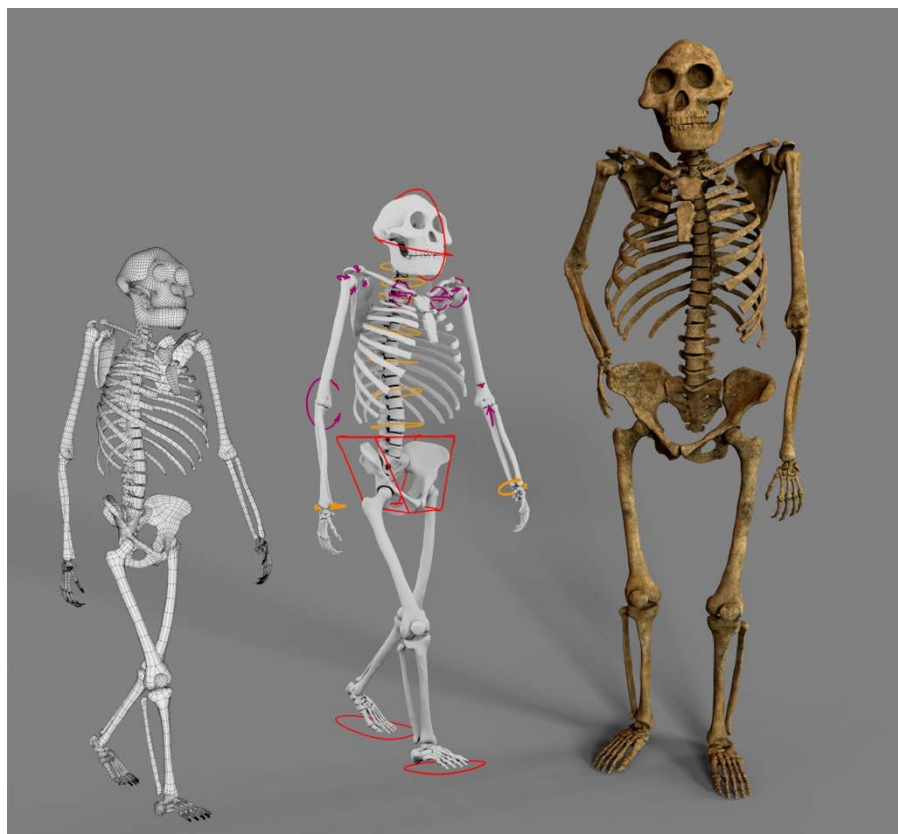


07.01.2025

# Lucy, entre reconstitution virtuelle et modèle physique

## L'apport de la numérisation 3D

Par Samba Soussoko



Modèles 3D du squelette de l'Australopithèque Lucy. © Laetoli Production

*Sous l'égide du Musée national d'Histoire naturelle du Luxembourg, une collaboration entre chercheurs, médiateurs, sociétés spécialisées et artistes a permis l'élaboration d'un modèle 3D, d'un modèle physique et d'une reconstitution sculptée de la plus célèbre des Australopithèques. Ces modèles sont mis en valeur dans un dispositif muséal interactif qui invite à comparer la locomotion chez l'humain, le chimpanzé et une Australopithèque.*

### À propos de l'auteur

*Samba Soussoko est auteur-réalisateur spécialisé en vulgarisation scientifique. Il travaille en collaboration avec des muséums et des laboratoires de recherche à des projets liés à la dissémination des connaissances. Basé à Strasbourg, il a fondé la société Laetoli Production qui propose des films d'animation, des applications interactives et de l'expertise en médiation scientifique.*

[contact@laetoli-production.fr](mailto:contact@laetoli-production.fr)

Au printemps 2023, j'ai été sollicité par l'équipe du Musée national d'Histoire naturelle du Luxembourg pour travailler à l'élaboration d'un espace de l'exposition permanente dédié à la bipédie humaine. Il nous paraissait évident d'aborder le propos à travers le prisme de l'évolution ; de là à l'anatomie comparée il n'y avait qu'un pas...

Nous avons alors choisi de comparer les squelettes d'un humain (*Homo sapiens*), d'un chimpanzé (*Pan troglodytes*) et de l'Australopithèque Lucy (*Australopithecus afarensis*) que le grand public connaît bien sans pour autant cerner ses particularités. Nous pensions qu'il y avait un véritable enjeu à pouvoir présenter un modèle physique de son squelette associé à une version virtuelle que nous utiliserions pour faire de l'anatomie comparée interactive. Le squelette de Lucy est exceptionnellement complet du point de vue scientifique mais il est visuellement très parcellaire et difficile à interpréter pour les non spécialistes. Le crâne est quasiment absent, les phalanges des mains réduites à deux éléments. Nous avons donc opté pour une reconstruction complète du squelette.



Le squelette de l'Australopithèque Lucy, un puzzle incomplet. CC-BY-SA 3.0 120

## La préparation virtuelle

### Les sources

Je me suis tout d'abord rapproché de Tara Chapman (Institut royal des sciences naturelles de Belgique – IRSNB) et Gilles Bérillon (Muséum national d'Histoire naturelle – MNHN, Paris) qui, en plus d'assurer le conseil scientifique du projet, ont su me renvoyer vers diverses sources disponibles. Steven Churchill (Université de Duke – États-Unis) a ensuite rejoint ce conseil scientifique pour des détails très fins de la morphologie de l'épaule. J'ai ainsi pu

travailler avec les numérisations de l'ensemble des os de Lucy (54 pièces) ainsi que celles de parties d'autres individus, les fameux spécimens AL-333 retrouvés dans l'Hadar en Éthiopie, aimablement prêtées par le MNHN. Comme référence pour le crâne, j'ai pu utiliser la version d'une reconstitution en plâtre réalisée par le Département d'anthropologie et évolution de l'Université de Duke. Se sont ajoutées à ces données 3D diverses références en images (schémas prospectifs réalisés par des paléontologues, proposition de remontage par d'autres équipes, etc.).

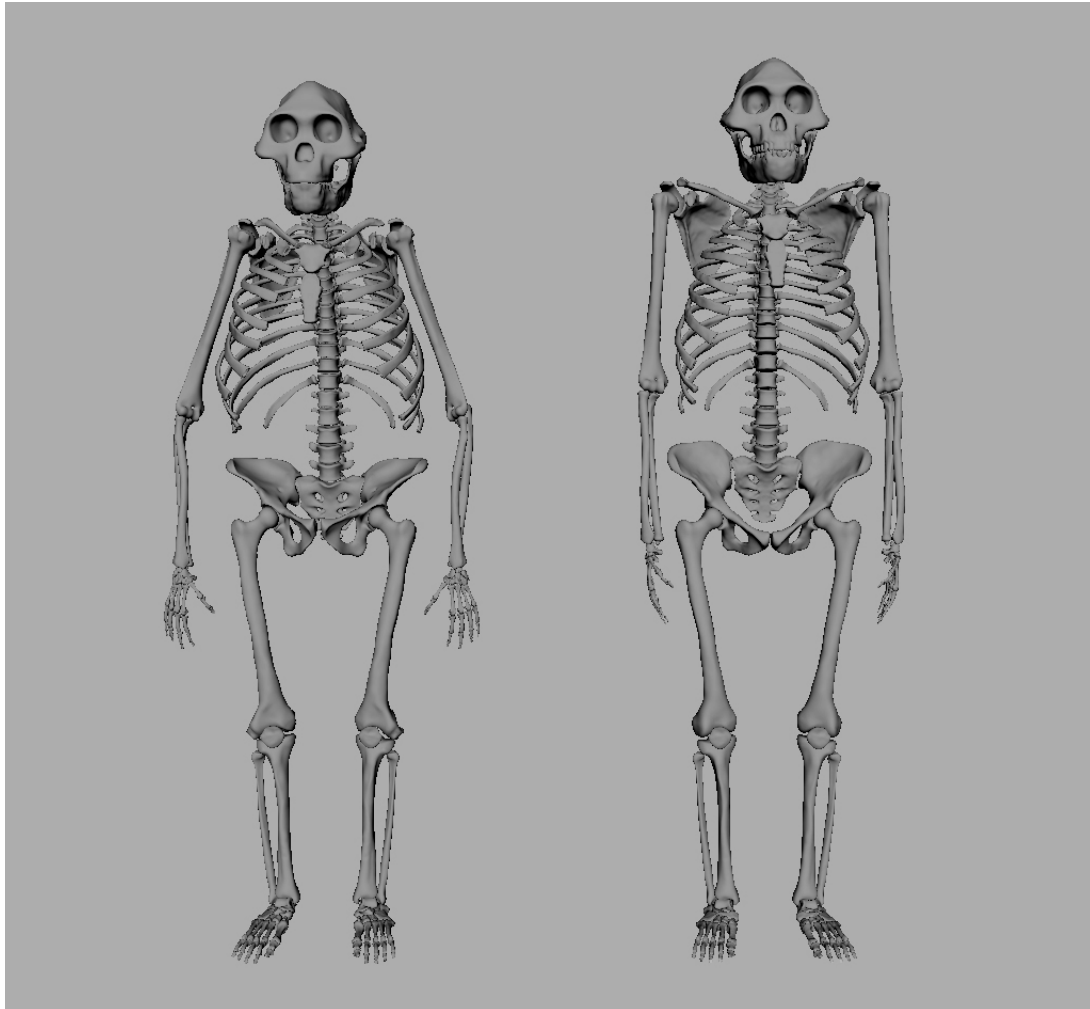


La pose retenue pour le modèle physique du squelette de l'Australopithèque Lucy. © Laetoli Production

### *La modélisation*

À ce stade il a fallu procéder à une modélisation très simple afin de faire valider l'allure générale du squelette avant de détailler les pièces individuelles. Ce travail minutieux a demandé beaucoup d'échanges avec les scientifiques référents. Les parties complètement manquantes ont été reconstruites en cohérence avec les articulations des os existants et les contraintes liées à une bipédie permanente. Une fois un premier remontage validé, j'ai procédé à la mise en détail de chaque pièce. Étape indispensable pour assurer un aspect

réaliste à l'ensemble, il s'agit de procéder à de la sculpture numérique comme on le ferait avec une pièce réelle en terre glaise. Petit à petit, on définit les surfaces articulaires, les insertions musculaires connues et les aspérités tout en veillant à inclure des imperfections et des traces d'usure.

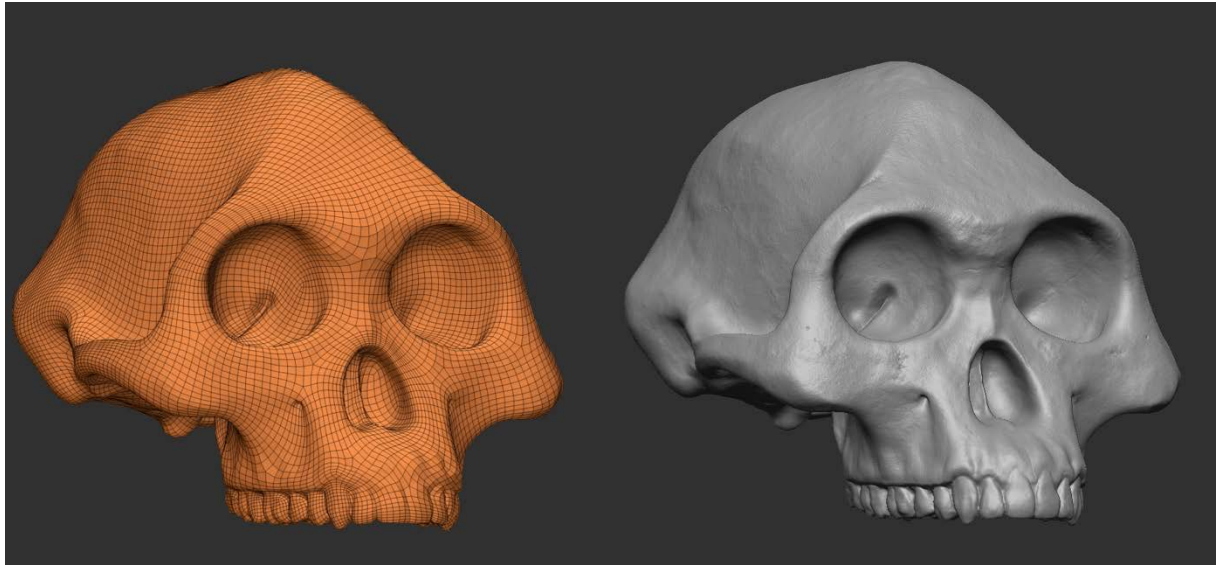


Sur le spécimen de gauche, le choix de la longueur des clavicules n'est pas correct car les bras doivent pouvoir être libres du tronc. À droite, la version corrigée. © Laetoli Production

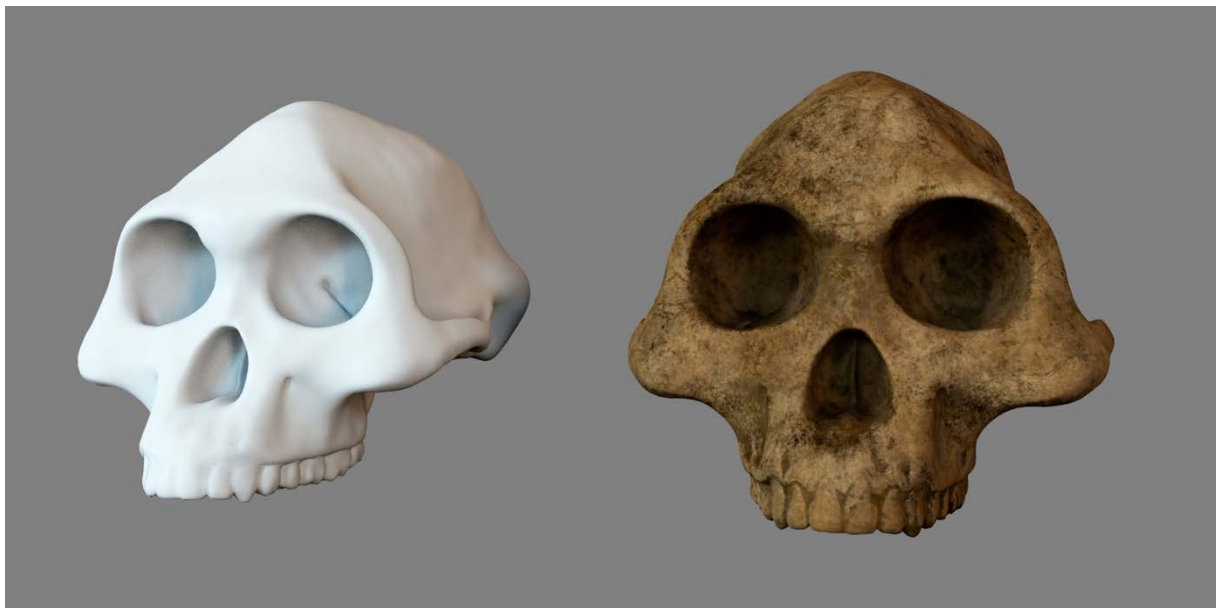
### *La mise en couleur*

L'application de texture a été réalisée dans les logiciels Substance Designer et Substance Painter (Adobe), le premier permettant de concevoir une texture semi-procédurale (1) tout en gardant un contrôle précis, le second permettant d'appliquer et d'adapter celle-ci à chacun des os. J'ai conçu la texture en utilisant les informations fournies par le modèle haute définition pour simuler du dépôt de couleur dans les creux, de l'usure sur les parties exposées et de l'accumulation de poussière dans les recoins. J'ai ajouté à cela des marques

aléatoires (tâches, marques, variations de couleur, égratignures, etc.) afin de renforcer l'aspect réaliste de l'ensemble.



Dans le logiciel de sculpture numérique Zbrush (Maxon), à gauche une modélisation simple du crâne de Lucy, à droite sa version sculptée.  
© Laetoli Production



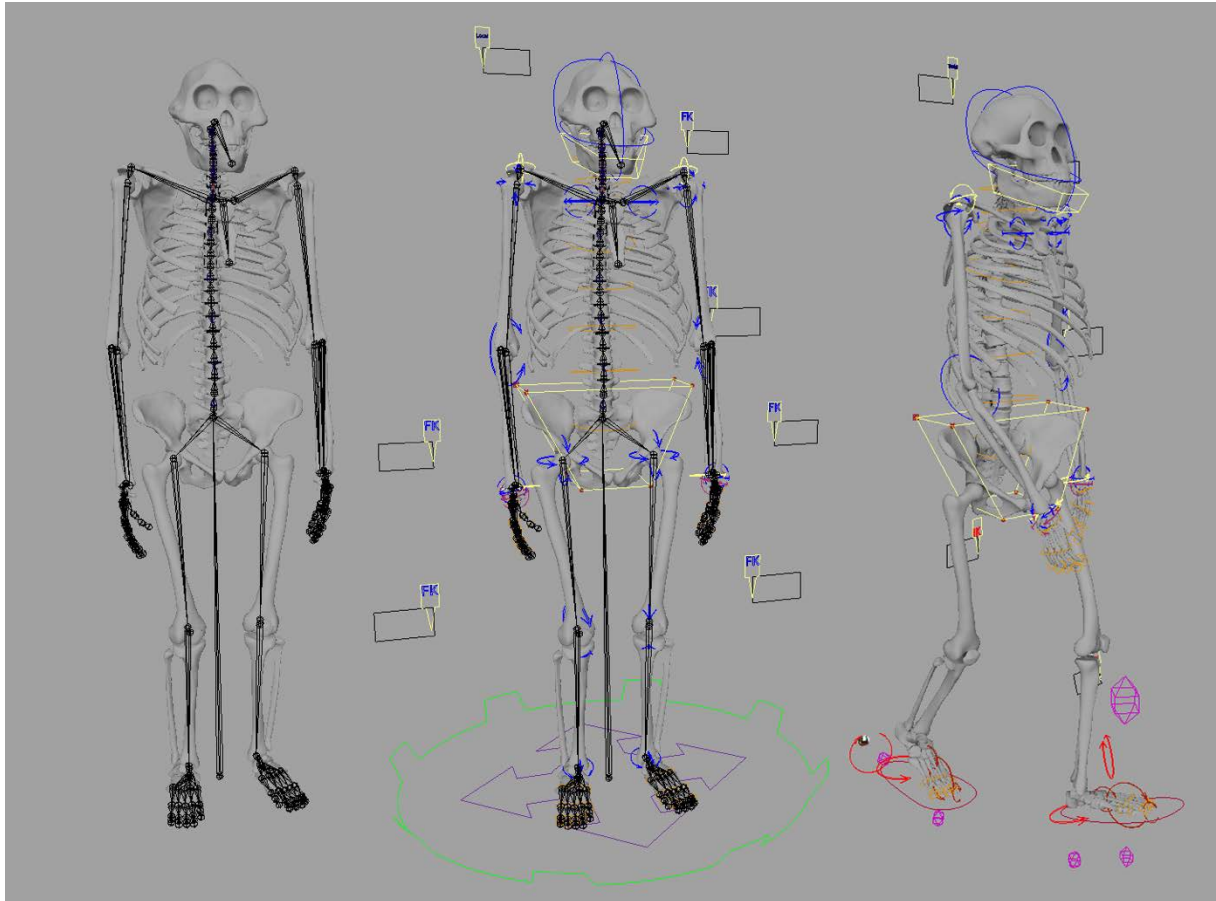
Le modèle 3D nu et sa version texturée. © Laetoli Production

### *Le rigging*

Une fois ce modèle prêt, j'ai créé dans le logiciel d'animation Maya (Autodesk) des contrôles pour manipuler finement le spécimen, ceci dans l'idée de pouvoir animer la version basse définition et de positionner la version haute définition en vue d'une impression 3D. Cette opération, appelée « rigging », consiste en la construction d'une architecture interne à la



structure que l'on souhaite manipuler, architecture complexe elle-même manipulable par des contrôles plus simples et intuitifs utilisables par un animateur 3D. Passée cette étape, il est possible de donner au squelette virtuel toutes les positions souhaitées. En modifiant ces positions dans le temps, il est possible de créer des animations.



À gauche, deux squelettes dans le logiciel Maya (Autodesk) avec leurs contrôles visibles. À droite, le squelette en mouvement.  
© Laetoli Production

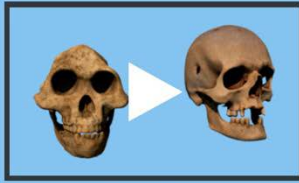
## Montrer la locomotion comparée au public

L'enjeu de ce dispositif muséal était de replacer Lucy dans un contexte évolutif en s'efforçant d'aller à rebours des idées reçues véhiculées dans les médias grand public, et notamment l'idée selon laquelle Lucy serait notre ancêtre. La contribution majeure de la découverte des restes de cette Australopithecine a été de documenter l'évolution des Homininés, trois millions d'années après leur séparation d'avec les chimpanzés. Il nous a donc paru primordial d'axer notre dispositif sur une comparaison entre le chimpanzé, l'humain et Lucy. En utilisant les possibilités offertes par l'animation nous avons pu aisément utiliser la locomotion comparée comme outil pédagogique. Nous avons ainsi réalisé sept animations didactiques. La première, dont les éléments essentiels sont repris dans un texte fixe associé au dispositif, resitue nos trois spécimens dans l'histoire évolutive des primates : le chimpanzé est l'espèce actuelle la plus proche des humains mais ceux-ci, comme Lucy, font partie d'une lignée qui s'est séparée des chimpanzés il y a environ sept millions d'années. Mais Lucy ne fait pas partie de nos ancêtres, il s'agit plutôt d'une cousine très éloignée. Les autres animations se concentrent chacune sur une partie du corps qui a été modifiée au cours du temps par une locomotion particulière : l'humain est un primate strictement bipède qui est le seul dans cette famille à pouvoir pratiquer la course mais ses bras adaptés à une motricité fine ne lui permettent pas de grimper. Lucy est aussi strictement bipède mais la morphologie de ses épaules suggère de bonnes capacités arboricoles. Le chimpanzé est celui qui a la motricité la plus variée : tantôt un bipède chancelant, tantôt un quadrupède efficace au sol, il est aussi très à l'aise dans les arbres.

# Lucy, notre cousine



Comparaison générale



Le crâne



Le bras et l'épaule



La main



Le bassin



Le pied

FRANÇAIS

DEUTSCH

ENGLISH

LËTZEBUERGESCH

| Le menu du lecteur interactif permettant au visiteur de naviguer entre les animations. © Laetoli Production, graphisme : alxgraphiste.com

## Remontage d'un modèle physique

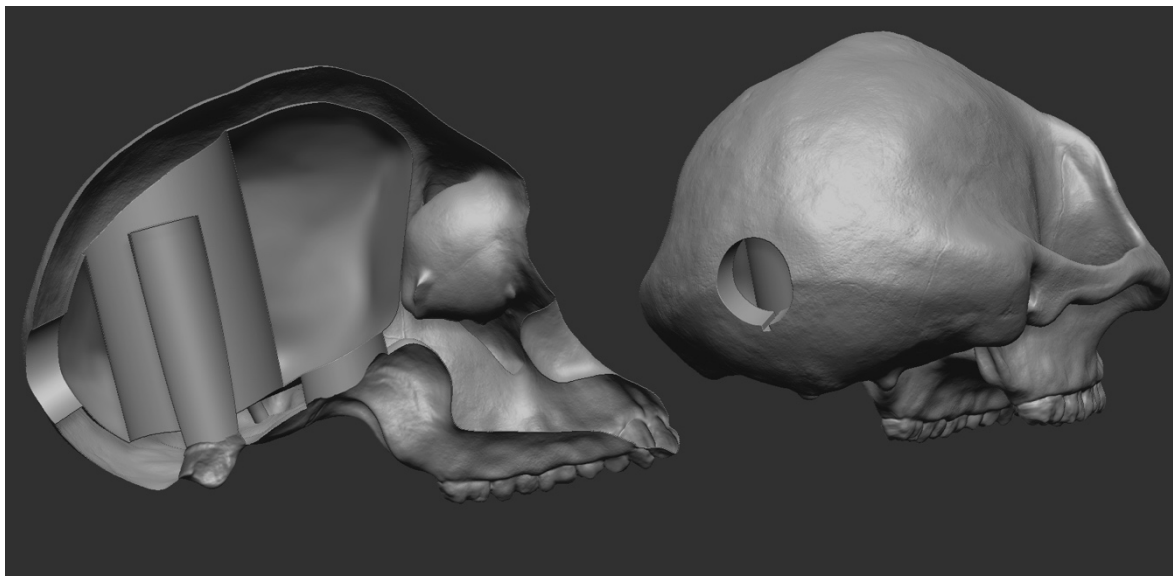
Comme nous avons à disposition les outils pour aisément manipuler le squelette, nous avons pu échanger de manière très fluide autour de la pose finale du modèle. Il fallait une pose plutôt dynamique qui reste cependant techniquement réalisable. Nous avons finalement opté pour un instantané au milieu d'un cycle de marche. Nous avons eu de longs échanges avec les prestataires retenus pour la fabrication du squelette, Maxime et Thierry Schneider de la société CAD'indus (2) chargés de l'impression 3D, et Jonica Dos Remeidios en charge du remontage. Le modèle étant en contact avec le public et devant rester pérenne dans le temps, il devait être soutenu par une armature métallique à la fois solide et discrète. Les techniques habituelles, pour des spécimens déjà existants, nécessitent de percer certains os et de créer des pièces de soutien le moins visibles possible. Mais pour notre projet nous pouvions intervenir en amont, avant l'impression des pièces, c'est-à-dire produire des pièces déjà percées. `



Le fémur gauche en deux parties prêtes pour l'impression. © Laetoli Production

Jonica Dos Remeidios a donc décrit précisément l'armature qu'elle souhaitait mettre en place et Maxime Schneider a détaillé les contraintes d'épaisseur minimale nécessaire à la solidité des pièces. Avec ces éléments, j'ai procédé à la préparation des pièces. La colonne n'a pas demandé d'intervention, les vertèbres étant naturellement percées. Les os longs assez épais (fémur, tibia, humérus, ulna) ont été virtuellement percés d'un tube de quelques millimètres puis coupés en deux dans le sens de la longueur. Les deux parties ainsi imprimées ont donc pu être simplement recollées autour de leur tige de métal lors du remontage physique. Tous les petits os (poignets, chevilles, phalanges) ont été finement percés afin de les enfiler facilement sur un fil de fer. Le crâne a demandé le travail le plus minutieux. Pour des questions de poids et de solidité, il devait être creux mais il devait tout de même comporter un soutien afin de le relier à la tige métallique sortant de la colonne. Ce choix a nécessité de trouver une solution pour extraire le matériau support (généré par l'impression 3D pour stabiliser les couches supérieures) encapsulé à l'intérieur. J'ai donc procédé en trois étapes : évidement de la pièce, création d'une pièce de soutien intérieure accessible par le trou occipital, création d'un bouchon à l'arrière épousant parfaitement la forme du crâne et permettant l'évidement.





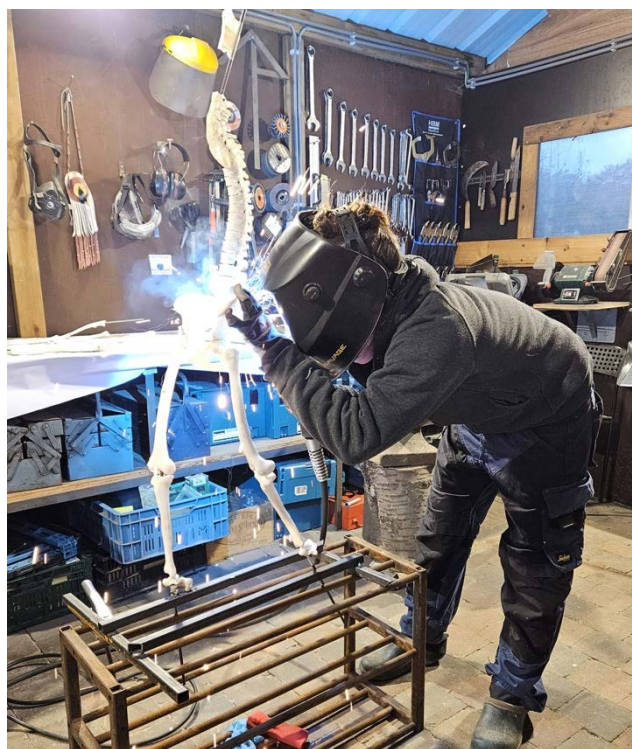
Coupe du crâne à imprimer, système de bouchon. © Laetoli Production

L'ensemble du squelette, composé de plus de 200 éléments, a ensuite été réalisé en impression 3D par CAD'indus. Leur travail a consisté à vérifier les fichiers, optimiser leur orientation, puis effectuer les finitions (retrait du support, nettoyage) après la fabrication. Une attention particulière a été portée au crâne : il a été proprement évidé, le bouchon arrière remplacé avec une finition rendant l'opération imperceptible.



Le crâne de l'Australopithèque Lucy en cours de finition après l'impression 3D, par la société CAD'indus. [www.cadindus.fr](http://www.cadindus.fr) © CAD'indus

Les pièces finies envoyées à Jonica Dos Remeidios ont été soigneusement étiquetées dans l'ordre du remontage, soit la colonne, le bassin et les os longs des jambes en premier, puis ceux des bras et enfin les éléments des extrémités (pieds, mains, tête). Le remontage a ainsi pu être effectué sans aucun perçage. La dernière étape a été celle de la mise en couleur du squelette monté. Cette phase a été anticipée très en amont puisque dès la première modélisation d'une pièce en haute définition, celle-ci avait été imprimée et envoyée à Jonica Dos Remeidios pour tester la réaction de la peinture sur la résine. Ce n'est qu'après sa validation que l'ensemble des pièces est passé en production effective.



Le modèle physique de l'Australopithèque Lucy en cours de remontage par Jonica Dos Remeidios [www.raphus.be](http://www.raphus.be) © Raphus

## Conclusion

Finalement, le même modèle virtuel à différents niveaux de définition a été utilisé tout au long du projet, que ce soit pour la validation scientifique, les animations didactiques ou la reconstitution physique du fossile. Cette collaboration entre plusieurs acteurs de domaines parfois éloignés (médiation, recherche scientifique, sculpture numérique, remontage de fossiles, impression 3D) s'est avérée très enrichissante et a confirmé l'intérêt d'une préparation virtuelle avancée, y compris pour l'élaboration d'un modèle physique. L'ensemble des procédés et des méthodes que nous avons mis en place sera une référence précieuse pour d'autres projets à venir...





| Sculpture de l'Australopithèque Lucy par l'artiste Lisa Büscher. [www.lifelike-figures.com](http://www.lifelike-figures.com) © Lisa Büscher

## Une reconstitution de Lucy de son vivant

En parallèle de ce travail sur le squelette, le Musée national d'Histoire naturelle du Luxembourg a souhaité faire réaliser une sculpture de Lucy la représentant de son vivant. Cette tâche a été confiée à l'artiste Lisa Büscher qui s'est basée sur les mensurations et la position de notre squelette.

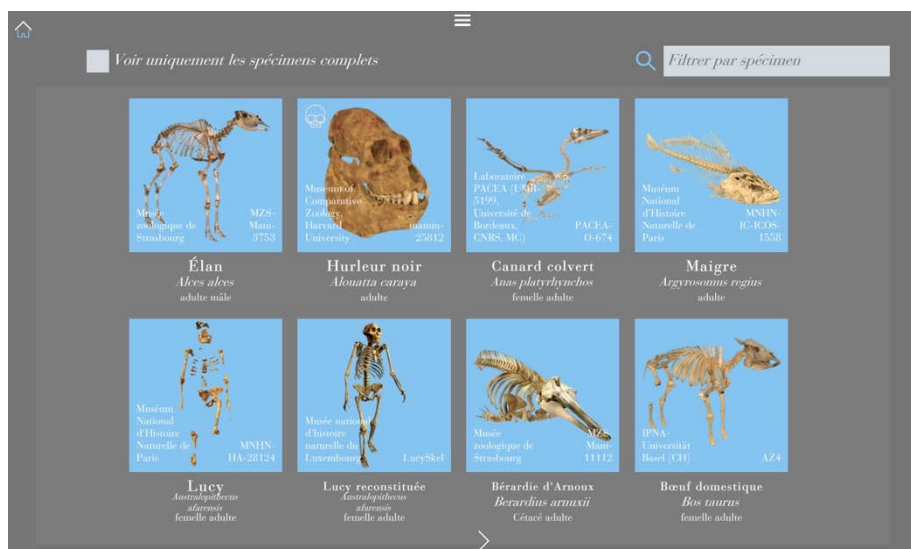
## Vertébrés, une application 3D d'anatomie comparée et un atlas d'ostéologie interactif

L'application Vertébrés, dont le projet a été initié en 2017, est le fruit d'une collaboration entre le laboratoire Archimède UMR 7044, Archéologie Alsace, le Muséum national d'Histoire naturelle de Paris, l'Institut des sciences naturelles de Belgique, le Muséum national d'Histoire naturelle du Luxembourg et Laetoli Production. Vertébrés est une application 3D à la fois outil d'anatomie comparée et atlas d'ostéologie interactif. Elle permet de manipuler les avatars numériques de véritables spécimens numérisés en haute définition os par os et remontés virtuellement en connexion anatomique. Elle est munie d'outils de mesure et de mise à l'échelle ainsi que d'un rédactionnel détaillé pour chaque os et chaque spécimen. Elle contient également un module d'anatomie comparée permettant de repérer, d'un spécimen à l'autre, les structures homologues du point de vue évolutif.

L'application se décline en deux modes, mode normal et mode expert, pour un usage destiné à un très large public : chercheurs, enseignants, étudiants, élèves, artistes, amateurs, public de muséums. Elle est mise à disposition gratuitement sous environnement Windows, MacOS, Android et WebGL. [www.vertebres3d.fr](http://www.vertebres3d.fr)

Dans le cadre de sa mission de diffusion au plus grand nombre, le MNHL a souhaité mettre à disposition du public la reconstitution du squelette de Lucy. Celui-ci peut donc être dès à présent manipulé dans l'application Vertébrés :

[www.vertebres3d.fr/specimens-detail/673b521c9c209e3896e41e6e](http://www.vertebres3d.fr/specimens-detail/673b521c9c209e3896e41e6e)



Vertébrés, une application 3D d'anatomie comparée et un atlas d'ostéologie interactif. © Laetoli Production



## Notes

---

(1) Une texture procédurale est une texture générée par des algorithmes en fonction de paramètres modifiés par l'artiste. Lorsque des techniques de peinture virtuelle et de modifications d'images existantes sont associées à ce procédé, on parle de texture semi-procédurale. pièces solides, qui peuvent aisément se monter et se démonter, s'enlever une à une, comme dans une véritable dissection. »

---

(2) Le procédé de fabrication additive qui a été sélectionné par CAD'indus pour ce projet est la technologie PolyJet, qui repose sur la projection de matériaux (de multiples têtes d'impression projettent des gouttelettes de résine photopolymère et chaque couche est simultanément solidifiée sous l'effet de lampes UV). Cette technique d'impression, alliant haute résolution, précision et rapidité, convient particulièrement pour la fabrication de modèles anatomiques, grâce à la capacité de la résine VeroPureWhite à reproduire fidèlement l'apparence et les propriétés de l'os.

---