



The full text of SELF congresses proceedings in Ergonomics Abstracts is included in Academic Search Ultimate on EBSCOhost™

[www.ergonomie-self.org](http://www.ergonomie-self.org)

→ Ergonomics abstract

# Une simulation pour les former tous : la conception d'une expérience d'apprentissage de la ponction lombaire en réalité augmentée

**Maxime LABED, Coline BOUDELIN, Lisa JEANSON**  
Adeliom Conseil, 392 avenue des genévriers, 13600 La Ciotat

[maxime.labeb@adeliom.com](mailto:maxime.labeb@adeliom.com), [coline.boudelin@adeliom.com](mailto:coline.boudelin@adeliom.com), [lisa.jeanson@adeliom.com](mailto:lisa.jeanson@adeliom.com)

## Résumé

La ponction lombaire (PL) est un geste essentiel à de nombreux diagnostics, mais difficile à assimiler pour lequel les étudiants en médecine ne sont pas suffisamment entraînés. Une solution pour pallier ce manque d'entraînements est le recours à la simulation par réalité augmentée. Dans cet article, nous présentons une intervention menée sur le simulateur de ponctions lombaires à réalité augmentée Sim&Care qui vise à en améliorer l'apprentissage. Dans une approche centrée utilisateurs, nous avons déployé un ensemble de méthodologies (entretiens, analyse experte, observations), avant de proposer des recommandations pour (1) adapter les parcours pédagogiques proposés aux utilisateurs et (2) optimiser la transmission des informations (dont les consignes) pour permettre une utilisation du dispositif en totale autonomie.

Mots-clés : simulation, ponction lombaire, apprentissage, réalité augmentée

## A simulation to train them all: conception of a learning experience of lumbar puncture using augmented reality.

### Abstract

Lumbar puncture (LP) is an essential gesture for numerous diagnostics, but also difficult to learn as student in medicine are not sufficiently trained for it. The use of simulation with augmented reality is a good solution to overcome the lack of trainings. In this article, we present an intervention on Sim&Care a lumbar puncture simulator using augmented reality that aims at enhancing LP trainings. In a human centered approach, we used several methods (interviews, expert analyses, observations) before we proposed series of recommendations to (1) adapt learning paths to users and (2) optimize information transmission to allow students to use Sim&Care without any help.

Keywords: simulation, lumbar puncture, learning, augmented reality

\*Ce texte original a été produit dans le cadre du congrès de la Société d'Ergonomie de Langue Française qui s'est tenu à Saint Denis de La Réunion les 17, 18 et 19 octobre 2023. Il est permis d'en faire une copie papier ou digitale pour un usage pédagogique ou universitaire, en citant la source exacte du document, qui est la suivante :

Labeled, M., Boudelin, C. & Jeanson, L. (2023). Une simulation pour les former tous : la conception d'une expérience d'apprentissage de la ponction lombaire en réalité augmentée. Actes du 57ème Congrès de la SELF, Développer l'écologie du travail : Ressources indispensables aux nouvelles formes de souverainetés. Saint Denis de La Réunion, 17 au 19 octobre 2023.

Aucun usage commercial ne peut en être fait sans l'accord des éditeurs ou archiveurs électroniques. Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page.



## INTRODUCTION

### LE CONTEXTE D'INTERVENTION

Guidée par des impératifs concurrentiels et technologiques, dans le secteur médical, la RA s'impose pour, à terme, remplacer les simulateurs physiques ; mais ces dispositifs 4.0 sont-ils vraiment plus efficaces ? Sommes-nous, en tant qu'ergonomes, prêts pour l'arrivée de ces nouvelles formes d'interfaces ?

Adeliom<sup>83</sup> est une agence digitale orientée utilisateurs présente sur tout le territoire. En 2021, nous intervenons pour Insimo<sup>84</sup>, fournisseur de logiciels de simulation pour la formation médicale et chirurgicale. Il sollicite alors une expertise en ergonomie des interactions homme-machine (IHM) concernant la conception de son **simulateur d'entraînement à la pratique de ponctions lombaires (PL) nommé "Sim&Care"**.

« La ponction lombaire (PL) consiste à introduire une très fine aiguille entre les vertèbres lombaires, situées dans la partie basse du dos. Cet acte permet de prélever du liquide céphalorachidien (LCR) ou d'injecter un produit en vue d'un examen ou traitement<sup>85</sup>. Lorsque la PL est correctement réalisée, cette procédure est bien tolérée par les patients et cela limite les risques de complications (Engelborghs et al., 2017). Ainsi, les experts, et notamment la Haute Autorité de Santé (Belbachir et al., 2019), recommandent que la réalisation de la PL soit acquise au cours de la formation initiale des professionnels de santé (L'Her et al., 2019). Or, comme beaucoup de gestes techniques, la PL est souvent apprise en même temps qu'elle est pratiquée sur un patient ce qui soulève des enjeux éthiques et augmente le niveau d'anxiété des jeunes médecins (Abderrahmane, 2019; Huang et al., 2006; Moss & McManus, 1992; Tourteaux, 2020; von Cranach et al., 2019). En effet, dans son enquête, Moulaye (2019, p.2) révèle que « près de 10% des étudiants (interrogés) n'ont jamais appris à faire ce geste et 22% l'ont appris sans être supervisés par un médecin senior ». Le taux d'échec de cette opération est de 45% et pour un certain nombre d'étudiants en médecine, la PL demeure un geste difficile à apprendre qui comporte des risques et pour lequel ils ne sont pas suffisamment entraînés (Moulaye, 2019).

Une solution pour améliorer l'apprentissage des gestes techniques en médecine est le recours à la simulation (Blum et al., 2004; McGaghie et al., 2011) et c'est particulièrement le cas pour la PL (Barsuk et al., 2012; Gaubert et al., 2021; McMillan et al., 2016; Tourteaux, 2020). Or, aujourd'hui, la simulation de cette pratique s'effectue sur des mannequins utilisés lors de sessions collectives de formation, ce qui comporte des inconvénients :

- Ce sont des **matériaux périssables** et **coûteux**. Après plusieurs utilisations, ils

deviennent inutilisables à cause des multiples perforations de l'aiguille.

- Le sillage effectué par un étudiant demeure après son passage, ce qui **donne une indication pour le prochain étudiant en plus de creuser le chemin et d'altérer le réalisme** (Barsuk et al., 2012; Ros et al., 2021). Or, le placement de l'aiguille et la sensation haptique (i.e. traversée de la peau, des ligaments, heurt à l'os) informe le praticien en indiquant l'endroit où il se trouve - une sensation capitale puisqu'elle guide le praticien.

Sim&Care, le simulateur par réalité augmentée (RA) avec retour haptique, se présente comme une alternative intéressante qui permettrait de :

- **Donner une sensation fidèle à la réalité de l'enfoncement de l'aiguille** et ce, quel que soit l'ordre de passage des étudiants, afin d'améliorer l'apprentissage du geste de PL ;
- **Diminuer le coût budgétaire et écologique des mannequins ;**
- **Conserver le droit à l'erreur et la possibilité de multiplier les essais** et ainsi mieux préparer les étudiants **en diminuant leur niveau d'anxiété**.

Le dispositif se compose de 4 éléments (voir *Figure 1*) :

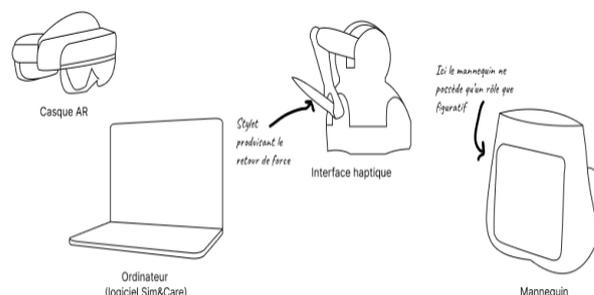


Figure 1 : Description du matériel Sim&Care

1. **Une interface projetée sur ordinateur** (voir *Figure 2*) lui permettant de choisir l'exercice et d'agir sur les paramètres de la simulation en activant / désactivant les boutons proposés (bas au centre de l'image) ;

<sup>83</sup> Plus d'informations sur [www.adeliom.com](http://www.adeliom.com)

<sup>84</sup> Plus d'informations sur [www.insimo.com](http://www.insimo.com)

<sup>85</sup> D'après le site de l'assurance maladie [www.ameli.fr/assure/sante/examen/exploration/deroulement-ponction-lombaire](http://www.ameli.fr/assure/sante/examen/exploration/deroulement-ponction-lombaire) consulté le 07/01/2023 à 8h31



Figure 2 : Extrait de l'interface Sim&Care avant notre intervention

2. **Un stylet articulé simulant un retour haptique**, qui doit donner à l'utilisateur la sensation de perforation d'une aiguille dans les différents tissus humains et procurer par exemple la sensation de heurter un os ;
3. **Un mannequin représentant un buste** ;
4. **Un casque de RA** (ici Hololens2<sup>86</sup>) qui permet de superposer sur le buste, une représentation numérique actualisée en temps réel de l'anatomie du dos d'un patient (colonne vertébrale, tissus musculaires, LCR et peau) telle que l'illustration ci-dessus. Notons qu'au moment de notre intervention, l'interface en RA n'était pas encore définie et ne servait que pour projeter le dos et l'aiguille dans l'univers virtuel retransmis par le casque Hololens2.

Le dispositif nécessite une installation et un calibrage du casque RA pour le synchroniser avec le mannequin et l'interface sur ordinateur. Au moment de notre intervention, c'est l'opérateur Insimo qui se charge de ce réglage pour chaque session de formation. Notons qu'un médecin est également présent pour superviser l'entraînement, et que, à termes, Insimo souhaite que les étudiants puissent utiliser Sim&Care en autonomie.

#### De la demande à la problématique

Sur 10 jours d'intervention, Insimo nous sollicite pour évaluer et améliorer l'utilisabilité de Sim&Care (rendre le dispositif plus fluide, plus simple, plus ergonomique). Après retravail de cette demande, en approfondissant l'origine de ce besoin d'amélioration d'utilisabilité, nous avons relevé :

- **L'adaptation des parcours pédagogiques qui pourront être sélectionnés en fonction du niveau d'expertise des étudiants** ;
- **L'optimisation de la gestion en parallèle des trois principales interfaces du dispositif** : le stylet, les informations disponibles en RA projetée sur le mannequin ainsi que l'interface sur ordinateur ;

<sup>86</sup> Plus d'informations sur <https://www.microsoft.com/en-us/hololens>

- **La possibilité pour les étudiants d'apprendre en autonomie** et pour cela, Insimo souhaite remplacer l'interface sur ordinateur par le casque RA.

Au-delà de cette demande, nous faisons face à plusieurs défis dans notre pratique :

- Nous aimerions mettre en perspective l'acquisition du geste médical par un dispositif RA sans l'implication d'un formateur. Aussi, nous nous demandons comment, nous pouvons garantir que l'utilisateur novice acquiert en autonomie le bon geste sans pratique préalable et sans indication de la part de l'opérateur expert.
- Au moment où nous sommes intervenus, le dispositif ne comptait aucune interaction avec la RA. Donc nous avons dû concevoir *ex nihilo* des interactions futures.
- Bien que les dispositifs RA ne cessent de se développer, il n'existe pas à ce jour de grille permettant d'en évaluer l'utilisabilité. L'ergonome peut-il appliquer des heuristiques validés pour des interfaces 2D et les tordre pour les appliquer aux interfaces RA ? Est-ce seulement compatible ? Les problématiques rencontrées en 2D concernent-elles aussi la 3D ?

## METHODOLOGIES DEPLOYEES

### Entretiens exploratoires

Nous avons mené **deux entretiens semi-dirigés de 45 minutes** auprès de **deux médecins** chargés de former les étudiants à la PL. Ainsi, nous avons pu :

- Recueillir les **besoins pédagogiques**, les **lacunes** de leurs élèves ainsi que leurs **attentes** ;
- **Comprendre le contexte médical** de la pratique de la PL et de son enseignement.

### Analyse experte du simulateur

Afin d'apprécier la qualité instrumentale de l'interface sur ordinateur, nous avons analysé le dispositif Sim&Care à l'aide de plusieurs grilles heuristiques :

- **Les critères ergonomiques de Bastien et Scapin** (Scapin & Bastien, 1997) ;
- **Les conventions de Krug** (Krug, 2000) ;
- **Les heuristiques de Nielsen** (Nielsen, 2005) ;
- **Les principes de Norman** (Norman, 2013) ;
- **Les règles ergonomiques de Boucher** (Boucher, 2015).

### Observations in-situ

Enfin, nous avons mené des **observations in situ**, lors de **deux sessions de formation collectives de 3 heures**<sup>87</sup> supervisées par un médecin et un opérateur Insimo à

<sup>87</sup> Ces formations avaient lieu dans le cadre d'un projet de recherche mené par Insimo visant à comparer l'approche traditionnelle à l'approche via Sim&Care.



l'hôpital Hautepierre de Strasbourg et à l'hôpital Sainte Marguerite de Marseille. Ces observations ont été menées avec une interaction minimale des participants. Les tâches effectuées par les utilisateurs étaient définies et dirigées par l'opérateur Insimo, qui paramétrait, lançait l'exercice et manipulait l'interface sur ordinateur (changement de vue des coupes du dos, explication sur la position de l'aiguille, etc.). Cela permettait aux étudiants de se focaliser uniquement sur les données du casque RA, sur le mannequin et sur le retour haptique du stylet.

Nous avons observé **10 utilisateurs** catégorisés selon leur **niveau d'expertise** :

- Des utilisateurs ayant un niveau d'expertise faible ou « **novices** » : i.e. des étudiants qui n'avaient encore jamais pratiqué de PL - ni sur mannequin, ni sur patient (N=4, moyenne d'âge de 23 ans, 3 femmes 1 homme, de la 3<sup>ème</sup> à la 5<sup>ème</sup> année d'enseignement) ;
- Des utilisateurs ayant un niveau d'expertise plus avancé ou « **experts** » : i.e. des étudiants, plus avancés dans leur cursus, qui avaient déjà pratiqué des PL sur des patients (N=6, moyenne d'âge de 25 ans, 2 hommes 4 femmes, au-delà de la 5<sup>ème</sup> année d'enseignement).

Ces observations nous ont permis d'appréhender :

- **L'utilisabilité** du dispositif ;
- **L'analyse du multitâche** - notamment la gestion de l'erreur en multitâche ;
- L'analyse de **l'orientation des regards** ;
- **La mesure du taux de réussite de l'opération** (sinon de la capacité à corriger son erreur) ;
- Les **verbatims**.

Nous avons complété ces données par :

- De courts **focus groups** (15 minutes sur un groupe de 3 étudiants experts), qui nous ont permis d'approcher le ressenti des utilisateurs ;
- le recueil des questions posées par les utilisateurs.

Enfin, nous avons à notre disposition un casque RA Hololens2 afin de **réaliser une inspection selon la méthode cognitive pas à pas (ou cognitive walkthrough) (Lewis & Wharton, 1997) des interactions encore peu démocratisées** (e.g. pincer ses doigts pour scroller ou attirer un écran à soi, taper sur le poignet pour ouvrir le menu, etc.).

## RESULTATS

### Les attentes vis-à-vis du dispositif

Il ressort des entretiens avec les médecins formateurs que **les étudiants redoutent la pratique de la PL** (e.g. peur de rater, de faire mal au patient, de générer des complications, etc.). Les médecins nous rapportent qu'une première confrontation en milieu simulé permettrait de montrer concrètement l'opération aux

étudiants sans le risque de provoquer des douleurs ou des complications.

Il importe également que les étudiants aient **un protocole sur lequel se fier**. Or, ce protocole n'est pas systématiquement abordé ni acquis lors de la formation théorique initiale.

### Les avantages du dispositif

A l'issue des observations *in situ*, l'avis général des étudiants et des médecins **est très positif** concernant Sim&Care. En effet, les sujets apprécient l'utilisation de la RA et le casque semble fournir une meilleure expérience que le dispositif classique (avec seulement une interface sur ordinateur). De plus, il s'agit d'une méthode encore peu utilisée ce qui rend l'expérience nouvelle et stimulante.

Les utilisateurs apprécient **particulièrement que Sim&Care permette d'appréhender la partie « soin »** avant la ponction dans le parcours pédagogique. En effet, il s'agit d'une étape négligée par les étudiants lors de l'apprentissage et pourtant fondamentale pour éviter les effets secondaires de la PL.

**Le retour haptique semble fournir une sensation très fidèle à la réalité** et donner une réelle indication de l'état de perforation de l'aiguille. Les étudiants experts nous confient avoir été très stressés lors de leur première PL sur des patients et qu'un simulateur comme Sim&Care aurait pu les aider.

**La présentation des coupes transversales et sagittales semble répondre à un réel besoin de nos utilisateurs.** En effet, à certains moments, les étudiants regardent l'interface sur ordinateur pour vérifier la trajectoire de son aiguille grâce aux coupes transversales et sagittales :

- Lorsque l'utilisateur sent par le retour haptique qu'il a heurté un os ;
- Lorsqu'en enlevant le mandrin il constate que le LCR ne s'écoule pas ;
- Lorsque l'opérateur Insimo délivre les feedbacks et l'aide à réorienter son aiguille.

### Les points à améliorer

#### Défauts de guidage des éléments des interfaces

D'après l'analyse experte, au cours du déroulé de la session, les étudiants ne reçoivent **aucune indication qui leur suggère les étapes à suivre** sur le logiciel, ni sur l'interface du Hololens2. C'est l'opérateur qui leur indique quoi faire.

De plus, les **formulations et iconographies utilisées dépassent le niveau de maîtrise et sont en décalage avec les habitudes des utilisateurs**. Par exemple, l'interface fait mention du mandrin alors que l'un des médecins nous explique que certains de ses étudiants ignorent de quoi il s'agit. Il en est de même pour le choix des aiguilles atraumatiques : les étudiants ne savent pas quand les utiliser. Ou encore, l'erreur est indiquée par le code couleur rouge ; or cela génère de l'incompréhension pour les étudiants pour qui le rouge signifie le sang. **Les éléments de l'interface (et notamment les boutons) ne sont pas hiérarchisés ni**



**spécifiés** : ni leur forme ni leur placement ne modulent leur importance. Aussi, les boutons ont tous la même forme sans pour autant nécessiter le même comportement. Ainsi deux boutons semblables (blancs et ronds) requièrent pour l'un un clic (ce qui correspond au stéréotype d'usage de ce type d'éléments), pour l'autre il faut tirer vers la gauche.

→ Pour cette raison nous avons fait en sorte de **redéfinir les informations affichées à l'écran ainsi que les consignes dédiées pour chaque exercice.**

L'objectif de notre intervention était de rendre l'interface RA la plus passive possible afin que l'utilisateur puisse se focaliser sur l'utilisation de l'aiguille. Ainsi, **nous avons recommandé de réduire à l'essentiel les fonctionnalités proposées sur l'interface RA :**

- La vue des coupes transversales et sagittales,
- L'action de courber le dos du patient,
- La sélection de l'aiguille,
- La variation du niveau de difficulté.

De même, afin de faciliter le guidage (Fitts, 1954), nous avons proposé une hiérarchisation des informations incitant aux actions (en adaptant leur saillance à leur niveau d'importance) :

- les informations concernant les **actions principales** seraient présentées sous une certaine forme et dans une taille plus grande ;
- les informations concernant les **actions secondaires** seraient présentées sous une autre forme et sous une taille plus petite.

Enfin, nous avons fait en sorte que les utilisateurs reçoivent un feedback systématique à la suite d'une action (ouverture d'une boîte de dialogue) et en particulier, lorsqu'une erreur est corrigée (passage du rouge au jaune).

#### L'indispensable opérateur Insimo

Il ressort de nos analyses la **difficulté des étudiants à manipuler Sim&Care en l'absence de l'opérateur Insimo** lui-même expert du dispositif. Durant nos observations, l'opérateur manipule l'interface pour l'étudiant (en plus d'installer et de calibrer le dispositif) ; ce faisant, il permet à l'étudiant de garder le stylet dans la main et de se focaliser uniquement sur le buste.

Au cours de l'exercice, **aucune indication donnée sur les interfaces ne permet clairement à l'utilisateur d'identifier un mauvais placement de l'aiguille avant qu'il ne soit trop tard.** C'est l'opérateur qui donne un feedback à l'étudiant en temps réel sur le bon ou mauvais positionnement de son aiguille. En dehors de cette indication, l'étudiant ne sait s'il a réussi ou non qu'à la fin de l'exercice (i.e. l'absence de LCR dans l'aiguille est synonyme d'échec) ou éventuellement, s'il heurte un os (grâce au retour haptique).

Aussi, l'opérateur règle les paramètres pour **impacter le niveau de difficulté en enlevant par exemple les coupes transversales et sagittales** - ce qui permet de rendre l'exercice cohérent avec le niveau d'expertise de l'utilisateur.

→ Afin de permettre aux étudiants d'utiliser le dispositif en toute autonomie, nous proposons la mise en place de **parcours d'installation** (i.e. calibration par rapport au retour haptique) **et de familiarisation avec HoloLens2.** Ainsi, les étudiants peuvent acquérir les gestes de base et cela atténuerait les éventuelles difficultés techniques qu'ils pourraient rencontrer au moment des premières simulations et qui pourraient aller à l'encontre des objectifs pédagogiques. Pour se faire, dès le menu de l'interface, nous recommandons de **répartir les informations dans deux onglets :**

- L'un pour **l'installation et au calibrage ;**
- L'autre pour **l'accès aux différents parcours pédagogiques.**

Ensuite, nous proposons de proposer **différents parcours pédagogiques en fonction :**

- **Du type de patient** (i.e. standard, avec scoliose, obésité, arthrose et enfant) et **de sa position** (assis, allongé) ;
- **Du niveau de difficulté en fonction du niveau d'expertise de l'utilisateur** (débutant, intermédiaire, avancé ou expert). Au départ, l'utilisateur est aidé via des fonctionnalités lui permettant de voir le cheminement de l'aiguille et de mieux s'orienter (i.e. transparence du dos via RA, coupes transversales et sagittales, consignes de guidage, etc). Puis, plus le niveau d'expertise augmente, plus l'étudiant est face à un parcours fidèle à une situation réelle (i.e. avec un dos opaque et les témoignages de douleur du patient pour seules indications).

Enfin, nous recommandons également que **les patients aient tous une identité propre** pour favoriser le contexte immersif ; ainsi portent-ils tous un nom et ont chacun une biographie contenant notamment leur anamnèse.

#### Décalages perceptifs

Dès l'installation devant le buste, les étudiants ont le réflexe de palper le bas du dos du mannequin pour placer correctement leur aiguille. Or, nous relevons **un décalage entre ce qu'ils voient dans le casque RA et ce qu'ils touchent** dû à un défaut de calibration et de conception.

De plus, pour les médecins, il importe de préparer les étudiants à la pratique de la PL sur les différents types de patients (e.g. scoliose, obésité, arthrose...). En effet, selon le type de patient, le placement de l'aiguille ne pourra pas être le même. Le buste étant conçu sur la base d'un patient "standard" ; en cas de pathologies ou de gestes effectués sur un enfant, **le décalage perceptif constaté est bien plus prononcé.**

→ Nous avons signalé cette problématique mais pour être traitée, celle-ci nécessiterait de **concevoir une nouvelle version de buste superposable** et interchangeable en fonction du patient. Compte tenu de la durée de notre intervention, nous n'avons donc pas pu résoudre ce problème.

## DISCUSSION



La PL est un geste essentiel à de nombreux diagnostics, mais difficile à assimiler pour lequel les étudiants ne sont pas suffisamment entraînés (Gaubert et al., 2021; L'Her et al., 2019; Tourteaux, 2020).

En cette condition, la RA s'impose dans l'entraînement médical comme une technologie pouvant remplacer, certes, le mannequin et ses défauts mais aussi favoriser un contexte d'apprentissage du geste pour l'étudiant (Anastassova et al., 2007). Toutefois, nous avons encore peu de recul car l'utilisation de ces nouveaux concepts dispositifs et l'assimilation de nouveaux concepts génèrent une complexité supplémentaire (Dugas, 2016; Wilson et D'Cruz, 2006). En effet, ces dialogues inédits proposent d'aller bien au-delà de l'interaction classique de type "écran - clavier - souris" (Poulin, 2021; voir aussi Burkhardt, 2003 et en tant qu'ergonomes, il est de notre responsabilité d'interroger l'efficacité de ces nouvelles formes d'interaction.

### Favoriser l'apprentissage par la simulation

#### ...en proposant un entraînement immersif proche du réel

C'est la pratique prolongée de gestes qui permet leur automatisation (Leplat, 2005). Ainsi, grâce au retour haptique du stylet, Sim&Care **procure des sensations proches des situations réelles**, sans pour autant risquer de faire mal à un patient, ni de dégrader du matériel coûteux. De plus, donner une identité et une histoire à chaque patient permet **d'accentuer l'immersion en stimulant l'empathie de l'utilisateur** par les dynamiques de jeu de rôle (Joyner & Young, 2006). **C'est en ce sens que le simulateur permet l'apprentissage par l'action ou « learning by doing »** (Fjeld & Voegtli, 2002).

De plus, comme le démontrent Kowalczyk et Kura (2012) lors de leur analyse du stress dans la cadre de sauts en parachute, le taux de cortisol diminue à force de répéter une action pourtant au départ ressentie comme stressante. De la même manière, nous pensons que **la pratique répétée de la PL permettra aux utilisateurs de mieux se familiariser avec une opération qu'ils appréhendent**.

Aussi, pour garantir le bon apprentissage du geste de PL et le bon positionnement de l'aiguille, les futurs praticiens doivent, en même temps qu'ils réalisent ce geste, mobiliser des connaissances théoriques sur l'anatomie de leur patient. Or, d'un point de vue cognitif, cette situation comporte deux difficultés qui peuvent contraindre cet apprentissage.

La première est liée au **niveau d'abstraction des connaissances théoriques à mobiliser**. En effet, tant que les étudiants n'ont pas pratiqué le geste de PL en situation réelle, il leur est difficile de transférer des connaissances théoriques abstraites (leur permettant, au mieux, de se représenter l'anatomie de leur patient en deux dimensions) en savoir-faire. La seconde difficulté est liée aux **limites perceptives des capacités attentionnelles de l'Homme. Tant que le geste n'est pas ancré en mémoire long terme ou "automatisé"** (Astier et al., 2003; Meyer & Kieras, 1997), un étudiant divise son attention entre les sensations provoquées par l'enfoncement progressif de l'aiguille et sa propre représentation mentale du positionnement de l'aiguille dans le dos du patient.

Le dispositif évoqué dans cet article permet de dépasser ces deux difficultés en donnant l'occasion aux étudiants de répéter encore et encore le geste jusqu'à son automatisation (Leplat, 2005). De plus, l'utilisation conjointe d'interfaces tangibles (le stylet et le mannequin) et de la RA permet aux étudiants d'accéder à des informations aux niveaux d'abstraction élevés (Fleck & Audran, 2016). Ainsi, le dispositif procure **des sensations proches des situations réelles**, sans pour autant risquer de faire mal à un patient, ni de dégrader du matériel coûteux. C'est en ce sens que le simulateur permet l'apprentissage par l'action ou « learning by doing » (Fjeld & Voegtli, 2002).

#### ...en adaptant le niveau de difficulté au niveau d'expertise des utilisateurs

Selon la théorie de la charge cognitive (Sweller, 1988), **l'adaptation des parcours pédagogiques est une condition sine qua non à la réussite de l'ancrage des informations en mémoire long terme**. Cet aspect est notamment mis en avant dans les principes du flow où chaque composante d'une tâche doit correspondre au niveau d'exigence cognitive basée sur les attentes et le niveau d'éveil de l'apprenant (Csikszentmihalyi & Csikszentmihalyi, 1990; Nakamura & Csikszentmihalyi, 2014). En effet, « l'apprentissage adaptatif permet de faire travailler constamment le sujet au niveau de difficulté jugé optimal, tenant compte du fait que quand la tâche est trop facile, l'ennui apparaît et l'attention se relâche ; quand elle est trop difficile, le sujet est découragé par l'échec et la motivation diminue. » (Leplat, 2005, p. 62).

Ainsi, afin de permettre aux utilisateurs de se familiariser avec la RA dont l'utilisation est souvent inédite lors de ces formations, **nous avons conçu des parcours didactiques préliminaires**. Dans le même esprit, nous veillerons à leur transmettre des savoirs théoriques qui ne sont pas toujours assimilés avant que l'utilisateur ne soit projetés dans l'exercice (Gaubert et al., 2019). Aussi, nous avons veillé à **accompagner les utilisateurs dès la prise en main du système et l'assimilation de bases théoriques de la PL et à les faire monter progressivement en compétence**. Ainsi, le continuum de la transmission des savoirs et du geste jusqu'à la pratique de l'opération en autonomie était préservé (Chanquoy et al., 2007; Sweller, 1988).

### Attention à la complexité et à la fluidité lors de l'utilisation du système

Notons que les conditions "faciles" (destinées aux novices) sont les conditions les plus riches en termes d'informations (car Sim&Care propose alors des vues détaillées du dos du « patient simulé »). **Il importe alors de limiter le risque de surcharge informationnelle**. C'est pour cette raison que nous avons tenté de limiter le plus possible les entraves liées à l'apprentissage de l'utilisation du dispositif : nous souhaitons que l'utilisateur puisse dédier ses ressources cognitives disponibles à l'apprentissage du geste.

Pour cette raison également, nous donnons la **possibilité aux utilisateurs d'arranger leur espace visuel (notamment en RA) à leur convenance**. Aussi les interactions ont été pensées selon l'angle de la gamification en aménageant des interactions



imprévisibles (i.e. le patient qui bouge le dos ou qui gémit pour les conditions difficiles).

Enfin, nous avons constaté des **problématiques liées à l'affordance** (Norman, 2013) en plus de pratiques qui bouleversent l'usage conventionnel des fonctionnalités habituelles sur diverses interfaces (i.e. les boutons). Les schémas habituels d'usage ne fonctionnant plus, les utilisateurs doivent mettre en place de nouvelles stratégies lesquels impliquent des efforts cognitifs qui auraient pu être évités (Chanquoy et al., 2007; Jakob et al., 2005; Krug, 2000; Norman, 2013). De la même manière, les boutons de mêmes formes - suggérant par leur forme un même comportement - se comportent de manières différentes ; ce qui rend impossible l'anticipation de l'action (Nielsen, 2005; Scapin & Bastien, 1997).

C'est certainement en partie à cause de ce décalage de logiques entre Sim&Care et ses utilisateurs, que l'utilisation du dispositif nécessite l'intervention d'un opérateur, qui joue alors le rôle d'interprète. Aussi, sans cette aide, nous gageons que l'utilisateur ne puisse savoir quoi faire (du lancement de l'exercice à la correction de ses erreurs). Si l'on veut concevoir une expérience en autonomie, **il convient donc de revoir le guidage et d'apporter des consignes aussi claires et pertinentes que celles de l'opérateur Insimo.**

### CONCLUSION : LIMITES ET PERSPECTIVES

Malgré les contraintes liées au temps d'intervention, l'approche centrée utilisateur nous a permis de (1) mettre en avant l'apport de l'immersion permise par la RA dans l'apprentissage de gestes superposés à des connaissances théoriques puis de (2) soulever plusieurs points de vigilance par rapport à l'usage de Sim&Care en situation réelle d'apprentissage notamment sur la nécessaire précision du réalisme fourni par le dispositif.

Après la conception de la nouvelle version de Sim&Care basée sur nos recommandations, nous recommandons de réitérer des tests afin de mesurer notamment, le degré d'autonomie de l'utilisateur et les effets liés à la simulation RA, sur le stress perçu et la performance des étudiants. Aussi, de mettre à l'épreuve du réel les apprentissages acquis à l'aide du dispositif. Observera-t-on des décalages ?

Enfin, bien que la RA soit de plus en plus utilisée dans différents champs, nous ne disposons pas, à leur actuelle, de grilles heuristique suffisamment éprouvées pour ce type d'interfaces. Si les éléments statiques de ces systèmes peuvent être analysés à l'aide de grilles existantes, il est aujourd'hui primordial d'approfondir nos connaissances sur la fluidité et la logique de ces interactions entre le corps, l'esprit et l'interface RA.

### BIBLIOGRAPHIE

Astier, P., Gal-Petiffaux, N., Leblanc, S., Sève, C., Saury, J., & Zeitler, A. (2003). Les approches situées de l'action: Quelques outils. *Recherche & formation*, 42(1), 119-125.

Barsuk, J. H., Cohen, E. R., Caprio, T., McGaghie, W. C., Simuni, T., & Wayne, D. B. (2012). Simulation-based

education with mastery learning improves residents' lumbar puncture skills. *Neurology*, 79(2), 132-137.

Belbachir, A., Zetlaoui, P., Tamazoust, G., Cognat, E., Koehl, B., De, C. L., Roos, C., & Paquet, C. (2019). Recommandations HAS: prévention et prise en charge des effets indésirables pouvant survenir après une ponction lombaire. *Revue Neurologique*, 175, S149-S150.

Blum, M. G., Powers, T. W., & Sundaresan, S. (2004). Bronchoscopy simulator effectively prepares junior residents to competently perform basic clinical bronchoscopy. *The Annals of thoracic surgery*, 78(1), 287-291.

Boucher, A. (2015). *Ergonomie web : Pour des sites web efficaces*. Editions Eyrolles.

Burkhardt, J.-M. (2003). Réalité virtuelle et ergonomie : Quelques apports réciproques. *Le travail humain*, 66(1), 65-91. <https://doi.org/10.3917/th.661.0065>

Abderahmane, M. (2019). Évaluation des étudiants, internes et résidents sur la pratique de la ponction lombaire au cours des stages hospitaliers. *The Pan African Medical Journal*, 33.

Chanquoy, L., Tricot, A., & Sweller, J. (2007). La charge cognitive : Théorie et applications. Armand Colin.

Csikszentmihalyi, M., & Csikszentmihaly, M. (1990). *Flow : The psychology of optimal experience* (Vol. 1990). Harper & Row New York.

Engelborghs, S., Niemantsverdriet, E., Struyfs, H., Blennow, K., Brouns, R., Comabella, M., Dujmovic, I., van der Flier, W., Frölich, L., & Galimberti, D. (2017). Consensus guidelines for lumbar puncture in patients with neurological diseases. *Alzheimer's & Dementia: Diagnosis, Assessment & Disease Monitoring*, 8, 111-126.

Fleck, S., & Audran, J. (2016). Réalité augmentée et interfaces tangibles, quels liens avec la formation par simulation ? *Recherche & formation*, 82(2), 85-90. <https://doi.org/10.4000/rechercheformation.2678>

Fitts, P. M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of experimental psychology*, 47(6), 381.

Fjeld, M., & Voegtli, B. M. (2002). Augmented chemistry: An interactive educational workbench. *Proceedings. International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, 259-321.

Gaubert, S., Blet, A., Dib, F., Ceccaldi, P.-F., Brock, T., Calixte, M., De Macédo, L., Dujardin, T., Jean-Louis, L., & Leghima, D. (2021). Positive effects of lumbar puncture simulation training for medical students in clinical practice. *BMC medical education*, 21(1), 1-6.

Gaubert, S., Blet, A., Plaisance, P., Roos, C., Remini, S. A., Roux, D., & Paquet, C. (2019). Mise en place d'un enseignement théorique et pratique à la ponction lombaire par simulation : Intérêt et évaluation en pratique courante. *Revue Neurologique*, 175, S148-S149.

Huang, G. C., Smith, C. C., Gordon, C. E., Feller-Kopman, D. J., Davis, R. B., Phillips, R. S., & Weingart, S. N. (2006). Beyond the comfort zone : Residents assess their comfort performing inpatient medical procedures. *The American journal of medicine*, 119(1), 71-e17.

Jakob, M., Bovis, M., & Oden, M. (2005). The significance of channel recharge rates for estimating



- debris-flow magnitude and frequency. *Earth Surface Processes and Landforms: the Journal of the British Geomorphological Research Group*, 30(6), 755-766.
- Joyner, B., & Young, L. (2006). Teaching medical students using role play : Twelve tips for successful role plays. *Medical teacher*, 28(3), 225-229.
- Kowalczyk, E., & Kura, M. (2012). An influence of mental stress related to parachute jumping on ACTH and cortisol levels in blood serum. *Psychiatr Pol*, 46(5), 731-742.
- Krug, S. (2000). *Don't make me think!: A common sense approach to Web usability*. Pearson Education India.
- Leplat, J. (2005). Les automatismes dans l'activité : Pour une réhabilitation et un bon usage. *Activités*, 02(2), Art. 2. <https://doi.org/10.4000/activites.1797>
- L'Her, E., Geeraerts, T., Desclefs, J. P., Benhamou, D., Blanie, A., Cerf, C., Delmas, V., Jourdain, M., Lecomte, F., & Ouanes, I. (2019). Intérêts de l'apprentissage par simulation en soins critiques. *Recommandations communes de la Société de réanimation de langue française, de la Société française d'anesthésie et de réanimation, de la Société française de médecine d'urgence et de la Société francophone de simulation en santé*.
- McGaghie, W. C., Issenberg, S. B., Cohen, E. R., Barsuk, J. H., & Wayne, D. B. (2011). Does simulation-based medical education with deliberate practice yield better results than traditional clinical education ? A meta-analytic comparative review of the evidence. *Academic medicine*, 86(6), 706-711.
- McMillan, H. J., Writer, H., Moreau, K. A., Eady, K., Sell, E., Lobos, A.-T., Grabowski, J., & Doja, A. (2016). Lumbar puncture simulation in pediatric residency training : Improving procedural competence and decreasing anxiety. *BMC medical education*, 16(1), 1-7.
- Meyer, D. E., & Kieras, D. E. (1997). A computational theory of executive cognitive processes and multiple-task performance : Part 2. Accounts of psychological refractory-period phenomena. *Psychological review*, 104(4), 749.
- Moss, F., & McManus, I. C. (1992). The anxieties of new clinical students. *Medical Education*, 26(1), 17-20.
- Moulaye, A. (2019). Évaluation des étudiants, internes et résidents sur la pratique de la ponction lombaire au cours des stages hospitaliers. *The Pan African Medical Journal*, 33.
- Nakamura, J., & Csikszentmihalyi, M. (2014). The concept of flow. In *Flow and the foundations of positive psychology* (p. 239-263). Springer.
- Nielsen, J. (2005). Ten usability heuristics. <http://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/> (accessed ....
- Norman, D. (2013). *The design of everyday things: Revised and expanded edition*. Basic books.
- Ros, M., Neuwirth, L. S., Ng, S., Debien, B., Molinari, N., Gatto, F., & Lonjon, N. (2021). The effects of an immersive virtual reality application in first person point-of-view (IVRA-FPV) on the learning and generalized performance of a lumbar puncture medical procedure. *Educational Technology Research and Development*, 69(3), 1529-1556.
- Scapin, D. L., & Bastien, J. C. (1997). Ergonomic criteria for evaluating the ergonomic quality of interactive systems. *Behaviour & information technology*, 16(4-5), 220-231.
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving : Effects on learning. *Cognitive science*, 12(2), 257-285.
- Tourteaux, A. (2020). Apprentissage de la ponction lombaire par tutorat au centre de simulation de la Faculté de médecine de Nice.
- von Cranach, M., Backhaus, T., & Brich, J. (2019). Medical students' attitudes toward lumbar puncture— And how to change. *Brain and Behavior*, 9(6), e01310.