

Guide des Technologies 3D

MorphoJ

Mai 2023

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

1. MorphoJ

1.1. Le programme MorphoJ

Le programme *MorphoJ* permet d'effectuer des analyses en morphométrie géométrique 2D et 3D. La version actuelle du programme inclut plusieurs fonctionnalités, comme une analyse procrustes 2D et 3D, avec ou sans symétrie, une analyse en composantes principales et une analyse des variables canoniques.

Pour télécharger le programme : https://morphometrics.uk/MorphoJ_page.html

Le système et la configuration requis sont les suivants :

- Windows, Macintosh OS X (à partir de OS X version 10.7.3, "Lion", et suivantes) et Unix / Linux.

Un guide de l'utilisateur de toutes les fonctionnalités du programme MorphoJ est disponible sur la page d'accueil (Figure 3) du site suivant : https://morphometrics.uk/MorphoJ_guide/frameset.htm?index.htm

See the [MorphoJ Change Log](#) for the current version of MorphoJ and the changes made in recent updates.

The software is written in Java, and includes external libraries that are also written in Java. As a result, the program is more or less platform-independent. At the moment, there are distributions for Windows, Macintosh OS X (from OS X version 10.7.3, "Lion", onward) and Unix/Linux (tested under Ubuntu Linux only). All you will need to run it is a recent Oracle Java Runtime Environment (minimum Version 8.0) for your operating system, which is available for free from <http://www.java.com>.

Downloads and installation instructions

The following links provide installer programs and web pages with installation instructions for the operating systems that are currently supported.

For each operating system, there are two types of installer: a **standard installer**, which is self-contained and provides the complete software, and a **web installer**, which is smaller and will download the required files in three separate parcels from the MorphoJ web site during installation. This installer can only be used for computers that are connected to the internet during the installation process. It is recommended for users whose internet connection does not allow files of about 36MB to be downloaded. Other users should download the standard installer.

The use of both types of installer is very similar.

Standard installer (download)	Web installer (download)	Installation instructions (web page)
MS Windows Macintosh OS X Unix/Linux	MS Windows Macintosh OS X Unix/Linux	MS Windows Macintosh OS X Unix/Linux

Updated versions of the program will be posted here periodically.

Program documentation

[The online User's Guide for MorphoJ is available here.](#)

You may want to bookmark the user's guide in your favorite browser.

Guide
détaillé

Figure 3. Page d'accueil et téléchargement du programme *MorphoJ*.

1.2. Démarrer un nouveau projet

Dès que le programme est démarré, une fenêtre s'affiche (Figure 4).

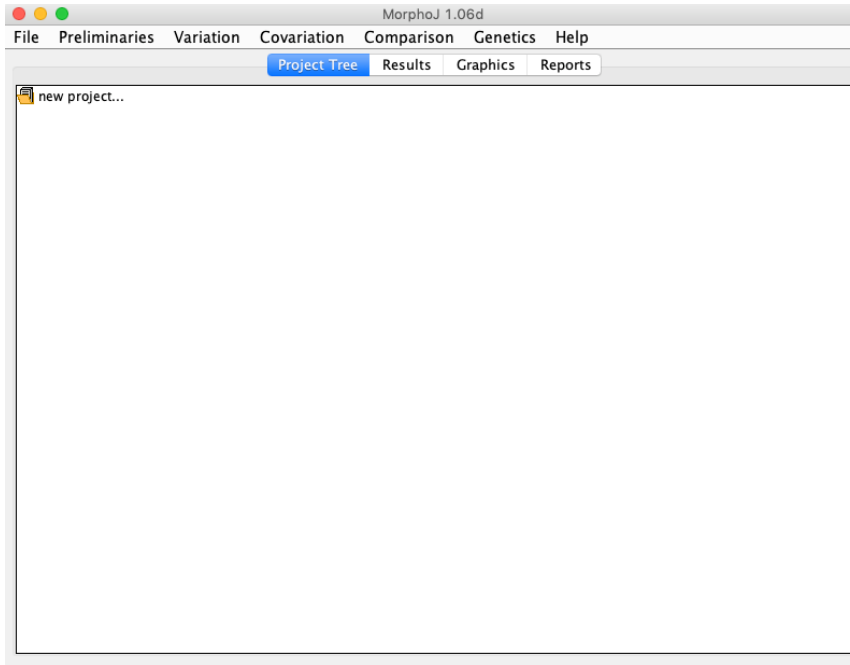


Figure 4. Interface du programme MorphoJ sur le système Mac OS.

1.2.1. Nouveau projet et nouveau jeu de données

La première étape est de créer un **Nouveau projet** (Figure 5) : *File* --> *Create New Project*

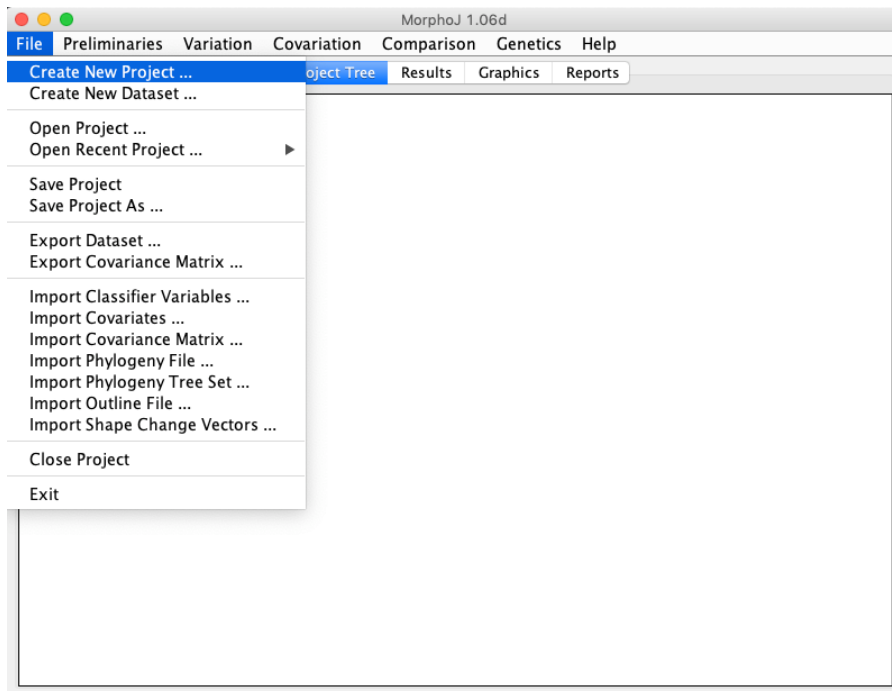


Figure 5. Création d'un nouveau projet sur MorphoJ

La deuxième étape de mettre en place un **Nouveau jeu de données** (Figure 6) : titre du projet → dimension de données → titre des données → type de format des données → données à importer.

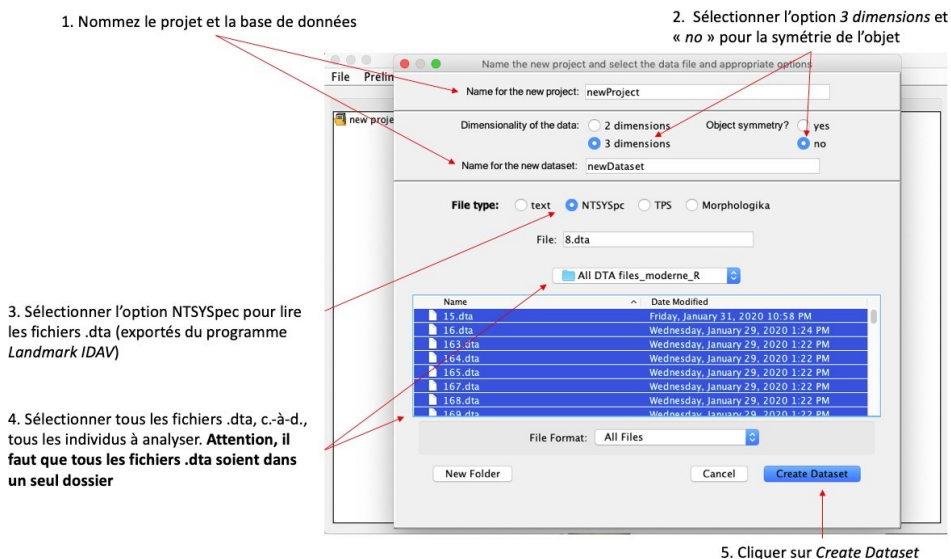


Figure 6. Sélection des paramètres lors de l'importation des données sur MorphoJ.

La fenêtre *Reports* permet de voir tous les fichiers .dta lus avec succès (Figure 7).

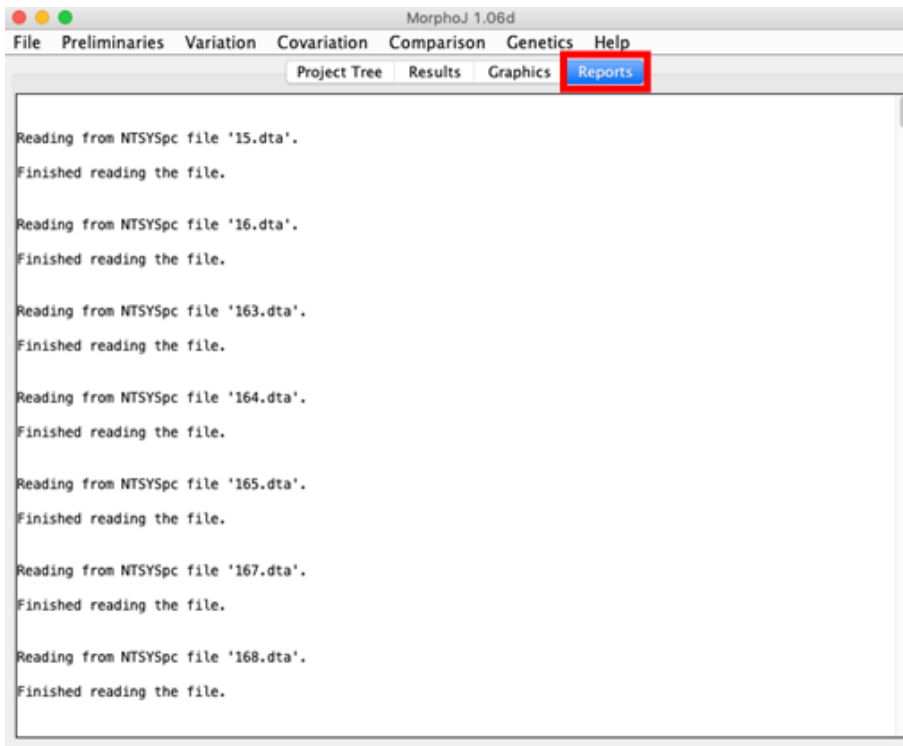


Figure 7. Lecture des fichiers .dta sur MorphoJ

Lorsque le programme détecte une anomalie, par exemple, un nombre de points repère différents entre les fichiers, un message d'erreur apparaîtra dans la fenêtre *Reports* et précisera le fichier problématique. La solution suggérée pour régler ce problème est de vérifier le nombre de points de repère sur les fichiers originaux.

1.2.2. Organisation des données : classificateurs

Les classificateurs permettent d'organiser les données. Ils sont créés en fonction des questions de recherche. Par exemple, si la question de recherche s'oriente sur le dimorphisme sexuel, il est essentiel de créer un classificateur « sexe » afin d'identifier les individus en fonction de leur sexe, soit « homme », « femme », ou dans certain cas, « indéterminé », lorsque les traits morphologiques sont ambigus.

Afin de créer, des catégories, **ouvrir la fenêtre de gestion des classificateurs** (Figure 8) :
Preliminaries → *Edit Classifiers*

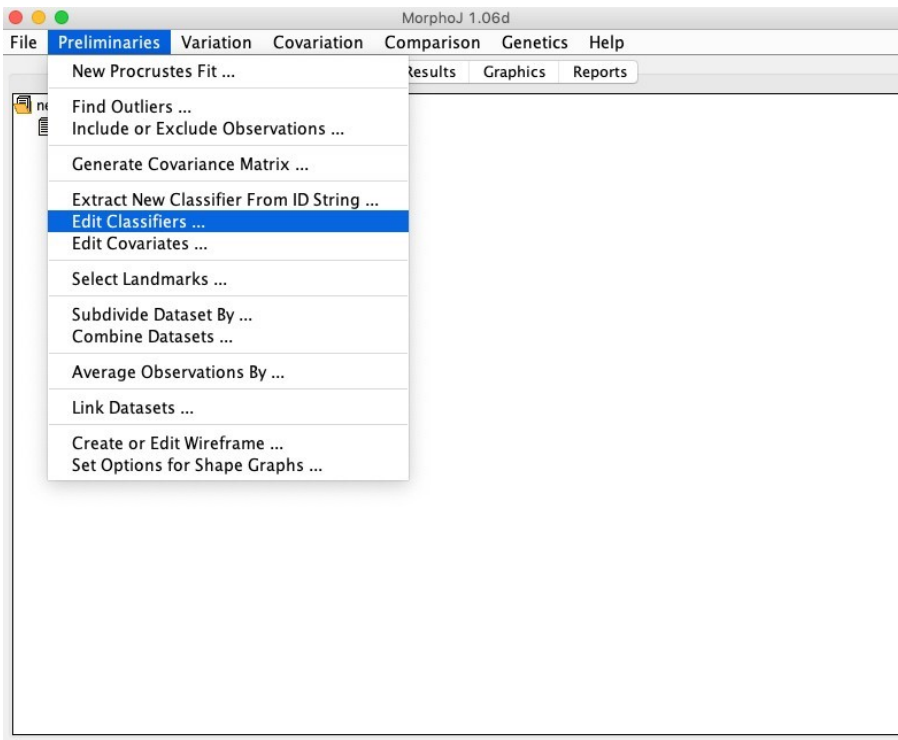


Figure 8. Ajout des « Classifiers » sur MorphoJ.

Dans une nouvelle fenêtre, on ajoute des classificateurs (Figure 9) : *Add classifiers*.

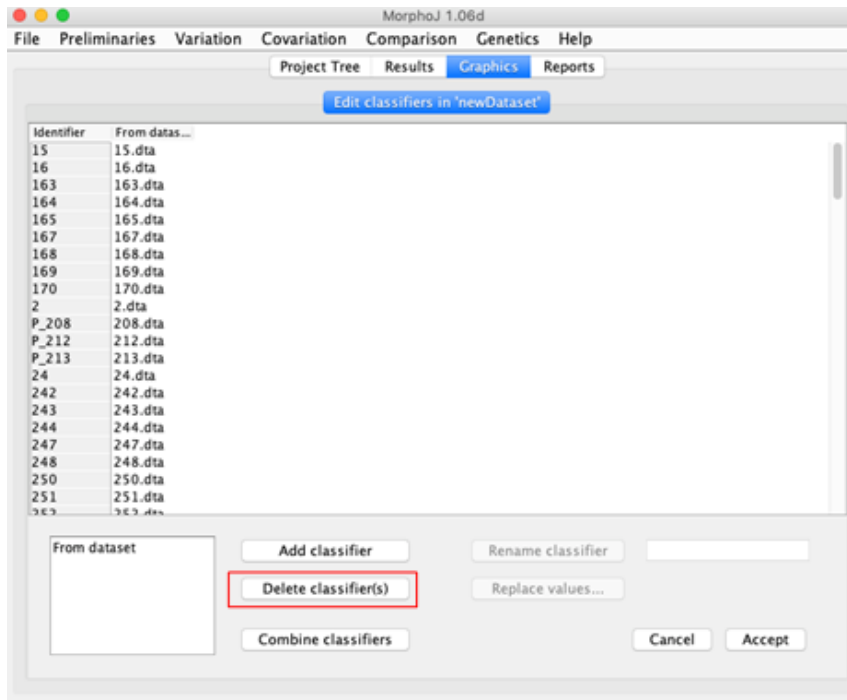


Figure 9. Interface de la fonctionnalité « classifiers » sur MorphoJ.

On choisit un ou des classificateurs, par exemple en lien avec diverses variables comme le sexe, l'âge, le climat, etc (Figure 10).

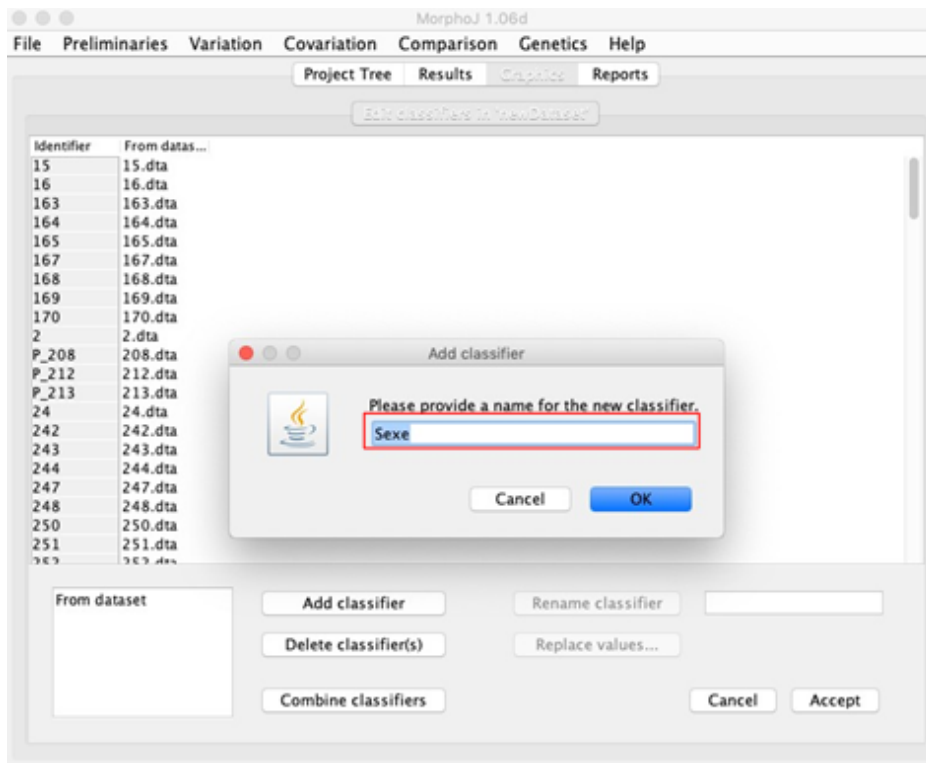


Figure 10. Nouveau « classifieur » sur MorphoJ.

Ensuite, on complète la colonne en fonction du sexe des individus avec des catégories spécifiques (ex. femme, homme, indéterminé) et on clique sur *Accept* lorsque les informations sont rentrées (Figure 11).

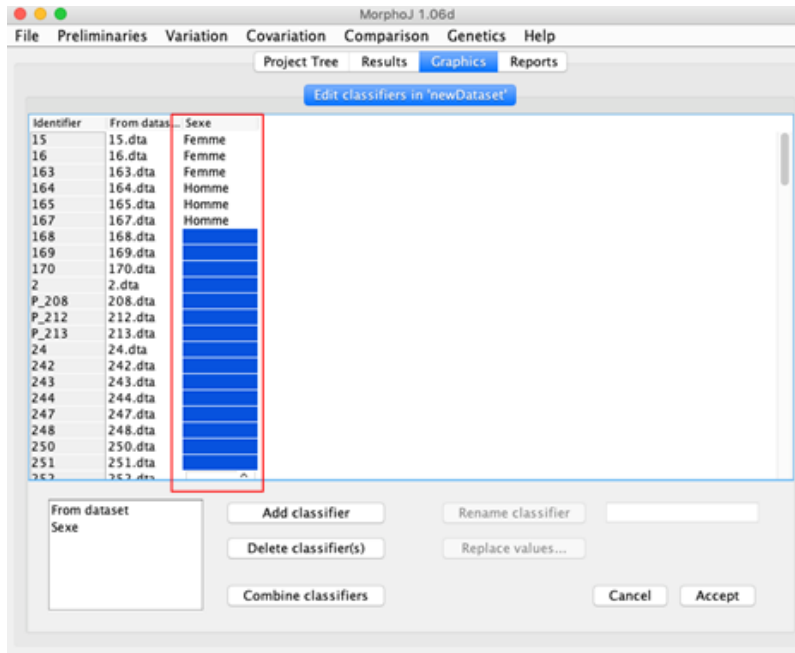


Figure 11. Ajout de l'information pour chaque individu sur MorphoJ.

On peut aussi ajouter un autre classificateur, par exemple l'âge et répéter les étapes 2 à 4 (Figure 11).

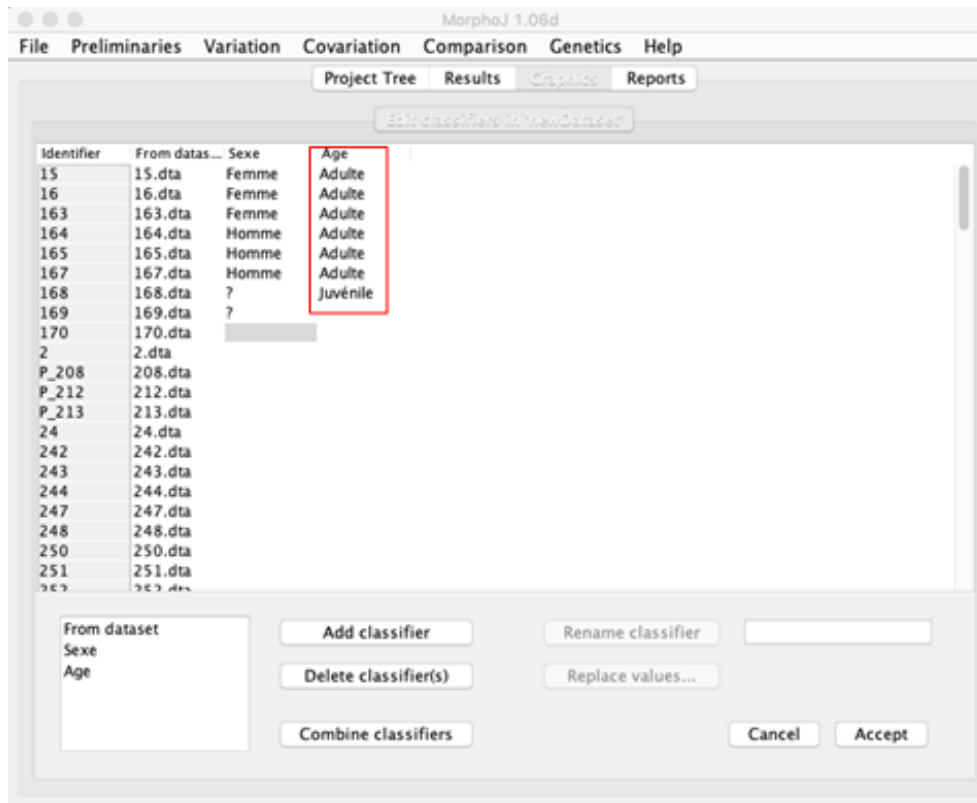


Figure 11. Ajout d'un nouveau « classifieur » sur MorphoJ.

1.3. Analyse Procrustes Générale (GPA)

Suite à la collecte des points repères, l'étape suivante consiste en une transformation géométrique des coordonnées cartésiennes 2D ou 3D avant d'entamer la comparaison morphologique. Le programme MorphoJ permet d'effectuer une transformation géométrique des données avec la fonction *Procrustes fit*.

1.3.1. Exécuter une GPA

Pour exécuter une GPA (Figure 12) : *Preliminaries* → *New Procrustes Fit*

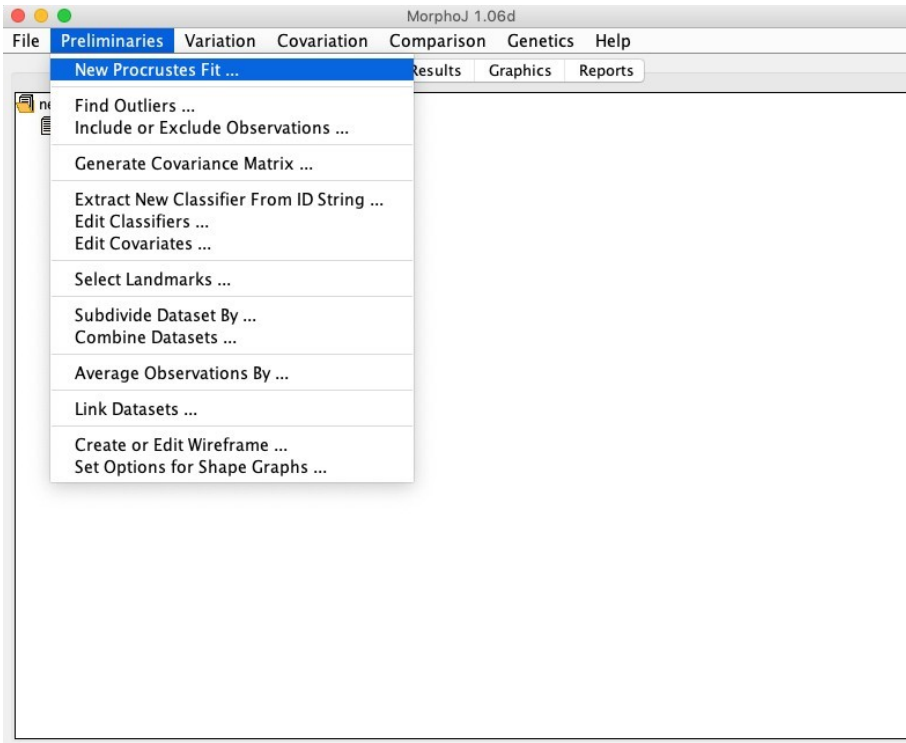


Figure 12. Sélection de l'analyse procrustéenne sur MorphoJ.

Ensuite, il est nécessaire de sélectionner l'option *Align by principal axes* (Figure 12).

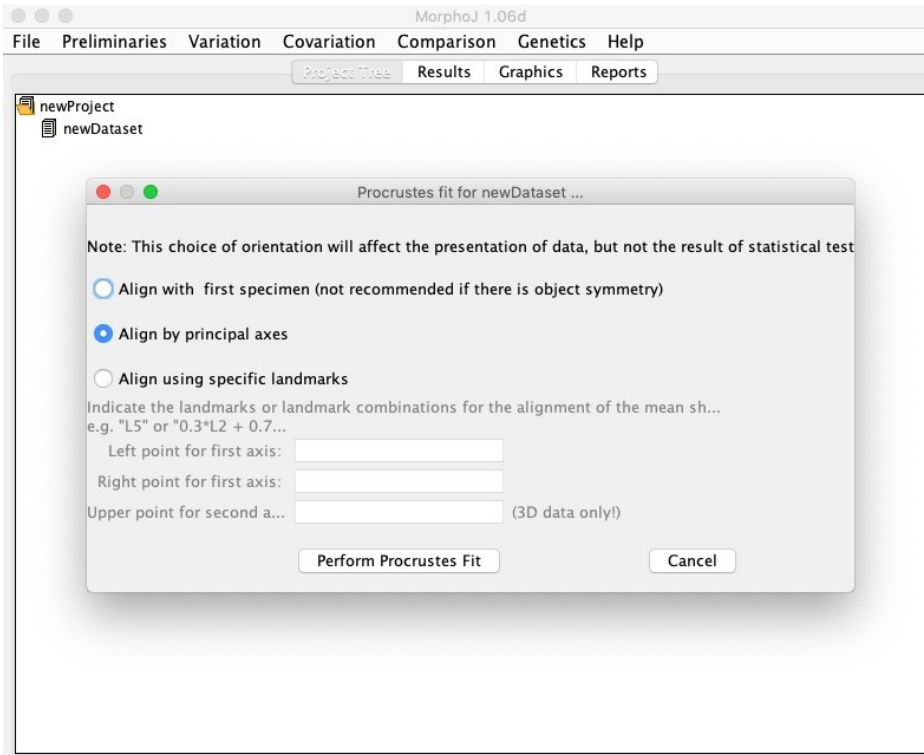


Figure 13. Choix du type d'orientation sur MorphoJ.

Les résultats d'une GPA sont alors affichés dans une autre fenêtre (Figure 14).

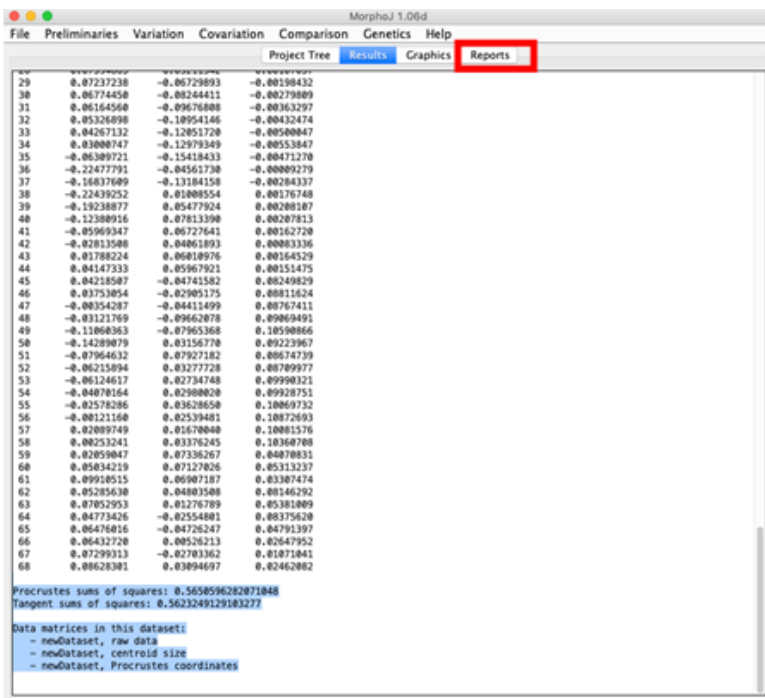


Figure 14. Résultats d'une GPA sur MorphoJ.

- Le programme génère ainsi les matrices de **taille centroïde**, les coordonnées originales et les nouvelles coordonnées (*Procrustes coordinates*). Les analyses statistiques sont effectuées sur les coordonnées procrustes.
- La **taille centroïde** est la somme de la racine carrée des distances au carré de chaque point repère par rapport au centre de la forme (Zelditch *et al.*, 2004, :56). Étant donné qu'elle est indépendante par rapport au changement de forme, la taille centroïde est souvent utilisée comme variable de taille, entre autres pour explorer l'allométrie.

Les nouvelles coordonnées procrustes peuvent être visualisées dans *Graphics* (Figure 15). Les points bleus représentent la position moyenne de chaque point repère. Les points noirs représentent la position des points repères des configurations individuelles de l'échantillon.

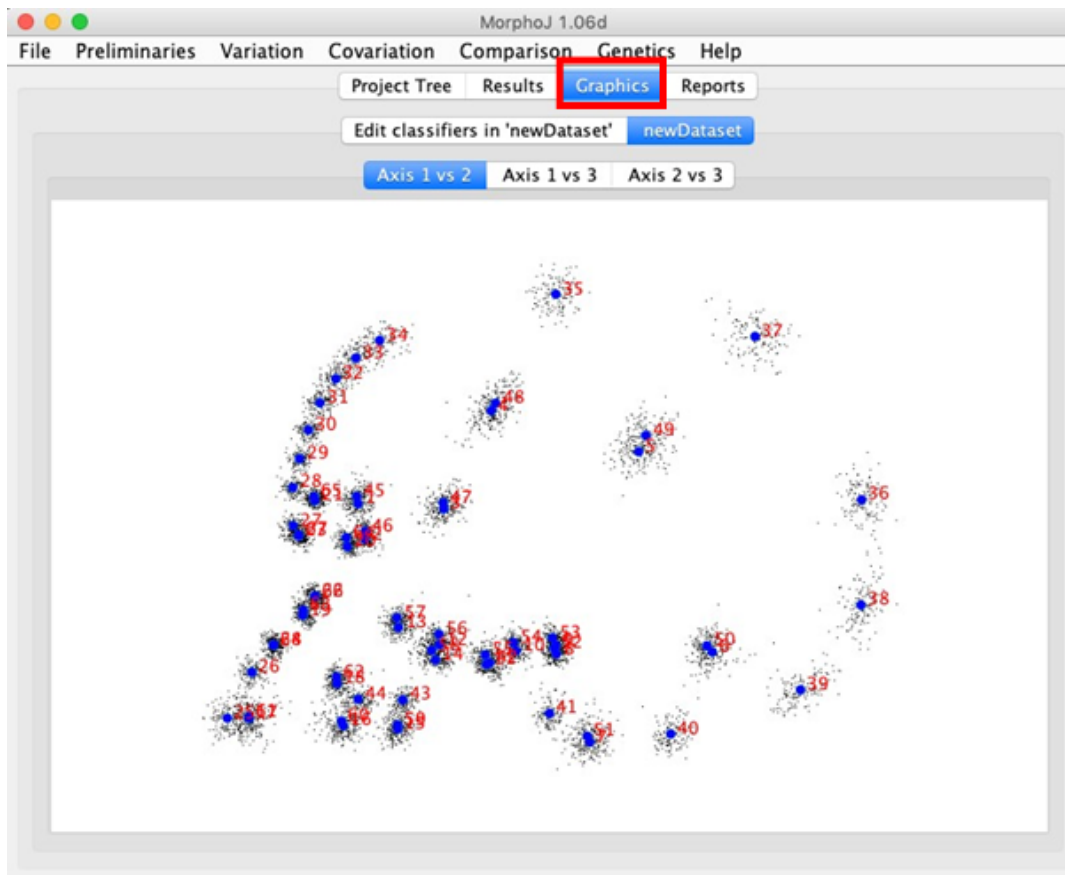


Figure 15. Visualisation des nouvelles coordonnées procrustéennes sur MorphoJ.

1.3.2. Générer une matrice de covariance

Les matrices de covariances sont générées pour conduire des analyses morphométriques, comme l'analyse en composantes principales. Le programme MorphoJ génère des variances de covariance à partir des données de formes issues d'une *Procrustes fit*.

Pour cela, il faut ouvrir une nouvelle fenêtre : *Preliminaries* → *Generate Covariate Matrix* (Figure 16).

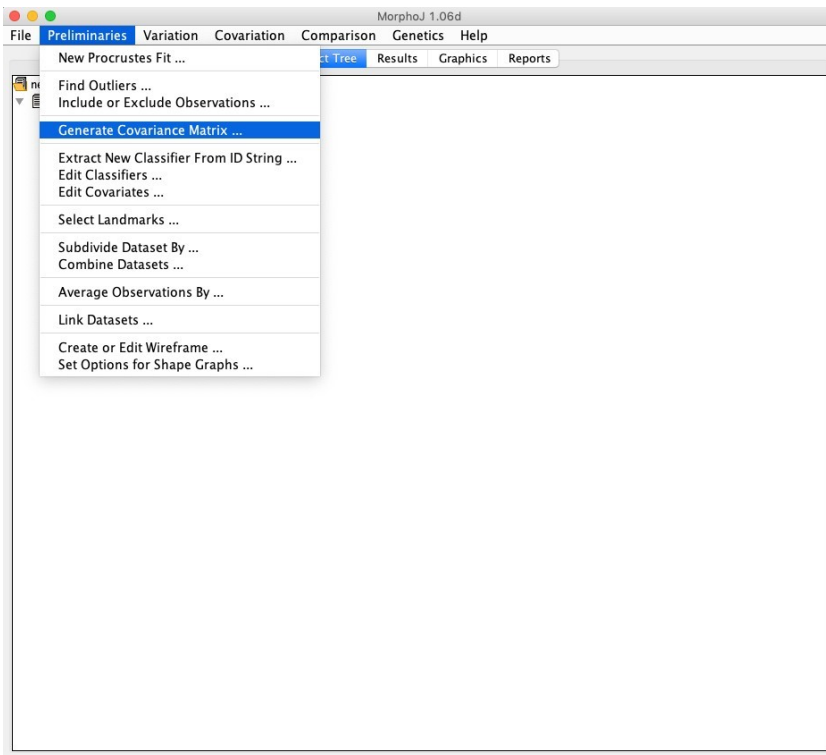


Figure 16. Obtention d'une nouvelle matrice de covariance sur MorphoJ.

Finalement, on sélectionne les données procrustéennes (Figure 17).

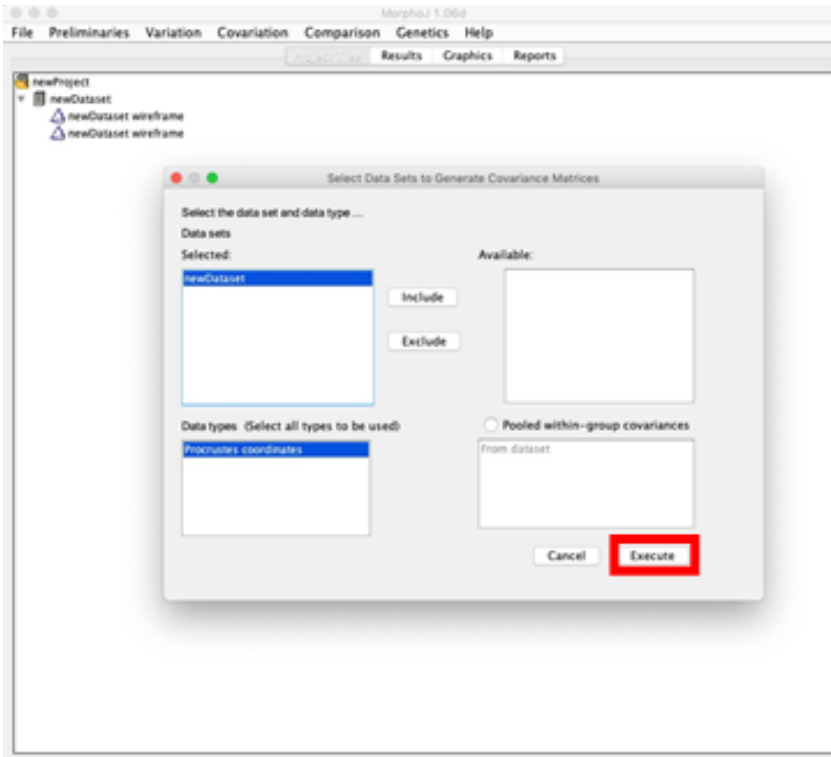


Figure 17. Exécution de la fonctionnalité *Generate Covariate Matrix* sur MorphoJ.

La matrice de covariance générée à partir des données *newDataset* apparaîtra dans le menu principal *Project Tree* (Figure 18).

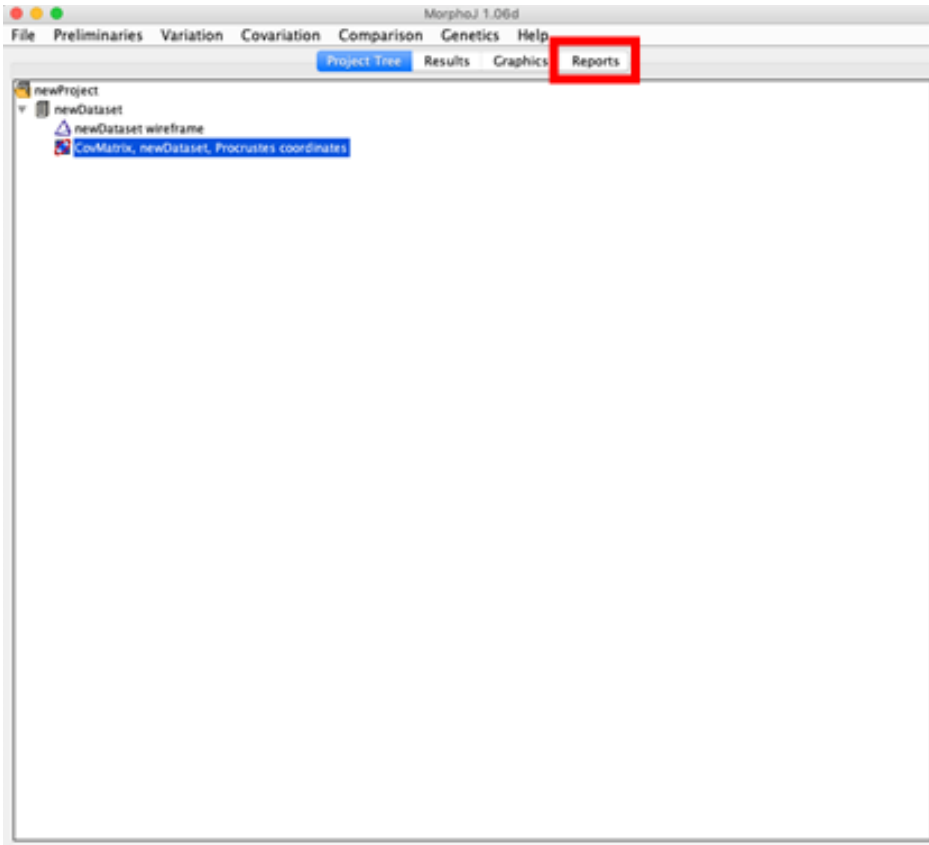


Figure 18. La matrice de covariance sur MorphoJ.

1.4. Analyses possibles à effectuer avec le programme

1.4.1. Analyse en Composantes Principales

L'analyse en composantes principales (ACP ou PCA pour *Principal Components Analysis*) est une méthode d'ordination multivariée couramment utilisée dans l'exploration des données. L'ACP permet d'explorer les patterns de variation morphologique entre les individus de l'échantillon en réduisant la dimensionnalité des données, composée d'un grand nombre de variables indépendantes (Jolliffe, 2002; Zelditch et al., 2004).

1.4.1.1. Exécuter une PCA

Pour exécuter une PCA, cliquer sur l'icône  → *Variation* → *Principal Component Analysis* (Figure 19).

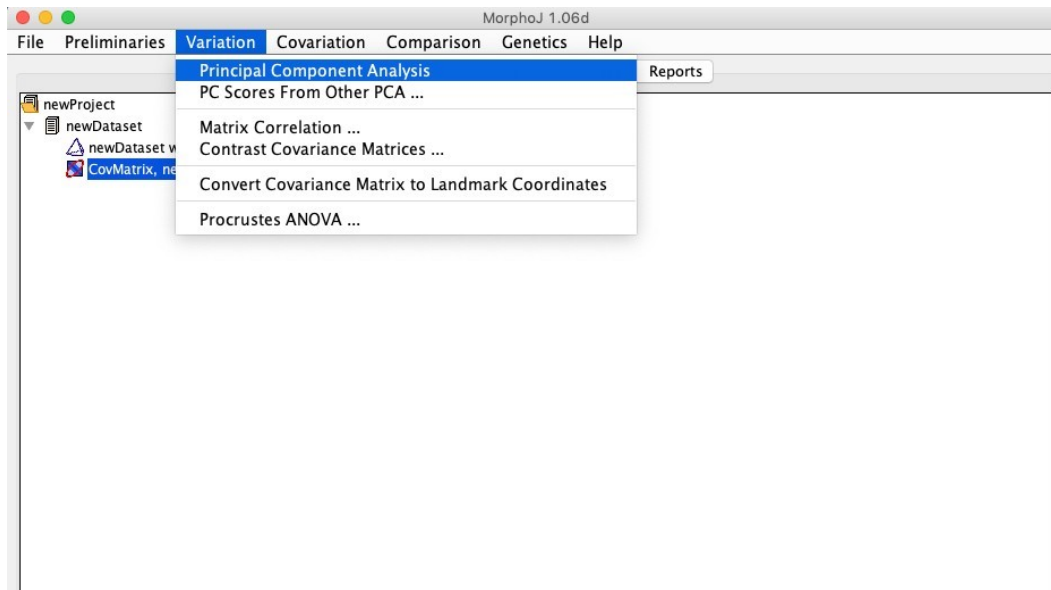


Figure 19. Exécuter une analyse en composantes principales sur MorphoJ.

1.4.1.2. Résultats de la PCA

Les données issues de la PCA apparaissent dans une nouvelle fenêtre (Figure 20).

The screenshot shows the 'Principal Component Analysis: PCs: CovMatrix, FullCrandalAnalysis, Procrustes coordinates' window. It displays a table with three columns: 'Eigenvalues', '% variance', and 'Cumulative %'. The first 40 rows of the table are highlighted with a red border. The data is as follows:

	Eigenvalues	% variance	Cumulative %
1.	0.00033700	22.043	22.043
2.	0.00047265	28.634	23.477
3.	0.00033875	8.727	32.207
4.	0.00031405	7.199	39.405
5.	0.00028831	6.609	46.014
6.	0.00027136	6.220	52.234
7.	0.00028577	4.717	56.951
8.	0.00018300	4.215	61.166
9.	0.00015196	3.712	64.878
10.	0.00014336	3.206	68.084
11.	0.00011394	2.500	70.584
12.	0.00009707	2.239	72.823
13.	0.00008453	2.167	75.063
14.	0.00008092	2.404	77.253
15.	0.00007804	1.800	79.053
16.	0.00007604	1.743	80.800
17.	0.00005645	1.573	82.374
18.	0.00005270	1.439	83.767
19.	0.00005705	1.100	85.075
20.	0.00003399	1.237	86.312
21.	0.00004969	1.139	87.451
22.	0.00004781	1.096	88.547
23.	0.00004438	1.017	89.564
24.	0.00004249	0.974	90.538
25.	0.00003911	0.897	91.435
26.	0.00003445	0.790	92.224
27.	0.00003287	0.753	92.978
28.	0.00003094	0.709	93.687
29.	0.00002705	0.620	94.307
30.	0.00002537	0.581	94.888
31.	0.00002418	0.554	95.443
32.	0.00002149	0.493	95.935
33.	0.00002075	0.476	96.411
34.	0.00001923	0.441	96.852
35.	0.00001870	0.429	97.280
36.	0.00001725	0.395	97.675
37.	0.00001458	0.234	98.010
38.	0.00001421	0.220	98.230
39.	0.00001372	0.215	98.445
40.	0.00001203	0.270	98.715
41.	0.00001100	0.160	99.000

Figure 20. Exemple d'interprétation sur MorphoJ : la PC 1 explique environ 12% de toute la variation des observations.

Les variables d'origine sont transformées en de nouvelles variables, appelées les principales composantes (PCs). Ces nouvelles variables ne sont pas corrélées. L'ordre des PCs implique que les premières PCs conservent la grande partie de la variation présente dans les variables d'origine. Le résultat d'une PCA se compose de valeurs, *eigenvalues*, qui décrivent la décomposition des PCs et du pourcentage de variance de chaque composante, ainsi que du pourcentage cumulé.

Les PCs peuvent être représentées par un histogramme (Figure 21).

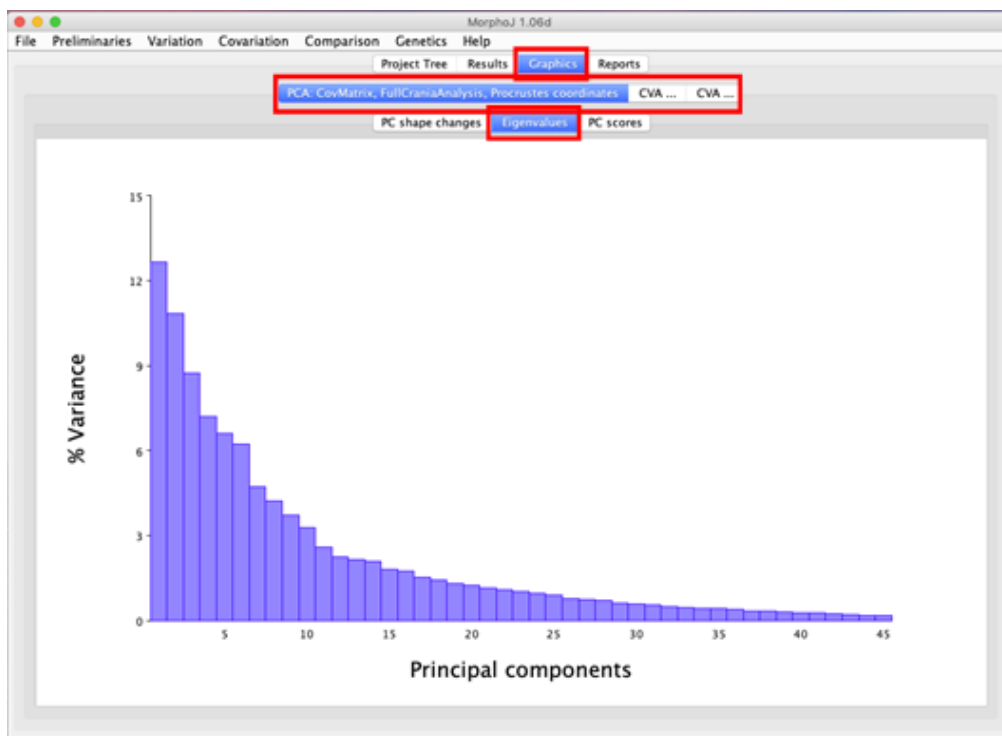


Figure 21. Histogramme représentant les variances cumulatives sur MorphoJ.

Les **PC scores** aussi appelés *component scores* sont calculés comme les vecteurs des écarts des observations par rapport à la moyenne de l'échantillon, multiplié par les vecteurs des coefficients PCs (Mitteroecker and Bookstein, 2011). Les *PC scores* sont utilisées pour la représentation visuelle d'un nuage de points où chaque point représente un individu de l'échantillon (données originales). Le nuage de points implique la projection des données (PC scores) sur les PCs en deux dimensions (Figure 22). L'axe x représente une première PC sélectionnée par le chercheur. L'axe

y représente une autre PC sélectionnée et indépendante de l'autre. Par défaut, le programme MorphoJ affiche les données sur les deux premières PCs.

Les scores peuvent être ainsi visualisés dans un graphique bivarié. Chaque point représente la position d'un individu en fonction de la PC1 et de la PC2.

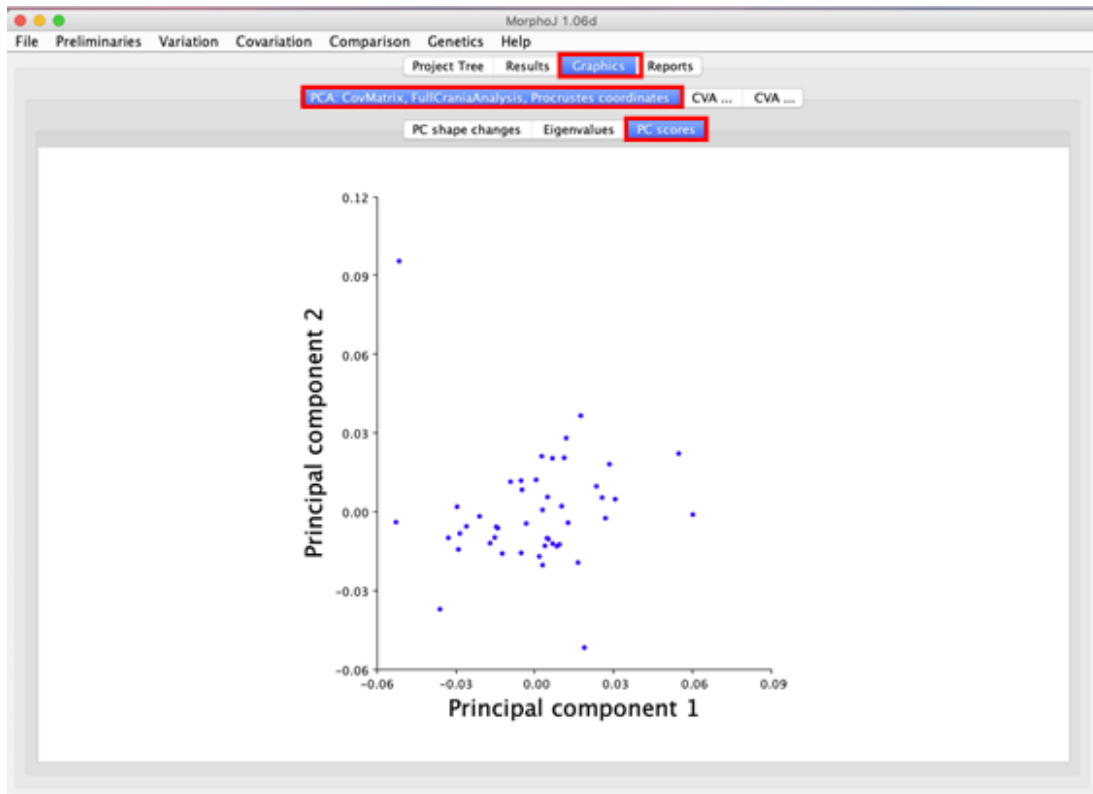


Figure 22. Distribution des individus sur la PC1 et la PC2 sur MorphoJ.

Pour modifier la couleur des points sur le graphique, voici la procédure (Figure 23) : clic droit sur le graphique --> *Color the Data Points*.

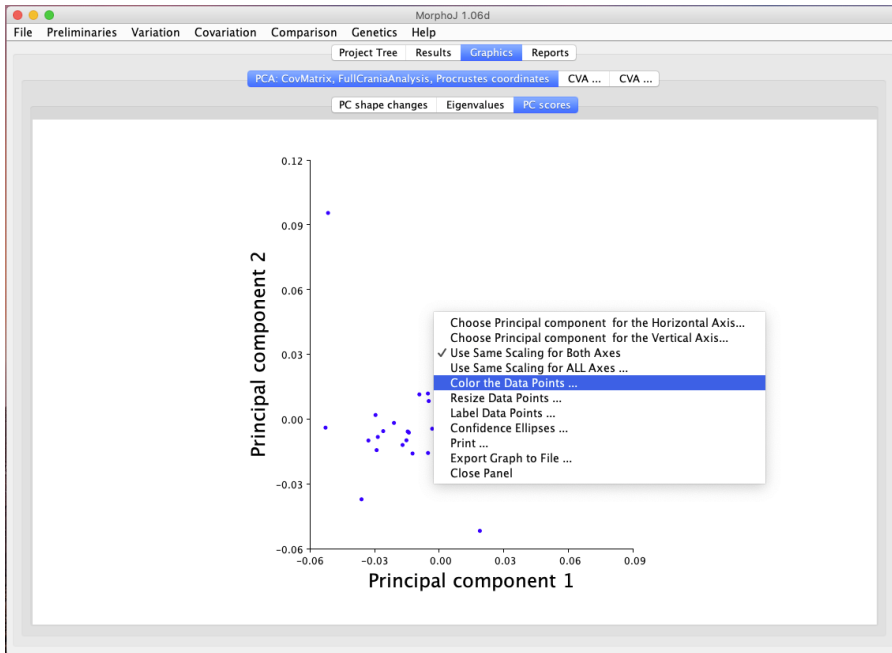


Figure 23. Exemple de modification du graphique bivarié sur MorphoJ.

Il est important de créer des couleurs pour les catégories des classificateurs avant de passer à l'étape de la visualisation des données (Figure 24).

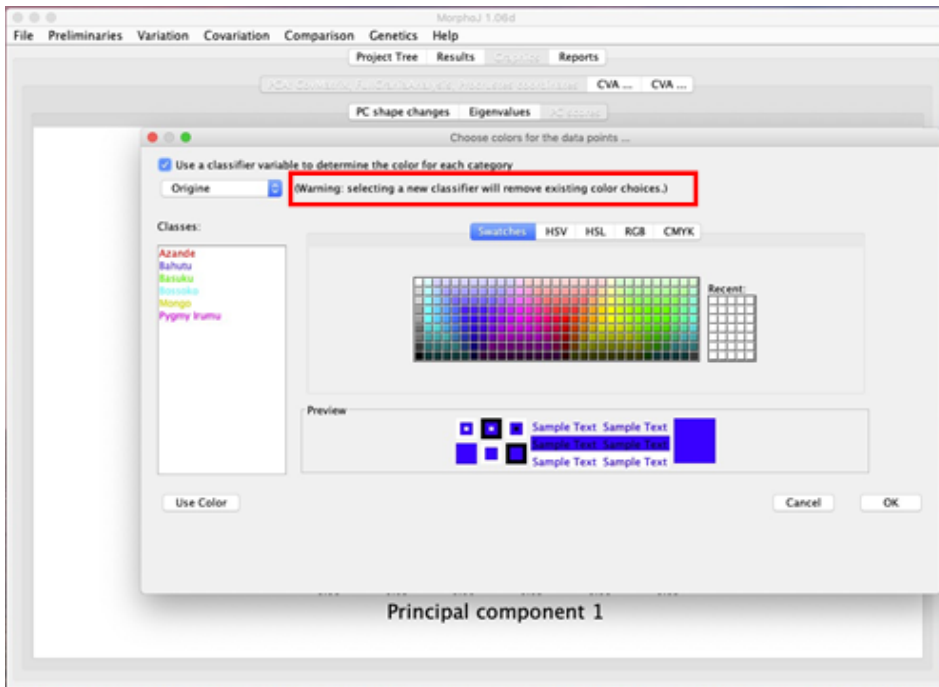


Figure 24. Sélection de nouvelles couleurs sur MorphoJ.

1.4.1.3. Les données aberrantes

Pour trouver les données aberrantes observer le nuage de points (Figure 25).

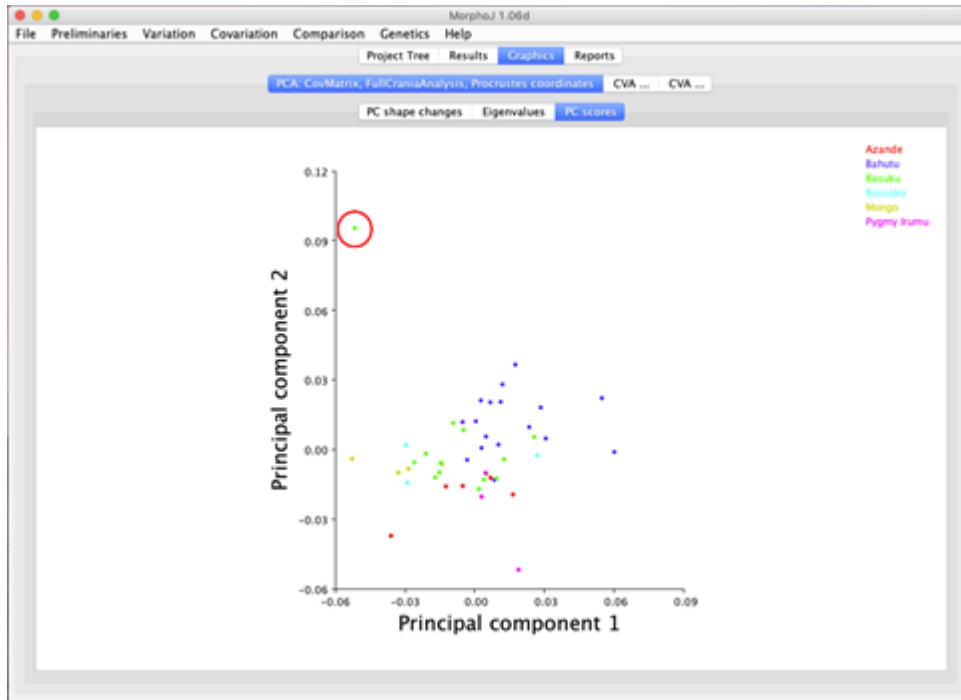


Figure 25. Exemple de donnée aberrante sur un graphique bivarié avec MorphoJ .

Pour trouver les données aberrantes, on peut aussi utiliser la fonctionnalité *Find Outliers* (Figure 26).

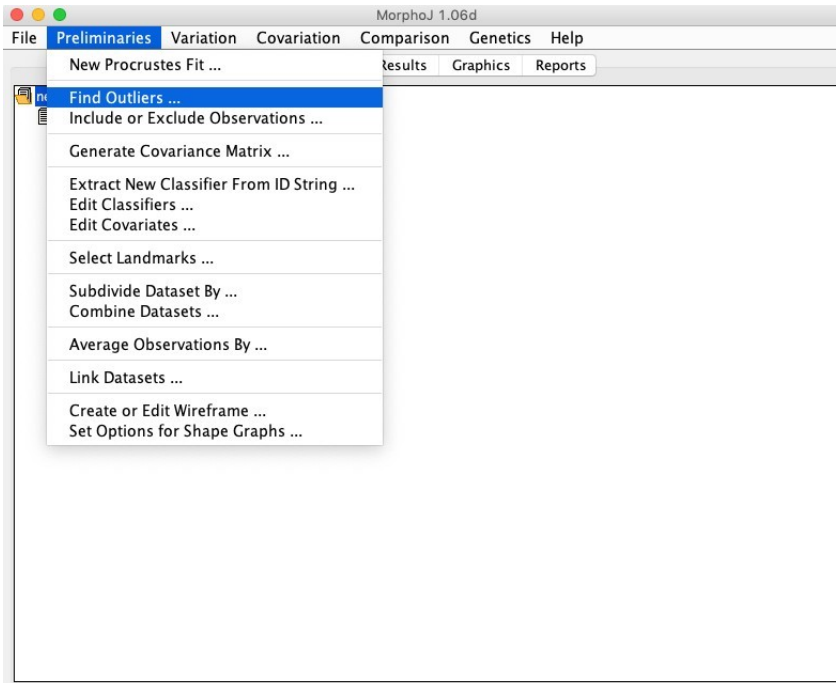


Figure 26. Fonctionnalité *Find Outliers* sur *MorphoJ*.

1.4.2. Visualisations du changement de forme

Le programme MorphoJ permet de relier l'ensemble des *landmarks* par des lignes. La connexion entre les points repères permet de visualiser la configuration *landmark* d'un individu en particulier et de comparer deux configurations *landmarks*.

Pour relier les *landmarks*, voici la procédure (Figure 27) : *Preliminaries* --> *Create or Edit Wireframe*.

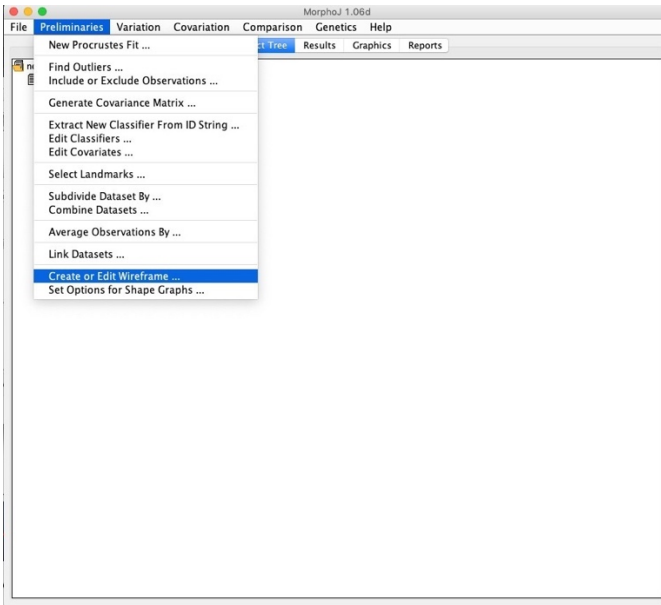


Figure 27. Sélection de la fonctionnalité Wireframe sur MorphoJ.

Relier les points de repère est une étape essentielle: cela permet de déterminer une forme clairement identifiable ou *Wireframe* (Figure 28).

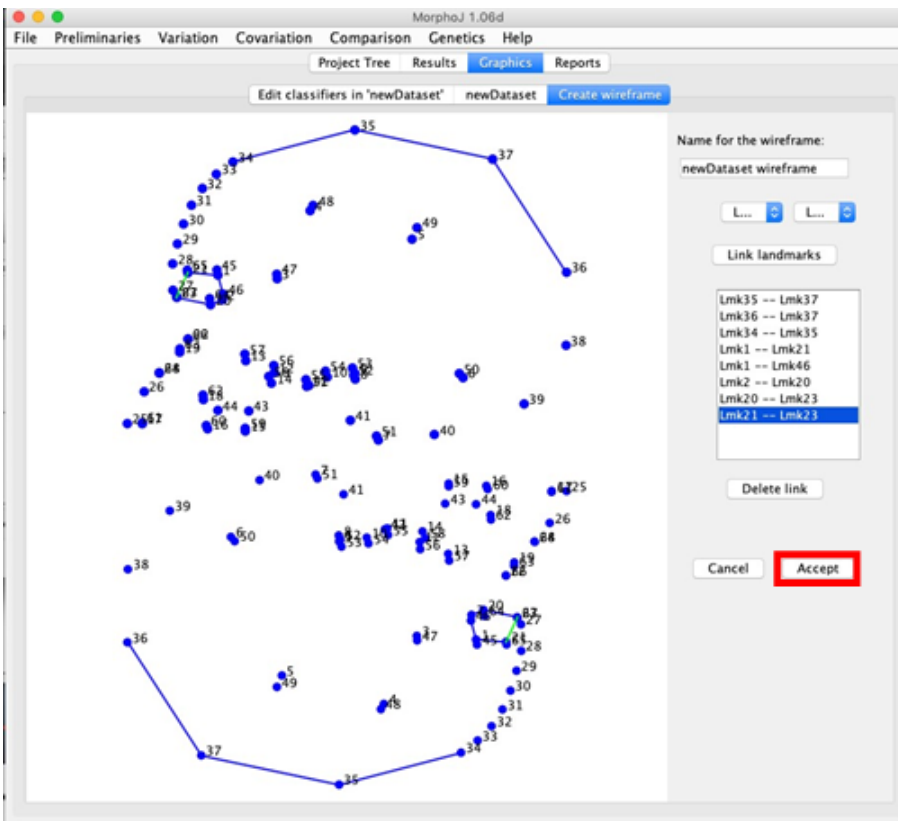


Figure 28. Création d'un *Wireframe* sur MorphoJ

→ Clic droit pour modifier l'orientation du crâne.

Une fois les points de repère reliés, le changement morphologique peut être observé sous l'onglet *PC shape changes*. Par défaut, le programme MorphoJ génère un *Lollipop Graph*, qui montre le changement de position des points repères avec des lignes droites (Figure 29). Chaque ligne commence par un point qui représente la forme de départ. La longueur et la direction de la ligne indiquent le mouvement (vecteur) du point repère de la forme de départ (valeurs négatives) à la forme cible (valeurs positives).

Une autre manière de visualiser le changement de forme, c'est de relier les points repères entre eux avec le *Wireframe Graph* (Figure 30).

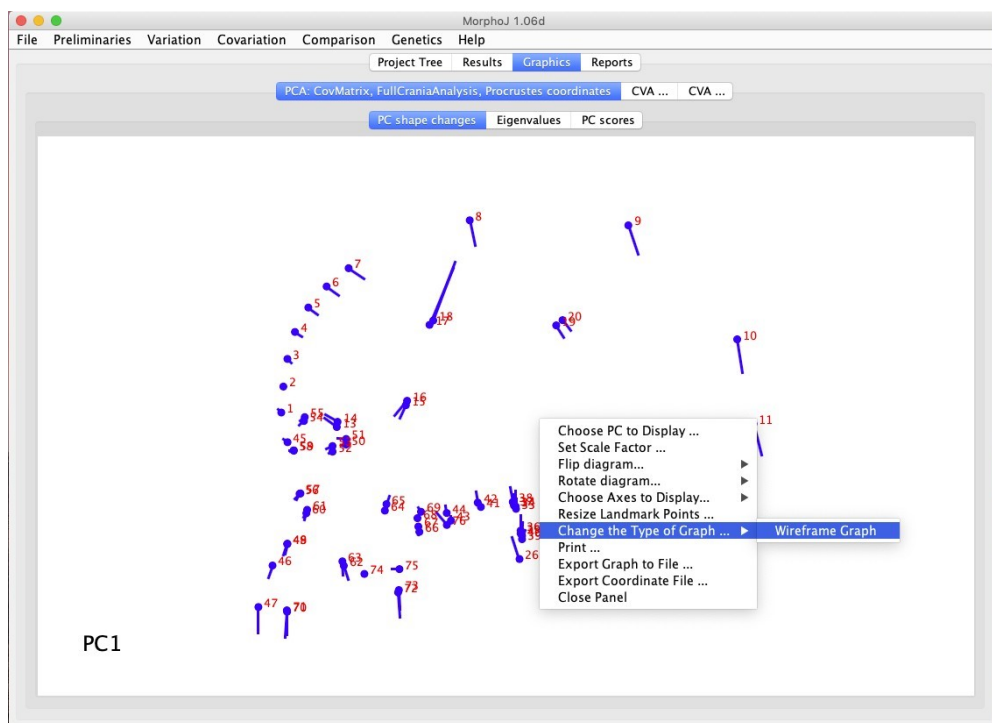


Figure 29. Visualisation du *Lollipop Graph* sur MorphoJ.

Clic droit sur la figure --> *Change the Type of Graph* --> *Wireframe Graph*.

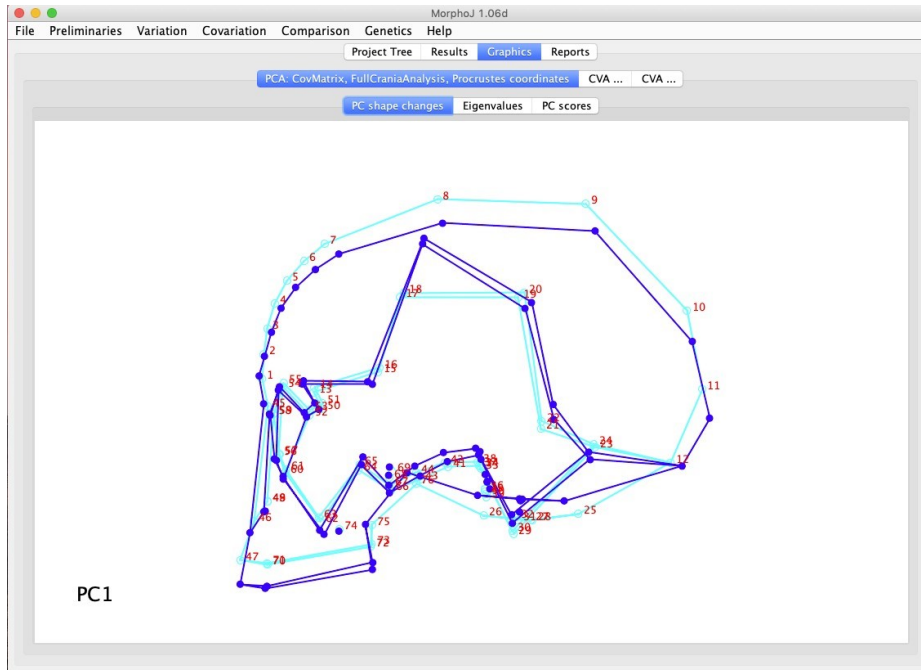


Figure 30. Visualisation du *Wireframe Graph* sur MorphoJ.

Les lignes turquoise représentent les valeurs négatives de la PC1 et les lignes bleues foncées représentent les valeurs positives de la PC1.

La Figure 30 propose un exemple d'interprétation : les individus qui se rapprochent des valeurs négatives sur la PC1 (c-à-d, du zéro sur l'axe des x), ont un maxillaire supérieur plus projeté vers l'avant (prognathe) et une voûte crânienne moins élevée que les individus des valeurs extrêmes positives.

Finalement, pour observer le changement de forme sur une autre composante principale, on procède ainsi (Figures 31-33) : Clic droit sur le graphique --> *Choose PC to Display*.

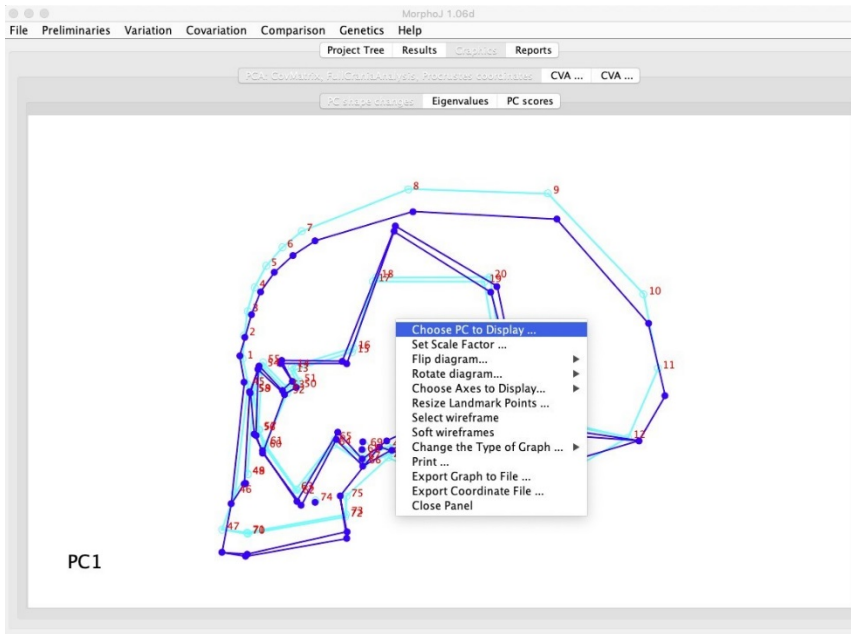


Figure 31. Sélection d'une autre PC sur MorphoJ.

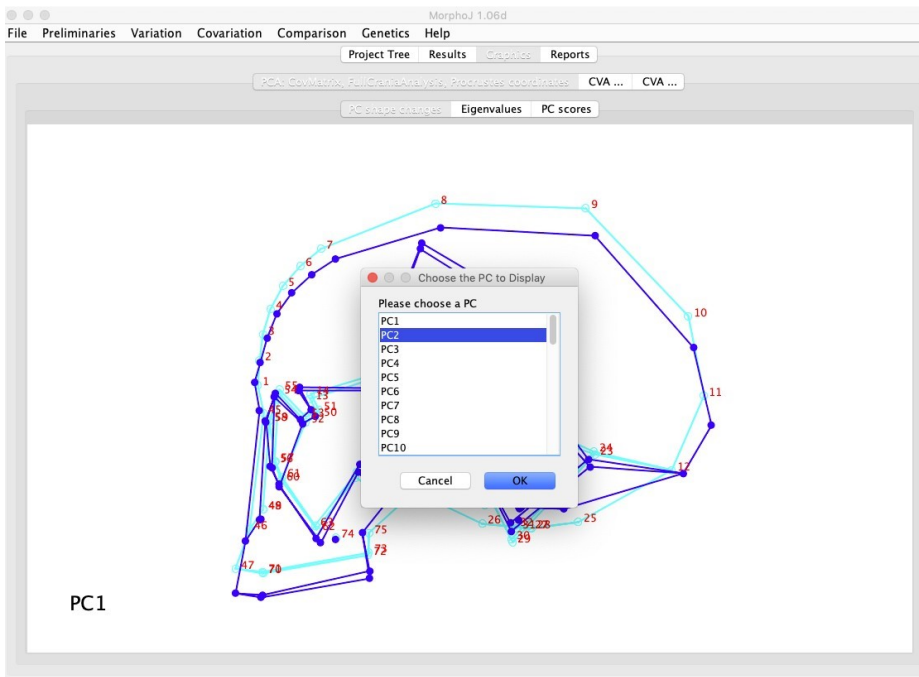


Figure 32. Sélection de la visualisation du changement morphologique sur la PC2 avec MorphoJ.

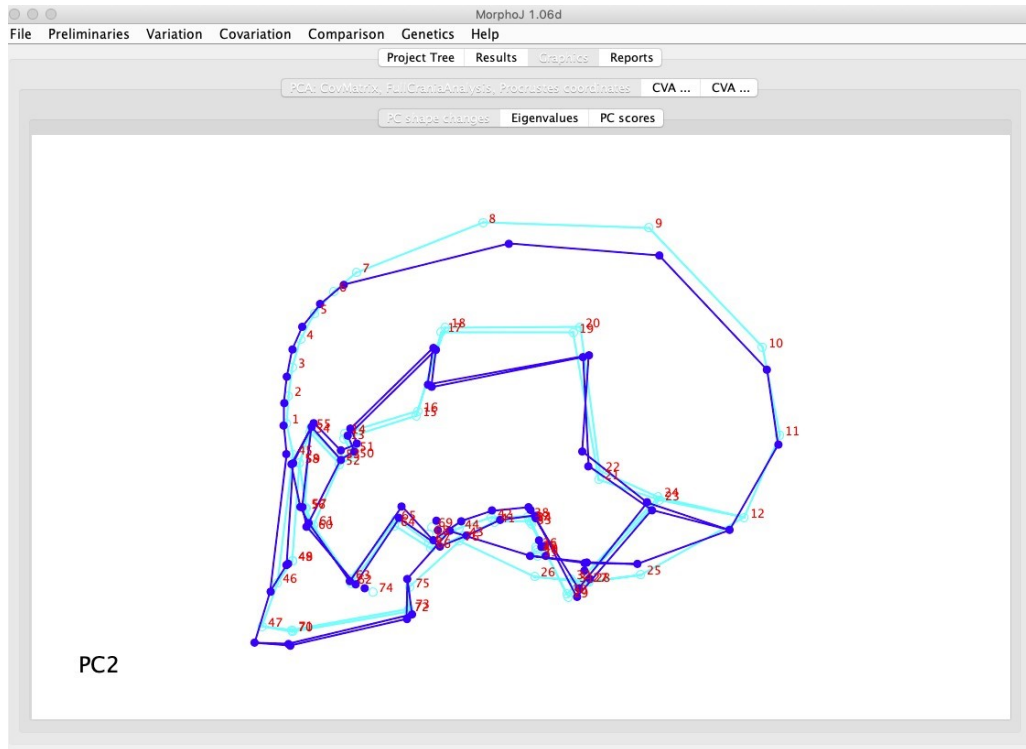


Figure 33. Visualisation du changement morphologique sur la PC2 avec MorphoJ.