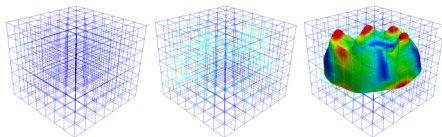


## Analyse morphométrique 3D de structures anatomiques pour la paléoanthropologie



Jean Dumoncel (AMIS)

*Sous la direction de Jean-Pierre Jessel (IRIT) et Gérard Subsol (LIRMM)*

*Priscilla Bayle (PACEA)*

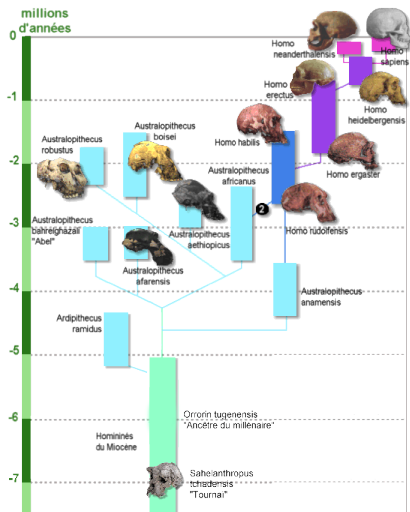
*José Braga (AMIS)*

*Pascal Desbarats (LABRI, rapporteur) Jean-Michel Dischler (ICUBE)*

*Stanley Durrleman (ICM)*

*Gilles Gesquière (LIRIS, rapporteur)*

# LE CONTEXTE : LA PALÉOANTHROPOLOGIE



Braga, 2017

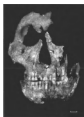




# LE CONTEXTE : LA PALÉOANTHROPOLOGIE

## Difficultés rencontrées

- ▶ nombre réduit de spécimens
- ▶ spécimens fragmentés

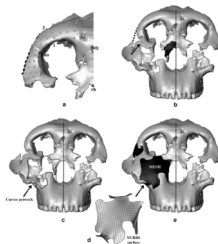


- ▶ grande variabilité



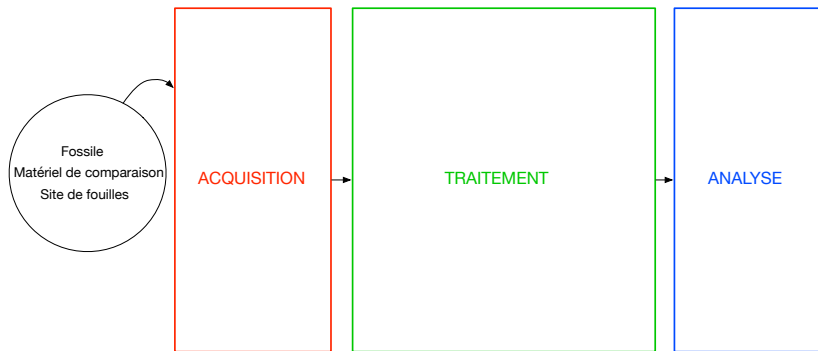
## Objectifs

- ▶ préservation et restauration



- ▶ comparaison, taxinomie
- ▶ intégration de l'environnement

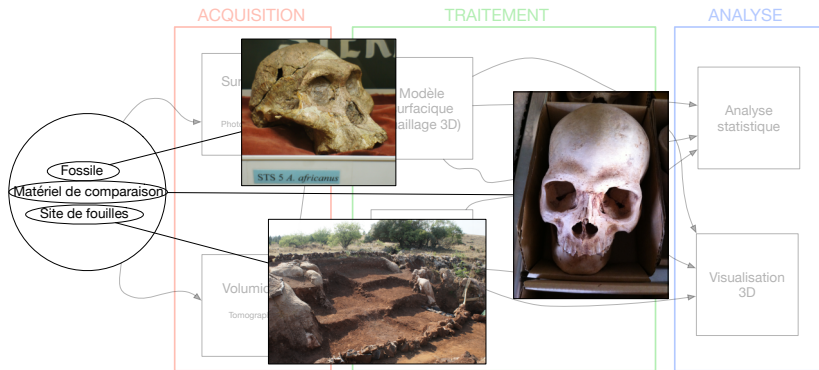
# PALÉOANTHROPOLOGIE ASSISTÉE PAR ORDINATEUR



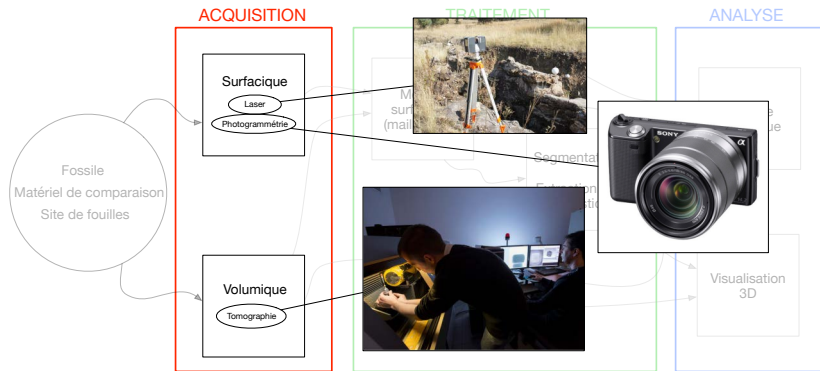
Zollikofer et Ponce de León, (2005). *Virtual reconstruction : a primer in computer-assisted paleontology and biomedicine*. Academic Press.

Weber (2001). *Virtual anthropology (VA) : A call for Glasnost in paleoanthropology*. *The Anatomical Record*.

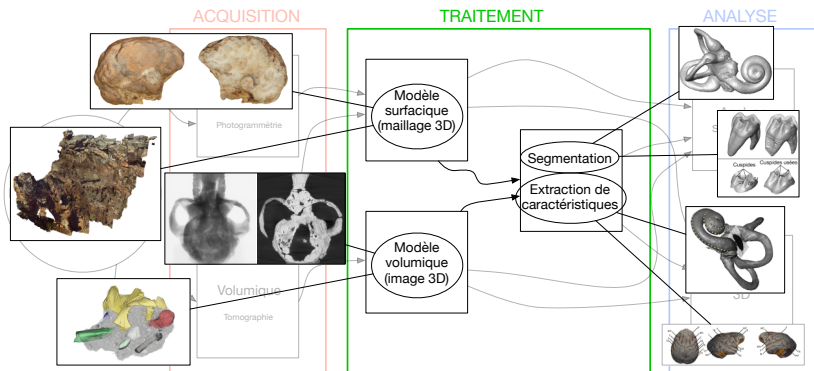
# PALÉOANTHROPOLOGIE ASSISTÉE PAR ORDINATEUR



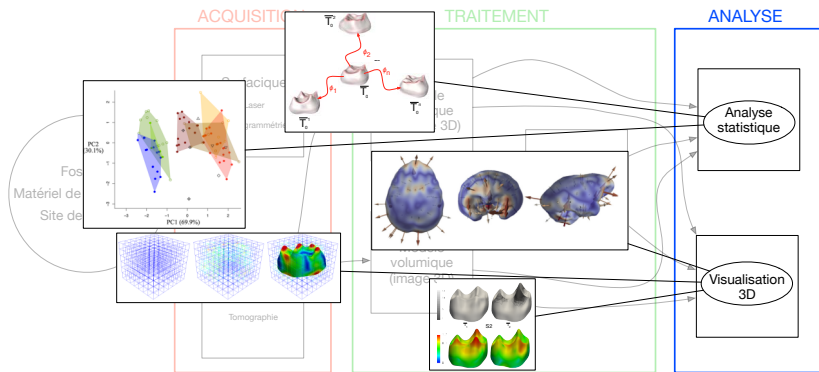
# PALÉOANTHROPOLOGIE ASSISTÉE PAR ORDINATEUR



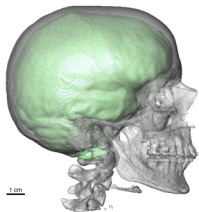
# PALÉOANTHROPOLOGIE ASSISTÉE PAR ORDINATEUR



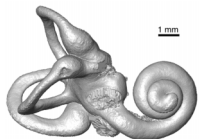
# PALÉOANTHROPOLOGIE ASSISTÉE PAR ORDINATEUR



# LES STRUCTURES ANATOMIQUES ÉTUDIÉES

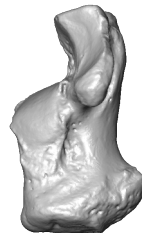


Endocrâne



Oreille interne

Structure dentaire et interface  
émail-dentine



Calcaneus



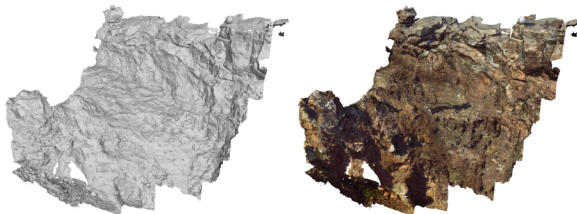
Clavicule

# PLAN DE LA PRÉSENTATION

- ▶ Acquisition des données
  - ▶ Acquisition surfacique
  - ▶ Acquisition volumique
- ▶ Morphométrie
  - ▶ Morphométrie traditionnelle et géométrique
  - ▶ Recalage 3D de surface
- ▶ Le problème des données partielles
  - ▶ Evaluation d'une forme moyenne
- ▶ Analyse visuelle 3D
  - ▶ Analyse et visualisation du recalage
  - ▶ Analyse et visualisation des correspondances
- ▶ Conclusion
- ▶ Perspectives

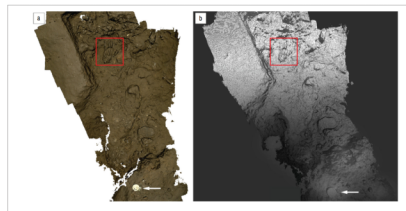
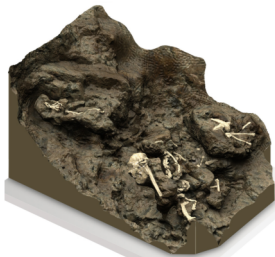


# ACQUISITION DES DONNÉES 3D



# NUMÉRISATION D'UN SITE DE FOUILLE

- ▶ les fossiles
- ▶ l'environnement
- ▶ le matériel de comparaison



*Subsol et al., (2015). in situ 3D digitization of the "Little Foot" Australopithecus skeleton from Sterkfontein, PaleoAnthropology.*

*Kruger et al., (2016). Multimodal spatial mapping and visualisation of Dinaledi Chamber and Rising Star Cave, South African Journal of Science.*

# MODÉLISATION 3D MULTI-ÉCHELLES

- ▶ acquisition de septembre 2010 à septembre 2015 du site de Kromdraai
- ▶ numérisation de la région (grande échelle)
- ▶ numérisation du site (échelle de référence)
- ▶ numérisation de blocs et de fossiles (petite échelle)

# MODÉLISATION 3D MULTI-ÉCHELLES

- ▶ acquisition de septembre 2010 à septembre 2015 du site de Kromdraai
- ▶ numérisation de la région (grande échelle)
- ▶ numérisation du site (échelle de référence)
- ▶ numérisation de blocs et de fossiles (petite échelle)

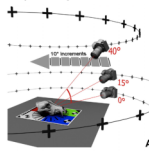
scanner laser temps de vol



scanner laser portable

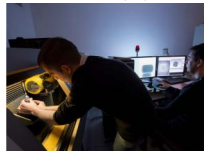


photogrammétrie



Evin et al., 2016

micro-tomographie



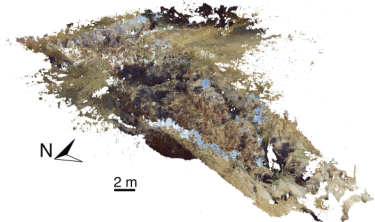
CNRS Photothèque / Hubert Raquet

Comment intégrer ces données dans un environnement multi-échelles ?

# MODÉLISATION 3D MULTI-ÉCHELLES

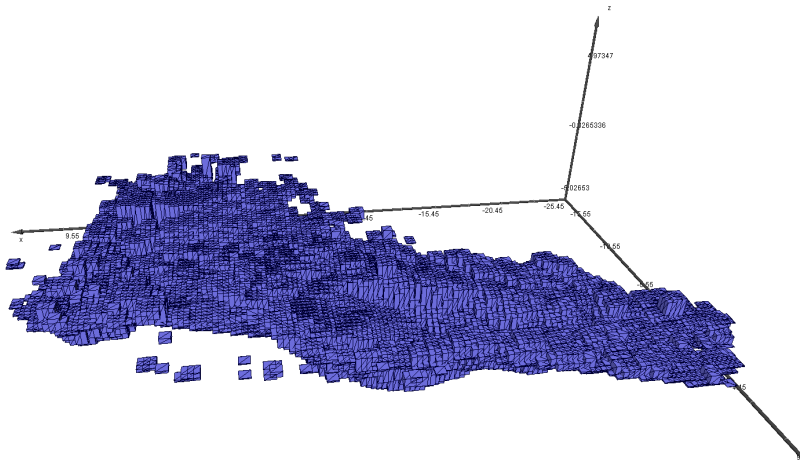
Scanner FARO focus 3D :

- ▶ scanner laser temps de vol
- ▶ résolution : entre 0.2 et 1 cm
- ▶ distance des objets : entre 0.6 et 10 m
- ▶ nombre de points générés : environ 800 millions (pour 27 vues)



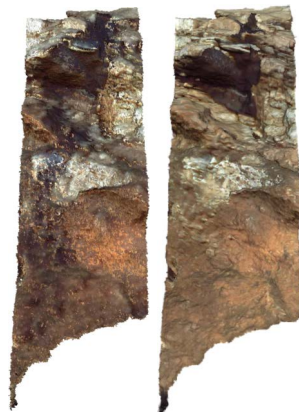
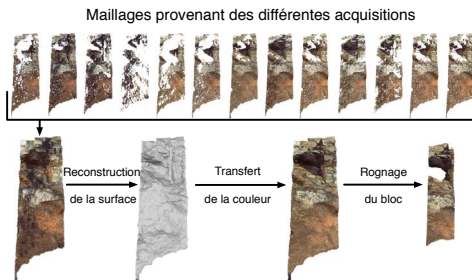
# MODÉLISATION 3D MULTI-ÉCHELLES

## 1. Échantillonnage spatial



# MODÉLISATION 3D MULTI-ÉCHELLES

## 2. Traitement de chaque échantillon



Avant et après traitement

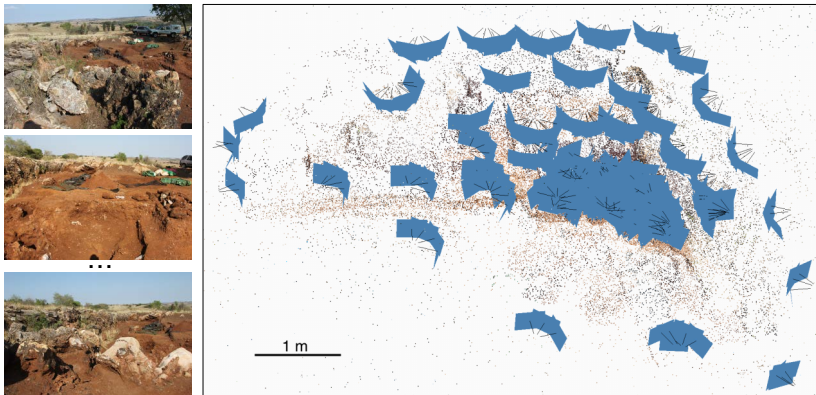
# MODÉLISATION 3D MULTI-ÉCHELLES

## 3. Visualisation



# MODÉLISATION 3D MULTI-ÉCHELLES

## Photogrammétrie



Points de correspondance et positions des prises de vue

# MODÉLISATION 3D MULTI-ÉCHELLES

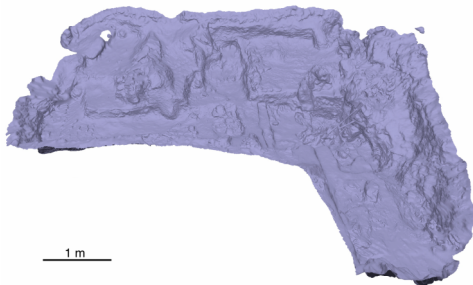
## Photogrammétrie



Nuage de points

# MODÉLISATION 3D MULTI-ÉCHELLES

## Photogrammétrie



Maillage surfacique

# MODÉLISATION 3D MULTI-ÉCHELLES

## Photogrammétrie

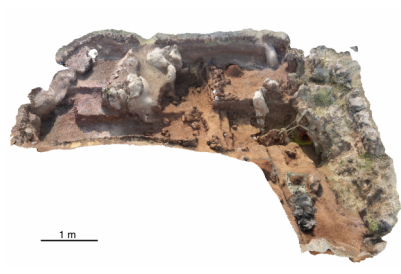


Maillage surfacique avec affichage des couleurs des sommets

# MODÉLISATION 3D MULTI-ÉCHELLES

## Photogrammétrie

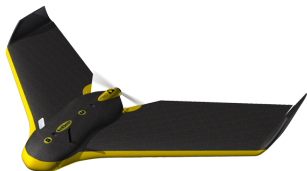
- ▶ logiciel Agisoft Photoscan
- ▶ 478 photos
- ▶ Maillage de 400 000 points



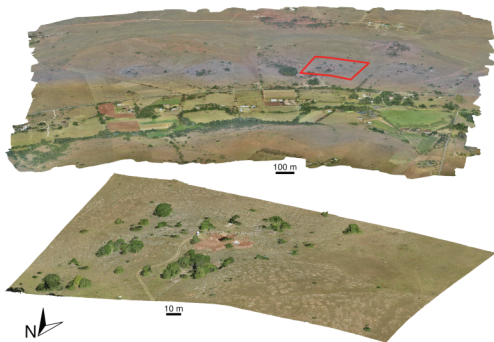
Maillage surfacique texturé

# MODÉLISATION 3D MULTI-ÉCHELLES

## Photogrammétrie aérienne



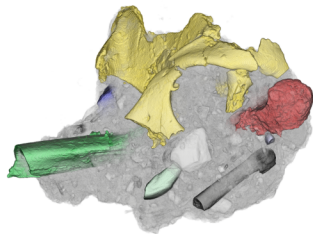
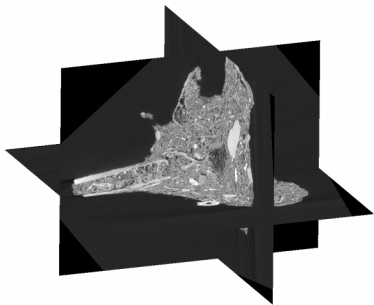
- ▶ drone ebee senseFly
- ▶ logiciel Agisoft Photoscan
- ▶ 918 photos



Modèle 3D de la vallée et du site de Kromdraai.

# MODÉLISATION 3D MULTI-ÉCHELLES

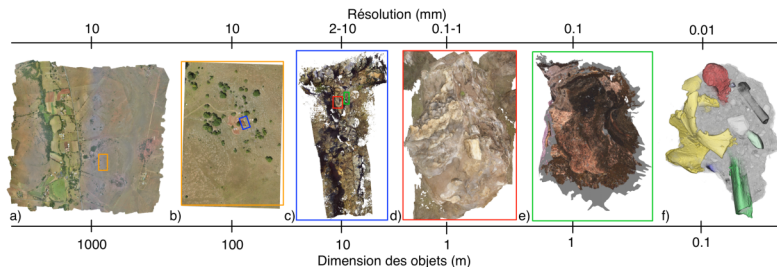
- ▶ centre nucléaire Necsca (Pelinbada, Afrique du Sud)
- ▶ résolution : 80  $\mu\text{m}$



Numérisation micro-tomographique à rayons X d'un bloc issu de la fouille

# MODÉLISATION 3D MULTI-ÉCHELLES

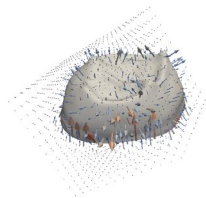
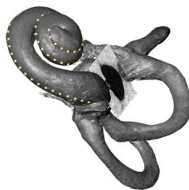
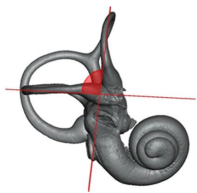
## Bilan : fusion des données



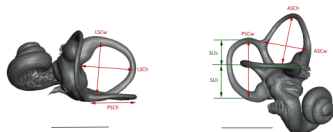
**Dumoncel, J.,** Lans, B., Braga, J., Subsol, G., Jessel, J.- P., Thackeray, J. F., Moreno, B., Plate, N., et Ngoloyi, N., 2017, *A computer-guided 3D multiscale reconstruction of the Kromdraai site*. Dans *Kromdraai, a Birthplace of Paranthropus in the Cradle of Humankind*. Sun Media Metro



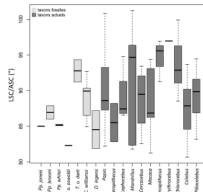
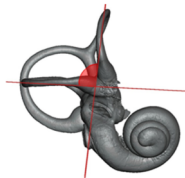
# MORPHOMÉTRIE



# MORPHOMÉTRIE TRADITIONNELLE



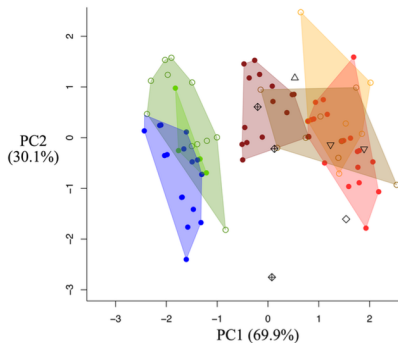
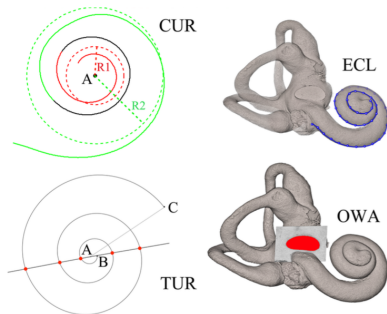
ASC/LSC



Mesures de longueurs et d'angles sur chaque spécimen.  
Etude de la moyenne et de la variance

Beaudet, A. (2015). *Caractérisation des structures crânio-dentaires internes des cercopithécoïdes et étude diachronique de leurs variations morphologiques dans la séquence Plio-Pléistocène sud-africaine*. Thèse de doctorat.

# MORPHOMÉTRIE TRADITIONNELLE



Mesures de paramètres : longueur, courbure, nombre de tours et aire.  
Analyses en composantes principales des paramètres.

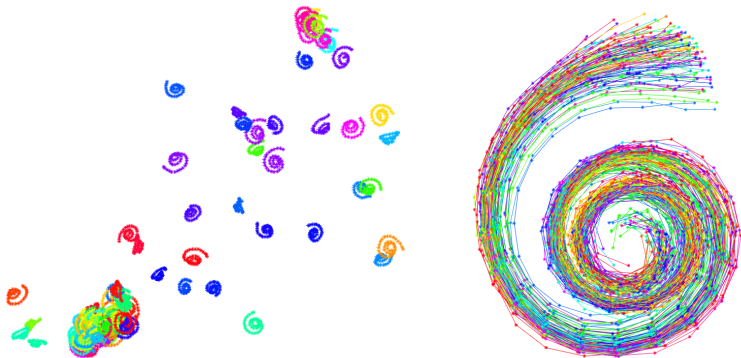
Braga, J., Loubes, J.-M., Descouens, D., **Dumoncel, J.**, Thackeray, J. F., Kahn, J. L., de Beer, F., Riberon, A., Hoffman, J., Balaesque, P. et Gilissen, E. (2015). *Disproportionate Cochlear Length in Genus Homo Shows a High Phylogenetic Signal during Apes' Hearing Evolution.* Dans PLoS ONE.

# MORPHOMÉTRIE GÉOMÉTRIQUE



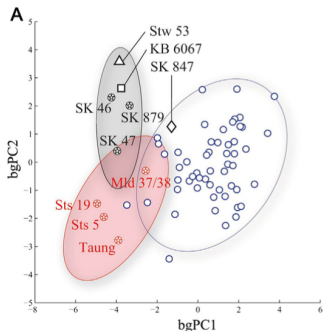
1. Placement des points de repères sur la cochlée

# MORPHOMÉTRIE GÉOMÉTRIQUE



2. Alignement des spécimens en utilisant la méthode analyse Procruste généralisée (moindres carrés)

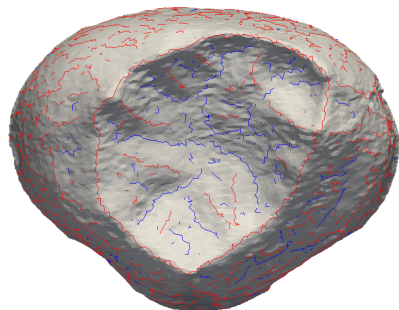
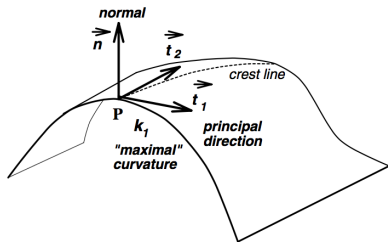
# MORPHOMÉTRIE GÉOMÉTRIQUE



### 3. Analyse en composantes principales des coordonnées des points

Braga, J., Thackeray, J. F., **Dumoncel, J.**, Descouens, D., Bruxelles, L., Loubes, J.-M., Kahn, J.-L., Stampanoni, M., Bam, L., Hoffman, J., de Beer, F. et Spoor, F. (2013). *A new partial temporal bone of a juvenile hominin from the site of Kromdraai B (South Africa)*. *Journal of Human Evolution*, 65(4) :447–456.

# PROCÉDURE D'EXTRACTION SEMI-AUTOMATIQUE



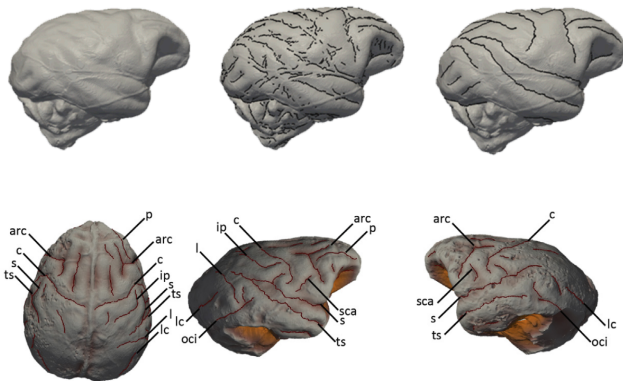
P appartient à une ligne de crête si

$$e_1 = \vec{\nabla} k_1 \cdot \vec{t}_1$$

---

*Subsol et al. (1998). A scheme for automatically building three-dimensional morphometric anatomical atlases : application to a skull atlas. Medical Image Analysis.*

# PROCÉDURE D'EXTRACTION SEMI-AUTOMATIQUE

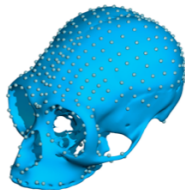
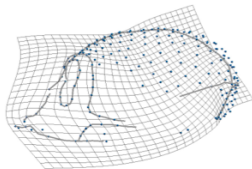
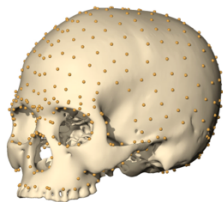


Beaudet, A., Dumoncel, J., de Beer, F., Duployer, B., Durrleman, S., Gilissen, E. P., Hoffman, J., Tenailleau, C., Thackeray, J. F. et Braga, J. (2016). Morphoarchitectural variation in South African fossil cercopithecoid endocasts. Dans *Journal of Human Evolution*



# LIMITE DE LA MORPHOMÉTRIE GÉOMÉTRIQUE

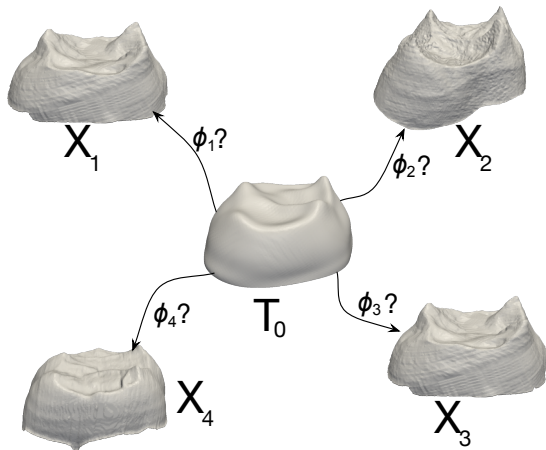
- ▶ problème de positionnement des landmarks
- ▶ données éparées
- ▶ les solutions :
  - ▶ multiplier les points de repères sur les surfaces
  - ▶ travailler sur la surface sans les landmarks



---

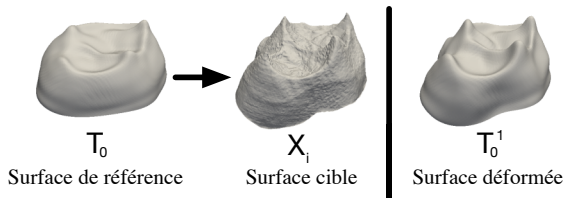
Gunz et Mitteroecker (2013). *Semilandmarks : a method for quantifying curves and surfaces*. *Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy*.

# COMPARAISON DE SURFACES



Comment déterminer  $\Phi_i$  qui permet de déformer  $T_0$  vers  $X_i$  ?

# RECALAGE SURFACIQUE



$$\begin{cases} T_0^i = \phi(T_0) \\ X_i = T_0^i + \epsilon \end{cases}$$

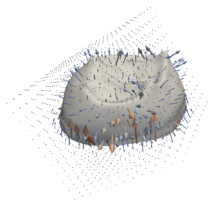
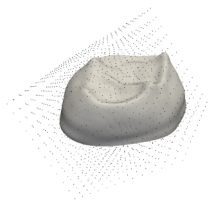
$$E(\phi) = D(\phi(T_0), X_i) + \gamma^\phi \text{Reg}(\phi)$$

---

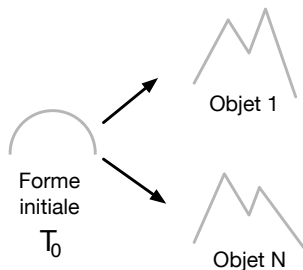
*Audette et al., (2000). An algorithmic overview of surface registration techniques for medical imaging. Medical Image Analysis.*

# RECALAGE SURFACIQUE

- ▶ logiciel Deformetrica <http://www.deformetrica.org>
- ▶ algorithme de recalage : difféomorphisme



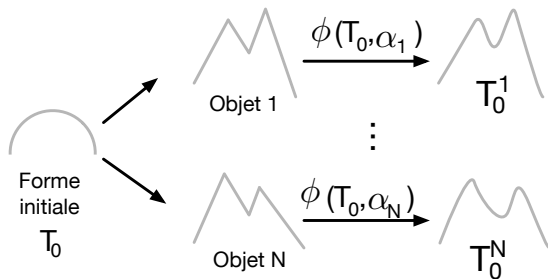
# ESTIMATION D'UNE FORME MOYENNE




---

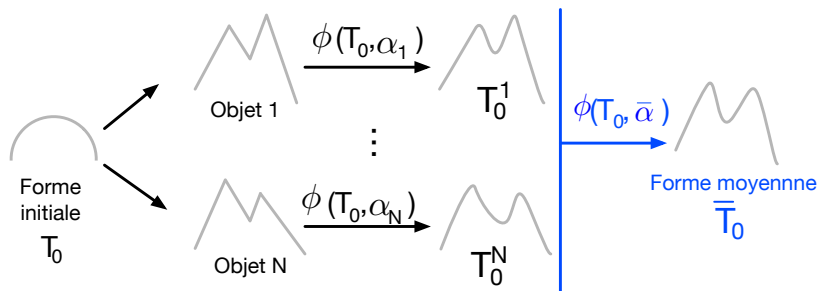
*Durrleman (2010). Statistical models of currents for measuring the variability of anatomical curves, surfaces and their evolution. Thèse de doctorat*

# ESTIMATION D'UNE FORME MOYENNE



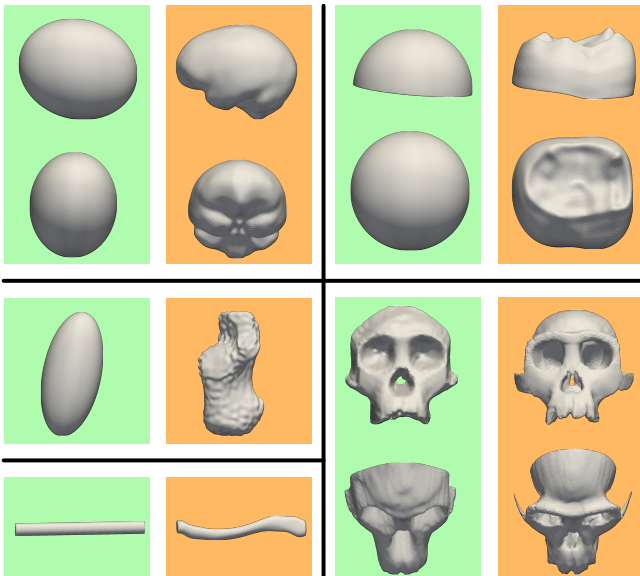
*Durrleman (2010). Statistical models of currents for measuring the variability of anatomical curves, surfaces and their evolution. Thèse de doctorat*

# ESTIMATION D'UNE FORME MOYENNE



Durrleman (2010). *Statistical models of currents for measuring the variability of anatomical curves, surfaces and their evolution*. Thèse de doctorat

# EXEMPLES DE FORMES MOYENNES

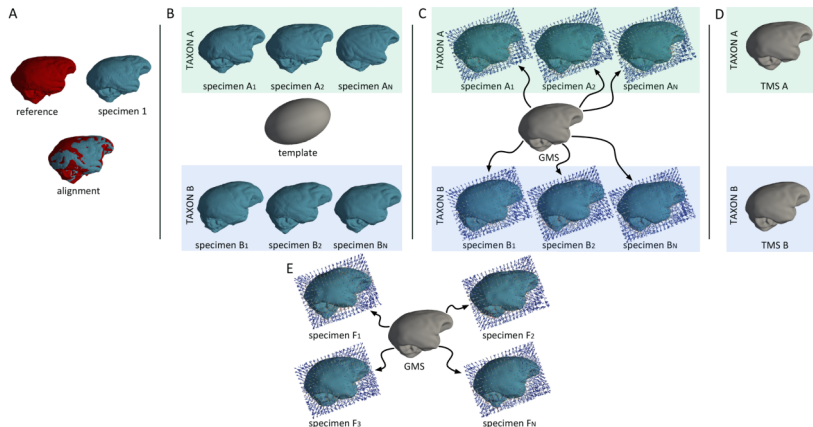




# ESTIMATION D'UN ATLAS

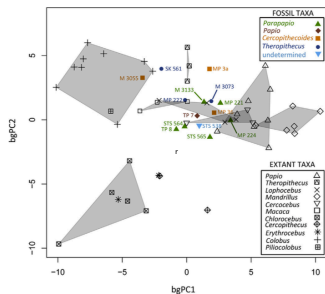
Zanoli, C., Bacon, A.-M., Bondioli, L., Braga, J., Demeter, F., **Dumoncel, J.**, Tuniz, C., Volpato, V. et Macchiarelli, R. (2013). Hominid paleobiodiversity at Java during the Early-Middle Pleistocene. New insights from the inner tooth structural morphology. 3rd Annual Meeting of the European Society for the study of Human Evolution ESHE

# COMPARAISON DE FORMES

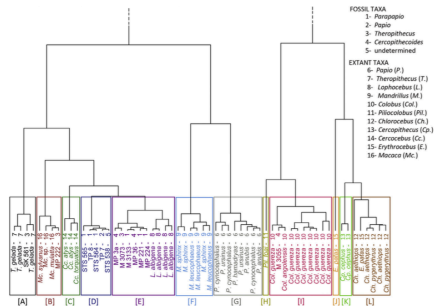


Beaudet, A., **Dumoncel, J.**, de Beer, F., Duployer, B., Durrleman, S., Gilissen, E. P., Hoffman, J., Tenailleau, C., Thackeray, J. F. et Braga, J. (2016). Morphoarchitectural variation in South African fossil cercopithecoid endocrasts. *Journal of Human Evolution*

# COMPARAISON DE FORMES



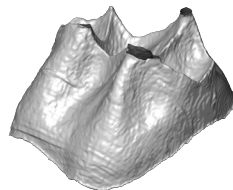
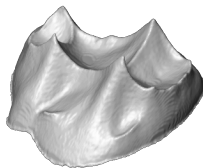
Analyse en composantes principales inter-groupe des paramètres de déformation obtenus à partir des spécimens fossiles et actuels.



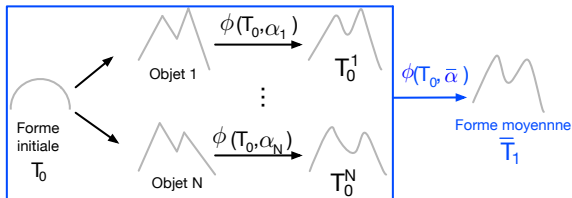
Classification hiérarchique basée sur les paramètres de déformation obtenus à partir des spécimens fossiles et actuels.

Beaudet, A., **Dumoncel, J.**, de Beer, F., Duployer, B., Durrleman, S., Gilissen, E. P., Hoffman, J., Tenailleau, C., Thackeray, J. F. et Braga, J. (2016). Morphoarchitectural variation in South African fossil cercopithecoid endocasts. *Journal of Human Evolution*

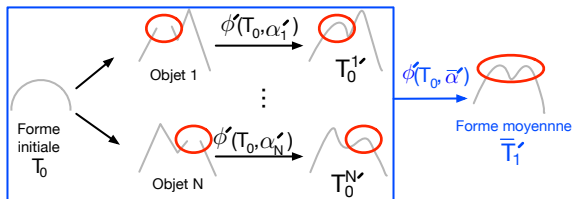
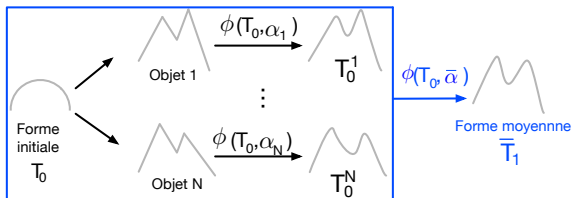
# LE PROBLÈME DES DONNÉES PARTIELLES



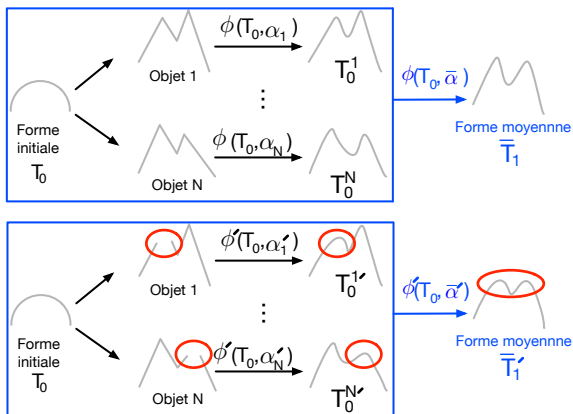
# 1. FORME MOYENNE « CLASSIQUE »



# 1. FORME MOYENNE « CLASSIQUE »

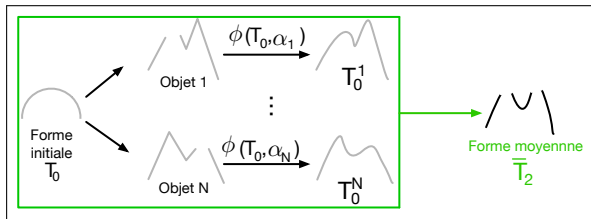


# 1. FORME MOYENNE « CLASSIQUE »



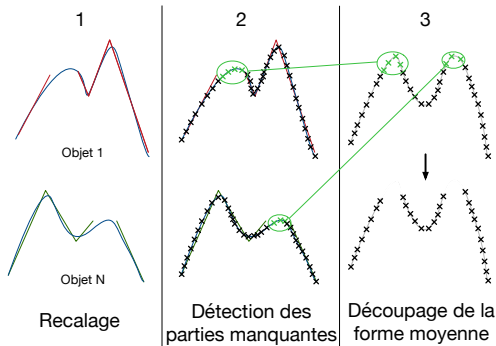
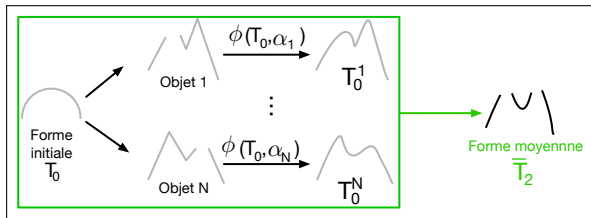
Comment évaluer la moyenne quand des spécimens présentent des parties manquantes ?

## 2. SUPPRESSION DES PARTIES MANQUANTES

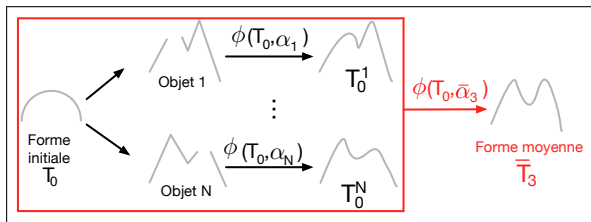




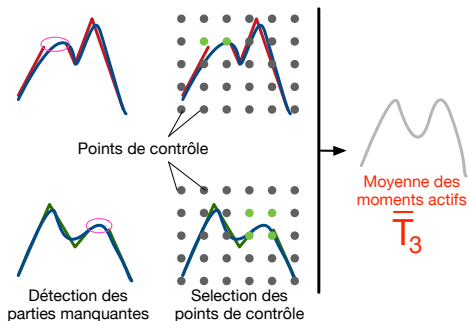
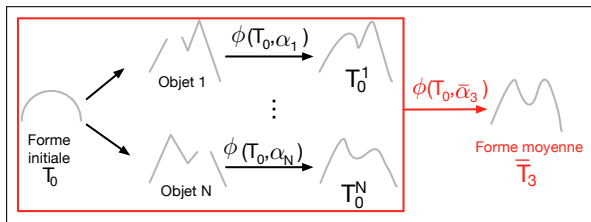
## 2. SUPPRESSION DES PARTIES MANQUANTES

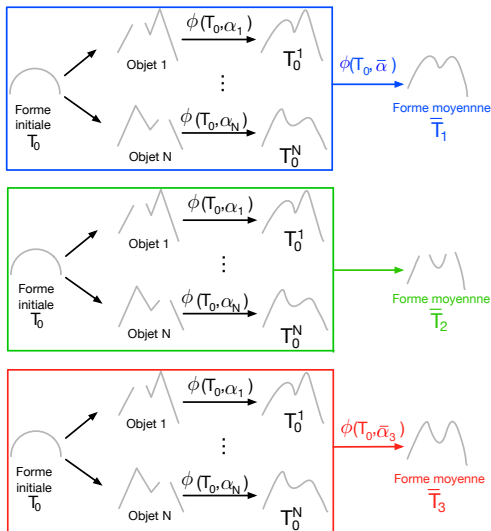


### 3. ENLEVER L'INFLUENCE DES PARTIES MANQUANTES



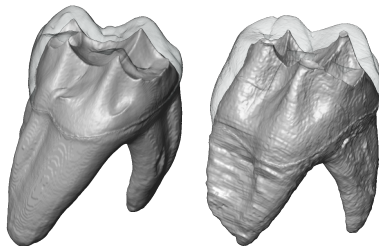
### 3. ENLEVER L'INFLUENCE DES PARTIES MANQUANTES



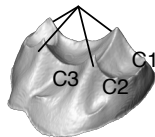


**Dumoncel, J., Subsol, G., Durrleman, S., Jessel, J. P., Beudet, A. and Braga, J., 2016** *How to Build an Average Model When Samples are Variably Incomplete? Application to Fossil Data*, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)

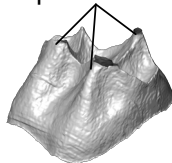
# EXEMPLE DE DONNÉES PARTIELLES



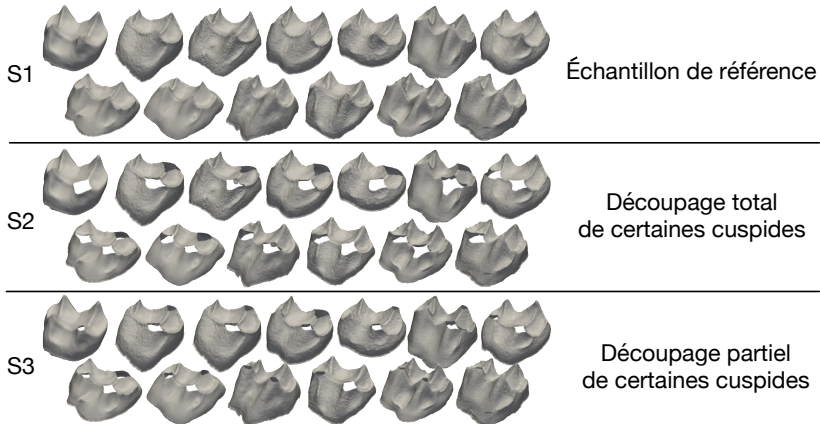
Cuspides



Cuspides usées

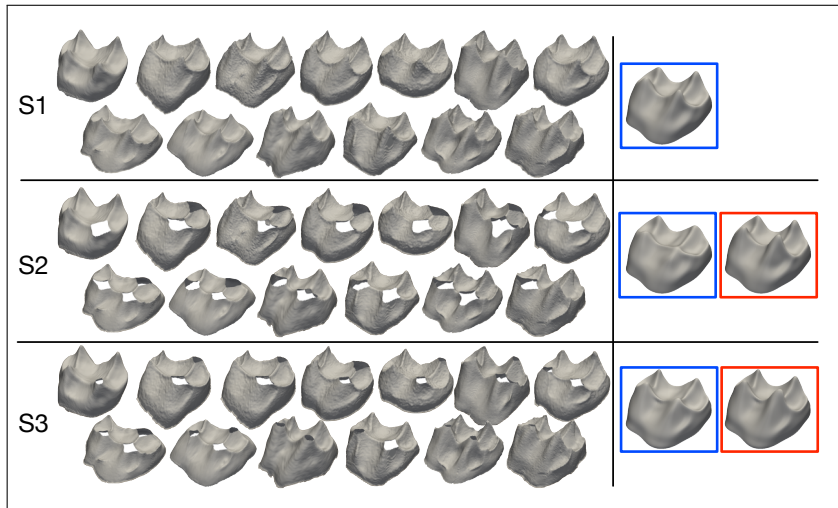
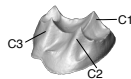


# EXPÉRIMENTATION



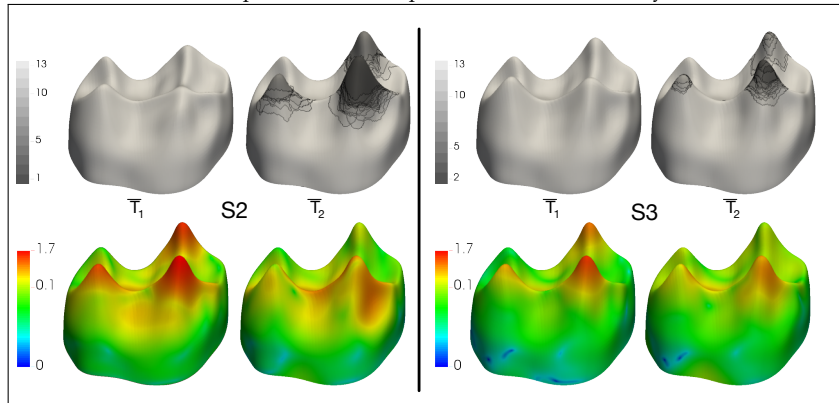
# RESULTATS

- Résultat de la forme moyenne standard  
 Résultat avec notre méthode



# COMPARAISON AVEC LA FORME OBTENUE SUR L'ÉCHANTILLON COMPLET

Nombre de spécimens utilisés pour calculer la forme moyenne

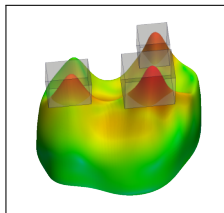


Cartes de distance (mm) avec la forme moyenne de référence.



# COMPARAISON AVEC LA FORME OBTENUE SUR L'ÉCHANTILLON COMPLET

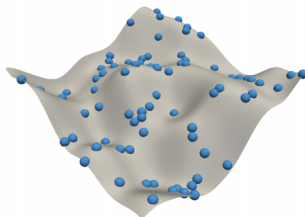
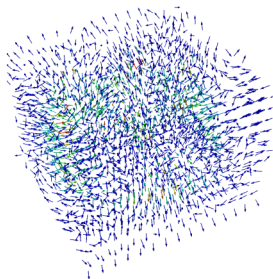
- Résultat de la forme moyenne standard
- Résultat avec notre méthode



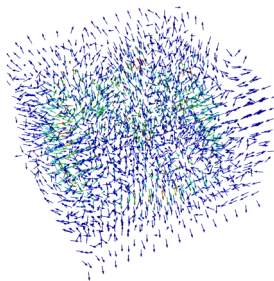
		Tout	Cuspide 1	Cuspide 2	Cuspide 3
S2	<input type="checkbox"/>	0.11 (0.21)	0.47 (0.18)	0.81 (0.38)	0.58 (0.23)
	<input type="checkbox"/>	0.10 (0.13)	0.18 (0.09)	0.42 (0.17)	0.06 (0.03)
S3	<input type="checkbox"/>	0.05 (0.10)	0.15 (0.07)	0.40 (0.22)	0.25 (0.11)
	<input type="checkbox"/>	0.05 (0.07)	0.15 (0.08)	0.24 (0.12)	0.05 (0.02)

Les moyennes (et écart-types) des distances (mm) entre la forme moyenne de référence et les formes moyennes des échantillons incomplets.

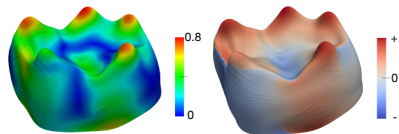
# ANALYSE VISUELLE DES RÉSULTATS DE RECALAGE



# ANALYSE VISUELLE DES RÉSULTATS DE RECALAGE



Paramètres de déformation



Carte de distances non signées et signées

# ANALYSE VISUELLE DES RÉSULTATS DE RECALAGE

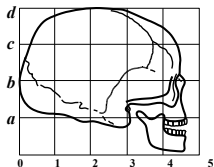


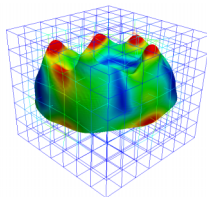
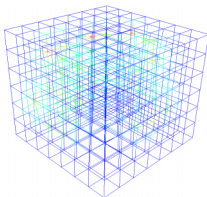
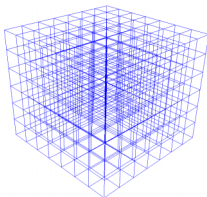
Fig. 548. Human skull.



Fig. 550. Skull of chimpanzee.

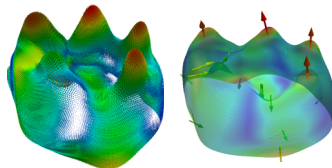


Fig. 551. Skull of baboon.

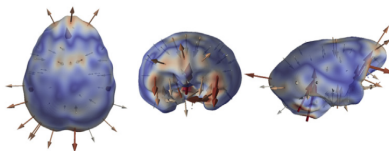


Déformation d'une grille

# ANALYSE VISUELLE DES RÉSULTATS DE RECALAGE



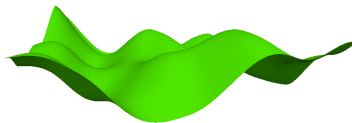
Extraction de vecteurs de déplacement



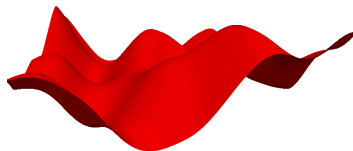
Exemple d'application sur l'endocrâne

Beaudet, A., **Dumoncel, J.**, de Beer, F., Duployer, B., Durrleman, S., Gilissen, E. P., Hoffman, J., Tenailleau, C., Thackeray, J. F. et Braga, J. (2016). Morphoarchitectural variation in South African fossil cercopithecoid endocasts. Dans *Journal of Human Evolution*

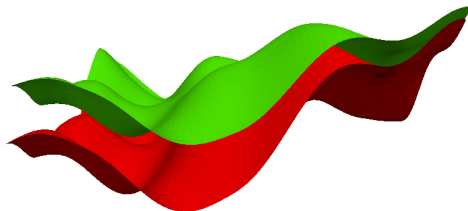
# ANALYSE DES CORRESPONDANCES 3D



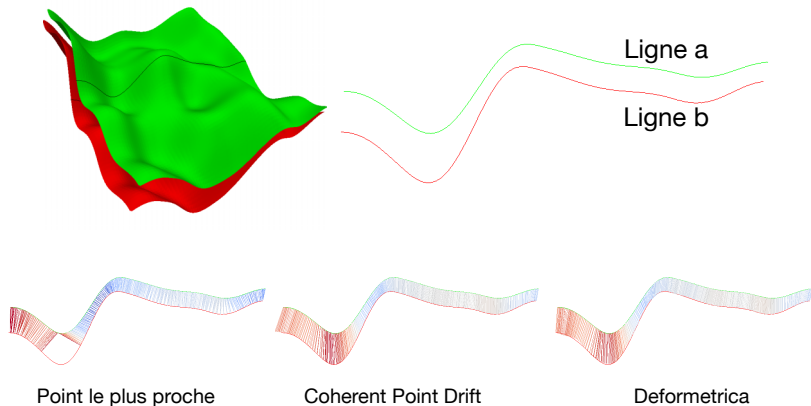
Surface A



Surface B

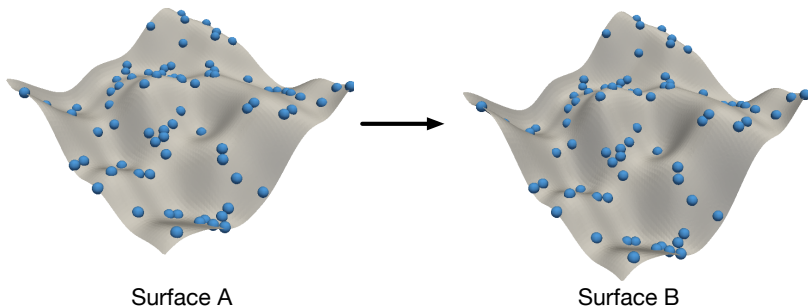


# ANALYSE DES CORRESPONDANCES 2D



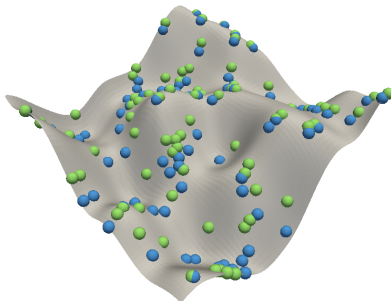
*Myronenko and Song. (2010). Point Set Registration : Coherent Point Drift. Pattern Analysis and Machine Intelligence.*

# ANALYSE DES CORRESPONDANCES 3D



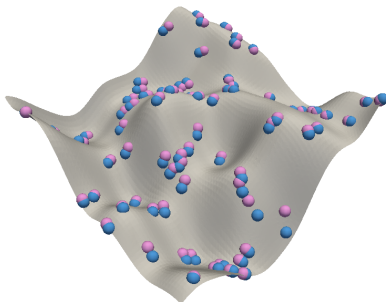


# ANALYSE DES CORRESPONDANCES 3D



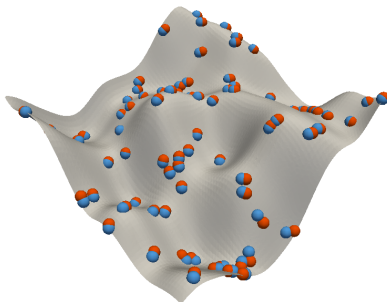
- Référence
- Méthode Point le plus proche

# ANALYSE DES CORRESPONDANCES 3D



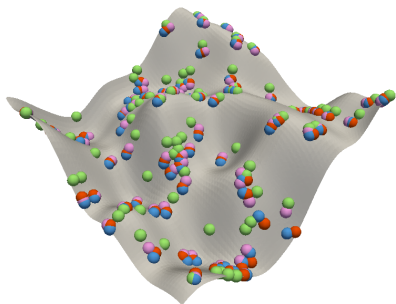
- Référence
- Méthode Coherent Point Drift

# ANALYSE DES CORRESPONDANCES 3D



- Référence
- Méthode Deformetrica

# ANALYSE DES CORRESPONDANCES 3D

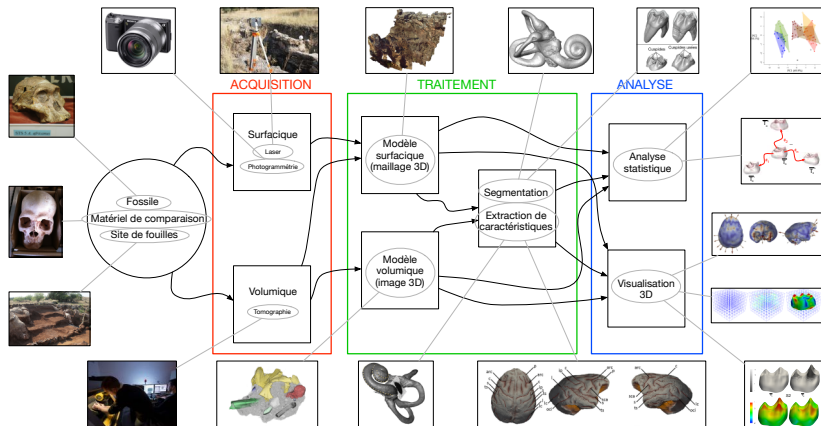


- Référence
- Méthode Point le plus proche
- Méthode Coherent Point Drift
- Méthode Deformetrica

	Moyenne	Ecart-type
Point le plus proche	3.6	2.2
Coherent Point Drift	1.3	0.9
Deformetrica	0.7	0.6

Moyenne et écart-type des distances des correspondances par rapport à la référence.

# CONCLUSION



## Publications en informatique

**Dumoncel, J.**, Subsol, G., Durrleman, S., Jessel, J.-P., Beaudet, A. et Braga, J. (2016). How to Build an Average Model When Samples Are Variably Incomplete ? Application to Fossil Data. *The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) Workshops*, pages 101–108.

**Dumoncel, J.** (2016). Analyses quantitatives de formes appliquées à la paléanthropologie. *Rencontres Scientifiques des Utilisateurs de Calcul intensif, de Cloud et de Stockage journées SUCCES*.

**Dumoncel, J.**, Subsol, G., Durrleman, S., Braga, J., Beaudet, A., Zanolli, C., et al. (2015). Comment caractériser la variabilité d'une surface 3D? Analyse à partir d'exemples an anatomie comparée. Presented at the 6<sup>ème</sup> Edition des Journées du Groupe de Travail en Modélisation Géométrique.

## Publications en paléanthropologie

**Dumoncel, J.**, Lans, B., Braga, J., Subsol, G., Jessel, J.-P., Thackeray, J. F., Moreno, B., Plate, N. et Ngoloyi, N. (2017). A computer-guided 3D multiscale reconstruction of the Kromdraai site. Braga, J. et Thackeray, J. F., éditeurs : *Kromdraai, a Birthplace of Paranthropus in the Cradle of Humankind*.

Braga, J., Thackeray, J. F., Bruxelles, L., **Dumoncel, J.** et Fourvel, J.-B. (2017). Stretching the time span of hominin evolution at Kromdraai (Gauteng, South Africa) : Recent discoveries. *Comptes rendus - Palevol*, 16(1):58–70.

Beaudet, A., **Dumoncel, J.**, de Beer, F., Durrleman, S., Gilissen, E., Oettlé, A., Subsol, G., Thackeray, J. F. et Braga, J. (2016). Early hominin brain evolution : extracting palaeoneurological evidence from the fossil record. *19th Biennial Meeting of the Paleontological Society of Southern Africa*.

Beaudet, A., **Dumoncel, J.**, de Beer, F., Duployer, B., Durrleman, S., Gilissen, E. P., Hoffman, J., Tenaillon, C., Thackeray, J. F. et Braga, J. (2016). Morphoarchitectural variation in South African fossil cercopithecoid endocasts. *Journal of Human Evolution*, 101:65–78.

Beaudet, A., **Dumoncel, J.**, Bam, L., Durrleman, S., Gilissen, E. P., Hoffman, J., Oettlé, A., Thackeray, J. F. et Braga, J. (2016). Reconstructing early hominin brain evolution from South African Australopithecus endocasts. *85th Annual Meeting of the American Association of Physical Anthropologists AAPA*, page 89 (résumé).

Beaudet, A., **Dumoncel, J.**, de Beer, F., Durrleman, S., Gilissen, E., Hoffman, J., Oettlé, A., Subsol, G., Thackeray, J. F. et Braga, J. (2016). Morphoarchitectural variation in the extant human endocast. *5th Annual Meeting of the European Society for the study of Human Evolution (ESHE)*, page (résumé).

Pan, L., **Dumoncel, J.**, de Beer, F., Hoffman, J., Thackeray, J. F., Duployer, B., Tenaillon, C. et Braga, J. (2016). Further morphological evidence on South African earliest Homo lower postcanine dentition : Enamel thickness and enamel dentine junction. *Journal of Human Evolution*, 96(C):82–96.

Beaudet, A., **Dumoncel, J.**, Thackeray, J. F., Bruxelles, L., Duployer, B., Tenaillon, C., Bam, L., Hoffman, J., de Beer, F. et Braga, J. (2016). Upper third molar internal structural organization and semicircular canal morphology in Plio-Pleistocene South African cercopithecoids. *Journal of Human Evolution*, 95(C):104–120.

Braga, J., Loubes, J.-M., Descouens, D., **Dumoncel, J.**, Thackeray, J. F., Kahn, J. L., de Beer, F., Riberton, A., Hoffman, J., Balaesque, P. et Gilissen, E. (2015). Disproportionate Cochlear Length in Genus Homo Shows a High Phylogenetic Signal during Ape's Hearing Evolution. *PLoS ONE*, 10(6):e0127780.

**Dumoncel, J.**, Durrleman, S., Braga, J., Jessel, J.-P. et Subsol, G. (2014). Landmark-free 3D method for comparison of fossil hominins and hominids based on endocranium and EDJ shapes. *83th Annual Meeting of the American Association of Physical Anthropologists (AAPA)*, page 110.

Beaudet, A., **Dumoncel, J.**, Thackeray, J. F., Durrleman, S., Subsol, G., Jessel, J.-P. et Braga, J. (2014). Identification of Homo-like Features in Virtually Rendered South African Australopithecus Endocasts. *The African Human Fossil Record*, page (résumé).

Beaudet, A., Bruxelles, L., Macchiarelli, R., **Dumoncel, J.**, Thackeray, J. F., de Beer, F. et Braga, J. (2014). The cave deposits of Swartkrans and Kromdraai, South Africa : time-related craniodental morphostructural variation in cercopithecoid taxa and the emergence of Homo. *The African Human Fossil Record*, page (résumé).

Beaudet, A., Bruxelles, L., Macchiarelli, R., **Dumoncel, J.**, Thackeray, J. F., de Beer, F. et Braga, J. (2014). Time-related changes in fossil cercopithecoid inner craniodental structures and chronological seriation of South African hominin-bearing sites. *5th Annual Meeting of the European Society for the study of Human Evolution (ESHE)*, page 37 (résumé).

Braga, J., Thackeray, J. F., **Dumoncel, J.**, Descouens, D., Bruxelles, L., Loubes, J.-M., Kahn, J.-L., Stampanoni, M., Bam, L., Hoffman, J., de Beer, F. et Spoor, F. (2013). A new partial temporal bone of a juvenile hominin from the site of Kromdraai B (South Africa). *Journal of Human Evolution*, 65(4):447–456.

Zanolli, C., Bacon, A.-M., Bondioli, L., Braga, J., Demeter, F., **Dumoncel, J.**, Tuniz, C., Volpato, V. et Macchiarelli, R. (2013). Hominid paleobiodiversity at Java during the Early-Middle Pleistocene. New insights from the inner tooth structural morphology. *3rd Annual Meeting of the European Society for the study of Human Evolution ESHE*, pages 242–243, Vienna (Austria).

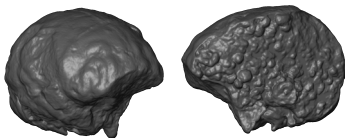
Susini, A., **Dumoncel, J.**, Gérard, P., André, D., Galera, J.-L., Passet, C., Bruxelles, L., Galant, P., Guillaime, J., Braga, J. et Crubézy, E. (2013). Test d'une méthode de relevé photogrammétrique d'une cavité en grotte au sein du réseau « Félix-Mazaure » de l'Abîme de Brambauiou. *Bulletin Scientifique Régional de la DRAC Languedoc-Roussillon*.

Reuves internationales  
Conférences internationales  
Conférences et revues nationales

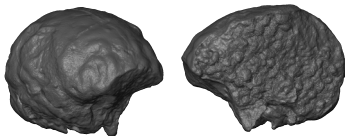
# PERSPECTIVES

## Comparaison précise entre les modalités d'acquisition

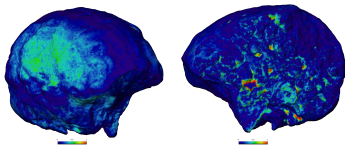
Reconstruction  
depuis les images  
CT



Reconstruction  
avec la  
photogrammétrie

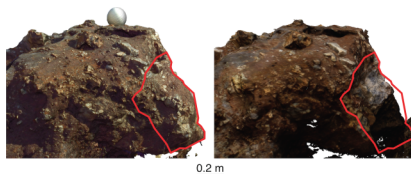
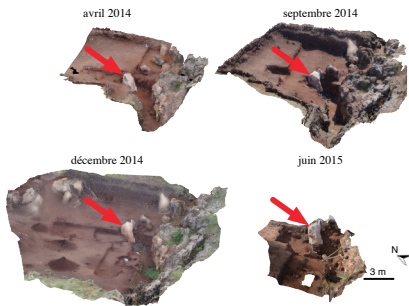


Distance entre les  
deux  
reconstructions



# PERSPECTIVES

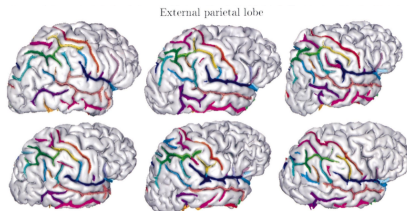
## Suivi 4D du site





# PERSPECTIVES

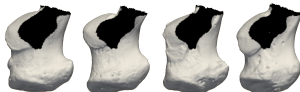
- ▶ évaluer / quantifier la précision de la géométrie morphométrique et des recalages sur des cas d'applications
- ▶ détection automatique des landmarks



Riviere et al., (2002). Automatic recognition of cortical sulci of the human brain using a congregation of neural networks. Medical Image Analysis.

# PERSPECTIVES

- ▶ intégration des spécimens présentant des données partielles



- ▶ améliorer la prise en compte des variants anatomiques (caractères discrets)

# REMERCIEMENTS

**AMIS** ANTHROPOLOGIE MOLÉCULAIRE  
UMR 5288 du CNRS ET IMAGERIE DE SYNTHÈSE



...Pierrette Barbaresco, Amélie Beaudet, Laurent Bruxelles, Olivier Colliot, Emmanuel Courcelle, Eric Crubézy, Frikkie de Beer, Sébastien Dejean, Pascal Delassalle, Mickaël Dubreuil, Francis Duranthon, Benjamin Duployer, Marie-Hélène Escalier, ma famille, Benjamin Gilles, Patrice Gérard, Didier Ginibrière, Line Hillat, Renaud Lebrun, Jean-Michel Loubes, Richard Maire, Géraldine Morin, Anna Oettlé, Benjamin Moreno, Sandrine Mouysset, Norbert Plate, Nicolas Renon, Florence Peborde, Laurent Risser, Alexandre Routier, Cédric Sanza, Guillaume Sueur, Christophe Tenaillau, Francis Thackeray, Patricia Wills, Clément Zanolli...

# MERCI POUR VOTRE ATTENTION !

