



HAL
open science

Interaction sans contact : vocabulaire gestuel centré utilisateur

Alexandre Hurstel, Dominique Bechmann

► **To cite this version:**

Alexandre Hurstel, Dominique Bechmann. Interaction sans contact : vocabulaire gestuel centré utilisateur. Journées IGRV2017 de Réalité Virtuelle (j•RV), 23-27 octobre 2017, Rennes, Oct 2017, Rennes, France. hal-03247216

HAL Id: hal-03247216

<https://hal.science/hal-03247216>

Submitted on 2 Jun 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Interaction sans contact : vocabulaire gestuel centré utilisateur

Alexandre HURSTEL, Dominique BECHMANN

ICube (Équipe IGG), Université de Strasbourg, CNRS (UMR 7357)

Abstract

La consultation d'images médicales, que celles-ci soient 2D ou 3D, occupe une place cruciale dans le déroulement d'une opération chirurgicale. Dans le cas de la consultation per-opératoire, cette consultation entraîne une déstérilisation du chirurgien souhaitant consulter ces données du fait que les périphériques d'interactions courants (clavier/souris) ne sont pas stériles. Une solution à ce problème, est de substituer ces périphériques par d'autres permettant une interaction sans-contact et donc, a fortiori, une interaction stérile. Nous présentons l'état courant de notre travail de recherche visant à établir un vocabulaire gestuel permettant de substituer les interactions classiques par une interaction sans-contact adaptée à ce contexte d'utilisation, qui permettrait ainsi de s'affranchir de cette déstérilisation encombrante lors de la consultation de données durant une opération.

Mots-clé : Interaction gestuelle sans contact centrée utilisateur

1. Contexte

Aujourd'hui, la consultation et la visualisation de données médicales occupe une place toujours plus importante dans un bloc opératoire. En effet, les chirurgiens, ont un besoin toujours grandissant d'avoir accès et de pouvoir interagir avec les données patient, que ce soit pour planifier une opération (pré-opératoire) ou pour fournir une aide consultative pendant cette opération (per-opératoire) permettant ainsi d'en assurer le meilleur déroulement possible. C'est sur ce dernier cas d'usage, la consultation per-opératoire, que nous avons ciblé notre travail, sans exclure pour autant un usage pré-opératoire.

Telle que employée dans la plupart des blocs opératoires aujourd'hui, la consultation de données en per-opératoire est faite via une configuration informatique "classique" : un ordinateur isolé sur lequel s'exécute le système interactif permettant la visualisation et l'interaction avec les données médicales. Naturellement, cette interaction implique la présence d'un dispositif d'interaction ou d'un système interactif. Classiquement, il s'agit des périphériques communs que sont le clavier et la souris. Or, c'est là que réside le cœur du problème que l'on souhaite aborder : l'utilisation

de ces périphériques ne garantit aucunement le maintien de la stérilité nécessaire à l'opération. En effet, utiliser un clavier et une souris en per-opératoire est problématique car ce sont des périphériques non-stériles et difficilement stérilisables pour toute la durée d'une opération. Cela signifie, en conséquence, qu'un chirurgien opérant sur un patient, et souhaitant ponctuellement consulter les données médicales relatives à l'opération, doit entreprendre une démarche de re-stérilisation après la consultation pour reprendre l'opération. En d'autres termes, une simple action de consultation, qui ne prendrait que quelques instants dans un autre contexte, devient un procédé encombrant et relativement long.

Évidemment, ce problème n'a pas empêché la consultation des données durant les opérations. Une pratique courante est d'adopter une stratégie de délégation des tâches : un chirurgien peut déléguer la tâche de consultation à un infirmier ou à un assistant. Cependant, bien que acceptable et fonctionnelle, on considère cette solution comme étant "non optimale". En pratique, cette stratégie induit une potentielle perte d'expertise lors de la consultation des données. En effet, l'assistant en question n'est pas

nécessairement toujours capable d'apporter le même œil expert que le chirurgien en chef sur les données en question. Ainsi nous pensons que, si la contrainte de stérilisation venait à être levée, la tâche de consultation des données deviendrait plus abordable, à n'importe quel moment d'une opération, et deviendrait ainsi plus utilisable et plus utilisée et contribuerait ainsi à améliorer le déroulement de la procédure chirurgicale.

Notre proposition pour s'affranchir de la contrainte de stérilité dans ce cas d'usage est basée sur une idée simple : la stérilité est nécessairement maintenue, lorsque l'on utilise un système interactif, si pour interagir avec ce dernier, il n'y a pas besoin de toucher physiquement quoi que ce soit. Des périphériques permettant l'interaction sans contact, tel que le KinectTM de Microsoft ou encore le LeapMotionTM, sont désormais développés et accessibles sur le marché. Cela offre donc des moyens de développer des interfaces sans contact pour tout type d'applications sans poser d'aussi lourds développements ou contraintes techniques que par le passé. Par conséquent, développer une interface sans contact que l'on substituerait au clavier et la souris devient une alternative techniquement tout à fait abordable et accessible pour beaucoup de cas d'usage dont le bloc opératoire.

Bien évidemment, le développement conceptuel d'un tel système n'en devient pas pour autant simplifié. De nombreux aspects de ce système doivent être réfléchis et étudiés pour parvenir à une solution qui soit véritablement utilisable et efficace. Dans la section suivante nous passons en revue des approches abordées dans le passé quant à l'élaboration de systèmes interactifs sans contact.

2. Travaux connexes

2.1. Travaux récents sur l'interaction sans contact

Bien que des périphériques tel que le KinectTM de Microsoft et le LeapMotionTM aient rendu l'interaction sans contact accessible au grand public, les systèmes basés sur des interactions gestuelles ont fait l'objet d'études depuis plusieurs décennies, notamment dans le domaine de la Réalité Virtuel (RV). Par exemple, [CMZ05] ont proposé un ensemble de gestes pour des interactions traitants du contrôle d'application. Ils ont noté que des gestes de larges amplitudes induisaient plus de fatigue, mais étaient pourtant plus facile à utiliser et à se remémorer. [BCCTBVR05] ont étudié les interactions standardisées de nos utilisations quotidiennes, et ont détaillé comment les références culturelles communes rendaient ces interactions accessibles, simples à implémenter et réutilisables dans de nombreux cas d'usage.

Bien que l'usage d'interactions gestuelles ait connu un intérêt grandissant dans les dernières années, ce mode d'interaction n'est pas complètement nouveau pour le grand public. Par exemple, les consoles de jeux vidéo ont

régulièrement fait usage de contrôles gestuels comme le montre [MAL*10]. D'autres exemples ont pu être notés dans divers cas d'usage, comme la navigation dans des menus sur des téléviseurs. Les auteurs de [FW95] ont montré que les utilisateurs de tels systèmes interactifs, ont tendance à prendre comme références ces cas d'usages particuliers et à tenter de les réutiliser en présence d'autres systèmes basés sur l'interaction gestuelle. Cependant, [Nor10] présente les limites d'une interaction gestuelle standardisée en soulignant le fait que ces standards peuvent difficilement prendre en compte les différences de significations des gestes entre les individus ou entre les cultures (e.g. secouer la main latéralement signifie " bonjour " dans une culture occidentale, mais signifie un désaveu ou un rejet dans d'autres cultures).

Certains travaux, tel que [Jeg13] ont fortement suggéré qu'une standardisation d'un vocabulaire gestuel pré-défini de manière universelle pour les applications ne serait pas optimal, les gestes étant sensible au contexte. Ainsi, notre travail n'a pas pour objet de fournir un tel système d'interaction à usage universel, mais reste confiné à un contexte et environnement spécifique : le bloc opératoire. Par conséquent, notre travail n'a pas pour objet de proposer un système similaire implémentant des gestes adaptatifs ou définis dynamiquement, pour chaque utilisateur spécifique.

2.2. L'interaction sans contact pour le bloc opératoire

Le regain d'intérêt pour l'interaction gestuelle sans contact est due à une démocratisation via la mise sur le marché de périphériques accessibles. Les recherches concernent pourtant des domaines d'application divers et variés, y compris des scénarios de visualisation de données médicales.

Des travaux précurseurs tels que [GFGB04] étudiaient déjà les bénéfices potentiels d'une interaction sans contact appliquée au contexte de la visualisation de données médicales, en ré-associant les interactions normalement associées aux boutons de la souris, aux mains et gestes de l'utilisateur. Bien que résolvant notre problème central (le maintien de la stérilité lors de l'usage), ce système n'était pas très efficace à utiliser, ni efficace, avec un facteur d'usabilité médiocre tout en induisant une fatigue importante. Naturellement, ces problèmes étaient inhérents à un manque d'élaboration en amont, une simple substitution d'une souris par un ensemble de gestes arbitraires n'offrant pas une efficacité similaire ni satisfaisante. D'autres travaux comme [NBACLB14] sont allés plus loin, en intégrant les capacités interactives du périphérique LeapMotionTM dans le logiciel DiCOM OsiriX. Le principe a été d'associer les fonctions consultatives d'OsiriX à l'ensemble de gestes reconnus par le périphérique. Ces travaux ont montré des résultats encourageants, testés durant des opérations réelles en obtenant des retours globalement positifs par les chirurgiens. Cependant,

là encore, associer un ensemble de fonctions à des gestes arbitraires n'offre pas une bonne aisance d'utilisation. Les auteurs ont souligné que cette dernière aurait pu être améliorée si le système avait été développé en utilisant un vocabulaire gestuel spécifiquement élaboré pour les tâches concernées, qui elles mêmes auraient potentiellement pu être ré-adaptées à un contrôle gestuel. D'autres travaux ont également étudié ce cas d'usage, dont notamment [SR14], qui élaborera un système interactif spécialement conçu pour le contexte de la consultation de données médicales. Bien que l'ensemble de gestes choisis pour l'interaction a été arbitraire, ces travaux ont montré des résultats prometteurs appuyés par un retour utilisateur positif indiquant cependant que le système aurait pu être améliorés via une utilisation d'indicateurs visuels.

Ces travaux, en étudiant la faisabilité de l'interaction sans contact dans un contexte de visualisation similaire à celui auquel nous nous intéressons, obtiennent des résultats positifs et prometteurs. Cependant, ceux-ci sont construits autour d'une approche fonctionnelle, et propose ainsi systématiquement un vocabulaire gestuel pré-défini abstrait. Au regard de ces travaux, nous pensons que de tels systèmes pourraient être améliorés et gagner en efficacité, notamment en terme de naturalité, en utilisant un vocabulaire gestuel spécifiquement prévu pour le cas d'usage faisant l'objet d'un travail de recherche dédié, ici aux besoins interactifs des chirurgiens.

3. Approches et démarches

3.1. Recherche d'un vocabulaire gestuel

Comme l'ont montré [NSMG03], développer un vocabulaire gestuel pour un système interactif, n'est en rien trivial et ne devrait en aucun cas être passé au second plan. Par vocabulaire gestuel, on désigne l'ensemble des gestes associés aux interactions offertes par le système ou l'application concernée. Ces auteurs ont développé l'idée, comme d'autres tel que [Jeg13], qu'un vocabulaire gestuel ne peut être considéré comme universel mais doit être adapté au contexte. En d'autres termes, puisque les gestes ont potentiellement différentes interprétations pour les utilisateurs en fonction de leur culture, expérience ou environnement d'usage, un vocabulaire gestuel dans un contexte particulier est probablement unique.

Un vocabulaire gestuel, pour être approprié, doit être évalué positivement selon un certain nombre de critères, selon [KR98]. L'intuitivité, le confort ou aisance d'utilisation, la remémorabilité et l'efficacité sont les critères les plus importants. Suivant les indications de [NSMG03], nous tâchons d'éviter d'adopter une approche techno-centrée pour élaborer notre vocabulaire gestuel, puisque, par essence, une telle méthode n'optimise pas nécessairement l'expérience utilisateur finale. Convaincu que le confort

ou l'aisance d'utilisation ne doivent pas être relégués à l'état d'objectifs secondaires, même pour des dispositifs expérimentaux, mais doivent être vu comme étant d'une importance prioritaire. Le succès commercial des tablettes et smartphones au cours de la décennie passée, malgré la nouveauté conceptuelle de leur système d'interface tactile, illustre bien ce point. Ce succès est dû, notamment, au fait que cette interface, au même titre que les idiomes d'interaction qui lui sont associés, ont été conçus en mettant le confort et la satisfaction de l'utilisateur au premier plan. Une telle méthodologie appartient à la famille des méthodes dites " centrées utilisateurs ". Aujourd'hui on parle plus couramment d'Expérience Utilisateur (UX) pour désigner de telles méthodologies.

Cependant, comme l'explique [LvSR14], de telles méthodes ne sont pas toujours très adaptées au monde de la recherche étant donné qu'elles se basent sur des critères et mesures purement qualitatives et qu'elles ne sont sujet à aucun consensus scientifique. De plus, des références telles que [LG15] précisent que ces méthodes jouissent de leur meilleur usage dans des contextes de développement industriel. Ainsi, même si ces méthodes ne peuvent être entièrement applicables, elles offrent de précieuses pistes d'approche pour concevoir et raffiner un vocabulaire gestuel, en fonction d'un contexte d'usage particulier.

3.2. Identifier les besoins

Dans le développement d'un système interactif, la première chose à identifier sont les besoins. Dans le cadre de notre travail, comme il s'agit, *in fine*, de remplacer une interaction existante, il convient de s'intéresser aux cas d'usages employés jusqu'alors. En l'occurrence, il s'agit de la consultation de données médicales sous forme d'images médicales qui constituent ce l'on désignait jusqu'ici par " données médicales " sur lesquelles les interactions prennent effet. Nous nous sommes intéressés à des cas d'usages qui emploient des images médicales sous deux formes :

- La consultation d'images tomographiques 2D obtenues par CT-scan, qui sont un empilement de " coupes d'organes " dans lesquelles on peut naviguer. Les cas d'usage de références sont des logiciels de type DICOM comme OsiriX.
- La consultation d'images sous forme de modèles 3D qui sont des reconstructions numériques d'un ou plusieurs organes regroupés en un ensemble. Outre les logiciels DICOM qui supportent ce type d'images, notre cas de référence est le logiciel « VP Planning » disponible sur PC ou tablettes.

Une fois nos cas d'usage répertoriés et analysés, nous en avons extrait des " taxonomies d'interactions ". Ces dernières (voir annexes B & C) permettent d'isoler les interactions qui devront être ciblées par notre vocabulaire gestuel. Il s'agit alors, d'associer un geste de façon pertinente à chaque interaction ou groupe d'interaction isolé.

Dans nos deux cas d'usages, on retrouve des interactions similaires :

Translation : l'utilisateur doit être capable d'effectuer une translation de l'image. Dans le cas de la consultation de modèle 3D cette translation est contrainte sur le plan traversant le modèle en son centre et parallèle au plan écran.

Zoom : l'utilisateur doit être capable d'agrandir ou rétrécir l'image, ou le modèle.

Reset/recadrage : l'utilisateur doit être capable de revenir à la configuration d'origine (en terme de zoom et de positionnement).

De plus, chaque cas d'usage possède des types d'interactions qui lui sont propres. Concernant le cas d'usage de consultation d'images tomographiques, les interactions sont les suivantes :

Navigation dans la pile d'images : l'utilisateur doit être capable de naviguer dans la pile d'image que sont les coupes successives d'organe. Cela doit pouvoir être fait de façon ample mais l'utilisateur doit aussi pouvoir isoler une image spécifiquement.

Modification du contraste : l'utilisateur doit pouvoir élever ou diminuer le contraste d'une image.

Modification de la luminosité : l'utilisateur doit pouvoir élever ou diminuer la luminosité d'une image.

Quant au cas de visualisation de modèles d'organes 3D, les interactions sont les suivantes :

Rotation : L'utilisateur doit être capable d'induire des rotations sur le modèle d'ensemble. Dans le cas d'usage étudié « VP Planning », 2 types de rotations sont présentes : une rotation libre simultanément par rapport aux axes X et Y, et une rotation contrainte sur l'axe Z.

Cacher/afficher une sous-structure : L'utilisateur doit être capable de rendre visible ou invisible chaque sous structure du modèle 3D d'ensemble.

Dans nos taxonomies, nous avons également isolé d'autres interactions, telle que la « sélection d'une pile image à charger ». Ces interactions relèvent de la sélection dans des ensembles de taille dynamique de type menus. Nous considérons que ce type d'interactions relèvent du « contrôle d'application », spécifiquement dédié à la création de menu pour des interfaces sans-contact, et constituent un travail de recherche dissocié de celui présenté ici.

3.3. Choix du capteur LeapMotion™

Pour réaliser notre recherche, nous avons fait le choix de travailler avec le capteur LeapMotion™ (LM). Celui-ci est un petit (8cm × 1.5cm × 3cm) périphérique USB faisant usage de caméras et LEDs infrarouges pour être utilisé dans le cadre du tracking et de la reconnaissance des mains. Sa petite taille le contraint néanmoins à une zone de détection réduite. À l'opposé, un autre capteur couramment utilisé est le Kinect™ de Microsoft. Ce dernier, un peu plus

volumineux dispose d'une plus grande zone de détection et est spécialisé dans le tracking du corps de l'utilisateur dans son ensemble.

Nous avons choisi de travailler en utilisant le LeapMotion™ au regard de notre cas d'usage final. Tout d'abord, nous choisissons de nous concentrer exclusivement sur les gestes des mains, sur lesquels se concentre le LM, car un chirurgien, durant une opération est grandement limité dans ses mouvements. En effet, une zone virtuelle de stérilité contraint les positions de ses bras et de ses mains à être maintenues au niveau du torse, entre les épaules et la taille, limitant de fait grandement tout geste basé sur des mouvements des bras. De même la petite taille du LM et sa zone restreinte d'utilisation limite l'encombrement à son intégration dans un nouvel environnement, tout en réduisant la place à lui allouer. De plus, son champ de vision étant vertical, le nombre d'interférences involontaires par d'autres membres de l'équipe chirurgicale s'en trouvent réduit.

Dans la suite, et notamment dans les cas pratiques que sont les protocoles expérimentaux, le terme de « capteur » fera principalement référence au LeapMotion™. De même nos systèmes expérimentaux sont à considérer comme faisant usage de ce périphérique.

3.4. Propositions utilisateur pour un vocabulaire gestuel

Comme indiqué dans la section 3.1, l'objectif de notre travail n'est pas de nous contenter d'associer les interactions identifiées à un ensemble de gestes arbitraires. L'intuitivité étant un critère trop souvent écarté dans l'élaboration de systèmes interactifs, notre approche est donc de remettre celle-ci en avant dans l'élaboration d'un vocabulaire gestuel. Pour ce faire, l'idée clé est d'observer les gestes qui viennent naturellement à l'esprit des utilisateurs pour réaliser les interactions identifiées précédemment. En d'autres termes, pour un ensemble de tâches données, réalisables en implémentant ces interactions, l'utilisateur doit *proposer* les gestes qui lui viennent à l'esprit pour les réaliser. Ainsi, chaque sujet qui serait soumis à une telle expérience, constituerait un vocabulaire gestuel individuel basé sur son intuition au regard des tâches à accomplir. Bien évidemment, un tel vocabulaire extrait ne serait très certainement pas universel et il est attendu qu'il soit relativement varié d'un individu à l'autre. Néanmoins, l'intérêt serait, pour un certain nombre de vocabulaires d'intuition proposés, d'étudier si certains gestes réapparaissent de façon fréquentes pour réaliser certains types d'interactions, que ce soit de façon identique ou suffisamment proche. Le cas échéant, il serait alors possible d'en déduire un vocabulaire d'intuition, à portée plus générale, pour implémenter nos interactions.

Pour recueillir des gestes proposés par des sujets, en fonction de certaines tâches à réaliser, notre démarche est de proposer une expérience calquée sur le principe dit de

« Magicien d'Oz » (« Wizard of Oz ») [DJA93]. Il s'agit d'un modèle d'expérience dans lequel un utilisateur est convié à utiliser un système dont certaines fonctionnalités ne sont pas implémentées. C'est lorsque l'utilisateur veut faire usage d'une fonctionnalité absente, que celle-ci est en fait réalisée par l'expérimentateur. Ce principe nous permet alors d'observer l'ensemble de gestes qui paraissent naturels ou intuitifs pour l'utilisateur à utiliser dans le contexte qui lui est présenté. Naturellement ce contexte d'usage devrait être naturellement proche en terme de tâches à accomplir, via les interactions identifiées, à notre cas d'usage final.

Évidemment, bien qu'on puisse s'attendre à retrouver des gestes communs ou ressemblant pour certaines tâches entre les vocabulaires récoltés auprès des différents sujets, cette méthode fournit autant de vocabulaires potentiels qu'il y a de sujet. Il faut alors être capable d'évaluer, a posteriori, les gestes proposés selon un ensemble de critères, pour pouvoir déterminer les gestes les plus pertinents. Les critères que nous proposons sont alors les suivants :

Cohérence : Le même geste a-t-il été systématiquement utilisé pour la même interaction chez le même utilisateur ?

Intuition partagée : Un même geste se retrouve-t-il chez différents utilisateurs ? Si oui, est-ce pour effectuer la même interaction ?

Économie motrice : Le geste peut-il compléter la tâche en un minimum de mouvement ?

Confort/stress : Le geste implique-t-il des positions ou postures inconfortables, induisant du stress musculaire ?

Ces critères, appliqués à l'ensemble des gestes récoltés entre tous les utilisateurs, seront alors utilisés pour réduire notre corpus de geste à un ensemble de gestes pertinents et intuitifs.

3.5. Vocabulaire prédéfini à partir de « postures d'enclenchements »

Bien qu'extraire un vocabulaire gestuel à partir de proposition d'usages par des utilisateurs nous semble être une approche adéquate au regard de l'intuitivité des gestes, il convient d'être prudent. En effet, même si un vocabulaire gestuel s'avèrerait être fortement intuitif, rien ne garantit l'efficacité de dernier. Il ne faut pas perdre de vue que notre cas d'utilisation finale, la consultation d'images en bloc opératoire, est un cas d'usage particulier et spécialisé. Or il est a priori facile, pour les utilisateurs de proposer sur le moment un ensemble de gestes qui leur semblent naturels ou adéquats, mais il est en revanche moins probable que ceux-ci l'aient fait en gardant une vision d'usabilité sur le long terme. Autrement dit, bien que certains de ces critères aient pu être évalués lors de l'extraction du vocabulaire gestuel intuitif général, rien ne garantit que celui-ci respecte ces autres critères de bonne usabilité que sont l'efficacité (en terme de temps de complétion d'une tâche ou nombre

d'essai moyen nécessaire), de stress musculaire induit en cas d'utilisation prolongée, de charge cognitive à l'emploi du geste, ou encore la compatibilité technique avec le système de détection de gestes utilisés (les gestes doivent être facilement reconnus par le capteur utilisé).

Prenant cela en compte, nous avons voulu, en plus de la démarche précédente, pouvoir confronter l'utilisateur à un vocabulaire gestuel prédéfini, qui serait adapté en terme de compatibilité technique et d'économie motrice. Le vocabulaire en question repose sur un principe d'une " posture d'enclenchement ". Cela signifie, en pratique, que ce vocabulaire permet une interaction par le biais de postures de la main qui, une fois adoptées, font basculer l'environnement de test dans un mode d'interaction. Il y a un mode d'interaction correspondant à chaque interaction modulable identifiée. Par exemple, dans le cas des images 2D : un mode pour la translation, un mode pour le zoom, un mode pour la navigation dans la pile d'image, etc. Le mode choisi demeure actif tant que l'utilisateur maintient la posture de la main associée. L'interaction induite lors d'une interaction est modulée par le vecteur virtuel \vec{AB} calculé à partir de la position A , à laquelle a été adoptée la posture correspondant au mode actif, et B , la position courante de la main. Ainsi, par exemple, dans le cas pratique du mode translation la séquence d'action à adopter pour induire une translation est la suivante (voir également cet exemple illustré par la figure 1) :

1. La main de l'utilisateur est en position neutre (main pleinement ouverte, ou poing fermé) devant le capteur
2. La main de l'utilisateur passe en mode translation en adoptant la posture associée. On considère que cette posture a été adoptée au point A .
3. Tout en maintenant la posture, l'utilisateur déplace sa main, en fonction de la translation qu'il souhaite induire, jusqu'au point B .
4. Tant que l'utilisateur maintient la posture, le vecteur virtuel \vec{AB} module en continue la translation induite. L'utilisateur peut accélérer ou ralentir la translation en modifiant la taille vecteur (qui garde son point d'origine en A , tant que la posture est maintenue).
5. L'utilisateur arrête la translation en repassant sa main dans une posture neutre.

De même toutes les interactions fonctionnent sur le même principe, qui en résumé consiste à passer dans un mode associé à l'interaction voulue grâce à une posture de la main, puis à moduler le comportement de cette interaction grâce au déplacement de la main qui génère un vecteur virtuel qui induit en continue cette interaction. Ce principe de fonctionnement présente, *a priori*, trois avantages : en premier lieu l'économie motrice est notable étant donné qu'un faible mouvement, d'une durée courte suffit à induire une interaction en continue. Ensuite, le stress notamment au

niveau des joints de la main et des poignets reste faible, car même lors du mouvement de la main ils sont peu sollicités. Enfin, le principe de “ mode actif ” en fonction de la posture étant généralisé à toutes les interactions modulables, celui-ci limite, au moins en partie, la charge cognitive lors de l'utilisation. En annexe, le tableau A liste les postures associées aux interactions dans le cas 2D. De plus, ce vocabulaire gestuel a l'avantage de pouvoir être utilisé en interaction mono-manuelle, ce qui est potentiellement intéressant dans le cadre de notre cas d'usage cible, les chirurgiens pouvant alors interagir d'une seule main, tenant un outil dans l'autre.

En complément de l'expérience visant à récolter des propositions de gestes, notre approche est de présenter aux utilisateurs ce vocabulaire et de leur proposer d'évaluer ce vocabulaire grâce à une séquence de tâches à accomplir similaire à celle pour laquelle les utilisateurs ont émis leurs propositions. L'idée est d'amener les utilisateurs à confronter leur vision naturelle du vocabulaire gestuel à une vision plus pragmatique dans le but de pouvoir en tirer des retours à exploiter, tout en évaluant, *in situ*, les performances jusque là supposées de ce vocabulaire prédéfini.

3.6. Protocole expérimental

Ces deux approches (propositions de gestes et comparaison avec le vocabulaire présenté précédemment) sont implémentées au sein d'un protocole expérimental. Ce protocole est soumis à des sujets “ tout venant ”, qui ne sont donc pas des utilisateurs finaux (i.e : les chirurgiens). Les interactions étudiées sont conceptuellement simples et proches d'interactions que l'on retrouve régulièrement dans d'autres logiciels de visualisation ou de traitement d'images. De plus, les chirurgiens s'avérant être, après consultation, des utilisateurs dont les habitudes d'interactions, au quotidien, sont similaires à des utilisateurs d'expérience intermédiaire tout venant, on considère les retours d'expériences utilisateur vis à vis de notre protocole comme pertinents. Néanmoins, des utilisateurs génériques, n'étant pas familiarisés avec la visualisation d'organes, notre protocole présente des cas d'utilisations qui, bien qu'offrant les mêmes interactions et demandant les mêmes démarches interactives, ne sont pas issues de données médicales. Ainsi, dans le cas 2D par exemple, les coupes tomographiques sont substituées par un empilement d'images représentant des objets ou scènes reconnaissables ou compréhensibles par n'importe quel utilisateur.

Le protocole se déroule comme suit selon la séquence suivante :

1. On présente à l'utilisateur brièvement le contexte du travail ainsi que le système pour lequel il sera amené à proposer des gestes.
2. Une démonstration est donnée à l'utilisateur des interactions qu'il devra tenter d'induire. Cela permet à

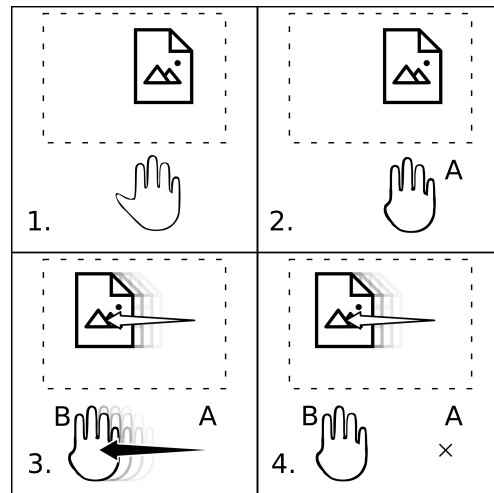


Figure 1: Illustration de l'utilisation du vocabulaire à “ posture d'enclenchement ” dans le cas 2D.

1. Posture neutre de la main : pas d'interaction
2. Posture correspondant à la translation : activation du mode translation. Le point A auquel est adopté la posture est le nouveau point d'origine.
3. Déplacement de la main en maintenant la posture : traçage du vecteur virtuel \overrightarrow{AB} , B étant le point correspondant à la position courante de la main. Le vecteur induit un déplacement sur l'image.
4. La posture de la main est maintenue, mais sans déplacement. Le vecteur \overrightarrow{AB} continue d'induire un déplacement sur l'image, et ce tant que la posture sera maintenue.

l'utilisateur de proposer des gestes en ayant connaissance des effets des interactions supposément associées, renforçant ainsi la cohérence (du point de vue du sujet) du geste proposé.

3. On explique à l'utilisateur le déroulement du protocole de proposition, sans mentionner que les interactions seront induites par l'expérimentateur.
4. On débute le protocole de proposition ; l'utilisateur se voit donner une suite d'instructions pré-établie ; l'utilisateur, pour compléter une instruction, propose le geste supposé adéquat pour l'interaction requise ; à chaque instruction, lorsque le sujet propose un geste, l'interaction est en réalité induite par l'expérimentateur.
5. Lorsque cette première partie propositionnelle est terminée l'utilisateur répond à un questionnaire pour auto-évaluer ces gestes et préciser les idées ou pensées associées.
6. Le sujet se voit ensuite présenter notre vocabulaire gestuel pré-défini de “ posture-enclenchement ”. Les

différents modes d'interactions et postures lui sont détaillés.

7. L'utilisateur se voit alors proposer une courte session de test pour se familiariser avec ce vocabulaire, en utilisant sa main dominante comme main active d'enclenchement.
8. La deuxième partie du protocole débute : l'utilisateur doit là encore compléter une série d'instructions en utilisant ce vocabulaire gestuel, avec sa main dominante comme main active.
9. Enfin, le sujet se voit répéter une séquence d'instruction une dernière fois, mais en devant utiliser cette fois-ci sa main non-dominante comme main active d'enclenchement.
10. L'utilisateur répond, pour finir, à un questionnaire sur l'usabilité de ce vocabulaire, et sur la comparaison avec les gestes qu'il avait proposés plus tôt pour les mêmes interactions.

Dans la première partie, concernant la proposition de gestes, les gestes sont enregistrés (vidéo) pour pouvoir être analysés et comparés par la suite. En ce qui concerne l'évaluation du vocabulaire pré-défini, le déroulement de chaque interactions est enregistré en vue de comparer les performances (temps de complétion, nombre d'essais) et les erreurs (taux d'erreur, interférences entre les modes).

4. Travaux en cours et perspectives

Jusqu'à présent, développé autour du LeapMotion™ notre protocole de test a été effectué sur 12 sujets, sur un cas d'usage expérimental implémentant les interactions extraites du cas d'usage final 2D (consultation d'images tomographiques). Le corpus de gestes proposés par les sujets est en cours de traitement et d'analyse. Nous nous montrons confiants quant au fait que le corpus des gestes recueilli, couplé aux évaluations des performances et retours utilisateurs recueillies relativement à notre vocabulaire pré-défini, nous permettra de déduire un vocabulaire gestuel qui soit un compromis pertinent entre nos critères d'efficacité (économie motrice, confort, performance en temps et en nombre réduit d'erreurs) et une bonne intuitivité vis à vis de ces gestes.

Dans la suite, en suivant cette méthode, un vocabulaire gestuel devra également être recherché, pour le cas d'utilisation final 3D (visualisation de groupement de modèles 3D d'organes). De plus, il nous a également été suggéré de conduire des tests comparatifs de notre vocabulaire avec un autre cas d'usage d'interaction sans contact à mains-nues : celui de l'HoloLens™ de Microsoft, qui fait un usage intensif de l'utilisation de menus pour changer de modalités d'interaction. Enfin, il conviendra de faire évaluer notre solution par un groupe d'utilisateurs finaux, c'est à dire des chirurgiens.

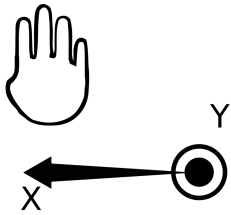
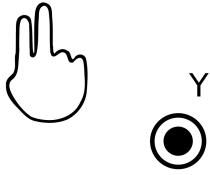
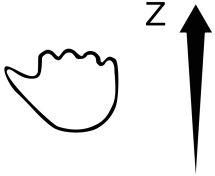
References

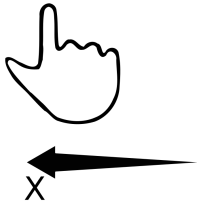
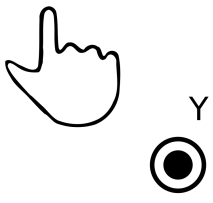

- [BCCTBVR05] BOBILLIER-CHAUMON M.-E., CARVALLO S., TARPIN-BERNARD F., VACHERAND-REVEL J. : Adapter ou uniformiser les interactions personnes-systèmes? *Revue d'Interaction Homme-Machine Vol 6*, 2 (2005). 2
- [CMZ05] CABRAL M. C., MORIMOTO C. H., ZUFFO M. K. : On the usability of gesture interfaces in virtual reality environments. In *Proceedings of the 2005 Latin American conference on Human-computer interaction* (2005), ACM, pp. 100–108. 2
- [DJA93] DAHLBÄCK N., JÖNSSON A., AHRENBORG L. : Wizard of oz studies—why and how. *Knowledge-based systems* 6, 4 (1993), 258–266. 4
- [FW95] FREEMAN W. T., WEISSMAN C. : Television control by hand gestures. In *Proc. of Intl. Workshop on Automatic Face and Gesture Recognition* (1995), pp. 179–183. 2
- [GFGB04] GRAETZEL C., FONG T., GRANGE S., BAUR C. : A non-contact mouse for surgeon-computer interaction. *Technology and Health Care* 12, 3 (2004), 245–257. 2
- [Jeg13] JEGO J.-F. : *Interaction basée sur des gestes définis par l'utilisateur : Application à la réalité virtuelle*. PhD thesis, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2013. 2, 3
- [KR98] KEATES S., ROBINSON P. : The use of gestures in multimodal input. In *Proceedings of the third international ACM conference on Assistive technologies* (1998), ACM, pp. 35–42. 3
- [LG15] LALLEMAND C., GRONIER G. : *Méthodes de design UX : 30 méthodes fondamentales pour concevoir et évaluer les systèmes interactifs*. Editions Eyrolles, 2015. 3
- [LvSR14] LAW E. L.-C., VAN SCHAIK P., ROTO V. : Attitudes towards user experience (ux) measurement. *International Journal of Human-Computer Studies* 72, 6 (2014), 526–541. 3
- [MAL*10] MCMAHAN R. P., ALON A. J. D., LAZEM S., BEATON R. J., MACHAJ D., SCHAEFER M., SILVA M. G., LEAL A., HAGAN R., BOWMAN D. A. : Evaluating natural interaction techniques in video games. In *3D User Interfaces (3DUI), 2010 IEEE Symposium on* (2010), IEEE, pp. 11–14. 2
- [NBACLB14] NICOLA BIZZOTTO M., ALESSANDRO COSTANZO M., LEONARDO BIZZOTTO M. : Leap motion gesture control with osirix in the operating room to control imaging : first experiences during live surgery. *Surgical innovation* 1 (2014), 2. 2
- [Nor10] NORMAN D. A. : Natural user interfaces are not natural. *interactions* 17, 3 (2010), 6–10. 2
- [NSMG03] NIELSEN M., STÖRRING M., MOESLUND T. B., GRANUM E. : A procedure for developing intuitive and ergonomic gesture interfaces for hci. In *International Gesture Workshop* (2003), Springer, pp. 409–420. 3
- [SR14] SILVA É. S., RODRIGUES M. A. F. : Design and evaluation of a gesture-controlled system for interactive manipulation of medical images and 3d models. *SBC Journal on Interactive Systems* 5, 3 (2014), 53–65. 3

Appendices

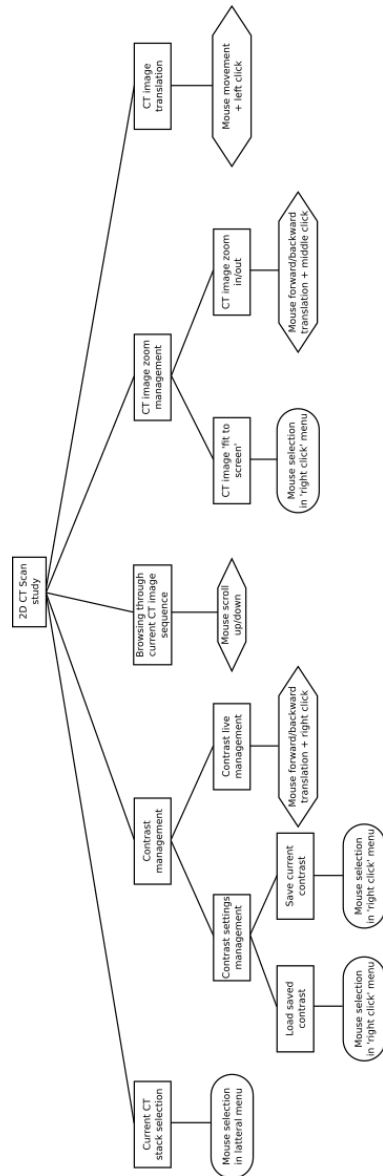
A. Liste des modes du vocabulaire « posture d'enclenchement »

Cas d'usage : consultation d'images tomographiques

	<ul style="list-style-type: none"> — Posture pour le mode translation — Main principale (dans le réglage par défaut, main gauche pour les sujets gauchers, et main droite pour les droitiers) — Mouvement induisant la translation : doit être effectué sur le plan XY (plan parallèle à la table)
	<ul style="list-style-type: none"> — Posture pour le mode zoom — Main principale — Mouvement induisant le zoom : doit être effectué sur l'axe Y (éloigné ou vers l'écran)
	<ul style="list-style-type: none"> — Posture pour le mode de navigation dans la pile d'image — Main principale — Mouvement induisant la navigation dans la pile : doit être effectué sur l'axe Z (de haut en bas)

	<ul style="list-style-type: none"> — Posture pour le mode de changement du contraste — Main principale — Mouvement induisant le changement du contraste sur l'image : doit être effectué sur l'axe X (de gauche à droite)
	<ul style="list-style-type: none"> — Posture pour le mode de changement de luminosité — Main principale — Mouvement induisant le changement de la luminosité sur l'image : doit être effectué sur l'axe Y (éloigné ou vers l'écran)
	<ul style="list-style-type: none"> — Posture pour le reset ou recadrage de l'image — Main non principale — Il n'y a pas besoin de moduler cette fonctionnalité. On n'utilise donc pas de vecteur. Une simple occurrence de cette posture dans le champ de vision du capteur provoque l'appel à la fonction associée.

B. Taxonomie du cas d'utilisation courant d'images 2D



C. Taxonomie du cas d'utilisation courant d'images 3D

