

Guide des Technologies 3D

Landmark

Mai 2023

Alexandre Bisson-Larrivée, Yasmine Ghalem, Jean-Baptiste Le Moine

1. La morphométrie géométrique 3D

La morphométrie géométrique est une méthode d'analyse statistique qui permet de quantifier la forme des objets et des organismes biologiques à l'aide de coordonnées cartésiennes bi- ou tridimensionnelles (collectées avec le logiciel *Landmark IDAV*).

En morphométrie géométrique, les **coordonnées cartésiennes** sont aussi appelées des **points de repère**, des **points anatomiques** ou des **landmarks** (Mitteroecker and Gunz, 2009). Les *points de repère* « ... are discrete anatomical loci that can be recognized as the same loci in all specimens in the study » (Zelditch *et al.*, 2004, p. 23), c'est-à-dire que chaque *landmark* doit être présent sur chaque individu de l'échantillon (Bookstein, 1992). L'ensemble des points anatomiques collectés pour un individu donné forme une **configuration de points repères**. Un point anatomique seul, n'est pas un objet de comparaison, l'analyse de la morphologie ou la comparaison des formes se fait entre les configurations de *landmarks* de l'échantillon.

Par exemple, la figure suivante (Figure 1) présente trois configurations de points repères (rouge, bleue et violette) reflétant la morphologie d'une feuille. Chacune de ces configurations est composée de 18 *landmarks*.

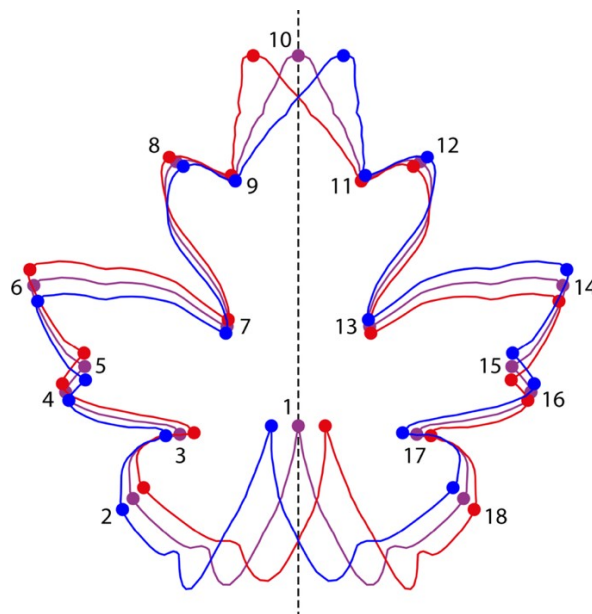


Figure 1. Trois configurations avec 18 landmarks chacune (Klingenberg, 2015, p.201).

Les configurations de points repères présentent une variation inter-individuelle dans leur position, leur orientation et leur échelle (taille). Pour cela, une transformation géométrique – dans

le cas présent une Analyse Procrustes Généralisée (GPA pour *Generalized Procrustes Analysis*) – doit être entreprise avant d’effectuer des comparaisons morphologiques au niveau de la forme.

La transformation géométrique procrustéenne consiste en une manipulation des *landmarks* sans apporter des altérations à la forme. Cette méthode superpose les configurations de points repères de tous les individus dans un espace référentiel commun en supprimant à la fois les effets de position, de taille et d’orientation (Figure 2). Ainsi, suite à une analyse procrustéenne, seules les différences de forme sont conservées par les nouvelles configurations et sont statistiquement analysées pour faire ressortir les variables importantes. Ces variables sont identifiées grâce à des outils analytiques et de visualisation du changement morphologique (Bookstein, 1992; Mitteroecker & Gunz, 2009; Slice, 2005; Zelditch *et al.*, 2004).

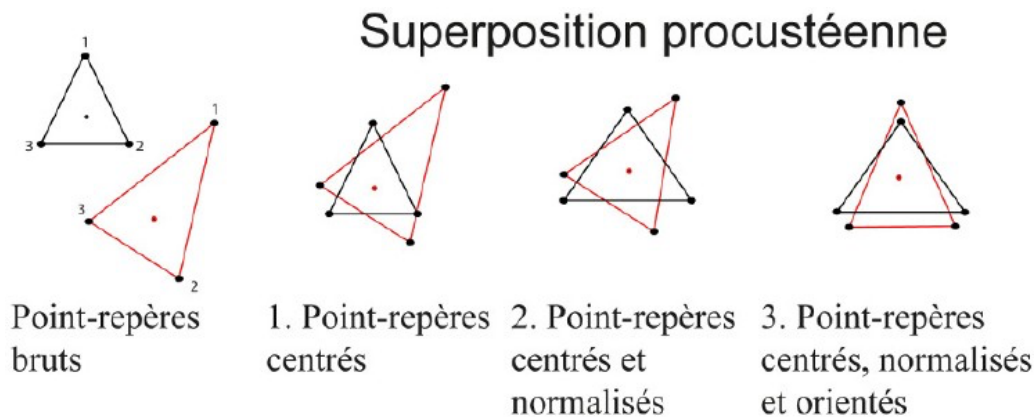


Figure 2. Les trois étapes d’une analyse procrustéenne : 1. centrage sur une origine commune (centroïde). 2. Normalisation par la taille centroïde. 3. Rotation pour minimiser la somme des carrés des écarts entre les points repères homologues (Cucchi *et al.*, dans Balasse *et al.*, 2015, p.201).

Les nouvelles coordonnées cartésiennes des points homologues sont appelées les **coordonnées Procrustes**. Les distances entre deux configurations de coordonnées Procrustes dans l’espace des conformations sont appelées les distances Procrustes. Celles-ci permettent de mesurer la similarité ou la différence entre les conformations (Cucchi *et al.*, dans Balasse *et al.*, 2015, p.201).

1. Landmark IDAV

1.1. Informations générales

Le programme *Landmark, IDAV: Evolutionary Morphing v3.6* permet de déposer des points de repère (*landmarks*) sur la surface d'un modèle 3D.

Un guide de l'utilisateur de toutes les fonctionnalités du programme *Landmark IDAV* est disponible :

https://web.cs.ucdavis.edu/~amenta/LandmarkDoc_v3_b6.pdf

Une fois le programme démarré, la fenêtre suivante s'affiche (Figure 1):

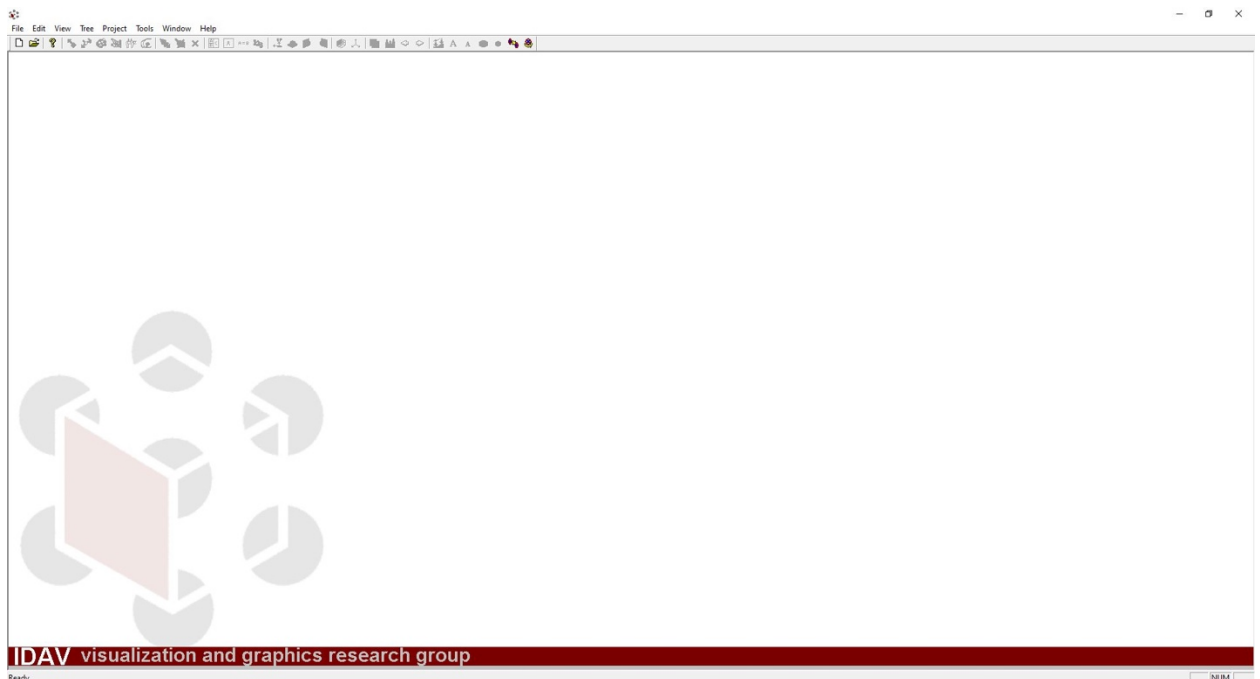


Figure 1. Interface d'accueil sur Landmark IDAV.

1.2. Créer un nouveau projet

1.2.1. Créer un nouveau dossier et importer un modèle

- i. Créer un nouveau dossier (Figure 2): *File* → *New* → *Project name* → *Folder* → OK

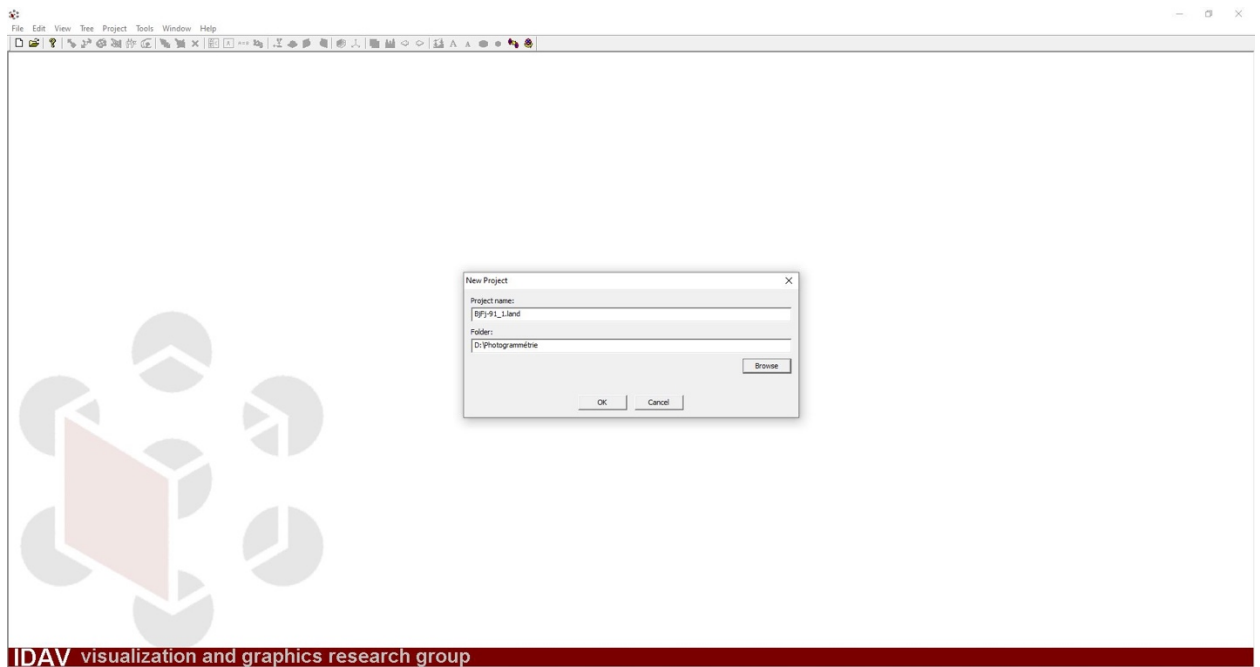


Figure 2. Création d'un nouveau dossier sur Landmark IDAV.

- ii. Importer un nouveau modèle (Figure 3) : clic droit sur le fichier → *Import* → nouvelle fenêtre ; sélectionner le fichier (modèle 3D exporté d'Agisoft Metashape, format .ply)

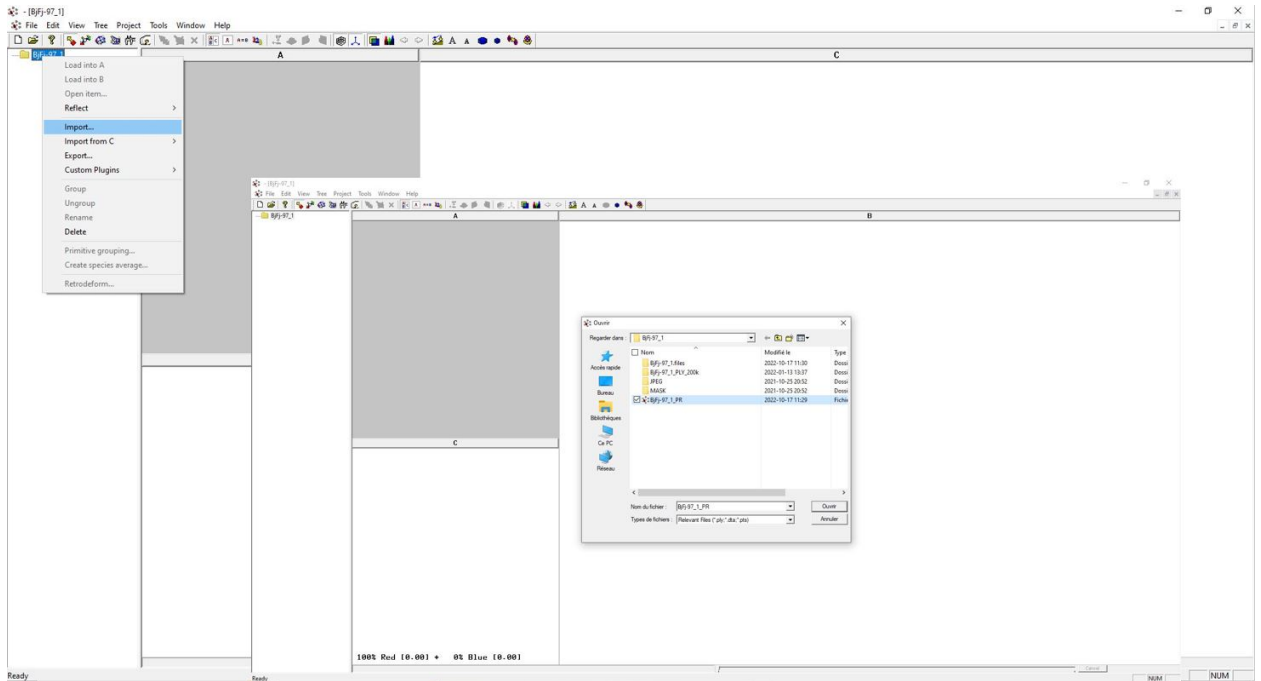


Figure 3. Importation d'un nouveau modèle sur Landmark IDAV.

Cette ébauche de biface fait partie des collections découvertes lors des fouilles de sauvetage réalisées depuis 1998 par les firmes d'archéologies préventive sur le site de la carrière du Mont Royal. La carrière (BiFj-97) fut exploitée depuis Archaique post-laurentien (4500- 3000 ANE) jusqu'au Sylvicole Supérieur (500 – 1000 DNE) pour la qualité de son substrat majoritairement composé de cornéenne. Cette pièce fait partie des collections détenues par la réserve archéologique de la ville de Montréal.

- iii. Visualiser le modèle sur une fenêtre de l'interface (Figure 4) : clic droit sur le fichier
 → *Load into A* ou *Load into B*. Cette étape peut durer quelques minutes.

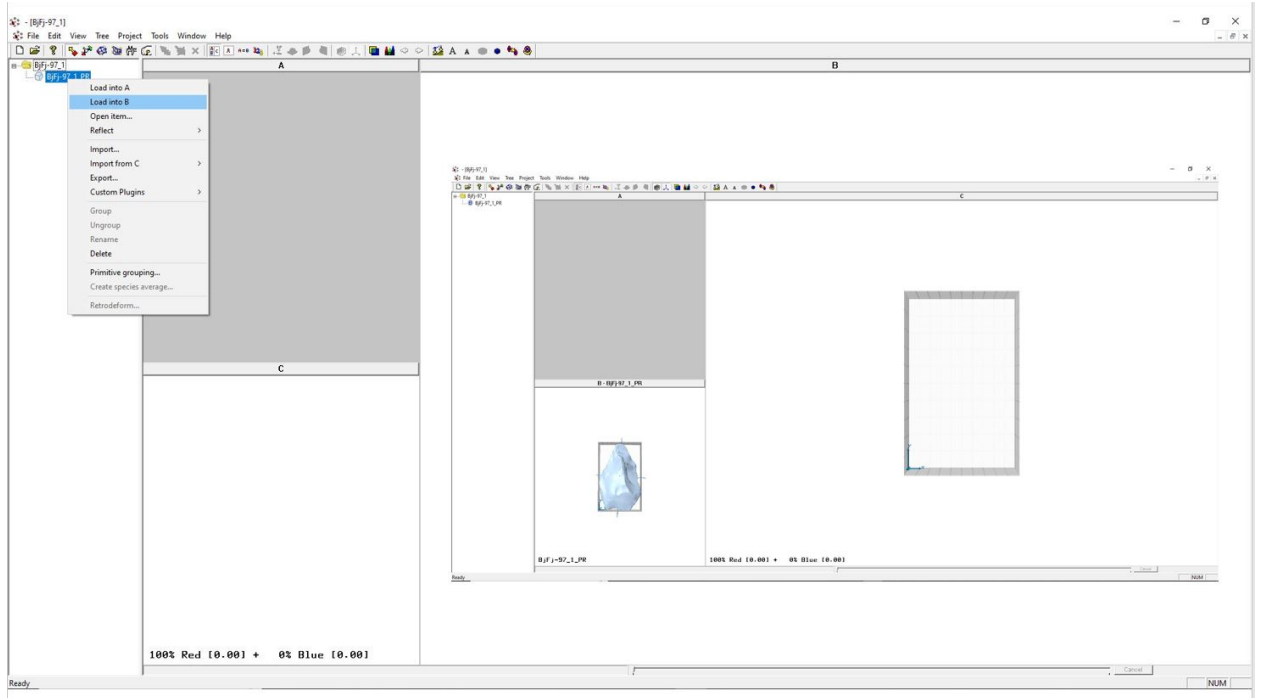


Figure 4. Visualisation du modèle 3D dans la fenêtre A sur Landmark IDAV.

iv. Visualiser le modèle 3D dans la fenêtre à droite (Figure 5).

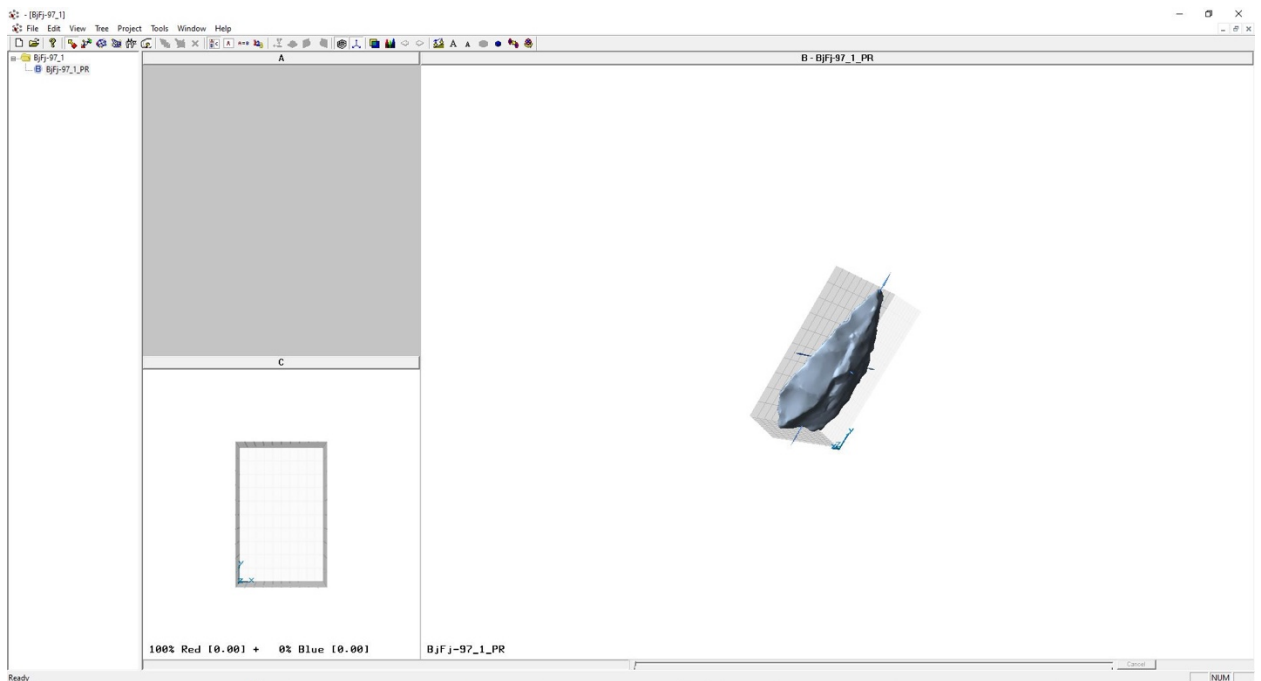


Figure 5. Visualisation du modèle 3D sur Landmark IDAV.

1.2.2. Nomenclature et fonctionnalités

Contenu de l'interface : les modèles de surface, les points, les correspondances et les autres fichiers contenus dans la base de données Landmark IDAV *sont affichés ici.*

Fenêtres A et B : des surfaces (modèles 3D) sont chargées dans les fenêtres A ou B pour la manipulation.

Fenêtre C : des surfaces (modèles 3D) sont chargées dans la fenêtre C pour la manipulation et le dépôt des points.

Fonctionnalités importantes :



Bouding box (boîte de délimitation).




Les axes.



Transparence du modèle.



Texture du modèle

Il est recommandé de décocher l'option  car la manipulation du modèle devient difficile pour le logiciel (trop lent) (Figure 6).

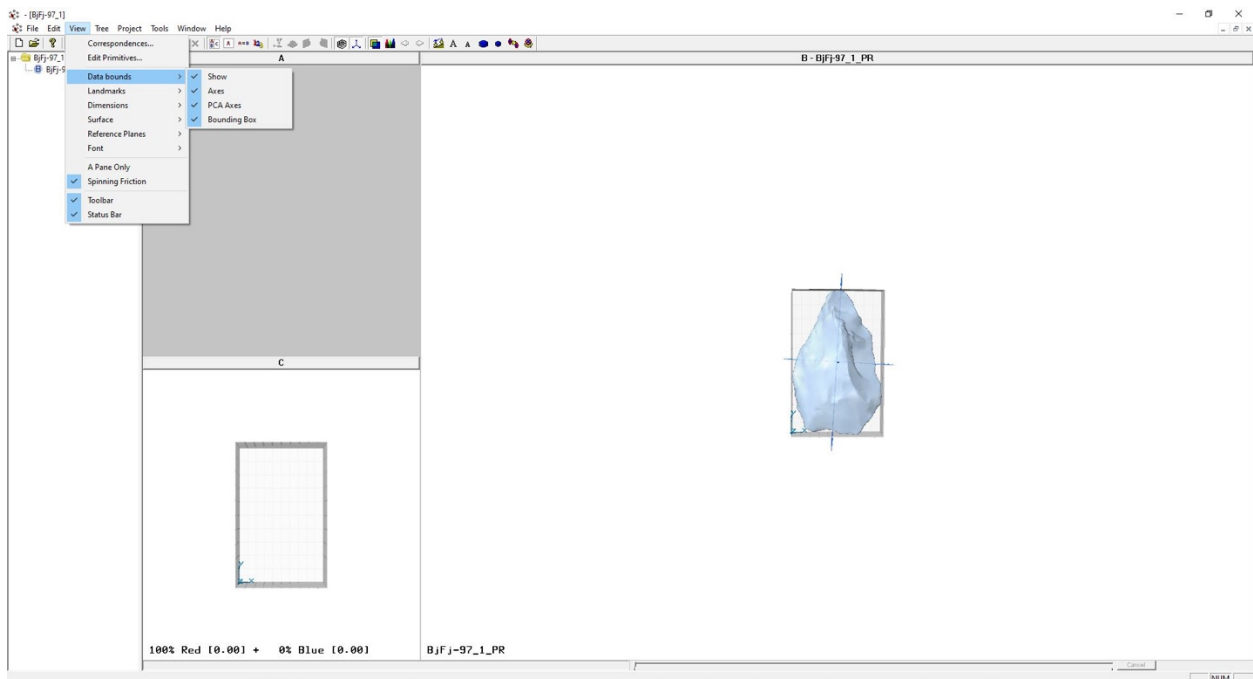


Figure 6. Options de visualisation sur Landmark IDAV.

On peut aussi désélectionner toutes les options (Figure 7) : *View* → *Data bounds* → *Show*

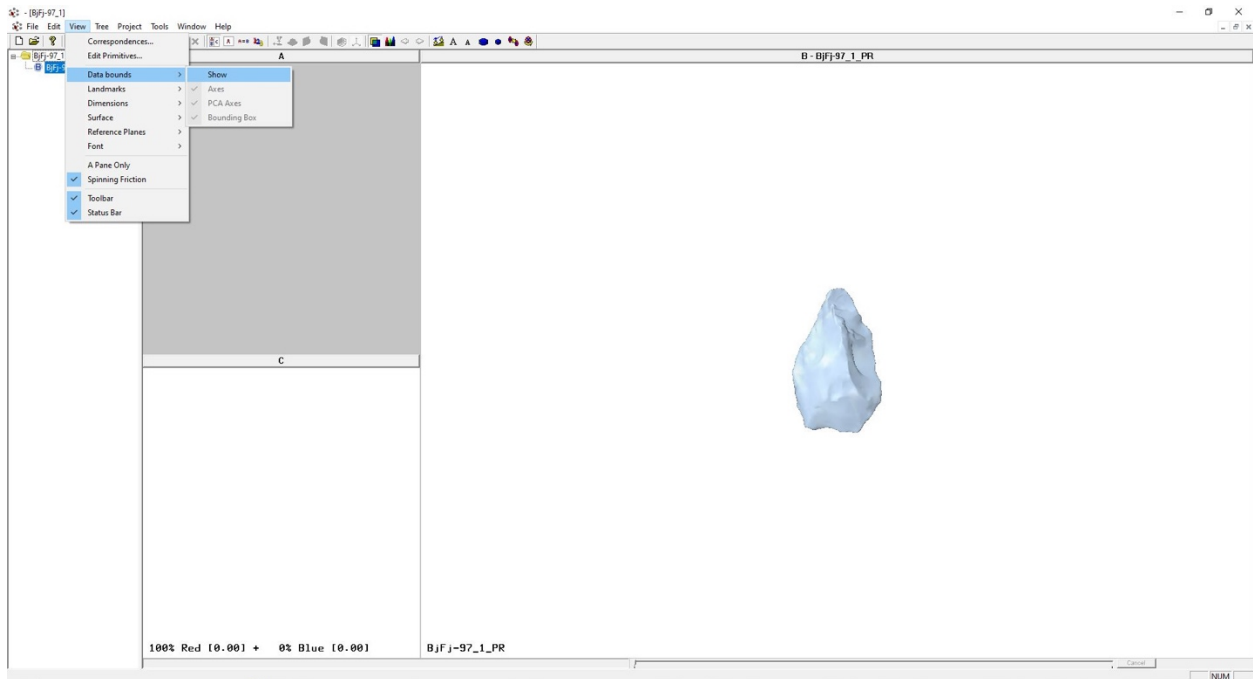



Figure 7. Désélectionnement de toutes les options sur Landmark IDAV.


1.3. Les points de repère


Lors de la collecte des points, certaines règles doivent être respectées :


- Les *landmarks* doivent être prédéterminés (avant de commencer la collecte de données) et doivent refléter le mieux possible la région anatomique d'intérêt.
- Les points de repère sont homologues, selon deux principes : i) chaque point doit être présent sur chaque modèle ; et ii) le dépôt des points doit suivre le même ordre sur tous les modèles.
- Déposer tous les points bilatéraux sur un côté, puis sur l'autre. Par exemple, déposer tous les points bilatéraux gauches, ensuite les points unilatéraux et finalement les points bilatéraux droits.

1.3.1. Type de points (points, contour, *patch*)


 Un seul point est déposé sur le modèle 3D.

 Trois points sont placés sur une surface pour former une courbe. Plusieurs points, *semi-landmarks*, sont automatiquement générés le long de la courbe. Cet outil permet de fixer rapidement et précisément des points.

 Un *patch* de points est défini par une grille 3 x 3 de points. Il est possible de manipuler et changer la forme et la couverture du *patch*. Plusieurs semi-Landmarks sont générés automatiquement à travers le *patch*. Cette option est utilisée pour fixer rapidement plusieurs points dans une région anatomique, souvent sans traits.

 Distance linéaire entre deux points.

1.3.2. Collecte des points de repère

Sélectionner l'option  → pointer le curseur sur la surface d'intérêt → déposer le point : SHIFT + clic gauche sur la souris (Figure 8).

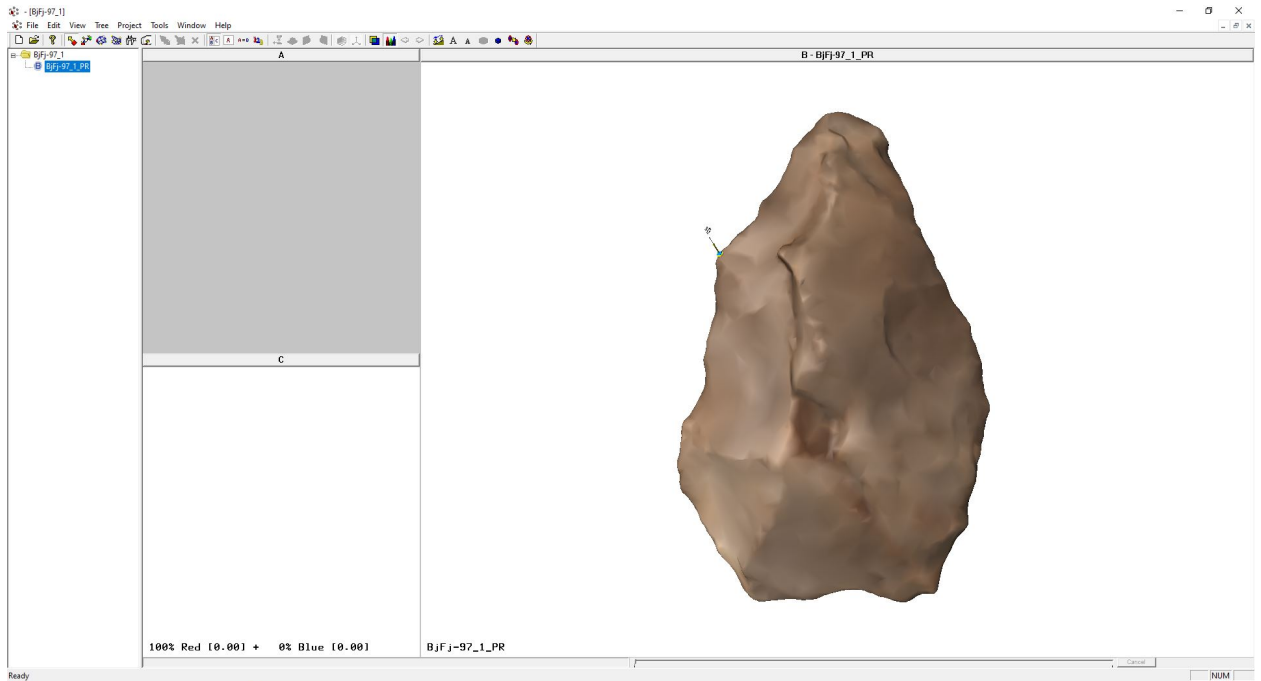


Figure 8. Déposer un point de repère sur Landmark IDAV.

1.3.3. Points manquants

Lorsqu'un point est manquant, en raison de l'absence ou l'endommagement d'une région anatomique, trois choix sont à disposition (Adams *et al.*, 2004; Mitteroecker and Gunz, 2009):

- Supprimer le point pour tous les modèles.
- Supprimer le modèle de l'échantillon.
- Estimer statistiquement le point manquant avec diverses fonctions sur le logiciel R. Cette troisième option permettra de maximiser les données et évitera de perdre de l'information.

Peu importe la décision prise par rapport à un point manquant, un *landmark* doit quand même être déposé sur le modèle, puis il est assigné comme *Missing Data* sur le logiciel Landmark IDAV (Figures 9 & 10) :

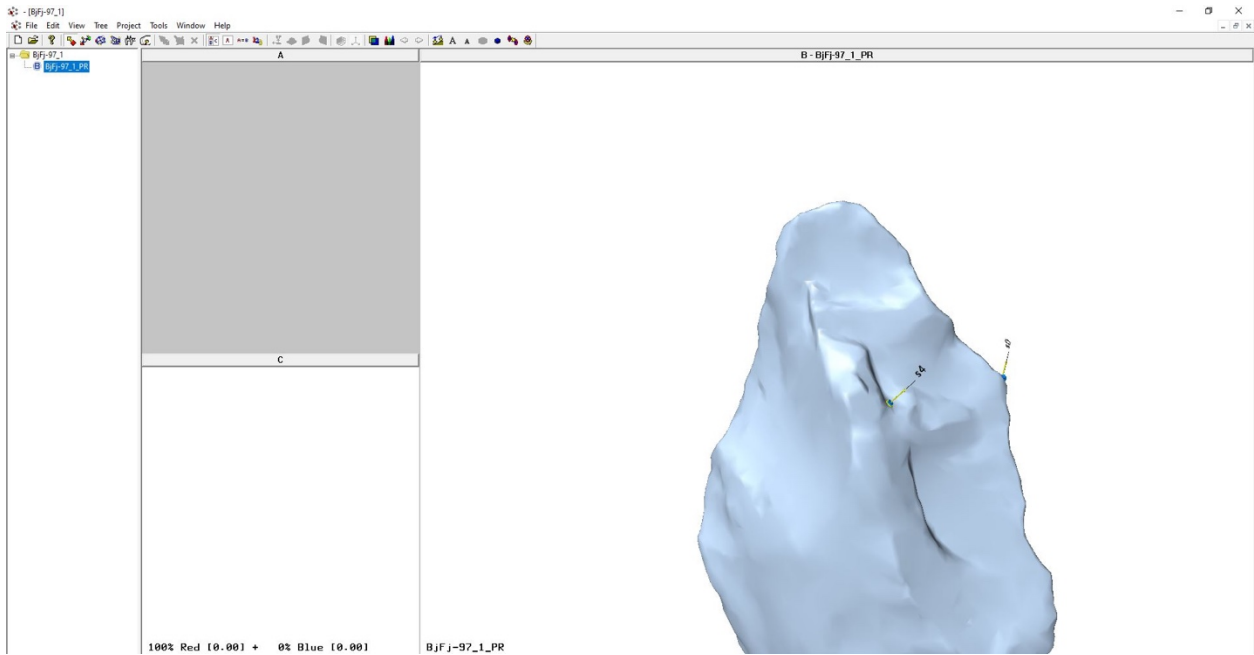



Figure 9. Identification d'une structure endommagée sur Landmark IDAV.

 *Edit Landmark Primitives* → *Singles points* → Sélectionner le point manquant →
Cocher *Missing Data (M)* → *Close*

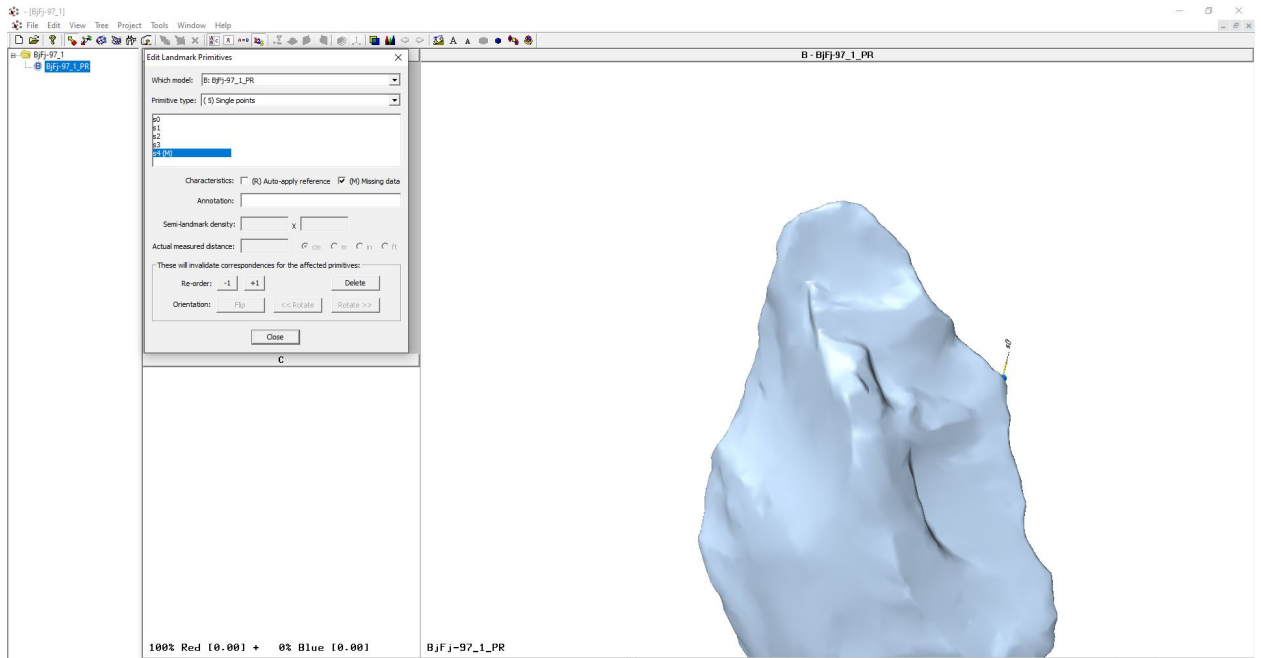


Figure 10. Enregistrement d'un point manquant ou *Missing point* sur Landmark IDAV.

1.3.4. Autres fonctionnalités utiles



Avec la fonctionnalité *Edit Landmarkd Primitives* (Figure 11), il est possible de :

- Nommer les points.
- Changer l'ordre des points.
- Supprimer les points.

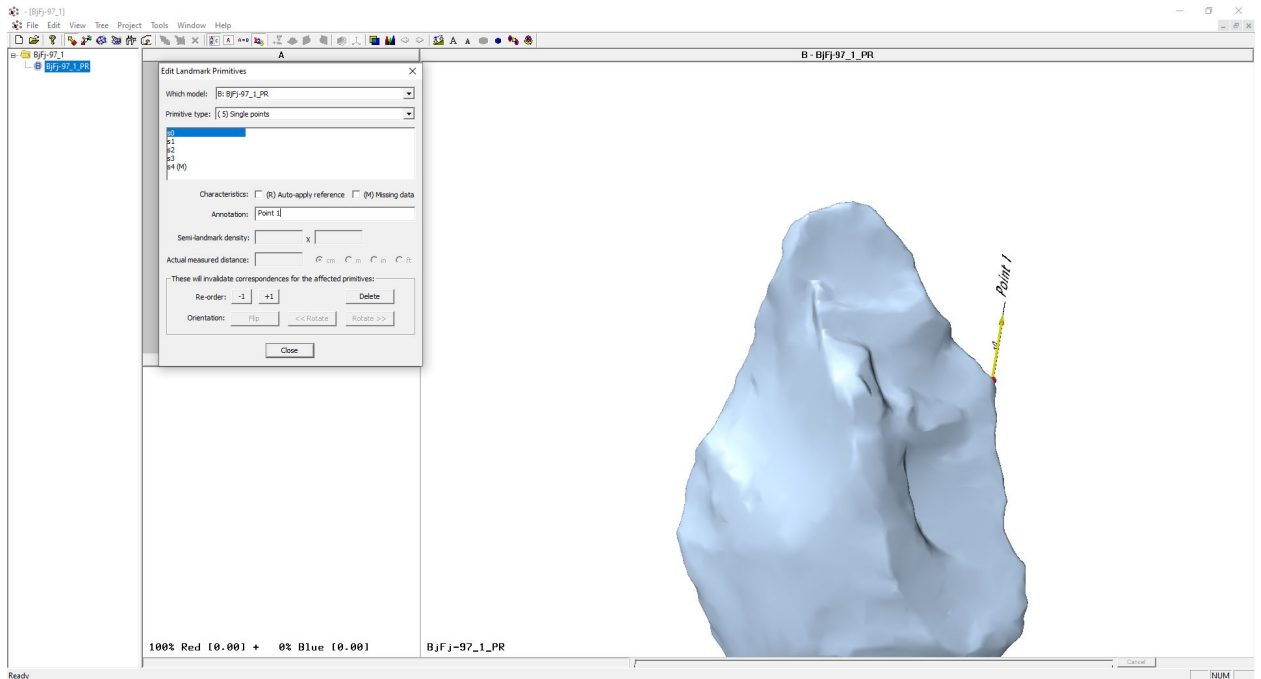




Figure 11. Fonctionnalité du « *Edit Landmark Primitives* » sur Landmark IDAV.

a.

Pour modifier la taille des points de repère sur la surface du modèle, il y a aussi deux fonctionnalités, telles que :

 Modification de la taille des points déposés en surface. 

Modification de la taille des numéros ou noms des points.

1.4. Exportation des points de repère

La Figure 12 illustre l'exportation des points de repère et se réalise ainsi :

Clic droit sur le modèle → *Export* → *(* .dta) NTsys Landmark points* → Sélectionner le dossier d'enregistrement → cocher *Single points* → OK


```
BjFj-97_1.dta
'Created by Landmark. http://graphics.idav.ucdavis.edu/re
1 1L 21 1 9999 Dim=3

BjFj-97_1_PR

1.7812461e-002 -1.7471908e-002 -3.8398814e-001
1.1807904e-002 1.6920672e-003 -3.8523430e-001
-3.0816272e-003 -1.4748610e-002 -3.8607430e-001
8.6823031e-003 -1.9171676e-002 -3.9272544e-001
4.8389807e-003 4.0624831e-003 -3.8805896e-001
9999 9999 9999
9999 9999 9999
```

Figure 13. Exemple de fichier exporté en format *rtf* ou *txt*.

- Le nom du fichier/modèle s'affiche sur la première ligne.
- Le nombre total de landmarks s'affiche : 21/3 = 7 points de repère. Chaque rangée représente un point dans un espace tridimensionnel selon un système de coordonnées cartésiennes 3D (x,y,z).
- 9999 9999 9999 : les points manquants (2 landmarks sont absents).