



**UNIVERSITÉ
DE GENÈVE**

FACULTÉ DE PSYCHOLOGIE
ET DES SCIENCES DE L'ÉDUCATION

Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication

Volée VOLT (2015-16)
STIC-IV (UF 75343)

Design et fabrication de kit constructifs

[Les os de la main](#)

Septembre 2015 - Janvier 2016

Alexandra Theubet
Kim Schmidt

Table des matières

Abstract

Introduction

Principe

Idée de base

Public cible

Réalisation

Mise en place

Prototypage

- Structures 3D en format exportable

Impression

- Statut des impressions

Résultats

Retour sur l'impression

Usability testing

- Méthodologie
- Protocole de passation
- Public cible choisi

Synthèse des résultats obtenus lors des passations

- Difficultés
- Procédures observés
- Conclusion

Partie réflexive

Conception du dispositif

- Choix du sujet
- Conception & Prototypage

Impression 3D

Usability Test

- Scénario pédagogique
- Utilisation et manipulation
- Matériel à disposition

Annexe

Ressources

Bibliographie

Abstract

Objectif Obtenir un puzzle éducatif de la main humaine aux proportions 150%. Le but est de permettre aux professionnels de la santé novice ou non de s'approprier rapidement la spatialité des os de la main humaine. Pour ce faire, l'utilisateur a sa disposition des outils pédagogiques (un TEXTBOOK et un outil TICE) qu'il peut utiliser ou non.

Description La main humaine est composée de 27 os (sans les sésamoïdes). Il peut être ardu de se représenter ces structures ainsi que de quelle manière elle s'articulent. Ainsi ce kit pédagogique permet de s'immerger dans un jeu anatomique. Et au terme obtenir un outil tridimensionnel aux proportions réelles. L'utilisateur peut également intégrer les structures cartilagineuses ad hoc afin de parfaire sa production.

Conception Le prototype a été réalisé à partir d'images tomodensitométriques réelles. Une fois les données DICOM acquises elles ont été traitées pour pouvoir être exportées en .stl pour au terme être imprimée grâce à une des imprimantes 3D mise gracieusement à disposition par D. Schneider.

Hypothèse L'utilisation d'un tel outil, intégré dans un scénario pédagogique complet, permet à l'utilisateur d'asseoir ses acquis en matière d'anatomie de la main de plus la tridimensionnalité de l'outil donne la possibilité à l'utilisateur de structurer ses connaissances propres à chaque structure de la main.

Test La phase de test s'est déroulée en deux parties : test-préliminaire et test utilisateur. Respectivement pour valider la réalisabilité du processus et déterminer la pertinence d'un tel dispositif. Le kit pédagogique a été testé sur un échantillon de 7 personnes. L'ensemble des tests se sont déroulés au mois de Janvier 2016 avec un public cible de professionnels de la santé (TRM + N&D).

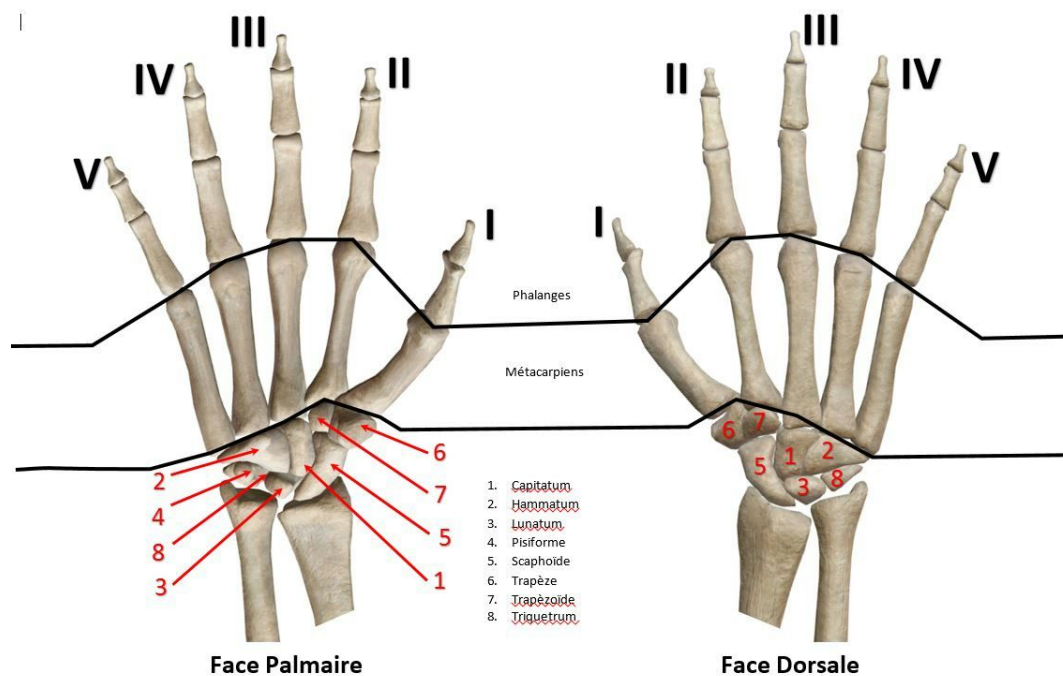
Résultats Des tests utilisateurs menés, deux aspects ressortent majoritairement:

- La scénarisation pédagogique de l'outil constitue le référentiel d'apprentissage des apprenants. Ainsi l'intégration du contenu doit être optimale pour permettre à l'apprenant d'assimiler correctement les notions qui doivent l'être.
- L'utilisation et la maniabilité de l'outil telles qu'elles le sont présentée actuellement ne permettent pas une prise en main fluide de l'outil pédagogique. Ainsi il serait nécessaire de trouver un moyen plus efficace que la pâte à modeler pour représenter les segments ligamentaires et le cartilage.

Conclusion Le kit pédagogique qui a été développé s'est montré lors des tests très facilement utilisable hormis le fait que l'utilisation du liant qui s'est montrée infructueuse.

Introduction

Il a été décidé d'axer la mise en oeuvre de ce kit pédagogique sur une réflexion sur l'anatomie humaine. En effet, les membres du groupe sont toutes les deux issues du milieu médical (respectivement nutrition et diététique (N&D) et technique en radiologie médicale (TRM)). L'exemple de la main humaine a été sélectionné car très aisément réalisable, dont l'anatomie est apprise par les étudiants HES dès leur année de module complémentaire (année propédeutique).



Principe

Le kit pédagogique est composé de 27 pièces (9 carpe, 5 métacarpes et 14 phalanges). Le but de ce type de kit est de:

- Permettre aux utilisateur de manipuler les os de la main (et par voie de conséquence se rendre compte des dimensions proportionnées, des articulations possibles ainsi que de la forme réelle des os)
- Permettre aux utilisateurs, de recréer la main ainsi que les articulations qui la composent (ce qui leur permet de se représenter les os, leurs emplacements et leurs articulations avec les os adjacents)
- Permettre aux étudiants de manipuler les os de la main comme ils pourraient le faire avec les os du crâne dont il existe un grand nombre de modélisations.

Idée de base

De part leur cursus, les étudiants TRM apprennent, avec précision l'anatomie de la main (os, tendons, muscles et autres structures). Cet apprentissage se fait très tôt dans leur cursus, ceci à cause de l'incidence de réalisation de l'imagerie de la main dans la vie sur le terrain. En effet, après les examens du thorax, le membre supérieur est la zone qui est le plus réalisée en radiodiagnostic. Ainsi les étudiants, et les professionnels de l'imagerie médicale se doivent d'avoir des bases très solides en matière d'anatomie.

Public cible

Comme mentionné précédemment, le public cible peut être spécifique au monde médical (professionnels ou étudiants) ou non.

- Professionnel de la santé : ce kit pédagogique pourrait leur permettre de reprendre les aspects complexes des os de la main (articulations, facettes, sens,...). De plus pour des professionnels qui auraient un pied dans l'enseignement, ce kit pourrait être utilisé comme support pédagogique à l'enseignement de l'anatomie et/ou de l'imagerie radiologique de la main. Correctement intégré dans un scénario pédagogique, cet outil pourrait constituer une grande aide.
- Étudiants en profession de la santé: ce kit pourrait permettre à des étudiants de la santé d'accroître leurs connaissances en anatomie de la main. En effet, le fait d'utiliser ce type de support, en plus des traditionnels supports, pourrait leur permettre de mieux assimiler cette anatomie très spécifique.
- Public a-spécifique : nous risquons le paris que ce puzzle composé de pièces anatomiques aux proportions réelles puisse intéressé un public hors des professions médicales, pour le jeu ainsi que pour le challenge que ce type d'outil propose.

Réalisation

Cette partie va mettre en avant l'ensemble des procédures qui ont été mise en place de la genèse du projet à l'impression proprement parler.

Mise en place

Pour pouvoir mettre en place un tel dispositif il nous fallait tout d'abord une imagerie tomodensitométrique d'une main, qui ne présenterait pas d'altération majeure. Ce que nous avons en notre possessions. Une fois les images complètement anonymisées. Nous avons pu commencer le traitement des images.

Dans un premier temps nous avons essayé d'exporter les structures osseuses directement depuis le Client¹, ce dernier comportant une fonction d'export de données en .stl. Mais cet essai a été infructueux, en effet, il ne nous a pas été possible d'isoler les structures osseuses. Ainsi, après l'export, nous avons obtenu un espère ce rendu volumique comportant des bouts d'os, des structures musculaires et des artefacts. Ces données n'étaient, en l'état pas du tout exploitables et leur post-traitement aurait été bien trop chronophage, ainsi nous avons décidé d'essayer une autre méthode.

Deuxième essai: nous avons commencé par exporter les images depuis le Client en format .dcm². Ce format nous donne la possibilité de travailler les images sur Osirix³. Sur ce support nous avons:

- Effectué une reconstruction MIP (maximum intensity projection) : ce qui nous a permis de faire "apparaître" les os ou tout du moins d'effacer les structures autres que les os.
- Effectué une segmentation semi-automatique sur les structures osseuses, ce qui n'a malheureusement pas marché (à la suite de cette manipulation nous avons obtenu une structure, tronquée, de l'ensemble des os, sans possibilité de les séparer. Ce qui ne nous était pas utile).
- Pour remédier à ce problème, nous avons isolé un à un les os composant la main, puis avons effectué une segmentation semi-automatique sur chacun des structures.
- Ensuite, nous avons transformé ces données en une succession de rendus volumiques que nous avons exportés un à un en .stl.

Pour pouvoir exporter convenablement les .stl, nous avons également utilisé le logiciel DeVide qui nous a permis d'une part de segmenter l'objet, de le lisser et pour terminer de réparer d'éventuelles mailles cassées.

¹ La dénomination de Client correspond à un logiciel appartenant à une grande marque d'outils radiologiques.
















² Le format .dcm correspond au standard médical DICOM - Digital Imaging and Communications in Medicine -





³ Osirix est un viewer dédié à l'imagerie médicale. Accès: <http://www.osirix-viewer.com/>





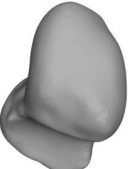



Une fois tous les .stl obtenus, nous avons créé un répertoire dans lequel nous avons méthodiquement archivé les données obtenues, histoire de ne pas confondre.

Prototypage

Les dimensions ne sont pas forcément respectées.

Phalanges (distales – médianes – proximales)				
Pouce (1)	Index (2)	Majeur (3)	Annulaire (4)	Auriculaire (5)
				
				
				

Métacarpe				
Pouce (1)	Index (2)	Majeur (3)	Annulaire (4)	Auriculaire (5)
N/A				

Os du carpe			
Capitatum	Hamatum	Lunatum	Pisiforme
			
Scaphoïde	Trapèze	Trapézoïde	Triquetrum
			

Structures 3D en format exportable

Dans les cases se trouvent les liens vers le serveur tecfaetu sur lequel se trouvent les modélisations qui ont été préparées (les fichiers sont en .stl).

	Carpe	Méta-carpe	Phalanges		
			Proxi.	Médiane	Distale
Colonne I	Capitatum	I_M	-	I_P_M	I_P_D
Colonne II	Hamatum Lunatum	II_M	II_P_P	II_P_M	II_P_D
Colonne III	Pisiforme Scaphoïde	III_M	III_P_P	III_P_M	III_P_D
Colonne IV	Trapèze Trapèzoïde	IV_M	IV_P_P	IV_P_M	IV_P_D
Colonne V	Triquetrum	V_M	V_P_P	V_P_M	V_P_D

Impression

Les impressions ont été réalisées sur une des imprimantes de D. Schneider, d'une part lors de l'évènement HackDay au campus de Batelle et d'autre part à l'unité TECFA au campus de Pignon.

Statut des impressions

Dans les cases se trouvent les liens vers le serveur tecfaetu sur lequel se trouvent les montages propres à l'impression (les fichiers sont en .gco).

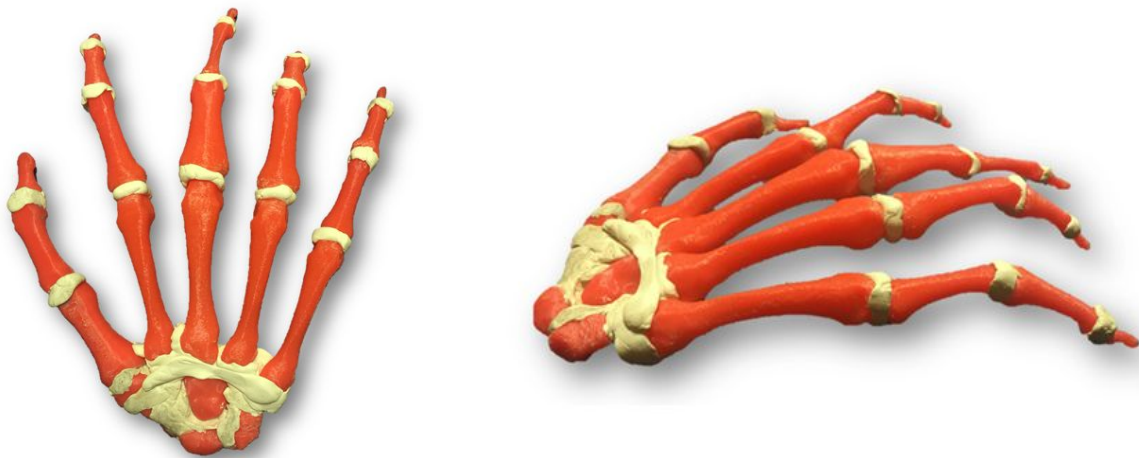
Date	Structure	Data	Commentaire
28.11.15	Carpe	Model_Carpe	Impressions lors du HackDay Batelle Imprimante utilisée Félix 2.0 Difficultés : proportion d'impression.
	Colonne I	Model_Pouce	
08.01.16	Colonne II	Model_Index	Impression lors d'une réservation standard. Imprimante utilisée Félix 2.0 Difficultés : utilisation de l'imprimante + utilisation du système embarqué pour la lecture d'une carte SD
	Colonne III	Model_Majeur	
	Colonne IV	Model_Annulaire	
	Colonne V	Model_Auriculaire	

Résultats

Cette section présente les résultats que nous avons obtenus, aussi bien lors de la phase d'impression que dans la phase de test du kit constructif.

Retour sur l'impression

Les impressions se sont très bien déroulées dans l'ensemble. Les prestations ci-dessous ont été effectuées par le groupe de travail à la suite directe des impressions.



L'image de gauche montre une vue dorsale de la main gauche et l'image de droite une image latérale de la main. Les os ont été imprimés avec du PLA⁴ avec un taux de remplissage correspondant à la trabéculatation osseuse présente dans les os du patient. Le cartilage a quant à lui été modélisé avec de la patafix.

Usability testing

Méthodologie

Il a été décidé par le groupe de travail de réaliser un certain nombre de passations afin de pouvoir tester l'applicabilité et l'aisance d'utilisation du kit pédagogique "les os de de main". Le test utilisateur va éprouver deux variables de l'outil:

- La réalisabilité de l'exercice (à savoir remettre à leur place les os de la main - déterminer quels sont les os présentés et comment les disposer spatialement)

⁴ PLA : Polylactic acid

- L'aptitude de l'apprenant à se servir de supports pédagogiques externes de type TICE (Ipad doté d'un logiciel d'anatomie avancé de type VisibleBody ou Imaios) ou de type TEXTBOOK (Atlas d'anatomie).

L'utilisateur sera observé dans sa pratique et au terme de sa prestation, des questions de méthode de travail lui seront posées:

- *Quels outils ont été utilisés? Pourquoi ce choix d'outils?*
- *Comment a été perçu l'exercice du point de vue de sa difficulté? Quelles difficultés ont été rencontrées? Comment ont-elles été confrontées?*

Protocole de passation

Les os de la main imprimés en 3D sont présentés aléatoirement sur une table aux utilisateurs. Il est demandé de recréer une main avec les os en 3D avec de la patafix comme composant articulaire. Les utilisateurs ont à leur disposition un Ipad avec deux outils d'anatomie et une références en matière d'anatomie⁵.



Public cible choisi

Le public cible principal à lequel s'adresse cet outil est composé de professionnels (diplômés ou non) de la santé et plus précisément aux TRM. Néanmoins nous avons également prit la liberté de faire passer l'expérience à un public a-spécifique.

Synthèse des résultats obtenus lors des passations

Les passations se sont déroulées en deux phases distinctes: la phase de test préliminaire et celle de test utilisateur. Respectivement la première partie a permis d'effectuer un débroussaillage quant à l'utilisabilité et la réalisabilité de l'outil et la seconde permet d'axer l'observation et le questionnement quant aux processus cognitifs qui se sont opérés chez les utilisateurs. Les passations se sont déroulées à la Haute École de la Santé de Champel le 15.01.15 et le 22.01.15.

Les résultats qui ont été obtenus se trouvent [ici](#) (en googledoc) et [ici](#) (en pdf).

⁵ Olivier, G. (1959). Anatomie (Ostéologie - Arthrologie), Schémas de travaux pratiques. *Le squelette appendiculaire*. Vigot. 112p.

Difficultés

L'utilisation de la patafix a été difficile pour tous les participants. Des essais avec de la pâte à modeler avaient été réalisés par les deux créatrices du kit pédagogique, mais ceux-ci n'avaient déjà pas été concluant.

Les utilisateurs expliquent manquer de patience avec la reformation de la main, cela leur prend trop de temps.

Tous les utilisateurs se sont sentis dépassés par l'exercice qui leur a été proposé, car ils sont habitués à voir des images en 2D et non à pouvoir manipuler de la 3D.

L'orientation des structures a également posé de nombreux problèmes aux panels de testeurs. De plus, c'est les os du carpe qui ont posé le plus de problème.

Procédures observés

Les TRM arrivent tous à la même conclusion, ils auraient eu besoin d'images radiologiques à observer en plus du TICE et du textbook pour réaliser l'exercice.

Les TRM se sont rendus compte qu'ils avaient une vision erronés des différents os de la main, car ils ont l'habitude de les voir en 2D.

Tous les TRM n'ont pas procédé de la même manière pour réaliser la reconstitution des os. Ils ont cependant organisé les pièces méthodiquement en commençant par distingué les métacarpes et les phalanges pour terminer avec les os du carpe. Certains ont procédés inversement en commençant par les os du carpe. L'un des utilisateurs a dessiné une représentation de la main et a déposé les os dessus en écrivant également les noms, il a réalisé l'exercice plus rapidement que les autres.

Les testeurs ont utilisées à chaque fois les deux ressources mises à disposition, chacun à eu une préférence pour l'un ou l'autre.

Conclusion

Le panel d'utilisateur a conclu que le kit pédagogique n'est pas encore optimal. En effet, ni la patafix ni la pâte à modeler n'a convaincu pour simuler les cartilages et tendons, il faudra trouver quelque chose de similaire à la patafix mais plus collant.

Les TRM ont eu beaucoup de peine à manipuler de la 3D, car ils sont beaucoup plus habitués à la 2D, notamment la lecture de radio ou écran.

Les utilisateurs ont proposé d'intégrer ce kit à la suite d'un cours d'anatomie de la main, afin d'entraîner la visualisation en 3D des étudiants.

Partie réflexive

Cette dernière partie met en lumière les processus cognitifs auxquels le groupe de travail ont du faire appel pour la mise en place de ce kit pédagogique.

Conception du dispositif

Choix du sujet

L'anatomie de la main est une thématique très présente chez les professionnels de la santé. En effet de part la complexité anatomo-physiologique de cette structure, les enseignements qui y sont liés sont très nombreux. Actuellement, à la HEdS, les cours d'anatomie de la main sont dispensés frontalement et n'ont pas de support tridimensionnel hormis celui du squelette où les os sont déjà en place et où il n'est pas possible d'extraire de pièces pour les examiner précisément.

Ainsi le raisonnements de créer un kit pédagogique de la sorte a été induite par le fait que l'enseignement de l'anatomie du crâne est réalisée à l'aide d'outil tridimensionnels reprenant les formes osseuses crâniennes. McLachlan montre à travers ses écrits sur la pédagogie de l'anatomie⁶ que l'utilisation d'un tel dispositif est tout à fait adéquat et permet à l'apprenant de faire des liens concrets entre les aspects purement théoriques vus lors des cours magistraux et l'imagerie 3D qui est souvent utilisée à but de formation.

Conception & Prototypage

La conception des pièce a constitué la partie la plus technique du processus de mise en place de ce kit constructif pédagogique. En effet, bien qu'en possession d'une imagerie ad hoc, il a été nécessaire de convertir les images DICOM en format exploitable. Une fois les formats .stl obtenus il a été possible de travailler les volumes obtenus pour qu'ils soient imprimables.

Impression 3D

Une fois les fichiers .stl des os de la main disponible, il ne restait plus qu'à déterminer une manière de les imprimer. Dans un premier temps il a été réfléchi de les imprimer en une fois (pour que la gestion des dimensions des différent os soit plus aisée) mais très vite cette première solution s'est avérée impossible dans le sens que le logiciel d'impression proposait un "job" de plus de 20h (en impression rapide). Par la suite il a été décidé d'imprimer les os sous le format qui est proposé sous la rubrique "statut des impressions". A cette suite, il a été possible de les imprimer optimalement.

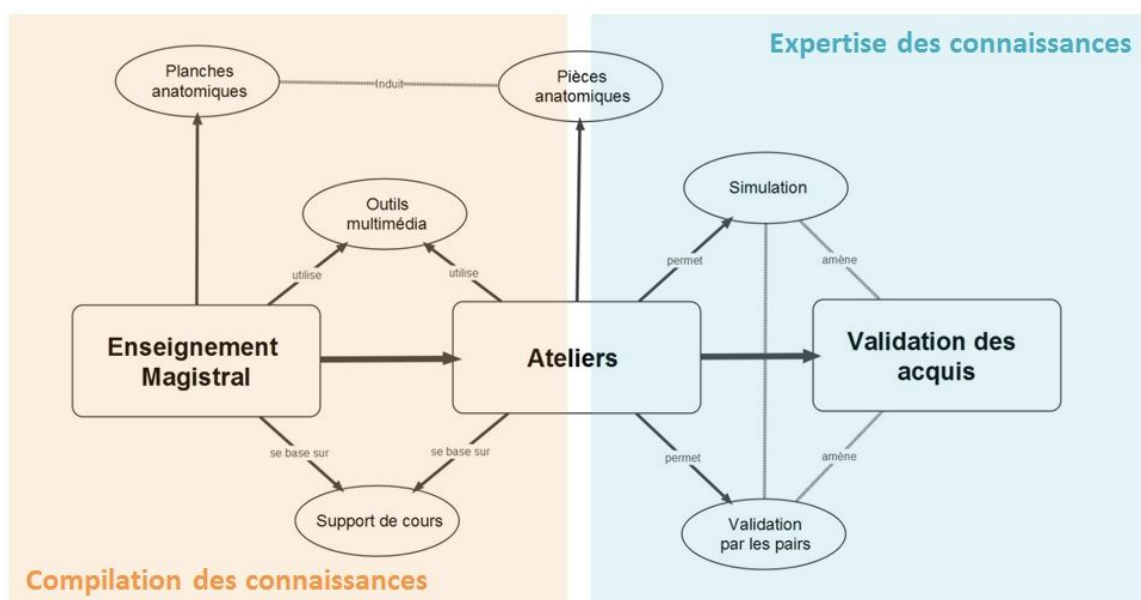
⁶ ● McLachlan J.C. (2004). New path for teaching anatomy: Living anatomy and medical imaging vs. dissection. *The Anatomical Record Part B: The New Anatomist* (vol. 281B).
● McLachlan J.C. (2004). Teaching anatomy without cadavers. *Medical Education* (vol 38).

La majeure difficulté de ce type d'impression est le fait que les structures sont longilignes et par conséquent nécessitent un nombre important de couches de PLA. Ainsi le risque de "dérapage" lors de l'impression est important. Par bonheur tout s'est déroulé correctement.

Usability Test

Scénario pédagogique

Comme l'explique Marion dans sa thèse⁷, la scénarisation pédagogique permet d'une part à l'apprenant d'inscrire son instruction dans un cursus complet et d'autre part lui permettre d'être acteur de sa formation. En effet, le scénario pédagogique optimal serait le suivant:



Dans la première phase (compilation des connaissances), l'apprenant acquiert les éléments, et théoriques et pratiques, qui lui seront utiles pour pouvoir procéder à l'expertise des connaissances (seconde phase) qui ont été acquises.

L'utilisation d'un outil 3D tel le kit pédagogique pourrait s'effectuer lors de la phase des "ateliers" dans lesquels l'apprenant va mettre en application les connaissances théoriques obtenues lors de l'enseignement magistral. Dans une certaine mesure, cet outil permet à l'apprenant d'une part de mettre en application la théorie déjà vue et d'autre part de auto-valider ses acquis. Ainsi le kit pédagogique des os de la main constituerait, entre autres une forme de "passerelle" entre "compilation des connaissances" et "expertise des connaissances". En effet, il permet d'une part à l'apprenant d'asseoir la théorie qu'il a eu et d'autre part de se conforter sur ses acquis.

⁷ Marion N. (2010). Modélisation de scénarios pédagogiques pour les environnements de réalité virtuelle d'apprentissage humain. (thèse de doctorat en informatique)

Utilisation et manipulation

La manipulation du kit pédagogique a posé un certain nombre de problèmes notamment concernant les points suivants:

- Temps nécessaire à l'appropriation correcte des segments du kit.
- Manipulation de la patafix pour coller/décoller les structures en entre elles.
- Similarité entre les structures distales (les phalanges se ressemblent énormément).

Ainsi, bien que les tests aient montré que la kit pédagogique est tout à fait adapté, il est toutefois toujours perfectible. Ainsi il pourrait être intéressant de proposer à l'utilisateur une "méthodologie" de travail qui lui permettrait d'appréhender au mieux l'exercice.

Matériel à disposition

Au cours des debriefing des tests utilisateurs, il a été systématiquement mention du fait qu'il aurait été intéressant d'avoir à disposition des clichés radiologiques face / oblique / profil de la main afin de pouvoir avoir une vision en transparence des structures. L'utilisation des images radiologiques permettrait à l'apprenant qui est déjà familier avec de telles images d'approcher l'exercice avec une vision plus proche de ce qui est déjà connu.

Annexe

- Résultats de l'Usability Testing ([GoogleDoc](#) + PDF)

Ressources

- [OpenScad](#) - The programmer solid 3D CAD Modeller
- [Repetier Software](#) - Hot-World GmbH & Co. KG
- [Osirix](#) - DICOM viewer
- [VisibleBody](#) - L'Atlas d'anatomie humaine
- [IMAIOS](#) - Site web médicaux et e-learning pour les professionnels de la santé
- Olivier, G. (1959). Anatomie (Ostéologie - Arthrologie), Schémas de travaux pratiques. Le squelette appendiculaire. Vigot. 112p.

Bibliographie

- Brento H. and al. (2007). Using multimedia and Web3D to enhance anatomy teaching. Computers & Education (vol 49).
- Mallon, W. et al. (1992). Radiographic and Geometric Anatomy of the Scapula. Clinical Orthopaedics.
- Marion N. (2010). Modélisation de scénarios pédagogiques pour les environnements de réalité virtuelle d'apprentissage humain. (thèse de doctorat en informatique)
- McLachlan J.C. (2004). New path for teaching anatomy: Living anatomy and medical imaging vs. dissection. The Anatomical Record Part B: The New Anatomist (vol. 281B).
- McLachlan J.C. (2004). Teaching anatomy without cadavers. Medical Education (vol 38).
- Schneider, D. (2010). 3D Printers in education. Edutechwiki. Accès : http://edutechwiki.unige.ch/en/3D_printers_in_education (consulté novembre 2015)
- Schneider, D. (2011). Digital design and fabrication in education. Edutechwiki. Accès: http://edutechwiki.unige.ch/en/Digital_design_and_fabrication_in_education (consulté novembre 2015)
- Schneider, D. (N/A). Constructionist learning object. Edutechwiki. Accès: http://edutechwiki.unige.ch/en/Constructionist_learning_object (consulté novembre 2015)
- Zuckerman O., Arida S., and Resnick M.. 2005. Extending tangible interfaces for education: digital montessori-inspired manipulatives. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '05). ACM, New York, NY, USA, 859-868. DOI=10.1145/1054972.1055093 <http://doi.acm.org/10.1145/1054972.1055093>