



Simulation en sciences de santé : conception et évaluation d'un logiciel d'auscultation thoracique

Simulation in healthcare: design and assessment of chest auscultation software

Faouzia KAMBOUCHE¹, Riad Mokhtar MOHAMMED², Abdelkader MAIZIA³,

Centre de simulation médicale Mostaganem, Faculté de médecine Mostaganem (Algérie)

ABSTRACT

Context and background: In health sciences, the evaluation system on real patients is confronted with ethical constraints; the patient should not be used as docimological material. Simulation as a pedagogical technique has been proposed as an alternative for the evaluation of acquisitions, especially in the framework of objective structured clinical examination. This technique faces difficulties due to the cost of simulators and the increasing number of learners. An evaluation software has been designed to limit the use of simulators; the objective of this study was to evaluate its reliability by comparing the scores obtained on the software vs the simulator (gold standard).

Methods: This is a reliability study of a chest auscultation assessment tool. It took place between September 2017 and February 2018, carried out after random sampling on IBM SPSS V.22 software on 45 students. The evaluation of the software was based on the ordinal concordance analysis (Cohen's Kappa test, and Kendall's correlation test) of the scores obtained by the students on the software compared to the simulator, considered as gold standard.

Results: For cardiac auscultation, the mean score was 90.6% of the total score on software vs 74.6% on simulator; Kendall correlation coefficients 0.15 (p non- significant) and Kappa correlation coefficients 0.15 (p= 0.116) revealed poor agreement according to Lander and Koch interpretation. For pulmonary auscultation, the mean score was 95.6% of the total score on software vs. 88.4% on simulator; the correlation coefficients of Kendall 0.45 (p=0.014) and Kappa 0.64 (p=0.002) revealed a good agreement between the two assessment media.

Conclusion: Digital simulation appears to be an adequate solution for the assessment of acquisitions of chest auscultation for large numbers. The concordant results of the software concerning the lung section should encourage improvements in the cardiac auscultation component.

Keywords: Chest auscultation, simulation, undergraduate, assessment.

Introduction

L'auscultation cardio-pulmonaire, depuis Laennec en 1816, fondateur incontesté du concept est devenue une pierre angulaire dans la pratique médicale. Celle-ci devant être maîtrisée par les praticiens, leur servant de socle pour le raisonnement clinique. De nombreuses enquêtes soulignent des défaillances chez des étudiants de médecine en fin de cursus[1,2]. Vukanovic et al [3] ont noté que les acquisitions de ces derniers progressaient entre la seconde et la troisième année, ne s'améliorant plus au-delà. Face aux contraintes de disponibilités des cas cliniques ou refus de patients d'être examinés par des apprenants, des simulateurs d'apprentissage ont été développés et proposés comme supports pédagogiques de renforcement. Le premier mannequin d'auscultation pulmonaire a été développé et présenté par Collongues le 26 avril 1864, à l'académie impériale de médecine, sous l'appellation «pneumoscope» [4].

Le premier mannequin d'auscultation cardiaque a été développé par « *the Center for Research in Medical Education* » en collaboration avec « *University of Miami medical school* » dénommé « *Harvey* », il a été présenté pour la première fois en 1968 lors du « *the American Heart Association Scientific Sessions* » [5]. Ce simulateur a été validé comme support d'apprentissage et d'évaluation par de nombreuses études : Issenberg et al ont noté les recommandations de l'utilisation de celui-ci par plusieurs institutions, notamment la « *British Heart foundation* » et son intégration dans le curriculum de formation en Grande Bretagne [4–6]. D'autres simulateurs ont été développés dans cette perspective ; de nombreux supports d'écoute de sons cardiaques sont également disponibles en ligne. Ils permettent l'auto- apprentissage et l'auto-évaluation des apprenants. La valeur pédagogique ajoutée de l'apprentissage par simulation a été démontré par de nombreuses publications [9]; son intégration dans l'évaluation s'est confrontée à la massification des effectifs et la contrainte d'utiliser des simulateurs sophistiqués et coûteux. La pérennité des programmes pédagogiques nécessite dès lors le développement d'outils d'apprentissage et d'évaluation peu onéreux, utilisables par de grands effectifs, sous condition d'une validité et fiabilité pédagogique. Marie C. Morris et al ont réalisé une revue de littérature concernant le développement de dispositifs d'évaluation pour le deuxième cycle des études médicales : entre 2000 à 2010, onze publications seulement ont répondu aux critères d'inclusion (elles concernaient les sutures, injections intra veineuses, sondage naso-gastrique, intubation orotrachéale) ; les auteurs ont mis en exergue le faible taux de publications sur cette thématique [10]. W McGaghie et al. ont noté que le domaine de l'évaluation en simulation constitue désormais, une question cruciale de recherche à promouvoir [11].

Au centre de simulation médicale Mostaganem (Algérie), un programme d'apprentissage a été intégré en 3ème année médecine, utilisant le simulateur « *Harvey* » pour l'auscultation cardiaque, le simulateur « *Laerdal, Nursing Kelly* » pour l'auscultation pulmonaire. Pour préserver l'évaluation des acquisitions, tout en limitant l'utilisation des mannequins de haute technicité, nous avons donc pensé à transposer celle-ci vers la simulation numérique, par la conception d'un logiciel d'apprentissage et d'évaluation. La validation pédagogique de l'outil est conditionnée par l'évaluation de sa fiabilité interne. Une étude de concordance de l'outil a été réalisée, par rapport au simulateur, considéré comme « *gold standard* » ; ce travail étant une collaboration multidisciplinaire entre médecins, informaticien et biostatisticien.

Matériels et Méthodes

Une base de 10 bruits d'auscultation cardiaque et pulmonaire a été conçue avec tutorial pour chacun. Les sons intégrés ont été enregistrés à partir des simulateurs pour préserver la fiabilité de l'évaluation sur les deux supports. L'application a été installée sur 12 ordinateurs avec casques audio (figure 1). Le logiciel dans son volet apprentissage présente une interface, où l'étudiant entend séparément les bruits avec description et signification clinique. Les séances ont été supervisées par un formateur. Tous les étudiants ont bénéficié d'un programme pédagogique, d'un volume de 8 heures par simulation associé au stage hospitalier : la première séance sur logiciel d'apprentissage, la seconde sur simulateurs « *Harvey* » et « *Laerdal, Nursing Kelly* ».

Dans le volet évaluation, l'étudiant accède à l'interface y afférente avec un identifiant et mot de passe. Les sons évalués en auscultation cardiaque ont été : souffle systolique, roulement, B1 B2, souffle diastolique, B3. Les sons évalués en auscultation pulmonaire ont été : stridor, murmure vésiculaire normal, crépitations toniques, râles sibilants, ronchi. L'exercice consiste à identifier les 10 bruits d'auscultation de façon chronométrée. Les scores (nombre de bruits d'auscultation identifiés) sont alors enregistrés automatiquement et transmis au service de pédagogie. L'évaluation des acquisitions a consisté à identifier les mêmes bruits d'auscultation cardiaque et pulmonaire sur les deux supports d'évaluation (logiciel et simulateur), le temps consacré a été de 1 minute par bruit. L'étude comportant le programme d'apprentissage a eu lieu de septembre 2017 à février 2018, l'évaluation s'est déroulé le 21 février 2018, elle a consisté en l'analyse de concordance ordinale subjective des scores obtenus sur deux outils d'évaluation, par le test Kappa de Cohen, et le test de corrélation de Kendall. Il s'agit ainsi d'une étude de fiabilité d'un outil d'évaluation, les simulateurs ont été considérés comme support « *gold standard* » de l'évaluation. Pour calculer le coefficient de Kappa, les scores ont été transformés en variable catégorielle :

Score 0 et 1 : non maîtrisé Score 2 et 3 : peu maîtrisé Score 4 et 5 : maîtrisé



Figure1 : Interface logiciel CP AP.EV(section apprentissage auscultation cardiaque, auscultation pulmonaire et évaluation)

Échantillon d'étude : Étudiants en 3ème année médecine, faculté de médecine Mostaganem (Algérie), promotion de 150 étudiants, année universitaire 2017- 2018. Pour réaliser une analyse de concordance des deux outils, un calcul de nombre de sujets nécessaire a montré la nécessité d'inclure 39 étudiants (pour avoir un coefficient de concordance Kappa de 0,60 ; garantissant une borne inférieure de 0,50, une erreur alpha de 5% et une puissance de 80%). Le nombre de sujets nécessaires pour la statistique Kendall a été calculé et estimé à 27 étudiants. Afin de tenir compte des étudiants absents nous avons inclure 45 étudiants. L'étude a reçu l'approbation éthique du comité pédagogique, après obtention du consentement éclairé des participants L'échantillonnage aléatoire sur l'ensemble de la promotion et l'analyse des données ont été effectués sur le logiciel IBM-SPSS V22. La valeur p inférieure à 0,05 a été considérée comme significative.

Résultats

Concernant la section « auscultation cardiaque », 62,2% de l'échantillon ont atteint le score de 5 sur logiciel versus 31,1% sur simulateur. Le coefficient de Kendall a été égal à 0,15 , avec valeur de $p > 0,05$ témoignant de l'absence de corrélation entre les deux supports d'évaluation (Tableau 1). Concernant la section « auscultation pulmonaire », 71,1 % ont atteint le score de 5 sur logiciel versus 62,2% sur simulateur. Le coefficient de Kendall a été de 0,45, avec valeur de $p < 0,05$ témoignant de l'existence de corrélation entre les deux outils d'évaluation (Tableau 2).

- Pour l'auscultation cardiaque, 14 étudiants ont été classés au niveau « maîtrisé » sur logiciel versus « peu maîtrisé » sur simulateur « Harvey » (Tableau3).

-Pour l'auscultation pulmonaire, 5 étudiants sont classés au niveau « maîtrisé » sur logiciel versus « peu maîtrisé » sur simulateur « Laerdal, Nursing Kelly » (Tableau4).

-La concordance a été considérée « bonne » pour la section « auscultation pulmonaire » (coefficient Kappa de Cohen avec pondération=0,64 ; $p < 0,05$). Elle a été cependant considérée « mauvaise » pour la section

« auscultation cardiaque » (coefficient Kappa de Cohen =0,15 ; $p > 0,05$) (Tableaux 3 et 4).

1. Corrélation des résultats obtenus entre logiciel etsimulateur

Tableau 1: Corrélation des scores d'évaluation del'auscultation cardiaque entre logiciel et simulateur «Harvey »

Score obtenu	Fréquence	Score auscultation cardiaque sur logiciel	Score auscultation cardiaque sur simulateur « Harvey »	
		Pourcentage	Fréquence	Pourcentage
1	0	0	1	2,2
2	0	0	6	13,3
3	4	8,9	11	24,4
4	13	28,9	13	28,9
5	28	62,2	14	31,1
Total	45	100%	45	100%
		Score moyen = 4,53 ± 0,02	Score moyen = 3,73 ± 0,33	

Coefficient Kendall = 0,15 (p = 0,249)

Tableau 2: Corrélation des scores d'évaluation de l'auscultation pulmonaire entre logiciel et simulateur «Nursing Kelly »

Score obtenu	Score auscultation cardiaque sur logiciel		Score auscultation cardiaque sur simulateur « Laerdal, Nursing Kelly »	
	Fréquence	Pourcentage	Fréquence	Pourcentage
1	1	2,2	1	2,2
2	1	2,2	1	2,2
3	1	2,2	4	8,9
4	10	22,2	11	24,4
5	32	71,1	28	62,2
Total	45	100%	45	100%
		Score moyen = 4,78 ± 0,21	Score moyen = 4,42 ± 0,30	

Coefficient Kendall = 0,45 (p = 0,014)

2. Concordance des résultats obtenus entre logiciel et simulateur

Tableau 3: Concordance des résultats de l'évaluation entre le logiciel et le simulateur de l'auscultation cardiaque

Evaluation logiciel	Evaluation simulateur "Harvey"			Total
	Non maîtrisé	Peu maîtrisé	Maitrisé	
Non maîtrisé	0	0	1	1
Peu maîtrisé	0	3	1	4
Maitrisé	0	14	26	40
Total	0	17	28	45
<i>Kappa avec pondération = 0,15 (p = 0,116)</i>				

Tableau 4: Concordance des résultats de l'évaluation entre le logiciel et le simulateur de l'auscultation pulmonaire.

Evaluation logiciel	Evaluation simulateur « Laerdal, Nursing Kelly »			Total
	Non maîtrisé	Peu maîtrisé	Maitrisé	
Non maîtrisé	1	1	0	2

Peu maîtrisé	0	0	0	0
Maîtrisé	0	5	38	43
Total	1	6	38	45
<i>Kappa avec pondération = 0,64 (p = 0,002)</i>				

Discussion

On a réalisé une étude de corrélation et concordance entre deux supports d'évaluation, où le simulateur a constitué la référence. L'objectif étant de tester la fiabilité interne de cet outil pédagogique, et rendre reproductible et faisable, l'évaluation des acquisitions pratiques de l'auscultation cardio-pulmonaire. La validation de cet outil permettrait de réduire pour des effectifs importants d'apprenants, le coût et le temps consacré à l'évaluation.

Concernant l'auscultation cardiaque, le pourcentage de l'effectif pouvant identifier 4 bruits d'auscultation sur 5, a été de 30 % pour les deux supports d'évaluation. En revanche 62% de notre effectif ont pu identifier tous les bruits d'auscultation sur logiciel, alors que ce pourcentage n'a été que de moitié sur simulateur « Harvey ». Le score moyen de notre échantillon a été de $4,53 \pm 0,02$ (90,6 % du score total) sur logiciel versus $3,73 \pm 0,33$ (74,6% du score total) sur évaluation sur simulateur « Harvey ». Le coefficient de corrélation de Kendall a été de 0,15 (p non significative) témoignant de l'absence de corrélation entre les deux supports d'évaluation (Tableau 1).

Concernant l'auscultation pulmonaire, sur simulateur « Laerdal, Nursing Kelly », 62% de l'effectif ont été capables d'identifier les 5 bruits d'auscultation, 24% en ont identifié 4. Sur logiciel, 71% en ont identifié les 5 bruits et 22% en ont identifié 4. Un seul étudiant et en l'occurrence le même apprenant a obtenu un score de 1 sur 5, et ce sur les deux supports d'évaluation. Le score moyen de notre échantillon a été de $4,78 \pm 0,21$ (95,6% du score total) sur logiciel versus $4,42 \pm 0,30$ sur simulateur « Nursing » (88,4% du score total). Le coefficient de corrélation de Kendall a été de 0,45 (p=0,014) témoignant d'une corrélation significative entre les deux supports d'évaluation (Tableau 2).

En transformant les scores en variable catégorielle pour le calcul du coefficient Kappa de Cohen, on remarque sur le tableau 3, que 90 % de notre effectif sont considérés comme maîtrisant la compétence sur l'évaluation par logiciel, alors que ce pourcentage n'a été que de 60% sur l'évaluation sur simulateur « Harvey ». Aucun étudiant n'est considéré comme non maîtrisant la compétence sur logiciel, alors que ce pourcentage atteint 2% sur simulateur « Harvey ». Pour l'auscultation pulmonaire, 86% de notre effectif sont considérés comme maîtrisant la compétence sursimulateur vs 93% sur logiciel.

Le coefficient Kappa a été de 0,15 (p= 0,116) pour l'auscultation cardiaque, témoignant d'une « mauvaise » concordance selon l'interprétation de Landier et Koch ; en revanche pour l'auscultation pulmonaire, le coefficient a été de 0,64 (p=0,002) témoignant pour cette section du logiciel d'une concordance jugée « bonne ».

Ces résultats évoquent une surestimation et une facilité accrue de l'évaluation sur logiciel versus simulateur. En effet les apprenants, évoquent une aisance sur logiciel, car se concentrent uniquement sur l'acoustique et l'identification des bruits, alors que sur simulateur « Harvey », ils doivent localiser les foyers d'auscultation, et identifier les bruits cardiaques associés aux bruits respiratoires. A contrario cette difficulté n'a pas été signalée concernant l'auscultation pulmonaire.

Les scores obtenus par notre échantillon sur simulateur ont atteint le pourcentage de 74,6%. Ces résultats ont été similaires avec plusieurs études : Perlini et al. 72%

[12], Roy Douglas et al 67% [13], Mattioli et al 76 % [14]. Les scores obtenus sur le logiciel proposé ont été nettement supérieurs 90,6%. Le nombre réduit des bruits d'auscultation a été évoqué comme cause de cette surestimation. Weiqin lin et al ont atteint un taux d'identification de $65\% \pm 14$ pour des étudiants en 3ème année. Le nombre de bruits à identifier a été de 5 de façon analogue à notre étude, cependant celle-ci s'est faite sur patients réels et donc d'un niveau de difficulté nettement supérieur [15].

Les résultats obtenus au cours de cette étude non concordants de l'auscultation cardiaque ne remettraient pas en cause la méthode utilisée ; Hatala et al ont estimé qu'il n'y a pas de gold standard pour l'évaluation de l'acquisition de l'auscultation cardiaque ; ils ont comparé l'évaluation sur trois supports : patients réels, patients standardisés avec bruits pathologiques préenregistrés et simulateur « Harvey ». Ils ont conclu à la corrélation entre les différents supports sans différence significative (patients réels versus patient standardisés 0,19 ; patients réels versus simulateur 0,22 ; patients standardisés versus simulateur 0,57 ; $p < 0,01$.) [16]. De Giovanni et al ont également comparé l'apprentissage de l'auscultation cardiaque sur supports audio versus simulateur haute-fidélité « Harvey », ils n'ont pas retrouvé de différence significative [17]. Ces études confortent notre approche et nous amènerait à y apporter les améliorations nécessaires.

Autre étude ayant abordé la problématique similaire, et ayant comme objectif, la validation d'un outil d'évaluation pour de grands effectifs a été celle de Nguyen et al [18]. L'équipe a proposé la conception d'un outil d'évaluation des acquisitions, et sa validation. Leur étude a concerné 859 étudiants, évaluant 25 bruits d'auscultation, dont 14 cardiaques et 11 pulmonaires. Les auteurs ont réalisé deux types d'évaluation : l'une consistant à identifier des bruits d'auscultation de façon isolée ; la seconde consistant à interpréter les bruits dans un contexte clinique. Le format d'évaluation avec identification isolée des bruits n'a pas été validé, résultat similaire à notre étude ; témoignant de la difficulté de conception d'un outil validé pour l'évaluation de l'auscultation cardiaque.

L'acquisition de l'auscultation pulmonaire semble plus aisée que l'auscultation cardiaque car celle-ci est plus facile à assimiler. Cette constatation est décrite dans l'étude de Karnath B et al [19] qui ont évalué un programme d'apprentissage de l'auscultation cardiopulmonaire, exclusivement sur simulateur «Harvey», développé et intégré en 2ème année médecine d'une durée de 6 heures dont, 4 heures pour l'auscultation cardiaque et 2 heures pour l'auscultation pulmonaire. L'évaluation des acquisitions s'est faite sur simulateur ; le pourcentage d'identification des bruits pathologiques a été de 60% concernant l'auscultation cardiaque, et de 88% concernant l'auscultation pulmonaire.

L'évaluation sur logiciel concernant l'auscultation pulmonaire est concordante et corrélée au vu des résultats obtenus, elle pourrait être utilisée dans une perspective d'évaluation sommative. Concernant l'auscultation cardiaque, l'absence de concordance entre le logiciel proposé et l'évaluation sur simulateur doit nous amener à une réflexion d'amélioration et d'adaptation ; plusieurs hypothèses de causalité pouvant être émises : la qualité des bruits à ajuster sur logiciel, le nombre de bruits devant être augmenté, pour éviter l'identification par élimination progressive des propositions ; ou encore comme cela a été décrit dans l'étude de Nguyen et al, que l'outil d'évaluation avec comme objectif pédagogique, l'identification des bruits dans un contexte clinique était plus approprié à l'auscultation cardiaque. Cette étude a été réalisée dans le cadre d'une évaluation formative des apprenants, réduisant l'effet probable du stress d'une évaluation sommative pouvant être source d'un biais ; elle s'est cependant limitée à évaluer la fiabilité et la fidélité de l'évaluation sur logiciel concernant l'auscultation cardio-pulmonaire par rapport au simulateur, considéré comme référence. Les résultats défavorables concernant la section auscultation cardiaque incitent à revoir l'approche pédagogique de conception. Il faudrait étendre la validation de l'outil à l'évaluation de reproductibilité (test-re test) et à la transférabilité des acquisitions en milieu clinique.

Conclusion

La simulation numérique semble une solution adéquate pour l'évaluation des acquisitions de l'auscultation thoracique pour de grands effectifs. Les résultats concordants du logiciel concernant la section pulmonaire doivent inciter à améliorer le volet de l'auscultation cardiaque. Ce type d'applications pourrait être une évaluation d'un niveau pédagogique initial, et une vérification des pré requis avant d'évoluer vers le simulateur, ou encore sur patients réels en milieu clinique.

Références

- [1] S. Langevin et R. Hivon, 2007. En quoi l'externat ne s'acquitte-t-il pas adéquatement de son mandat pédagogique ? Une étude qualitative fondée sur une analyse systématique de la littérature , *Pédagogie Médicale*, vol. 8, n° 1, p. 7-23, doi: 10.1051/pmed:2007014.
- [2] O. Steichen, S. Georin-Lavialle, G. Grateau, et B. Ranque, 2015. Évaluation du savoir-faire en sémiologie clinique des étudiants en fin de deuxième cycle des études médicales , *La Revue de Médecine Interne*, vol. 36, n° 5, p. 312-318, , doi: 10.1016/j.revmed.2014.10.003.
- [3] J. M. Vukanovic-Criley *et al.*, 2006. Competency in cardiac examination skills in medical students, trainees, physicians, and faculty: a multicenter study , *Arch. Intern. Med.*, vol. 166, n° 6, p. 610-616, doi: 10.1001/archinte.166.6.610.
- [4] J. Hureaux et T. Urban, 2015. La simulation en pneumologie : rationnel, données de la littérature et perspectives , *Revue des Maladies Respiratoires*, vol. 32, n° 10, p. 969-984, doi: 10.1016/j.rmr.2015.04.020.
- [5] S. B. Issenberg, 2006. Michael S. Gordon, MD, PhD and the University of Miami Center for Research in Medical Education , *Simul Healthc*, vol. 1, n° 4, p. 233-237, doi: 10.1097/01.SIH.0000243635.84576.85.
- [6] S. B. Issenberg, M. S. Gordon, D. L. Gordon, R. E. Safford, et I. R. Hart, 2001. Simulation and new learning technologies , *Med Teach*, vol. 23, n° 1, p. 16-23., doi: 10.1080/01421590020007324.

- [7] S. B. Issenberg, W. C. McGaghie, E. R. Petrusa, D. Lee Gordon, et R. J. Scalese, 2005. Features and uses of high-fidelity medical simulations that lead to effective learning: a BEME systematic review, *Med Teach*, vol. 27, n° 1, p. 10-28, doi: 10.1080/01421590500046924.
- [8] S. B. Issenberg, S. Pringle, R. M. Harden, S. Khogali, et M. S. Gordon, 2003. Adoption and integration of simulation-based learning technologies into the curriculum of a UK Undergraduate Education Programme, *Med Educ*, vol. 37 Suppl 1, p. 42- 49,.
- [9] M. R. Mohammed, A. Maizia, M. M. S. Seddiki, et L. Mokhtari, 2020. Les effets de l'intégration de la simulation sur l'apprentissage des gestes procéduraux de base et de l'examen physique en stage hospitalier dans le cursus pré-gradué des études médicales d'une faculté de médecine en Algérie, *Pédagogie Médicale*, vol. 21, n° 2, p. 83-89, doi: 10.1051/pmed/2020034.
- [10] M. C. Morris, T. K. Gallagher, et P. F. Ridgway, 2012. Tools used to assess medical students competence in procedural skills at the end of a primary medical degree: a systematic review, *Med Educ Online*, vol. 17, doi: 10.3402/meo.v17i0.18398.
- [11] W. C. McGaghie, 2010. Medical Education Research As Translational Science, *Science Translational Medicine*, vol. 2, n° 19, p. 19cm8-19cm8, doi:10.1126/scitranslmed.3000679.
- [12] S. Perlini, F. Salinaro, P. Santalucia, et F. Musca, 2014. Simulation-guided cardiac auscultation improves medical students' clinical skills: the Pavia pilot experience, *Internal and Emergency Medicine*, vol. 9, n° 2, p. 165-172, doi: 10.1007/s11739-012-0811-z.
- [13] D. Roy, J. Sargeant, J. Gray, B. Hoyt, M. Allen, et M. Fleming, 2002. Helping family physicians improve their cardiac auscultation skills with an interactive CD-ROM, *J Contin Educ Health Prof*, vol. 22, n° 3, p. 152 - 159, doi: 10.1002/chp.1340220304.
- [14] L. F. Mattioli, J. M. Belmont, et A. M. Davis, 2008. Effectiveness of teaching cardiac auscultation to residents during an elective pediatric cardiology rotation, *Pediatr Cardiol*, vol. 29, n° 6, p. 1095-1100, doi: 10.1007/s00246-008-9265-5.
- [15] W. Lin et al., 2015. Effectiveness of early cardiology undergraduate learning using simulation on retention, application of learning and level of confidence during clinical clerkships, *Singapore Med J*, vol. 56, n° 2, p. 98- 102, , doi: 10.11622/smedj.2015023.
- [16] R. Hatala, S. B. Issenberg, B. Kassen, G. Cole, C. M. Bacchus, et R. J. Scalese, 2008. Assessing cardiac physical examination skills using simulation technology and real patients: a comparison study, *Med Educ*, vol. 42, n° 6, p. 628- 636, doi: 10.1111/j.1365-2923.2007.02953.x.
- [17] D. De Giovanni, T. Roberts, et G. Norman, 2009. Relative effectiveness of high- versus low-fidelity simulation in learning heart sounds, *Medical Education*, vol. 43, n° 7, p. 661- 668, doi: 10.1111/j.1365-2923.2009.03398.x.
- [18] D. Q. Nguyen, J. V. Patenaude, R. Gagnon, B. Deligne, et I. Bouthillier, 2015. Simulation-based multiple-choice test assessment of clinical competence for large groups of medical students: a comparison of auscultation sound identification either with or without clinical context, *Can Med Educ J*, vol. 6, n° 1, p. e4-e13,
- [19] B. Karnath, W. Thornton, et A. W. Frye, 2002. Teaching and testing physical examination skills without the use of patients, *Acad Med*, vol. 77, n° 7, p. 753.