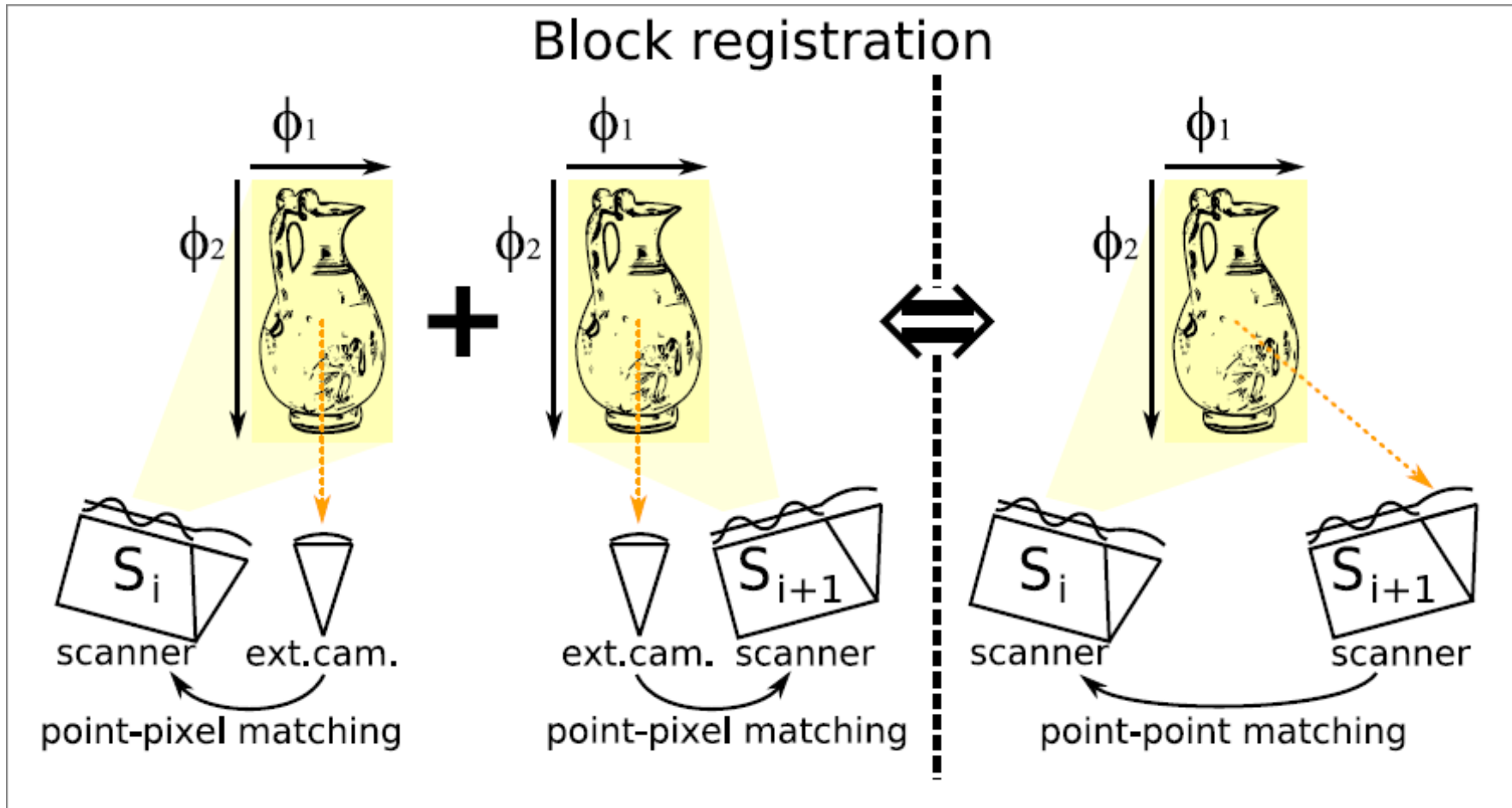
## Etape 1 – Echantillonnage local



*Un exemple de bloc d'échantillonnage local, constitué d'un scan 3D et d'un ensemble de points de vue calibrés localement*

# Acquisition de *CLS*

## Etape 2 – Recalage de blocs



*La caméra externe est utilisée comme référence fixe entre deux poses successives du scanner*

# Acquisition de CLS

## Étape 3 – Fusion des données

- Reconstruction de maillage:
  - Fusion des scans recalés pour produire un maillage unique.
  - Algorithme VRIP [Curless 96].
- Placage de la luminance sur la géométrie:
  - Calculer un échantillonnage en chaque primitive géométrique.
  - Reprojection du maillage reconstruit dans l'espace image.
  - Utilise les paramètres optiques déterminés par calibrage.



# Résultats

## Rendus

- Rendus de deux champs lumineux surfaciques mesurés:



*La statue africaine en bois:  
6 scans 3D, 42 points de vue*



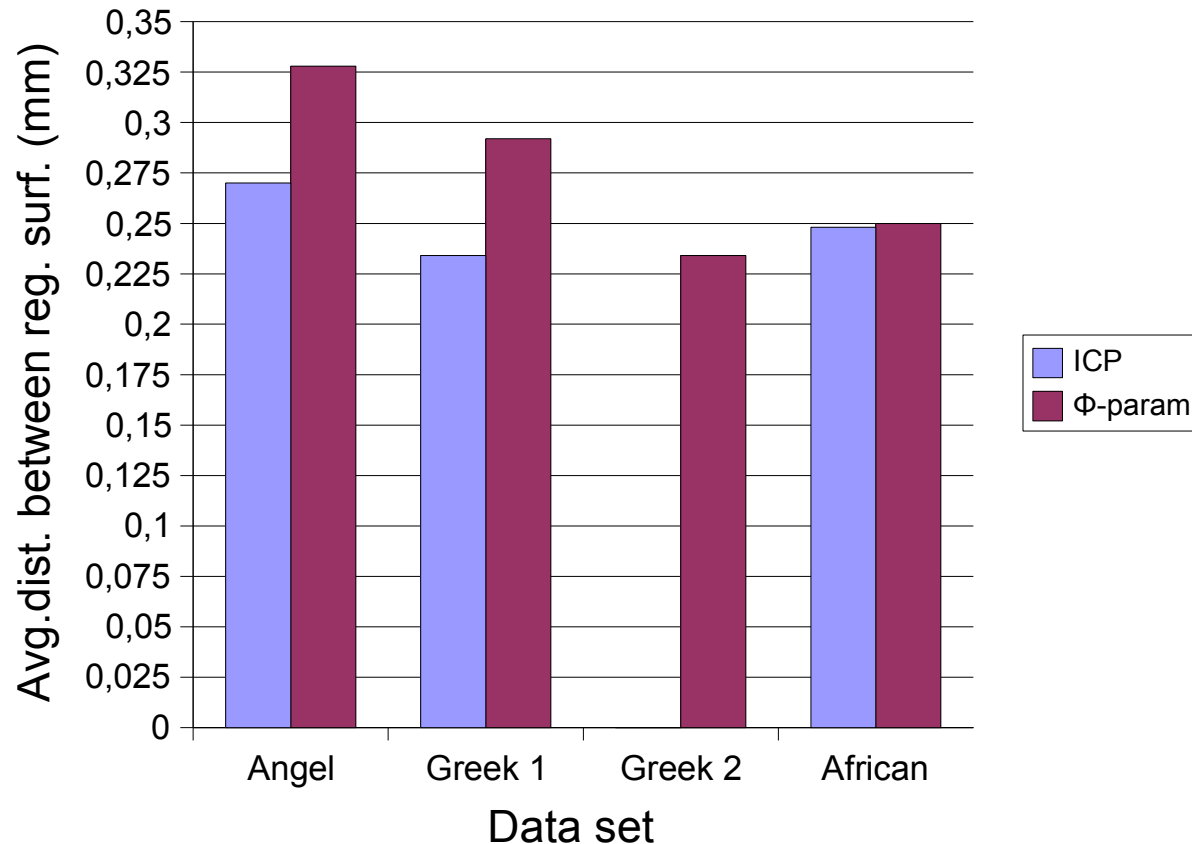
*Le vase grec:  
5 scans 3D, 23 points de vue*



# Résultats

## Précision du recalage

### Comparison against ICP

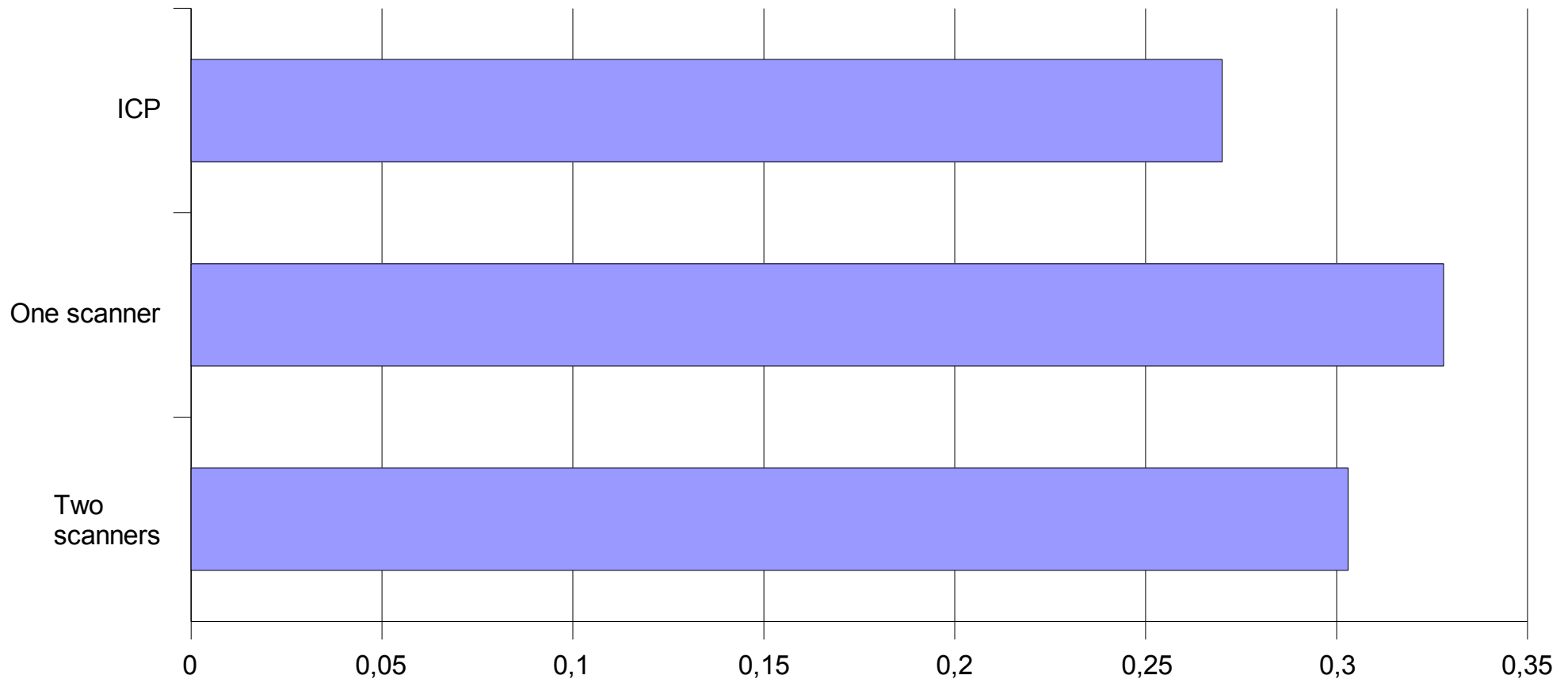


- Notre méthode est moins précise...
- Mais ICP n'est pas totalement automatique.
  - Peut tomber dans un minimum local.

# Résultats

## Précision du recalage

### Comparison of two variants



- La caméra intermédiaire introduit de l'incertitude supplémentaire.
- Deux scanners: plus précis, mais toujours moins que ICP.

# Résultats

## Précision du recalage

- Evaluation de l'accumulation d'erreur:

<i>Average distance of all registered pairs</i>	<i>Distance between the first and the last range images</i>
0.243mm	0.477mm

*Mesure de l'accumulation d'erreur pour la chaîne de  
recalage composée des 23 scans 3D de la Vénus aux Bains*

- *Vénus aux Bains*: chaîne de recalage de 23 scans.
- L'accumulation n'a qu'une faible incidence.
- N'introduit pas d'artéfacts de reconstruction significatifs.



# Résultats

## Vitesse de recalage

- Mesures pour le recalage de paires de scans:

<i>Nb. points in the 1st scan</i>	<i>Nb. points in the 2nd scan</i>	<i>Nb. corres. found</i>	<i>Registration time (ms)</i>
325K	331K	15K	629
331K	329K	2K	455
75K	76K	3K	419
215K	182K	10K	579
23K	20K	11K	250

*Nombre de correspondances trouvées et temps de recalage pour plusieurs paires de scans*

- De nombreuses correspondances trouvées pour le recalage.
- Rapide comparé aux méthodes itératives.
  - Permet un contrôle interactif.

# Résultats

## Calibrage des points de vue

- Mesures pour le calibrage de points de vue:

Set	<i>Nb. corres. found</i>	<i>Calibration time (ms)</i>
Greek, view 2	15K	1073
Greek, view 16	2.9K	514
Greek, view 27	19K	1327
African, view 9	0.7K	286
African, view 36	31K	1419
African, view 39	16K	881

- ➔ De nombreuses correspondances trouvées pour le calibrage.
- ➔ Suffisamment rapide pour être utilisé de manière interactive.

# Conclusion

## Contribution

- Acquisition de *CLS* à partir d'objets réels:
  - Calibrage automatique des points de vue.
  - Recalage automatique des scans 3D.
- Adapté à la numérisation de pièces d'art:
  - Pas de contact.
  - Pas de déplacement de l'oeuvre.
- Exécution interactive:
  - Permet un contrôle immédiat durant la mesure.
  - Planification à la volée.

# Conclusion

## Inconvénients

- Recalage chaîné par paire:
  - Erreur cumulative.
  - *MAIS*: bon point de départ pour une solution de recalage globale.
- Acquisition de la luminance:
  - Pour chaque point de vue: 1 photo + paramétrisation 2D.
  - Interdit l'usage d'une caméra à l'épaule.
  - Le temps d'acquisition peut en souffrir.

# Conclusion

## Perspectives

- Acquisition bi-directionnelle complète:
  - Prendre en compte les variations d'éclairage.
  - Capacité à localiser une source lumineuse dans l'espace.
  - Evaluation de l'incidence de l'échantillonnage pour alléger la mesure.
- Filtrage des données:
  - Utilisation de données photométriques pour raffiner la géométrie.



# Questions?

- Merci pour votre attention.