



**HAL**  
open science

## Effets des aptitudes visuo-spatiales sur l'apprentissage par vidéo 2D et immersive

Eya Jaafar, Philippe Gauthier, Geoffroy Canlorbe, Ignacio Avellino

► **To cite this version:**

Eya Jaafar, Philippe Gauthier, Geoffroy Canlorbe, Ignacio Avellino. Effets des aptitudes visuo-spatiales sur l'apprentissage par vidéo 2D et immersive. IHM '24: 35th International Francophone Conference on Human-Computer Interaction, Mar 2024, Paris, France. 10.1145/3649792.3649801 . hal-04454386

**HAL Id: hal-04454386**

**<https://hal.science/hal-04454386v1>**

Submitted on 13 Feb 2024

**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.

# Effets des aptitudes visuo-spatiales sur l'apprentissage par vidéo 2D et immersive

## Effects of Visuospatial Abilities on Learning Through 2D and Immersive Video

Eya Jaafar

Sorbonne Université, Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique, ISIR  
Paris, France

Geoffroy Canlorbe

Sorbonne Université, INSERM UMRS 938, CRSA. AP-HP, Pitié-Salpêtrière University Hospital  
Paris, France

Philippe Gauthier

Sorbonne Université, INSERM, Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique, ISIR  
Paris, France

Ignacio Avellino

Sorbonne Université, CNRS, INSERM, Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique, ISIR  
Paris, France

### ABSTRACT

La réalité virtuelle pour l'apprentissage de la chirurgie grâce à son immersion offre une approche novatrice. Cependant, son efficacité semble être influencée par l'aptitude visuo-spatiale (AVS) de l'utilisateur. Dans ce travail, nous avons étudié les avantages de la visualisation immersive sur l'apprentissage. Des étudiants en médecine de quatrième année (N=153) ont visionné une leçon de césarienne basée sur des enregistrements vidéos par un casque immersif ou un écran classique. Contrairement à nos attentes, le groupe immersif a obtenu des scores de rétention de connaissances inférieurs à ceux du groupe classique. Cependant, nous constatons que l'AVS est positivement corrélée à la rétention de connaissances dans le groupe immersif, obtenant des performances similaires au groupe classique lorsque l'AVS est élevée. Ces résultats informent sur l'apprentissage par la vidéo immersive : bien que l'immersion peut être une entrave pour la rétention des connaissances, cet effet semble moindre pour les étudiants ayant une AVS élevée.

### ABSTRACT

Virtual reality offers an innovative approach to surgical learning due to its immersive nature. However, its effectiveness appears to be influenced by the user's visuospatial abilities (VSA). In this work, we studied the impacts of visualizing videos under immersion on learning. Fourth-year medical students (N=153) watched a real-life recorded cesarean section lecture either through an immersive head-mounted display or a classic 2D screen. Contrary to our expectations, the immersive group achieved lower scores in knowledge retention compared to the classic group. However, we find that VSA is positively correlated with knowledge retention in the immersive group, achieving similar performance when VSA is high. These results provide insights into immersive video-based

learning: while immersion may hinder knowledge retention, this effect appears to be lower for students with high VSA.

### CCS CONCEPTS

• **Human-centered computing** → **Empirical studies in HCI; Laboratory experiments**; Virtual reality.

### KEYWORDS

video-based learning, immersive video, mental rotation, visuospatial abilities, surgery, C-section

### KEYWORDS

video-based learning, immersive video, mental rotation, visuospatial abilities, surgery, C-section

### Reference:

Eya Jaafar, Philippe Gauthier, Geoffroy Canlorbe, and Ignacio Avellino. 2024. Effets des aptitudes visuo-spatiales sur l'apprentissage par vidéo 2D et immersive.

## 1 INTRODUCTION ET TRAVAUX ANTÉRIEURS

L'enseignement traditionnel de la chirurgie se fait généralement directement au bloc opératoire, de façon progressive, selon un système de compagnonnage des étudiants par un ou plusieurs mentors. Cet apprentissage passe par une phase d'observation plus ou moins longue avant la réalisation des premiers gestes. L'accès des étudiants au bloc opératoire est cependant limité, et le vécu des premières interventions peut être difficile pour les étudiants. [23]. Le milieu du bloc opératoire est en effet physiquement et émotionnellement contraignant notamment en raison de la rigueur des protocoles à respecter. Cela peut engendrer un manque de clarté des objectifs d'apprentissage ainsi que des sentiments de peur, d'anxiété et d'intimidation chez les étudiants [7]. Il est donc essentiel de pouvoir préparer au mieux les étudiants avant leur arrivée dans un bloc opératoire afin de limiter les difficultés attendues et leur anxiété. [11]. Récemment, de plus en plus de systèmes interactifs d'apprentissage ont été développés dans cette optique.

La Réalité Virtuelle (RV) occupe une place centrale parmi les outils pédagogiques novateurs pour l'apprentissage de la chirurgie [14]. Les étudiants peuvent développer des compétences techniques chirurgicales, telle qu'une amélioration de leur dextérité, grâce notamment à l'alternance d'exercices de simulation et d'exercices en situations réelles [27]. L'amélioration des connaissances théoriques peut également bénéficier de l'apport de la RV, avec une supériorité démontrée pour l'apprentissage de la visualisation de cours d'anatomie en 3 Dimensions (3D) par rapport à 2 Dimensions (2D) [33]. Cela est d'autant plus marqué quand ces cours 3D sont couplés à des casques de réalité virtuelle pour permettre une immersion totale de l'étudiant [25]. Il est important de noter que l'apprentissage des techniques opératoires via les systèmes de RV permettent également aux étudiants de s'initier à la chirurgie de façon interactive sans prendre de risque pour la santé de patients réels. [6, 9]. Cependant, la création d'environnements virtuels avec des objets interactifs en 3D est coûteuse et peut ne pas toujours reproduire fidèlement les rapports anatomiques du corps humain. En comparaison, les vidéos sont plus faciles à produire, car les chirurgiens peuvent enregistrer des procédures réelles et les utiliser comme outils pédagogiques [3]. Des études ont montré que les vidéos permettent aux étudiants de visualiser des gestes techniques et les relations entre les structures, améliorant ainsi leur compréhension des procédures, ce qui a un impact significatif sur l'acquisition des compétences chirurgicales [1, 2]. Ces avantages sont liés à la visualisation de procédures chirurgicales réelles plutôt qu'à des simulations, ce qui aide les étudiants en médecine à mieux appréhender le déroulement des interventions et à se préparer à leur future participation au bloc opératoire [13].

Étant donné les avantages des approches réalistes basées sur les enregistrements vidéos et leur coût abordable, il est pertinent d'étudier les avantages de combiner le réalisme des enregistrements vidéo avec l'immersion des casques de RV. Une récente méta-analyse [4] a souligné une amélioration de la confiance, de l'engagement, de l'intérêt, et une réduction des distractions lors de la visualisation de vidéos 3D en immersion par rapport à des vidéos 2D sur écran, faisant de la vidéo immersive un environnement propice à l'apprentissage. Cependant, les rares études ayant mesuré de manière objective les gains d'apprentissage, offrent des preuves fragmentaires. Deux études n'ont pas trouvé de différences dans les résultats d'apprentissage, l'une comparant des vidéos 360° en 3D immersives à des vidéos 2D enregistrées [16], et l'autre comparant des environnements virtuels immersifs en 3D à des vidéos 3D interactives sur un écran d'ordinateur portable [29]. En revanche, une étude a montré que les vidéos immersives en 3D via des casques de RV améliorent l'acquisition des compétences en suture [34]. Ainsi, il reste encore des incertitudes quant à l'impact de l'immersion sur l'apprentissage, surtout, parce que les caractéristiques des utilisateurs peuvent jouer un rôle. Notamment, l'aptitude visuo-spatiale, qui permet aux individus de créer des représentations mentales en 3D à partir d'images en 2D et de les manipuler mentalement [15, 21], semble être corrélée positivement avec les évaluations subjectives et objectives de la performance chirurgicale, notamment chez les novices [22, 24]. Cependant, les études divergent quant à l'impact de l'aptitude visuo-spatiale sur la perception des informations dans des vidéos en 3D [5, 10]. Comprendre l'impact de ces compétences

peut aider à déterminer quels étudiants bénéficieraient le plus des systèmes immersifs d'apprentissage.

Dans cet article, nous étudions les effets des vidéos immersives sur l'apprentissage, et les caractéristiques individuelles qui l'influencent, à travers une étude contrôlée randomisée. Deux groupes d'étudiants en médecine de quatrième année (N=153) ont été inclus et assignés au hasard pour suivre une leçon sur le césarienne de deux manières différentes : soit en visionnant une VIDEO *immersive* grâce à des casques de réalité virtuelle, soit en regardant une VIDEO *classique* sur un écran d'ordinateur. Cette étude vise à répondre à deux questions de recherche : (QR1) Quel est l'incidence de la visualisation par immersion d'une vidéo sur la rétention des connaissances ? (QR2) Dans quelle mesure les aptitudes visuo-spatiales influencent-elles l'apprentissage par la visualisation immersive d'une vidéo ?

Les résultats montrent un apprentissage inférieur par la VIDEO *immersive* (Moyenne = 15, 87 ± 2, 5 vs. 16, 97 ± 1, 96,  $p = 0, 01$ ). Néanmoins, l'apprentissage par VIDEO *immersive* est positivement corrélé à l'aptitude visuo-spatiale dans le groupe ayant le cours par VIDEO *immersive* ( $r(69)=0, 29$ ,  $p = 0, 014$ ), et sans corrélation dans le groupe *classique* ( $r(65)=0, 11$ ,  $p = 0, 41$ ). Les facteurs ayant une influence statistique sur l'aptitude visuo-spatiale sont le genre ( $p < 0, 001$ ) et les connaissances initiales sur la césarienne ( $p = 0, 014$ ). Ces résultats s'expliquent par l'hypothèse de « distraction » par un outil nouveau pour la majorité des étudiants, selon les théories de la charge cognitive [32] et de l'apprentissage multimédia [26]. Néanmoins, plus les participants présentent une aptitude visuo-spatiale élevée, plus ils arrivent à s'affranchir de cet effet et réussissent à bénéficier de l'immersion et de l'apprentissage de nouvelles notions autant que les participants du groupe *classique*. Ces résultats informent la conception des systèmes d'immersion pour l'apprentissage, ainsi que leur usage par des enseignants.

## 2 MÉTHODE

Afin de contribuer à une meilleure compréhension de l'apport de la visualisation de vidéos en immersion sur l'apprentissage, nous mettons en place une expérience contrôlée pour comparer la VIDEO *immersive* par casque à la VIDEO *classique* par écran 2D sur la rétention des connaissances et en fonction des aptitudes visuo-spatiales.

### 2.1 Participants

176 étudiants en médecine de quatrième année de Sorbonne Université ont été initialement inclus dans le cadre de leur atelier annuel de gynécologie et obstétrique, lors des deux dernières sessions : février et mai 2023. Parmi eux, 23 étaient absents ou ont été exclus de l'étude car ils ont fourni des réponses incomplètes, soit un total de 153 participants (Table 1). Nous ciblons les étudiants en médecine de deuxième cycle de quatrième année (externes), car l'apprentissage par vidéo en chirurgie est efficace aux premiers stades de l'apprentissage, lorsque l'expérience d'une procédure est limitée voire inexistante. Tous les participants étaient âgés de 18 ans ou plus, aucune distinction n'a été faite entre eux. Les analyses de cette étude étant issues d'une expérience plus large incluant 3 séances, nous avons inclus les étudiants qui étaient concernés par

		VIDEO <i>immersive</i> N=71	VIDEO <i>classique</i> N=67	p
Sessions (Nb)	Février	40 (56%)	40 (60%)	
	Mai	31 (44%)	27 (40%)	
Genre (Nb)	F	44 (62%)	43 (64%)	0,86
	M	27 (38%)	24 (36%)	
Âge (Moy ± SD)		22,15 ± 2,7	21,31 ± 0,78	0,014
Sportif de haut niveau (Nb)		6 (5%)	2 (3%)	0,28
Musicien de haut niveau (Nb)		2 (3%)	1 (1,5%)	1
Expérience antérieure avec la réalité virtuelle (Nb)		29 (41%)	31 (46%)	0,61
Participation antérieure à une césarienne (Nb)	0	62 (87%)	50 (74,5%)	0,65
	1	4 (5,5%)	10 (15%)	
	2	4 (5,5%)	6 (9%)	
	3	1 (2%)	1 (1,5%)	
Expérience antérieure avec le test de rotation mentale (Nb)		3 (4,2%)	1 (1,5%)	0,62
Aptitudes visuo-spatiales (Moy ± SD)		27,67 ± 9,8	27,18 ± 8,7	0,75
Connaissances initiales sur la césarienne (Moy ± SD)		6,13 ± 1,8	6,97 ± 1,82	0,007

Table 1: Caractéristiques des participants.

l'évaluation de leur apprentissage des connaissances sur la césarienne et de leurs aptitudes visuo-spatiales. Ainsi, les participants inclus sont les étudiants des séances de février et de mai 2023.

## 2.2 Design de l'étude

L'expérience suit un design inter-sujets d'une variable à 2 niveaux. Le contenu du cours est visualisé par une VIDEO, soit *immersive*, par casque de RV, soit *classique*, par écran d'ordinateur portable.

## 2.3 Contenu vidéo et questions

Le contenu vidéo et questions correspondent à une leçon de césarienne par laparotomie pour présentation par le siège.

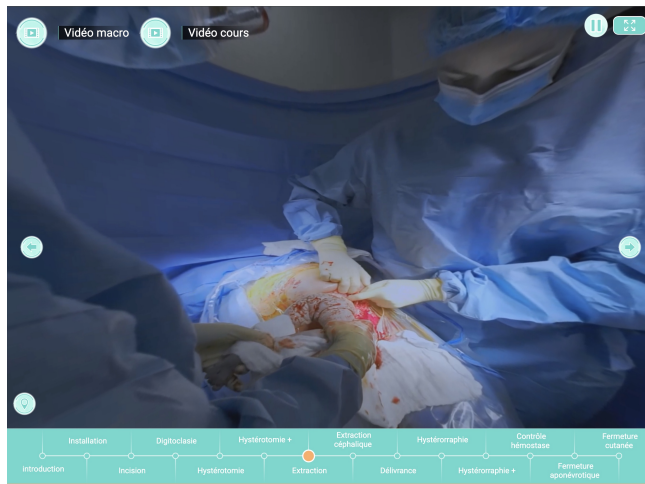
**2.3.1 Contenu vidéo de la leçon.** Le contenu vidéo et audio est identique pour les deux groupes de VIDEO. Nous avons créé un cours vidéo à partir de l'enregistrement réel d'une intervention filmée pour bénéficier d'une vue de face, en utilisant une caméra Z-Cam K1 3D. La leçon est composée d'un cours principal et de cinq cours annexes. Le **cours principal** mets en évidence trois membres de l'équipe de gynécologie et obstétrique pendant une césarienne pour présentation par le siège : un gynécologue-obstétricien expert effectue la procédure, assisté par un interne et par un externe (étudiant en médecine de 2ème cycle). Les participants peuvent voir les gestes de chaque membre comme si leurs yeux se trouvaient à un mètre du site chirurgical, au sein du bloc opératoire.

L'enregistrement a été édité pour créer un cours de 12 minutes, divisé en chapitres comprenant : introduction, installation, incision cutanée, digitoclasie, incision de l'utérus, extraction foetale par le siège, délivrance du placenta, fermeture utérine, hémostase, fermeture de l'aponévrose, et fermeture cutanée. Pendant le cours, la voix enregistrée en studio d'un expert de gynécologie et obstétrique décrit le contenu : les gestes, la technique, l'anatomie des principaux vaisseaux utérins et leurs rapports anatomiques, l'utilité des instruments pour chaque étape, les gestes à éviter et pourquoi ils sont dangereux. Le cours comprend à la fois les connaissances nécessaires à la compréhension d'une césarienne classique et le rôle de chaque membre de l'équipe chirurgicale. Cinq **cours annexes**, durant de 1 à 5 minutes chacun, détaillent les principales étapes de la césarienne : installation et instruments chirurgicaux, incision cutanée et anatomie de la paroi abdominale antérieure, incision utérine, extraction foetale céphalique et fermeture utérine.

**2.3.2 Questions de connaissances.** Pour évaluer les connaissances sur le cours, nous avons créé un ensemble de 20 Questions à Choix Multiples (QCM) où, pour chaque question, une seule réponse est correcte parmi cinq propositions. Nous avons suivi la méthode du *Content Validity* [8]. Tout d'abord, nous avons élaboré les questions en nous basant sur le contenu du cours vidéo. Ensuite, nous avons contacté par e-mail 10 experts en gynécologie et obstétrique en les invitant à évaluer la pertinence de nos questions et propositions. Chacun d'entre eux a attribué une note de pertinence (1) ou de non-pertinence (0) à chaque question et a fourni des commentaires libres. Nous avons attribué une note totale (moyenne des notes de pertinence des 20 questions) à chaque expert (entre 0 et 1) et calculé le score de *Content Validity* en faisant la moyenne des 10 notes. La plupart des questions étaient notées pertinentes, ce qui a donné un excellent score de *Content Validity* ( $0,85 \pm 0,38$  sur 1) à notre questionnaire de connaissances. Par conséquent, aucune question n'a été supprimée ; cependant, nous avons procédé à des ajustements mineurs avec quelques nuances de formulation sur la base des commentaires des experts.

## 2.4 Équipement

Chaque condition attribue à un groupe un appareil de visionnage différent. Les participants du groupe *immersive* sont munis d'un casque de réalité virtuelle Meta-Quest 2 leur permettant de visualiser un environnement immersif conçu par notre équipe et comportant une vidéo 180° en 3D. Les mouvements de la tête sont intégrés par le système et permettent à l'étudiant de changer son point de vue au sein de la vidéo 3D (Figure 1b). Deux manettes servent à interagir avec un système de contrôle situé au bas de l'écran et permettant de naviguer dans la vidéo immersive : avancer, mettre sur pause, revenir en arrière, accéder directement à certains chapitres ou à des cours. Les participants du groupe *classique* ont chacun un ordinateur portable qui leur sont attribués, sont positionnés en face de leurs écrans, portent chacun un casque audio et interagissent avec l'interface par le biais du trackpad du clavier (Figure 1a). Les appareils de visionnage de chaque groupe permettent de réaliser des interactions telles que lecture/pause, changement de chapitre (avancer, reculer ou choix d'un chapitre spécifique). Les boutons de la plate-forme de navigation vidéo sont standards pour les deux interfaces.



(a) Interface de la condition VIDEO classique.



(b) Interface de la condition VIDEO immersive.

Figure 1: Interface des deux conditions.

## 2.5 Procédure expérimentale

Lors de leur accueil, les participants ont pris connaissance de leurs identifiants uniques, puis ont été répartis selon leur attribution randomisée aux groupes (Figure 2). Après avoir signé la fiche de consentement, les participants ont commencé par répondre à un questionnaire de pré-visionnage, puis ont effectué un Test de Rotation Mentale (TRM) standard [31]. Ensuite, les participants ont bénéficié de 45 minutes pour regarder librement la leçon de césarienne (cours principal et cours annexes), tandis que l'encadrant reste dans la salle en cas de difficultés techniques. Une fois le visionnage terminé, les participants ont répondu à un questionnaire de connaissances post-visionnage. Pour chaque questionnaire, les accès ont eu lieu par le biais de QR codes, les participants ont répondu par le biais de leurs smartphones, en saisissant d'abord leurs identifiants anonymes, ce qui nous permet de relier les réponses à un même participant d'un questionnaire à l'autre.



Figure 2: Disposition des groupes. (a) Le groupe VIDEO immersive. (b) Le groupe VIDEO classique.

## 2.6 Recueil des données

Les questionnaires ont été hébergés dans une installation privée de la plate-forme LimeSurvey, sauf le TRM, distribué en format papier. Les questions sur l'échelle de Likert allaient de (1) « pas du tout d'accord » à (5) « tout à fait d'accord ».

**2.6.1 Questionnaire pré-visionnage.** Ce questionnaire se compose de trois parties et est disponible dans l'Appendix A.

**A. Données démographiques.** Questions sur (i) le genre, (ii) l'âge, (iii) l'expérience antérieure avec la réalité virtuelle (oui/non), (iv) avec le Test de Rotation Mentale (oui/non), (v) la participation antérieure à des césariennes (en nombre), (vi) si les participants ont un niveau professionnel de sport (oui/non) ou (vii) de musique (oui/non). Ces deux dernières mesures ont été corrélées avec l'AVS [17, 18].

**B. Connaissances initiales sur la césarienne.** La première série de 10 QCM sur les 20 conçues pour l'étude.

**C. Aptitude visuo-spatiale.** Mesurée par un test de rotation mentale standard [31], composé par 20 exercices à réaliser avec une limite de temps de 10 minutes, où les participants doivent reconnaître les deux images identiques à celle de l'énoncé parmi 4 propositions. Un point est octroyé pour chaque image correctement identifiée, avec un maximum de 2 points par question, et donc un maximum de 40 points au total.

**2.6.2 Questionnaire post-visionnage.** Ce questionnaire est disponible dans l'Appendix B.

**Rétention des connaissances sur la césarienne.** 20 QCM, dont les questions 1 à 10 sont les mêmes que dans le questionnaire pré-visionnage, et les questions 11 à 20 sont nouvelles. Nous avons choisi ce format afin d'éviter que les participants ne se concentrent

excessivement sur une série spécifique de questions, et d'évaluer de manière approfondie la rétention des connaissances. Les questions sont présentées dans le même ordre à tous les participants, mais l'ordre des questions n'est pas structuré de Q1 à 20. Nous avons créé un ordre dans lequel les deux séries de questions sont mélangées. Les étudiants n'avaient aucune information préalable sur les séries de questions qui leur seraient posées.

## 2.7 Analyse des données

Les analyses statistiques ont été réalisées sur R (version 4.2.3).

**2.7.1 Caractéristiques des participants.** L'analyse descriptive des caractéristiques des participants a été effectuée en fonction de la variable VIDEO. Les données quantitatives (âge, connaissances initiales sur la césarienne, participation antérieure à des césariennes, aptitudes visuo-spatiales) ont été analysées à l'aide du test t-Student, et les données binaires (genre, expérience antérieure avec la réalité virtuelle ou avec le test de rotation mentale, pratique du sport à haut niveau ou pratique de la musique à haut niveau) ont été analysées à l'aide du test de Fisher.

**2.7.2 Rétention des connaissances sur la césarienne.** L'analyse descriptive des scores de rétention des connaissances sur la césarienne a été réalisée en fonction de la variable VIDEO à l'aide du test t-Student. Nous avons identifié les facteurs de confusion potentiels en testant l'effet des variables caractéristiques des participants sur chaque mesure. Pour les connaissances apprises sur la césarienne, nous avons testé l'impact des facteurs de confusion sur les scores de connaissances apprises à l'aide d'un test de Pearson pour les caractéristiques quantitatives (âge, connaissances initiales sur la césarienne, participation antérieure à des césariennes, aptitudes visuo-spatiales) et d'un test t-Student pour les caractéristiques binaires (genre, expérience antérieure avec la réalité virtuelle). Nous avons réalisé des analyses multivariées en ajustant sur les facteurs de confusion avec un  $p < 0, 2$ .

**2.7.3 Aptitudes visuo-spatiales.** L'analyse de la corrélation entre l'aptitude visuo-spatiale et les connaissances apprises sur la césarienne a été réalisée par le test de Pearson. L'analyse de l'impact de l'âge (facteur individuel quantitatif) sur l'aptitude visuo-spatiale a été réalisé par le test de Pearson. L'analyse de l'impact des facteurs individuels qualitatifs binaires (genre, expérience antérieure avec la réalité virtuelle ou avec le test de rotation mentale, pratique du sport à haut niveau ou pratique de la musique à haut niveau) sur l'aptitude visuo-spatiale a été réalisé par le test t-Student.

## 3 RÉSULTATS

### 3.1 Caractéristiques des participants

Les deux groupes ne sont pas différents concernant la répartition des genres (62% de filles dans le groupe VIDEO *immersive* et 64% dans le groupe VIDEO *classique*). Les étudiants du groupe VIDEO *immersive* sont en moyenne plus âgés d'un an (âge = 22, 15±2, 7 vs. 21, 31±0, 78,  $p = 0, 014$ ). Aucune différence n'est retrouvée concernant les expériences sportives ( $p = 0, 28$ ), musicales ( $p = 1$ ), avec la réalité virtuelle ( $p = 0, 61$ ), avec l'exercice de TRM ( $p = 0, 62$ ), ou concernant les participations antérieures à des césariennes ( $p = 0, 65$ ) ou les aptitudes visuo-spatiales (AVS = 27, 67±9, 8 vs. 27, 18±

8, 7,  $p = 0, 75$ ). Cependant, une différence est retrouvée sur les connaissances initiales sur la césarienne, en effet la moyenne des scores de connaissances initiales est inférieure dans le groupe VIDEO *immersive* (moyenne = 6, 13±1, 8 vs. 6, 97±1, 82,  $p < 0, 01$ ).

### 3.2 Rétention des connaissances

Le score de connaissances apprises sur la césarienne du groupe VIDEO *immersive* est significativement inférieur à celui du groupe VIDEO *classique* (Moyenne = 15, 87±2, 5 vs. 16, 97±1, 96,  $p < 0, 01$ ). Après ajustement sur les facteurs ayant un impact statistique sur les connaissances apprises sur la césarienne (les connaissances initiales sur la césarienne et les aptitudes visuo-spatiales), la différence en faveur du groupe VIDEO *classique* persiste ( $p = 0, 049$ ) (Figure 3a). Pour mieux comprendre l'origine de cette différence, nous analysons le score de rétention des connaissances par session et par série de questions. Après ajustement, les analyses multivariées sont similaires aux analyses univariées, en effet la séance de **février** retrouve une différence en faveur de la VIDEO *classique* (17, 1±2 vs. 15, 7±2, 7,  $t=-2,58$ ,  $df=72,5$ ,  $p = 0, 045$ ) (Figure 3b). Cependant aucune différence n'est retrouvée lors de la session de **mai** (16, 88±1, 72 vs. 16, 02±2, 29,  $t=-1,82$ ,  $df=68,37$ ,  $p = 0, 23$ ) (Figure 3c).

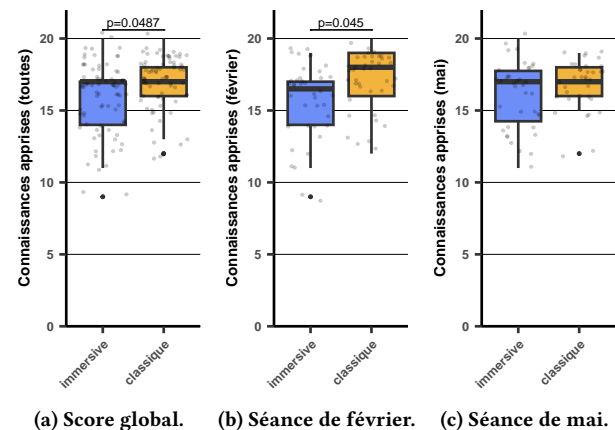


Figure 3: Rétention des connaissances sur la césarienne.

Si nous analysons les deux séries de questions séparément et après ajustement sur les connaissances initiales sur la césarienne et sur les aptitudes visuo-spatiales, aucune différence n'est retrouvée ni pour les **Q1–Q10** (Moyenne = 8, 28±1, 35 vs. 8, 71±1, 12,  $p = 0, 28$ ) ni pour les **Q11–Q20** (Moyenne = 7, 59±1, 78 vs. 8, 25±1, 44,  $p = 0, 065$ ).

### 3.3 Aptitude visuo-spatiale

**3.3.1 Corrélation entre l'aptitude visuo-spatiale et la rétention des connaissances.** Au sein du groupe VIDEO *immersive* une corrélation est observée entre les aptitudes visuo-spatiales et les connaissances apprises sur la césarienne :  $r(69)=0, 29$ ,  $p = 0, 014$ . La force de la corrélation est classée comme faible. Au sein du groupe VIDEO *classique* aucune corrélation n'est observée entre les aptitudes visuo-spatiales et les connaissances apprises sur la césarienne :  $r(65)=0, 11$ ,  $p = 0, 41$ . Lorsqu'on superpose les graphiques, on observe que la ligne de corrélation du groupe VIDEO *immersive* rejoint celle du

groupe VIDEO *classique* pour les aptitudes visuo-spatiales les plus hautes sans la croiser (Figure 4a).

Nous avons analysé les corrélations entre les aptitude visuo-spatiales et les connaissances apprises sur la césarienne par session. Lors de la session de **février**, au sein du groupe VIDEO *immersive* la corrélation est élevée :  $r(38)=0,49$ ,  $p = 0,01$ , au sein du groupe VIDEO *classique* aucune corrélation n'est retrouvée ( $r(38)=0,11$ ,  $p = 0,39$ ) (Figure 4b). Lors de la session de **mai**, au sein du groupe VIDEO *immersive* la corrélation est absente :  $r(29)=0,13$ ,  $p = 0,55$ , au sein du groupe VIDEO *classique* aucune corrélation n'est retrouvée également ( $r(25)=0,041$ ,  $p = 0,82$ ) (Figure 4c).

**3.3.2 Impact des facteurs individuels sur l'aptitude visuo-spatiale.** Les participants de genre masculin (M) ont eu des scores d'aptitude visuo-spatiale significativement supérieurs aux participants de genre féminin (F) ( $M = 32,84 \pm 9,37$  vs.  $F = 34,36 \pm 9,31$ ,  $t=5,98$ ,  $df=114,22$ ,  $p < 0,001$ ) (Figure 5). Les connaissances initiales concernant la césarienne semblent avoir une corrélation statistiquement significative avec l'aptitude visuo-spatiale :  $r(136)=0,21$ ,  $p = 0,014$ . L'âge ( $p = 0,19$ ), la pratique à haut niveau de sport ( $p = 0,57$ ), ou de musique ( $p = 0,99$ ), l'expérience avec la réalité virtuelle ( $p = 0,077$ ) et la réalisation antérieure d'un test de rotation mentale ( $p = 0,80$ ) ne semblent pas statistiquement lié à l'aptitude visuo-spatiale.

## 4 DISCUSSION

Malgré les travaux antérieurs portant sur la conception de systèmes immersifs pour l'apprentissage, tels que les simulations en réalité virtuelle [9], il y a encore peu de recherches consacrées aux visualisations de vidéos immersives [30], bien que du contenu vidéo soit abondamment disponible. Nos résultats contribuent à l'avancement de la compréhension des technologies de visualisation immersive, en fournissant des preuves, conformément à la littérature existante, que les effets de l'immersion demeurent complexes. (QR1) L'immersion a eu un effet négatif sur la rétention des connaissances dans notre étude, se traduisant par une différence d'une seule question (soit 5% de la performance). Cette différence d'impact entre les deux types d'outils s'est manifestée sur l'ensemble des questions et non pas sur une série particulière. (QR2) Parmi les caractéristiques intrinsèques mesurées chez les participants, il a été observé que plus ces derniers avaient eu des expériences antérieures avec les césariennes, plus ils étaient familiers avec le sujet et avaient des connaissances préalables, ce qui les rendait plus réceptifs à l'apport d'un cours supplémentaire. En ce qui concerne l'aptitude visuo-spatiale des participants, une corrélation positive a été établie avec l'apprentissage par le biais de la vidéo immersive. En d'autres termes, les participants dotés d'une aptitude visuo-spatiale plus développée tiraient davantage de bénéfices de l'apprentissage des connaissances liées aux césariennes grâce à la vidéo immersive, et leur avantage se rapprochait de celui obtenu avec la vidéo classique.

### 4.1 Impact de l'immersion : distraction à l'apprentissage

Notre étude suggère que la visualisation de vidéos immersives favorise la capacité des étudiants à retenir des connaissances, et que l'apprentissage de la chirurgie n'est pas différent de l'apprentissage d'autres domaines. Dans leur étude sur les environnements immersifs en RV en mathématiques, Parong et Mayer Parong and Mayer

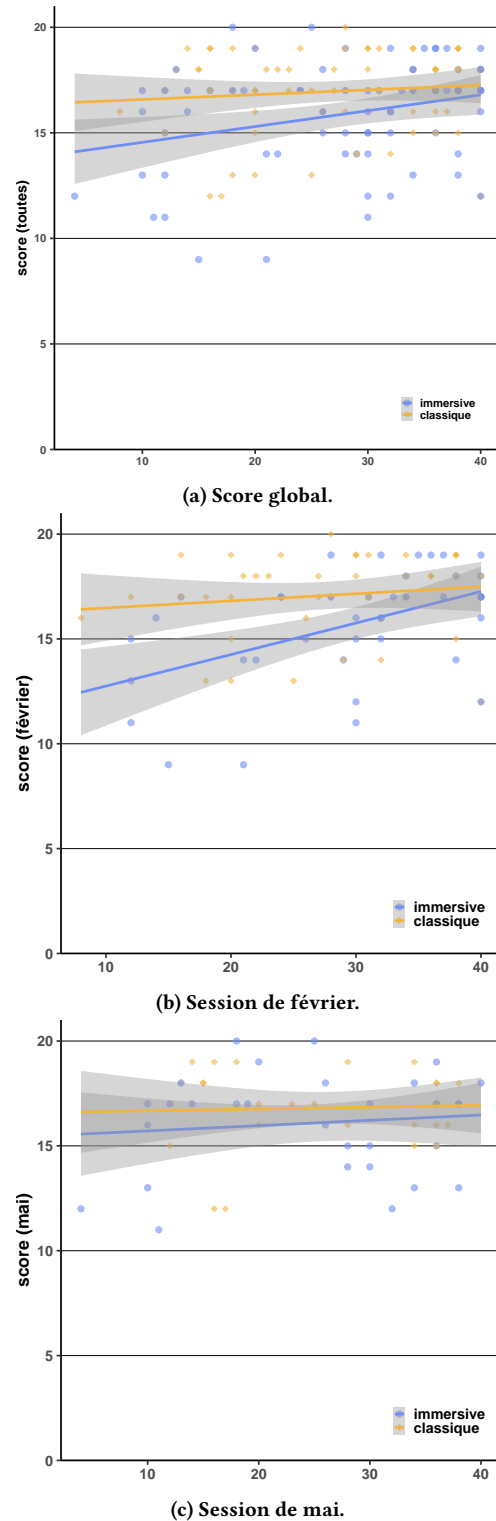


Figure 4: Corrélation entre le score MRT et la note de connaissances apprises sur la césarienne

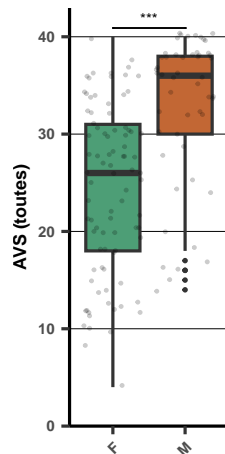


Figure 5: Impact du genre sur l'AVS.

[29] ont formulé deux hypothèses opposées concernant l'immersion. La première, appelée l'hypothèse de « distraction », est étayée par la théorie de la charge cognitive [32] et la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia [26]. Elle suggère que l'immersion, en raison de sa richesse sensorielle, peut entraîner une augmentation de la charge cognitive, réduisant ainsi les ressources cognitives disponibles pour l'apprentissage. La deuxième, nommée l'hypothèse de « motivation », est soutenue par la théorie cognitive et affective de l'apprentissage avec les médias (CATLM) [28]. Elle suggère que l'immersion peut augmenter le traitement affectif, ce qui à son tour stimule le traitement cognitif, se traduisant par un investissement cognitif plus important dans la compréhension du contenu.

Les impacts sur l'apprentissage de la visualisation de vidéos immersives 3D à 180° dans un casque de RV, tels qu'observés dans notre étude, pourraient être expliqués par la théorie de la « distraction » qui suggère que l'immersion pourrait constituer une source de distraction. Nous suggérons ainsi aux concepteurs de chercher à minimiser les effets de distraction, par exemple en évitant l'ajout de toute stimulation inutile, telles que des interfaces complexes, des sons superflus ou des animations excessives. Nos résultats contribuent à la conception des espaces immersifs, un domaine qui reste complexe, avec des questions ouvertes à la fois sur le plan technique (quelles technologies pour réaliser l'immersion ?) et sur le plan pédagogique (quels bénéfices au-delà de l'immédiat ?) [30]. Les effets d'autres formes d'immersion (par exemple, les lunettes 3D, restent à étudier. Il est indispensable de connaître l'effet de la « distraction » induit par ce type d'immersion, car de plus en plus d'outils proposant l'apprentissage par vidéo immersive sont développés sur le marché, tel quel le REVINAX<sup>1</sup>. Aussi, il est essentiel d'étudier leur apport pour la formation, notamment en raison du coût élevé de la mise en place de ces formations par immersion par rapport à celles en 2D (captation et visualisation).

<sup>1</sup><https://www.revinax.net/>

## 4.2 Effet des aptitudes visuo-spatiales : meilleure capacité à apprendre par l'immersion

Les résultats de notre étude montrent qu'une meilleure AVS peut atténuer, voire éliminer, l'effet négatif de l'immersion sur l'apprentissage. Ceci est en conformité avec des études qui ont démontré que les apprenants dotés d'une aptitude visuo-spatiale élevée disposent de ressources cognitives suffisantes pour aborder des tâches complexes [5]. Plusieurs alternatives peuvent être explorées par les enseignants, pour atténuer cet effet. Tout d'abord, les enseignants peuvent adapter l'outil en fonction du niveau d'aptitude visuo-spatiale et le proposer aux apprenants de haut niveau. En suite, explorer la réduction de l'effet de distraction en habituant les apprenants à l'immersion, ou, en les entraînant pour améliorer leur AVS. De nombreux facteurs intrinsèques peuvent influencer l'aptitude visuo-spatiale, notamment le genre, qui semble favoriser les garçons [12]. Cependant, il a été constaté que l'entraînement peut atténuer cette disparité [12, 20]. D'autres caractéristiques individuelles, telles que la pratique régulière du sport ou de la musique, pourraient également influencer l'aptitude visuo-spatiale, bien que des études spécifiques soient nécessaires pour établir des liens précisés [17, 18].

Il convient de noter que, dans notre étude, le nombre de participants ayant déjà effectué un test de rotation mentale, ainsi que de sportifs ou de musiciens, était limité, ce qui peut expliquer le manque de puissance de notre analyse pour démontrer une relation significative. Enfin, il est essentiel que les enseignants évaluent soigneusement le coût potentiel de l'utilisation des systèmes immersifs, notamment lorsque l'immersion n'est pas suivie de séances d'entraînement pratiques. Dans de tels cas, il peut être plus avantageux d'opter pour des systèmes de diffusion de vidéos en 2D, qui présentent des avantages similaires, voire supérieurs, en termes d'apprentissage. Cette considération est d'autant plus pertinente que les écrans 2D sont largement accessibles aux étudiants de nos jours, leur offrant un accès continu au contenu. De plus, les enseignants peuvent créer un programme d'apprentissage qui combine des leçons en vidéo et des exercices pratiques pour optimiser les avantages de l'immersion, favorisant ainsi une meilleure rétention des connaissances théoriques et pratiques.

## 4.3 Limites et travaux futurs

Notre étude a été menée sur une population étendue, en comparant deux groupes constitués de manière aléatoire, tous issus du même niveau académique et provenant d'une véritable université de médecine. Cependant, il convient de noter que notre méthodologie présente quelques limites. Premièrement, nos résultats sont liés à nos choix technologiques et au type de contenu. Nous avons fait le choix de mettre en œuvre un affichage en 3D à 180° pour représenter un système de diffusion de contenu immersif. Il serait judicieux d'inclure d'autres systèmes dans nos investigations, tels que des écrans avec des lunettes 3D ou des casques intégrant des vidéos en 2D. Une étude comparative entre quatre outils différents pourrait permettre d'analyser spécifiquement les effets potentiels de la vidéo 3D et de l'immersion [19]. De même, il serait intéressant d'évaluer l'apport de l'immersion sur d'autres types de contenu, tels que ceux présentant un caractère gestuel plus important, comme



les sutures. Deuxièmement, des recherches ultérieures pourraient approfondir l'analyse des distractions en incluant des mesures déjà identifiées comme corrélées à la distraction [29], telles que la charge cognitive, la présence ou la motivation. Aussi, pour déterminer le moment où l'effet de nouveauté s'estompe, de futures études pourraient réaliser de nouvelles expériences au sein desquelles un groupe aurait la possibilité d'utiliser le système immersif de manière prolongée. Troisièmement, il serait pertinent d'évaluer l'impact des outils immersifs par rapport à l'apprentissage au sein d'un environnement réel, tel qu'un authentique bloc opératoire, afin de mesurer un éventuel transfert prospectif des compétences acquises. En vue d'optimiser l'utilisation de ces systèmes, il est essentiel de comprendre quels types de contenus se prêtent le mieux à l'immersion. Une investigation spécifique des cours en vidéo immersive en relation avec l'apprentissage et l'exécution de gestes chirurgicaux techniques pourrait apporter un meilleur éclairage sur les types de contenu qui bénéficient le plus de la diffusion en immersion, et ainsi orienter les formateurs vers une utilisation plus efficace de ces technologies.

## 5 CONCLUSION

L'impact de la VIDEO *immersive* sur l'acquisition des compétences chirurgicales n'a pas montré de différence marquante par rapport à la VIDEO *classique*. Néanmoins, il semble que des facteurs tels que l'aptitude visuo-spatiale puissent améliorer l'efficacité de l'apprentissage immersif tout en réduisant l'impact de la charge cognitive possiblement liée à l'effet de « distraction » de l'outil. Cependant, la compréhension précise de son utilisation pédagogique demeure complexe et requiert une étude plus approfondie et ciblée.

## ACKNOWLEDGEMENTS

Ce travail a été financé par l'Institut Universitaire d'Ingénierie en Santé (IUIS) de Sorbonne Université.

## REFERENCES

- [1] Akgul Ahmet, Kus Gamze, Mustafaoglu Rustem, and Karaborklu Argut Sezen. 2018. Is Video-Based Education an Effective Method in Surgical Education? A Systematic Review. *Journal of Surgical Education* 75, 5 (Sept. 2018), 1150–1158. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2018.01.014>
- [2] Knut Magne Augestad, Khayam Butt, Dejan Ignjatovic, Deborah S. Keller, and Ravi Kiran. 2020. Video-based coaching in surgical education: a systematic review and meta-analysis. *Surgical Endoscopy* 34, 2 (Feb. 2020), 521–535. <https://doi.org/10.1007/s00464-019-07265-0>
- [3] Ignacio Avellino, Sheida Nozari, Geoffroy Canlorbe, and Yvonne Jansen. 2021. Surgical Video Summarization: Multifarious Uses, Summarization Process and Ad-Hoc Coordination. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction* 5, CSCW1 (April 2021), 140:1–140:23. <https://doi.org/10.1145/3449214>
- [4] Carolyn Blair, Colm Walsh, and Paul Best. 2021. Immersive 360° videos in health and social care education: a scoping review. *BMC Medical Education* 21, 1 (Nov. 2021), 590. <https://doi.org/10.1186/s12909-021-03013-y>
- [5] Katerina Bogomolova, Jeroen J. G. van Merriënboer, Jan E. Sluimers, Jeroen Donkers, Theo Wiggers, Steven E. R. Hovius, and Jos A. van der Hage. 2021. The effect of a three-dimensional instructional video on performance of a spatially complex procedure in surgical residents in relation to their visual-spatial abilities. *The American Journal of Surgery* 222, 4 (Oct. 2021), 739–745. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2021.01.033>
- [6] William C. Brunner, James R. Korndorffer, Rafael Sierra, Nader N. Massarweh, J. Bruce Dunne, C. Lillian Yau, and Daniel J. Scott. 2004. Laparoscopic virtual reality training: are 30 repetitions enough? *The Journal of Surgical Research* 122, 2 (Dec. 2004), 150–156. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2004.08.006>
- [7] Stefanie M. Croghan, Catherine Phillips, and William Howson. 2019. The operating theatre as a classroom: a literature review of medical student learning in the theatre environment. *International Journal of Medical Education* 10 (April 2019), 75–87. <https://doi.org/10.5116/ijme.5ca7.afd1>
- [8] Department of Medical Education, School of Medical Sciences, Universiti Sains Malaysia, MALAYSIA and Muhamad Saiful Bahri Yusoff. 2019. ABC of Content Validation and Content Validity Index Calculation. *Education in Medicine Journal* 11, 2 (June 2019), 49–54. <https://doi.org/10.21315/eimj2019.11.2.6>
- [9] Maximilian Dürr, Daniel Schweitzer, and Harald Reiterer. 2021. ViTT: Towards a Virtual Reality System that Supports the Learning of Ergonomic Patient Transfers. In *Adjunct Proceedings of the 34th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '21 Adjunct)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 78–82. <https://doi.org/10.1145/3474349.3480234>
- [10] Hiroyuki Egi, Minoru Hattori, Takahisa Suzuki, Hiroyuki Sawada, and Hideki Ohdan. 2015. The significance of spatial cognitive ability in robot-assisted surgery. *Surgical Endoscopy* 29, 5 (May 2015), 1130–1136. <https://doi.org/10.1007/s00464-014-3773-6>
- [11] Ann-Mari Fagerdahl, Eva Torbjörnsson, and Anders Söndén. 2021. An Inter-professional E-Learning Resource to Prepare Students for Clinical Practice in the Operating Room—A Mixed Method Study from the Students' Perspective. *Healthcare* 9, 8 (Aug. 2021), 1028. <https://doi.org/10.3390/healthcare9081028>
- [12] Jing Feng, Ian Spence, and Jay Pratt. 2007. Playing an Action Video Game Reduces Gender Differences in Spatial Cognition. *Psychological Science* 18, 10 (Oct. 2007), 850–855. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.01990.x> Publisher: SAGE Publications Inc.
- [13] Éléonore Ferrier-Barbut, Ignacio Avellino, Geoffroy Canlorbe, Marie-Aude Vitrani, and Vanda Luengo. 2023. Learning With Pedagogical Models: Videos As Adjuncts to Apprenticeship for Surgical Training. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction* 7, CSCW1 (April 2023), 139:1–139:40. <https://doi.org/10.1145/3579615>
- [14] Éléonore Ferrier-Barbut, Ignacio Avellino, Marie-Aude Vitrani, and Geoffroy Canlorbe. 2023. Head Mounted Displays in Surgical Training and Planning: A Literature Review. In *Proceedings of the 34rd Conference on l'Interaction Humain-Machine (IHM '23)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 1–9. <https://doi.org/10.1145/3583961.3583973>
- [15] H. W. Gordon. 1986. The cognitive laterality battery: tests of specialized cognitive function. *The International Journal of Neuroscience* 29, 3-4 (June 1986), 223–244. <https://doi.org/10.3109/00207458608986153>
- [16] Cuan M. Harrington, Dara O. Kavanagh, Gemma Wright Ballester, Athena Wright Ballester, Patrick Dicker, Oscar Traynor, Arnold Hill, and Sean Tierney. 2018. 360° Operative Videos: A Randomised Cross-Over Study Evaluating Attentioness and Information Retention. *Journal of Surgical Education* 75, 4 (July 2018), 993–1000. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2017.10.010>
- [17] M. Hassler, N. Birbaumer, and A. Feil. 1985. Musical Talent and Visual-Spatial Abilities: A Longitudinal Study. *Psychology of Music* 13, 2 (Oct. 1985), 99–113. <https://doi.org/10.1177/0305735685132004> Publisher: SAGE Publications Ltd.
- [18] Holger Heppe, Axel Kohler, Marie-Therese Fleddermann, and Karen Zentgraf. 2016. The Relationship between Expertise in Sports, Visuospatial, and Basic Cognitive Skills. *Frontiers in Psychology* 7 (June 2016), 904. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00904>
- [19] Tomoki Itamiya, Masahiro To, Takeshi Oguchi, Shinya Fuchida, Masato Matsuo, Iwao Hasegawa, Hiromasa Kawana, and Katsuhiko Kimoto. 2021. A Novel Anatomy Education Method Using a Spatial Reality Display Capable of Stereoscopic Imaging with the Naked Eye. *Applied Sciences* 11, 16 (Jan. 2021), 7323. <https://doi.org/10.3390/app11167323> Number: 16 Publisher: Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- [20] Robert Kail and Young-shin Park. 1990. Impact of practice on speed of mental rotation. *Journal of Experimental Child Psychology* 49, 2 (April 1990), 227–244. [https://doi.org/10.1016/0022-0965\(90\)90056-E](https://doi.org/10.1016/0022-0965(90)90056-E)
- [21] Marie Høxbro Knudsen, Niklas Breindahl, Tor-Salve Dalsgaard, Dan Isbye, Anne Grethe Mølbak, Gerhard Tiwald, Morten Bo Søndergaard Svendsen, Lars Konge, Joanna Bergström, and Tobias Todsen. 2023. Using Virtual Reality Head-Mounted Displays to Assess Skills in Emergency Medicine: Validity Study. *Journal of Medical Internet Research* 25 (June 2023), e45210. <https://doi.org/10.2196/45210>
- [22] Jean Langlois, Christian Bellemare, Josée Toulouse, and George A. Wells. 2015. Spatial abilities and technical skills performance in health care: a systematic review. *Medical Education* 49, 11 (Nov. 2015), 1065–1085. <https://doi.org/10.1111/medu.12786>
- [23] Patricia M A Lyon. 2003. Making the most of learning in the operating theatre: student strategies and curricular initiatives. *Medical Education* 37, 8 (2003), 680–688. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2923.2003.01583.x>
- [24] Z. N. Maan, I. N. Maan, A. W. Darzi, and R. Aggarwal. 2012. Systematic review of predictors of surgical performance. *The British Journal of Surgery* 99, 12 (Dec. 2012), 1610–1621. <https://doi.org/10.1002/bjs.8893>
- [25] H. S. Maresky, A. Oikonomou, I. Ali, N. Ditkofsky, M. Pakkal, and B. Ballyk. 2019. Virtual reality and cardiac anatomy: Exploring immersive three-dimensional cardiac imaging, a pilot study in undergraduate medical anatomy education. *Clinical Anatomy (New York, N.Y.)* 32, 2 (March 2019), 238–243. <https://doi.org/10.1002/ca.23292>
- [26] Richard E. Mayer. 2014. Cognitive theory of multimedia learning. In *The Cambridge handbook of multimedia learning, 2nd ed.* Cambridge University Press, New York, NY, US, 43–71. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.005>

- [27] Krishna Moorthy, Yaron Munz, Sudip K Sarker, and Ara Darzi. 2003. Objective assessment of technical skills in surgery. *BMJ : British Medical Journal* 327, 7422 (Nov. 2003), 1032–1037. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC261663/>
- [28] Roxana Moreno and Richard Mayer. 2007. Interactive Multimodal Learning Environments: Special Issue on Interactive Learning Environments: Contemporary Issues and Trends. *Educational Psychology Review* 19, 3 (Sept. 2007), 309–326. <https://doi.org/10.1007/s10648-007-9047-2>
- [29] Jocelyn Parong and Richard E. Mayer. 2021. Learning about history in immersive virtual reality: does immersion facilitate learning? *Educational Technology Research and Development* 69, 3 (June 2021), 1433–1451. <https://doi.org/10.1007/s11423-021-09999-y>
- [30] Maxime Ros, Lorenz S. Neuwirth, Sam Ng, Blaise Debien, Nicolas Molinari, Franck Gatto, and Nicolas Lonjon. 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 (June 2021), 1529–1556. <https://doi.org/10.1007/s11423-021-10003-w>
- [31] Roger N. Shepard and Jacqueline Metzler. 1971. Mental Rotation of Three-Dimensional Objects. *Science* 171, 3972 (Feb. 1971), 701–703. <https://doi.org/10.1126/science.171.3972.701> Publisher: American Association for the Advancement of Science.
- [32] John Sweller, Paul Ayres, and Slava Kalyuga. 2011. Cognitive Load Theory. 89–98. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8126-4\\_7](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8126-4_7)
- [33] Charlotte P. R. Triepels, Carlijn F. A. Smeets, Kim J. B. Notten, Roy F. P. M. Kruitwagen, Jurgen J. Futterer, Tineke F. M. Vergeldt, and Sander M. J. Van Kuijk. 2020. Does three-dimensional anatomy improve student understanding? *Clinical Anatomy* 33, 1 (2020), 25–33. <https://doi.org/10.1002/ca.23405>
- [34] S. Yoganathan, D. A. Finch, E. Parkin, and J. Pollard. 2018. 360° virtual reality video for the acquisition of knot tying skills: A randomised controlled trial. *International Journal of Surgery (London, England)* 54, Pt A (June 2018), 24–27. <https://doi.org/10.1016/j.ijisu.2018.04.002>

## A QUESTIONNAIRE PRÉ-VISIONNAGE

Partie	N°	Question	Propositions
A. Démographique	i	Sexe	<input type="checkbox"/> Féminin <input type="checkbox"/> Masculin <input type="checkbox"/> Autre
	ii	Age	_____
	iii	As-tu déjà expérimenté un casque de réalité virtuelle ?	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
	iv	As-tu déjà réalisé un Test de Rotation Mentale ?	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
	v	As-tu déjà participé à une césarienne ?	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
		Si oui, combien de fois ?	_____ fois
	vi	Pratiques-tu du sport à haut niveau ?	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
vii	Pratiques-tu de la musique à haut niveau ?	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
B. Connaissances initiales de césarienne	Q1	La paroi abdominale antérieure est composée de muscles	<input type="checkbox"/> <b>Grands droits, en médian</b> <input type="checkbox"/> Rectus abdominalis, en latéral <input type="checkbox"/> Pyramidaux, en arrière des muscles grands droits <input type="checkbox"/> Oblique externe, oblique interne et transverse <input type="checkbox"/> Triceps en latéral
	Q2	En césarienne, le temps opératoire faisant suite à l'hystérotomie est	<input type="checkbox"/> la délivrance
			<input type="checkbox"/> <b>l'extraction foetale</b> <input type="checkbox"/> l'hystérorraphie <input type="checkbox"/> la fermeture cutanée <input type="checkbox"/> la fermeture de l'aponévrose
	Q3	L'hystérotomie est classiquement	<input type="checkbox"/> <b>segmentaire transversale</b> <input type="checkbox"/> fundique <input type="checkbox"/> sagittale <input type="checkbox"/> verticale <input type="checkbox"/> cervicale
			<input type="checkbox"/> la vessie
	Q4	Durant la césarienne, la valve sus-pubienne permet l'exposition de	<input type="checkbox"/> les trompes <input type="checkbox"/> <b>le segment inférieur</b> <input type="checkbox"/> le foie <input type="checkbox"/> le ligament rond
	Q5	Le risque d'hémorragie de la délivrance est prévenu par	<input type="checkbox"/> une ligature des artères utérines <input type="checkbox"/> <b>l'administration d'un utérotonique</b> <input type="checkbox"/> une ligature des artères hypogastriques <input type="checkbox"/> une délivrance incomplète <input type="checkbox"/> un pansement compressif
			<input type="checkbox"/> <b>clampage / section du cordon ombilical</b> <input type="checkbox"/> l'hystérotomie <input type="checkbox"/> l'hystérorraphie <input type="checkbox"/> l'hystérorraphie <input type="checkbox"/> la délivrance
	Q7	L'amniotomie correspond	<input type="checkbox"/> à l'ouverture du muscle utérin <input type="checkbox"/> <b>à l'ouverture de la poche des eaux</b> <input type="checkbox"/> à l'inspection du liquide amniotique <input type="checkbox"/> au prélèvement du liquide amniotique <input type="checkbox"/> au prélèvement du cordon
			<input type="checkbox"/> <b>fléchir la tête foetale</b> <input type="checkbox"/> défléchir la tête foetale <input type="checkbox"/> appuyer sur la tête foetale <input type="checkbox"/> faire levier sur la symphyse <input type="checkbox"/> tourner la tête foetale
Q8	En césarienne, lors de l'extraction foetale, la main de l'opérateur va	<input type="checkbox"/> en décubitus latéral droit <input type="checkbox"/> les bras le long du corps <input type="checkbox"/> en position gynécologique <input type="checkbox"/> <b>les bras libres à 90°</b> <input type="checkbox"/> en décubitus ventral	
Q9	Lors de la césarienne, la patiente est installée	<input type="checkbox"/> <b>de l'aponévrose antérieure</b> <input type="checkbox"/> de l'aponévrose postérieure <input type="checkbox"/> des muscles grands droits <input type="checkbox"/> des muscles transverses <input type="checkbox"/> des muscles obliques externes	
Q10	La suture pariétale comporte notamment la suture	<input type="checkbox"/> des muscles obliques externes	

Table 2: Questionnaire Pré-visionnage

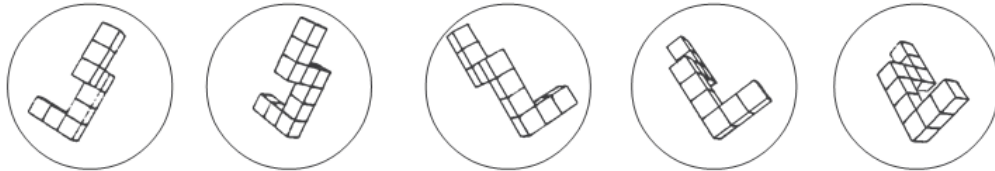
## A.1 Test de rotation mentale

Identifiant : .....

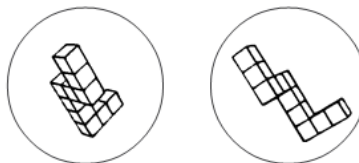
Date : .....

*adapté par S.G. Vandenberg, université du Colorado, 1971 consignes révisées par H. Crawford, université du Wyoming, 1979 traduction française par J.M. Albaret et E. Aubert, 1990.*

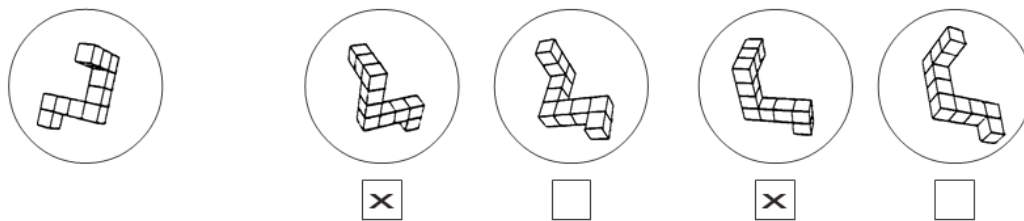
“Ceci est un test destiné à mesurer votre aptitude à reconnaître le dessin d'un objet donné parmi un ensemble d'objets différents. La seule différence entre l'objet original et l'objet à trouver consiste en une modification de l'angle sous lequel il est vu. Une illustration de ce procédé est donnée ci-dessous, où la même figure est présentée dans cinq positions. Regardez chacun d'entre eux pour vous rendre compte vous-même qu'ils sont seulement présentés sous un angle différent l'un de l'autre.”



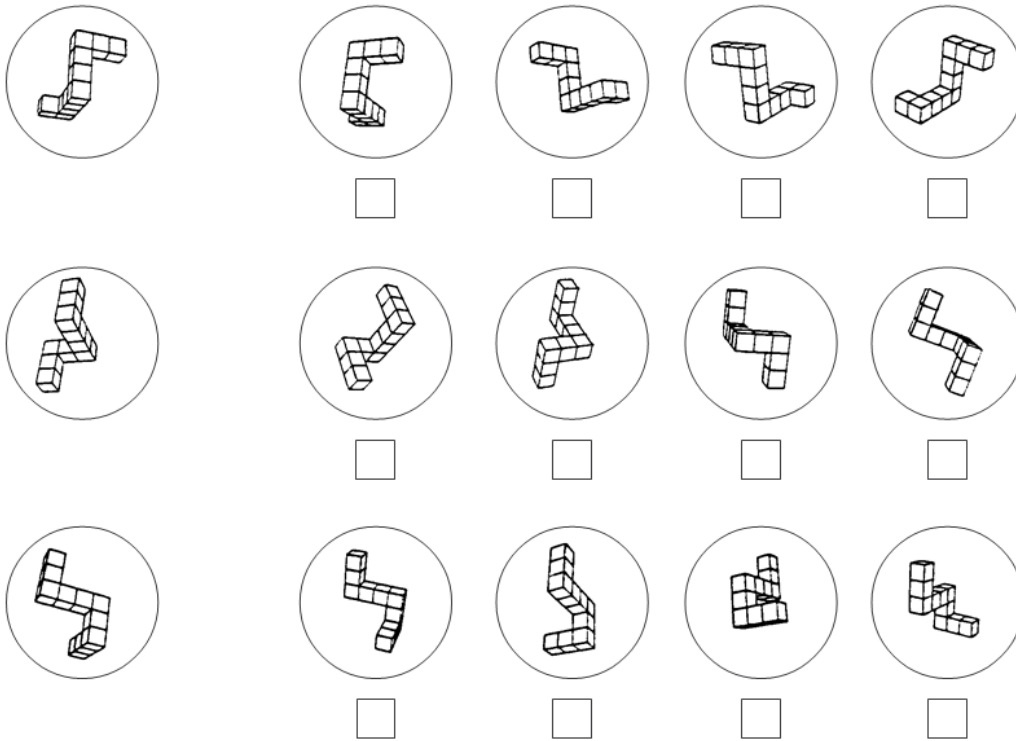
“Ci-dessous, vous voyez deux dessins d'un nouvel objet. Ils ne peuvent pas être appariés avec les cinq dessins ci-dessus. Notez que vous ne pouvez pas retourner les objets. Voyez vous-mêmes qu'ils sont différents.”



“Maintenant, vous allez faire quelques problèmes en guise d'exemple. Pour chaque problème il y a un premier dessin tout à fait à gauche. Vous devez indiquer parmi les quatre structures à droite, les deux qui sont semblables au modèle donné à gauche. Dans chaque problème, il y a toujours deux dessins semblables à celui de gauche. Mettez un dans les cases sous les dessins corrects et laissez un blanc dans celles qui sont incorrectes. Le premier exemple est déjà complété.”



Complétez les exemples suivants vous-même. Quels sont les deux dessins, parmi les quatre situés à droite, qui montrent la même structure que celle de gauche ? Il y a toujours deux et seulement deux réponses correctes pour chaque problème. Mettez un x sous les deux dessins corrects." (3 exemples à compléter, puis à corriger immédiatement).



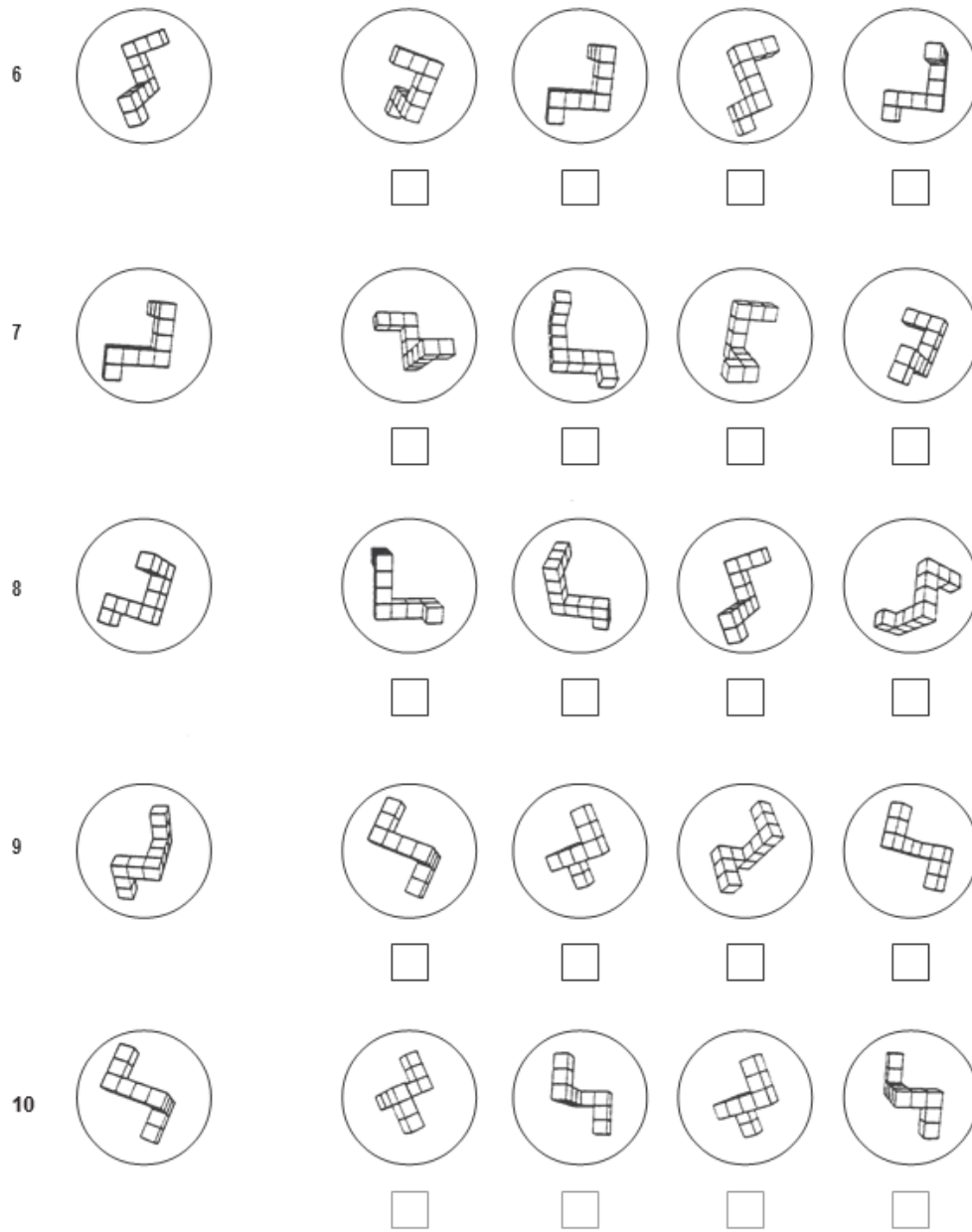
Réponses :



- 1 - Premier et second dessins corrects
- 2 - Premier et troisième dessin corrects
- 3 - Deuxième et troisième dessins corrects




Ce test comprend deux parties. Vous avez 3 minutes pour chacune. Chaque partie a deux pages. Quand vous avez fini la partie 1, arrêtez-vous. Ne commencez pas la partie 2 avant d'en être prié. Rappelez-vous qu'il y a toujours deux et seulement deux réponses correctes par item. Travaillez aussi rapidement que vous pouvez sans négliger l'exactitude. Votre score à ce test dépend à la fois des réponses correctes et incorrectes. Cependant, vous n'avez pas intérêt à deviner sans avoir une idée sur l'exactitude de votre choix.





Ne tournez pas la page avant le signal.


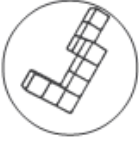








11     

12     

13     

14     

15     

Aller à la page suivante.



16

17

18

19

20

STOP

## B QUESTIONNAIRE POST-VISIONNAGE

Partie	N°	Question	Propositions
A. Connaissances apprises sur la césarienne	Q1	La paroi abdominale antérieure est composée de muscles	<input type="checkbox"/> <b>Grands droits, en médian</b> <input type="checkbox"/> Rectus abdominalis, en latéral <input type="checkbox"/> Pyramidaux, en arrière des muscles grands droits <input type="checkbox"/> Oblique externe, oblique interne et transverse <input type="checkbox"/> Triceps en latéral
	Q11	Au dessus de la ligne arquée	<input type="checkbox"/> les muscles grands droits ne possèdent pas d'aponévrose postérieure <input type="checkbox"/> <b>les muscles grands droits possèdent une aponévrose postérieure</b> <input type="checkbox"/> le péritoine est directement derrière les muscles grands droits <input type="checkbox"/> le tube digestif est directement derrière les muscles grands droits <input type="checkbox"/> les muscles pyramidaux sont derrière les muscles grands droits
	Q12	L'artère épigastrique profonde est une branche de	<input type="checkbox"/> l'aorte <input type="checkbox"/> <b>l'artère Iliaque Externe</b> <input type="checkbox"/> l'artère Iliaque Interne <input type="checkbox"/> l'artère épigastrique profonde <input type="checkbox"/> l'artère fémorale
	Q6	En césarienne, le temps opératoire faisant suite à l'extraction foetale est	<input type="checkbox"/> <b>clampage / section du cordon ombilical</b> <input type="checkbox"/> l'hystérotomie <input type="checkbox"/> l'hystérorraphie <input type="checkbox"/> l'hystérorraphie <input type="checkbox"/> la délivrance
	Q2	En césarienne, le temps opératoire faisant suite à l'hystérotomie est	<input type="checkbox"/> la délivrance <input type="checkbox"/> <b>l'extraction foetale</b> <input type="checkbox"/> l'hystérorraphie <input type="checkbox"/> la fermeture cutanée <input type="checkbox"/> la fermeture de l'aponévrose
	Q9	Lors de la césarienne, la patiente est installée	<input type="checkbox"/> en décubitus latéral droit <input type="checkbox"/> les bras le long du corps <input type="checkbox"/> en position gynécologique <input type="checkbox"/> <b>les bras libres à 90°</b> <input type="checkbox"/> en décubitus ventral
	Q13	L'incision cutanée transversale de la césarienne	<input type="checkbox"/> passe à droite de l'ombilic <input type="checkbox"/> <b>passe 3 cm au-dessus du pubis</b> <input type="checkbox"/> est réalisée aux doigts <input type="checkbox"/> mesure 5 cm de large <input type="checkbox"/> passe à 3 cm sous l'ombilic
	Q14	L'incision de Cohen consiste notamment à	<input type="checkbox"/> <b>écarter aux doigts les muscles grands droits</b> <input type="checkbox"/> décoller les muscles grands droits de l'aponévrose antérieure au bistouri <input type="checkbox"/> sectionner les muscles grands droits <input type="checkbox"/> ouvrir le péritoine aux ciseaux <input type="checkbox"/> décoller la vessie
	Q15	L'incision de Mouchel consiste notamment à	<input type="checkbox"/> écarter aux doigts les muscles grands droits <input type="checkbox"/> décoller les muscles grands droits de l'aponévrose antérieure <input type="checkbox"/> <b>sectionner les muscles grands droits</b> <input type="checkbox"/> ouvrir le péritoine aux doigts <input type="checkbox"/> décoller la vessie
	Q16	L'incision de Pfannenstiel consiste notamment à	<input type="checkbox"/> inciser la peau aux doigts <input type="checkbox"/> <b>décoller les muscles grands droits de l'aponévrose antérieure</b> <input type="checkbox"/> sectionner les muscles grands droits <input type="checkbox"/> ouvrir le péritoine aux ciseaux <input type="checkbox"/> décoller la vessie
	Q4	Durant la césarienne, la valve sus-pubienne permet l'exposition de	<input type="checkbox"/> la vessie <input type="checkbox"/> les trompes <input type="checkbox"/> <b>le segment inférieur</b> <input type="checkbox"/> le foie <input type="checkbox"/> le ligament rond
	Q7	L'amniotomie correspond	<input type="checkbox"/> à l'ouverture du muscle utérin <input type="checkbox"/> <b>à l'ouverture de la poche des eaux</b> <input type="checkbox"/> à l'inspection du liquide amniotique <input type="checkbox"/> au prélèvement du liquide amniotique <input type="checkbox"/> au prélèvement du cordon
	Q17	Sur la vidéo, l'opérateur a réalisé une manoeuvre d'extraction foetale en faisant sortir en premier	<input type="checkbox"/> La tête <input type="checkbox"/> <b>Les pieds</b> <input type="checkbox"/> Les mains <input type="checkbox"/> Le bassin <input type="checkbox"/> Les genoux
	Q18	La technique la plus rapide d'incision la plus rapide pour aborder la cavité péritonéale est	<input type="checkbox"/> le Mouchel <input type="checkbox"/> <b>le Cohen / Stark</b> <input type="checkbox"/> la médiane <input type="checkbox"/> la trans-rectal <input type="checkbox"/> le Pfannenstiel
	Q3	L'hystérotomie est classiquement	<input type="checkbox"/> <b>segmentaire transversale</b> <input type="checkbox"/> fundique <input type="checkbox"/> sagittale <input type="checkbox"/> verticale <input type="checkbox"/> cervicale

(Le tableau se poursuit à la page suivante...)

Partie	N°	Question	Propositions
	Q8	En césarienne, lors de l'extraction foetale, la main de l'opérateur va	<input type="checkbox"/> fléchir la tête foetale <input type="checkbox"/> défléchir la tête foetale <input type="checkbox"/> appuyer sur la tête foetale <input type="checkbox"/> faire levier sur la symphyse <input type="checkbox"/> tourner la tête foetale
	Q10	La suture pariétale comportenotamment la suture	<input type="checkbox"/> de l'aponévrose antérieure <input type="checkbox"/> de l'aponévrose postérieure <input type="checkbox"/> des muscles grands droits <input type="checkbox"/> des muscles transverses <input type="checkbox"/> des muscles obliques externes
	Q19	L'hystérorraphie est	<input type="checkbox"/> l'incision du myomètre <input type="checkbox"/> l'incision de la poche des eaux <input type="checkbox"/> la suture du myomètre <input type="checkbox"/> la suture de la poche des eaux <input type="checkbox"/> la suture de la séreuse utérine
	Q5	Le risque d'hémorragie de la délivrance est prévenu par	<input type="checkbox"/> une ligature des artères utérines <input type="checkbox"/> l'administration d'un utérotonique <input type="checkbox"/> une ligature des artères hypogastriques <input type="checkbox"/> une délivrance incomplète <input type="checkbox"/> un pansement compressif
	Q20	Lors de la césarienne, on explore classiquement	<input type="checkbox"/> Le foie <input type="checkbox"/> La rate <input type="checkbox"/> Les aires ganglionnaires <input type="checkbox"/> L'estomac <input type="checkbox"/> Les annexes

**Table 3: Questionnaire Post-visionnage, première partie. Les questions sont disposées dans ce tableau dans l'ordre présenté aux participants, les numéros des questions sont disposés pour l'analyse (Q1–10 identiques au questionnaire pré-visionnage et Q11–20 sont nouvelles).**