



**HAL**  
open science

# Conception et développement d'un simulation game pour les parents d'enfants de moins de 6 ans avec asthme : une approche evidence-based

David Drummond

► **To cite this version:**

David Drummond. Conception et développement d'un simulation game pour les parents d'enfants de moins de 6 ans avec asthme : une approche evidence-based. Education. Université Sorbonne Paris Cité, 2018. Français. NNT : 2018USPCB006 . tel-02464953

**HAL Id: tel-02464953**

**<https://theses.hal.science/tel-02464953>**

Submitted on 3 Feb 2020

**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.

Université Paris Descartes  
Ecole Doctorale Frontières du Vivant (ED474)

Thèse présentée par  
David DRUMMOND

Conception et développement d'un simulation game  
pour les parents d'enfants de moins de 6 ans avec asthme

*Une approche evidence-based*

Soutenue publiquement le 16 mars 2018  
Pour obtenir le grade de docteur de l'Université Paris Descartes

Devant le jury composé de :

Rapporteurs : Madame Lisa Giovannini-Chami  
Madame Domitile Lourdeaux

Examineurs : Madame Hélène Chappuy  
Monsieur Jean-Christophe Dubus

Membre invité : Monsieur Julian Alvarez

Directeurs de thèse : Monsieur Antoine Tesnière et Madame Alice Hadchouel

## Remerciements

A **Madame Lisa Giovannini-Chami**, qui me fait l'honneur d'être rapporteur de cette thèse. Merci pour l'énergie et le temps que vous avez consacré à la relecture de ce travail. La simulation et la pneumologie pédiatrique représentent deux opportunités de futures collaborations entre les services pédiatriques de Nice et Paris dont je me réjouis déjà.

A **Madame Domitile Lourdeaux**, qui me fait également l'honneur d'être rapporteur de cette thèse. Votre expertise dans le domaine des environnements virtuels destinés à l'apprentissage est une chance pour les discussions qui se tiendront à propos de ce simulation game. Merci d'avoir accepté d'être rapporteur, et du temps que vous y avez consacré.

A **Madame Hélène Chappuy**, qui me fait l'honneur d'être examinateur de cette thèse. Merci d'avoir accepté de partager votre expérience des urgences pédiatriques et votre expertise de la recherche clinique, qui enrichiront les discussions quant à l'évaluation du serious game Effic'Asthme.

A **Monsieur Jean-Christophe Dubus**, qui me fait l'honneur d'être examinateur de cette thèse. Merci d'avoir accepté de juger ce travail qui bénéficiera de votre expertise en pneumologie pédiatrique, particulièrement dans l'asthme de l'enfant d'âge préscolaire.

A **Monsieur Julian Alvarez**, qui me fait également l'honneur d'être examinateur de cette thèse. Merci d'avoir accepté d'apporter à ce travail votre expérience inégalable dans le domaine du serious gaming, ainsi que pour vos conseils avisés tout au long de la préparation du développement de ce simulation game.

A **Monsieur Antoine Tesnière**, qui a encadré cette thèse. Merci de m'avoir fait confiance et ouvert chaleureusement les portes d'iLumens où j'ai passé de merveilleux moments. Merci pour tes conseils et tes encouragements tout au long de ce travail. Sans toi, l'idée du FEDER aurait été abandonnée un peu trop vite, et Effic'Asthme n'aurait sans doute pas vu le jour.

A **Madame Alice Hadchouel**, qui a co-encadré cette thèse. Merci pour l'énergie et le temps que tu m'as consacré, que ce soit lors de l'élaboration des protocoles d'études, lors de la relecture des articles, lors des innombrables tergiversations que nous avons eu ensemble sur chaque détail d'Effic'Asthme, lors de la relecture en temps limité de cette thèse. Travailler à tes côtés est une chance, que ce soit à iLumens ou dans le service de pneumologie pédiatrique. Je te suis immensément reconnaissant.

A **Madame Pamela Kato** et **Madame Daphné Bavelier**, qui ont fait partie de mon comité de thèse et m'ont permis de bénéficier de leur expertise dans le domaine des serious games. Leurs conseils de très grande qualité ont largement contribué à la réussite de ce travail.

A **Monsieur Christophe Delacourt**, qui est en filigrane derrière ce travail. Merci pour l'idée initiale, votre bienveillance et les précieux conseils que je suis venu chercher régulièrement dans votre bureau afin de mener à bien ce travail innovant. Vous savez l'admiration que j'ai pour vous.

A toute l'équipe d'iLumens, **Guillaume Escouboue**, **Emeline d'Angelo**, **Sylviane Frédérique**, **Valérie Le Mouel**, **Laure Millet**, qui m'ont intégré à leur grande famille.

A toutes les personnes qui ont rendu possible la réalisation des différentes études de cette thèse, particulièrement **Eleonora Fabbro**, **Paul Delval**, **Sonia Abdenouri**, **Jennifer Truchot**.

A toutes les personnes qui ont accepté avec enthousiasme de participer à ces études, notamment les parents d'enfants avec asthme recrutés à l'hôpital universitaire Necker-Enfants Malades, les étudiants en deuxième et en troisième année de médecine, de Paris Descartes et de Paris Diderot.

A mes grands-mères, Sabine et Jacqueline,

A mes parents, France et Didier,

*A ma sœur Victoire, et mon frère Maxence,*

A toute ma famille, pour leur soutien indéfectible,

*A Arnaud Petit pour avoir été le premier à m'avoir fait confiance,*

A mes amis chefs de clinique et internes, notamment à Meryl Maillard, pour tous ces bons moments passés ensemble,

A cette grande famille que sont les amis,

**Je dédie cette thèse.**

## Résumé

Les enfants de moins de 6 ans avec asthme présentent des exacerbations fréquentes et sévères conduisant à de nombreuses consultations aux urgences et hospitalisations. Eduquer les parents à prendre en charge précocement les exacerbations d'asthme de leurs enfants pourrait permettre de réduire ces recours aux soins. Les serious games représentent un outil intéressant dans ce cadre du fait de l'apprentissage actif et expérientiel qu'ils promeuvent.

L'objectif de cette thèse était de concevoir et développer un serious game permettant aux parents d'enfants de moins de 6 ans avec asthme de s'entraîner à prendre en charge une exacerbation d'asthme débutant à domicile.

La revue systématique de la littérature que nous avons menée n'a identifié aucun serious game à destination des parents d'enfants avec asthme. Pourtant nous avons montré que ces parents étaient prêts à utiliser de tels outils. Les comportements des parents au cours d'une exacerbation d'asthme de leur enfant ont été observés au cours d'une étude de simulation, et analysés afin de définir les objectifs pédagogiques et le contenu du serious game. La meilleure manière d'utiliser le futur serious game en temps limité a également fait l'objet d'une étude comparant deux stratégies (répéter trois fois le même scénario d'exacerbation versus utiliser trois scénarios différents).

L'ensemble de ces résultats, alliés à ceux de la littérature déjà existante, ont permis de développer le simulation game « Effic'Asthme » selon une approche fondée sur les preuves. La dernière étape correspondra à l'évaluation d'Effic'Asthme via une étude randomisée contrôlée multicentrique.

## **Abstract**

Asthma in preschool children (5 years or younger) is characterized by severe and frequent exacerbations, leading to high rates of emergency department visits and hospital admissions. Teaching parents the early management of asthma exacerbations at home might reduce healthcare use. Serious games, because they allow active and experiential learning, represent an interesting way to train parents on the management of asthma exacerbations.

The objective of this PhD thesis was to design and develop a serious game to teach parents of preschool children the management of asthma exacerbations starting at home.

We conducted a systematic review of serious games for asthma education which revealed that no serious game had been developed for parents. Yet, we showed using questionnaires that parents were ready to use serious games for their education. Parents' behavior during asthma exacerbations of their children were observed during a simulation study using a pediatric high-fidelity manikin, and analyzed to establish the educational objectives and the content of the serious game. Another study compared two different strategies (repeating the same scenario three times or using three different scenarios of asthma exacerbations) to teach the management of asthma exacerbations in a short, 30-minutes training.

Altogether, these results combined with those of the literature allowed the development of the simulation game "Effic'Asthme" following an evidence-based approach. The usefulness of "Effic'Asthme" will be evaluated through a multicentric randomized controlled study.

## Liste des abréviations

AMM : Autorisation de Mise sur le Marché

API : Asthma Predictive Index

BDCA : Bronchodilatateurs de Courte Durée d'Action

CDC: Center for Disease Control and prevention

CERIMES : CEntre de Ressources et d'Information sur les Multimédias pour l'Enseignement Supérieur

CREB : Cyclic-AMP Response Element-Binding protein 2

EFR : Explorations Fonctionnelles Respiratoires

GINA : Global Initiative for Asthma

GRAPP: Groupe de Recherche sur les Avancées en PneumoPédiatrie

HAS: Haute Autorité de Santé

ISAAC: International Study of Asthma and Allergy in Childhood

NHIS: National Health Interview Survey

PMSI : Programme de Médicalisation des Systèmes d'Information



# Table des matières

<b>ETAT DES CONNAISSANCES</b>	<b>1</b>
<hr/>	
<b>I/ LES EXACERBATIONS D'ASTHME CHEZ L'ENFANT D'AGE PRESCLAIRE</b>	<b>1</b>
<hr/>	
<b>1. L'ASTHME CHEZ L'ENFANT D'AGE PRESCLAIRE</b>	<b>1</b>
1.1 DEFINITION ET PHENOTYPES	1
1.2 PREVALENCE	4
<b>2. LES EXACERBATIONS D'ASTHME CHEZ L'ENFANT D'AGE PRESCLAIRE: FREQUENCE ET CONSEQUENCES</b>	<b>7</b>
2.1 EPIDEMIOLOGIE	7
2.2 MORBIDITE ASSOCIEE AUX EXACERBATIONS	7
2.3 IMPACT SOCIO-ECONOMIQUE DES EXACERBATIONS D'ASTHME	8
<b>3. PRISE EN CHARGE DES EXACERBATIONS D'ASTHME A DOMICILE : QUELS TRAITEMENTS POUR L'ENFANT D'AGE PRESCLAIRE ?</b>	<b>9</b>
3.1 LES BRONCHODILATEURS DE COURTE DUREE D'ACTION	9
3.2 LES CORTICOÏDES ORAUX	11
3.3 LES CORTICOÏDES INHALES	13
3.4 LES ANTI-LEUCOTRIENES	16
3.5 L'AZITHROMYCINE	16
<b>4. LES PARENTS FACE AUX EXACERBATIONS D'ASTHME A DOMICILE</b>	<b>17</b>
4.1 LES PARENTS, PREMIERS SOIGNANTS DE L'ENFANT D'AGE PRESCLAIRE	17
4.2 L'EDUCATION THERAPEUTIQUE DES PARENTS D'ENFANTS D'AGE PRESCLAIRE	18
<hr/>	
<b>II/ SERIOUS GAMES ET EDUCATION THERAPEUTIQUE</b>	<b>22</b>
<hr/>	
<b>1. SERIOUS GAMES : DEFINITIONS ET APPLICATIONS</b>	<b>22</b>
1.1 DEFINITION DES SERIOUS GAMES	22
1.2 SERIOUS GAME, SIMULATION, ET SIMULATION-GAME.	23
1.3 DIFFERENTES APPLICATIONS DES SERIOUS GAMES EN SANTE	23
1.4 DIFFERENTES APPLICATIONS DES SERIOUS GAMES EN PEDIATRIE	24
<b>2. UTILISATION DES SERIOUS GAMES EN EDUCATION THERAPEUTIQUE : RATIONNEL THEORIQUE</b>	<b>25</b>
2.1 ACQUERIR DES CONNAISSANCES : JEUX VIDEO ET SCIENCES COGNITIVES	25
2.2 ACQUERIR DES COMPETENCES : DE LA SIMULATION PHYSIQUE A LA SIMULATION VIRTUELLE	27
<b>3 EFFICACITE DES SERIOUS GAMES EN EDUCATION THERAPEUTIQUE : DONNEES EXPERIMENTALES</b>	<b>30</b>
<b>4 CARACTERISTIQUES ASSOCIEES A L'EFFICACITE PEDAGOGIQUE DES SERIOUS GAMES : APPORTS DE L'EDUCATION FONDEE SUR LES PREUVES (EVIDENCE-BASED EDUCATION)</b>	<b>36</b>
<hr/>	
<b>OBJECTIFS ET CONCEPTION DU TRAVAIL</b>	<b>45</b>
<hr/>	

<b>RESULTATS</b>	<b>46</b>
<hr/>	
<b>1. PREMIERE ETAPE : REVUE SYSTEMATIQUE DE LA LITTERATURE DES SERIOUS GAMES POUR L'EDUCATION THERAPEUTIQUE DANS L'ASTHME</b>	<b>46</b>
<b>2. DEUXIEME ET TROISIEME ETAPES : CARACTERISATION DES FUTURS UTILISATEURS DU SERIOUS GAME ET PREPARATION DU SIMULATION GAME A PARTIR DE LA SIMULATION PHYSIQUE.</b>	<b>62</b>
<b>3. QUATRIEME ETAPE : VARIER VERSUS REPETER LES SCENARIOS D'EXACERBATION D'ASTHME POUR L'APPRENTISSAGE</b>	<b>74</b>
<b>4. CINQUIEME ETAPE : CREATION DU CAHIER DES CHARGES DU SIMULATION GAME</b>	<b>106</b>
1.1 OBJECTIFS PEDAGOGIQUES	107
1.2 POPULATION CIBLEE	107
1.3 PLATEFORMES	107
1.4 LANGAGE INFORMATIQUE	107
1.5 PRODUCTION GRAPHIQUE	108
1.6 PRODUCTION SONORE	108
2 CONTENU DU SIMULATEUR VIRTUEL EFFIC'ASTHME	108
2.1 INTERFACE D'ACCUEIL	108
2.2 CREATION DU PLAN D'ACTION	108
2.3 MENU DU SIMULATEUR VIRTUEL	113
2.4 LE MODULE « ENTRAINEMENT »	114
2.5 MODULE « MEDECIN »	124
<b>5. SIXIEME ETAPE : PREPRODUCTION</b>	<b>125</b>
<b>SYNTHESE DU TRAVAIL ET PERSPECTIVES</b>	<b>130</b>
<hr/>	
<b>1. SYNTHESE DU TRAVAIL</b>	<b>130</b>
<b>2. PERSPECTIVES</b>	<b>131</b>
2.1 DEVELOPPEMENT D'EFFIC'ASTHME, PUIS INTEGRATION DANS UNE PLATEFORME D'EDUCATION THERAPEUTIQUE	131
2.2 L'EVALUATION DU SIMULATION GAME	132
2.3 AUTRES UTILISATIONS POSSIBLES DU SIMULATION GAME	132
<b>CONCLUSION</b>	<b>133</b>
<hr/>	
<b>REFERENCES</b>	<b>134</b>
<hr/>	
<b>ANNEXES</b>	<b>151</b>
<hr/>	
<b>1. ARTICLE « LES JEUX VIDEO SERIEUX EN PEDIATRIE »</b>	<b>151</b>
<b>2. PROTOCOLE D'ÉVALUATION D'EFFIC'ASTHME</b>	<b>159</b>
<b>3. ARTICLES COMPLEMENTAIRES</b>	<b>180</b>

# ETAT DES CONNAISSANCES

## I/ Les exacerbations d'asthme chez l'enfant d'âge préscolaire

### 1. L'asthme chez l'enfant d'âge préscolaire

#### 1.1 Définition et phénotypes

##### Messages clés

- *Chez l'enfant d'âge préscolaire, le terme « asthme » recouvre plus un syndrome (association de symptômes tels que sifflements, toux sèche, etc.) qu'une maladie déterminée.*
- *Le diagnostic d'asthme dans cette tranche d'âge repose sur une approche clinique et probabiliste.*
- *Aucune stratégie n'a permis de définir des phénotypes d'asthme reposant sur des mécanismes physiopathologies différents associés à des prises en charge différenciées.*

Les experts internationaux de l'asthme réunis sous l'égide du GINA (Global Initiative for Asthma), considèrent que l'asthme est « une maladie hétérogène, habituellement caractérisée par une inflammation chronique des voies respiratoires »<sup>1</sup>. Chez les enfants à partir de l'âge de 6 ans, les adolescentes et les adultes, « l'asthme est défini principalement par deux caractéristiques : des antécédents de troubles respiratoires à type de sifflement expiratoire, de dyspnée, d'oppression thoracique et de toux, qui peuvent varier dans le temps et en intensité ; et une limitation variable du flux expiratoire »<sup>1</sup>.

Il n'existe pas de telle définition chez l'enfant d'âge préscolaire. D'une part les symptômes tels que les sifflements expiratoires et la toux sont fréquents chez les nourrissons à l'occasion d'infections virales et ne sont donc pas spécifiques de l'asthme. D'autre part il n'est pas possible de s'aider des épreuves fonctionnelles respiratoires (EFRs) pour mettre en évidence d'une limitation du flux expiratoire en pratique clinique, dans la mesure où la plupart des jeunes enfants ne sont pas en mesure de coopérer.

Le diagnostic d'asthme chez l'enfant d'âge préscolaire repose donc sur une approche clinique et probabiliste. Il se base sur l'histoire, l'examen physique, l'exclusion d'autres diagnostics et l'évaluation de la réponse au traitement<sup>2</sup>.

Les éléments recherchés en faveur d'un asthme de l'enfant d'âge préscolaire sont<sup>2-5</sup> :

- La présence de symptômes évocateurs : une toux sèche persistante ou récurrente, un sifflement expiratoire, une dyspnée, et/ou une réduction des activités. Ces symptômes sont d'autant plus en faveur d'un asthme de l'enfant d'âge préscolaire qu'ils sont associés les uns aux autres, durent plus d'une dizaine de jours lors des infections virales des voies aériennes supérieures, surviennent à plus de trois reprises par an et/ou sont sévères, surviennent régulièrement lors d'un effort physique, lors de rires et/ou de pleurs, lors d'une exposition au tabagisme environnemental ou à la pollution atmosphérique.

- La présence de facteurs de risque de développement d'un asthme : un antécédent personnel atopique tel qu'une dermatite atopique ou une rhinite allergique ; l'existence d'un asthme chez les parents ou la fratrie.
- L'absence d'argument pour un diagnostic différentiel de l'asthme, notamment la normalité de l'examen clinique entre les crises, l'absence de retentissement sur la courbe staturo-pondérale, et la normalité de la radiographie thoracique.
- La réponse à un traitement d'épreuve par corticoïdes inhalés et bronchodilatateurs de courte durée d'action (BDCA)

Le GINA ne s'avance pas plus dans la définition de l'asthme de l'enfant d'âge préscolaire. L'American Thoracic Society aux Etats-Unis et la British Thoracic Society au Royaume-Uni ne proposent pas non plus de définition de l'asthme de l'enfant d'âge préscolaire. Seules la Canadian Thoracic Society au Canada et à la Haute Autorité de Santé en France ont proposé des seuils au-delà desquels il peut être considéré qu'un enfant d'âge préscolaire a de l'asthme.

Pour la Canadian Thoracic Society et la Société Canadienne de Pédiatrie, la confirmation d'un asthme chez l'enfant d'âge préscolaire doit suivre un algorithme précis<sup>4</sup>. Les deux méthodes diagnostiques privilégiées sont :

- 1- la présence chez un enfant de un à cinq ans d'au moins deux épisodes récurrents et déclarés de symptômes asthmatiformes associés à une régression des sibilants entendus à l'examen physique après prise de BDCA ;
- 2- la présence chez un enfant de un à cinq ans d'au moins deux épisodes récurrents et déclarés de symptômes asthmatiformes associés à une régression de la fréquence et/ou de la gravité des symptômes et/ou des exacerbations après une dose quotidienne moyenne de corticoïdes inhalés pendant trois mois.

Pour la Haute Autorité de Santé, l'asthme de l'enfant de moins de 36 mois est défini « comme tout épisode dyspnéique avec râles sibilants, qui s'est produit au moins trois fois depuis la naissance, et cela quels que soient l'âge de début, la cause déclenchante, l'existence ou non d'une atopie. Ces épisodes de sifflements sont discontinus, avec des périodes pendant lesquelles l'enfant est asymptomatique. D'autres tableaux cliniques doivent faire évoquer un asthme : toux induite par l'exercice, toux nocturne, toux chronique ou récidivante, toux persistant après une bronchiolite, sifflements persistants »<sup>5</sup>.

Dans le cadre de ce travail réalisé en France, c'est la définition de la Haute Autorité de Santé qui a été retenue.

Toutes ces définitions sont basées sur des associations de symptômes, et en 2017 il semble plus approprié de parler de « syndrome asthmatique » que de « maladie asthmatique » chez les enfants d'âge préscolaire. En effet, selon le dictionnaire de l'académie de médecine, « le terme de maladie, dans le langage médical courant, correspond à un ensemble de symptômes anormaux résultant d'une même cause connue. Son identification aboutit à l'établissement d'un diagnostic et du traitement approprié lorsqu'il existe. Le terme de syndrome est souvent utilisé en lieu et place de maladie. Il s'agit d'un ensemble de symptômes qui ne constituent pas une entité ou un concept dont l'identification correspond à une cause parfaitement connue. Toutefois, soit parce que la cause n'est pas univoque, soit par usage même lorsque l'avancée des connaissances a permis de mieux classer la maladie, le terme de syndrome continue de prévaloir sur celui de maladie »<sup>6</sup>.

Dans la mesure où plusieurs mécanismes physiopathologiques pourraient aboutir aux mêmes symptômes (sifflements, toux) chez les enfants d'âges préscolaire, il nous semble que l'asthme dans cette tranche d'âge se rapproche plus d'un syndrome recouvrant plusieurs maladies différentes dont les approches thérapeutiques pourraient être variées.

C'est dans cet esprit que les chercheurs ont tenté de distinguer différents phénotypes de l'asthme au sein de la population d'enfants de moins de 5 ans présentant des sifflements expiratoires récurrents, espérant ainsi ouvrir la voie à des thérapeutiques différenciées.

La première classification proposée par Martinez et al. en 1999 distinguait trois phénotypes différents : les « siffleurs précoces transitoires » (qui ne siffleront plus au-delà de 3 ans), les « siffleurs persistants » (qui ont sifflé avant 3 ans et continueront à siffler après 3 ans), et les « siffleurs tardifs » (qui commencent à siffler après 3 ans)<sup>7</sup>. Cependant cette classification ne permettait pas de déterminer pour un enfant vu en consultation à quelle catégorie il appartenait, et n'apportait donc aucun bénéfice pour la pratique clinique.

La European Respiratory Society a proposé en 2008 de catégoriser les enfants avec asthme en « siffleurs épisodiques (viro-induits) » correspondant aux enfants dont les exacerbations sont déclenchées par des virus, et qui ne présentent pas de symptômes entre les exacerbations ; et en « siffleurs dont les sifflements sont induits par des facteurs multiples » qui présentent des exacerbations déclenchées par des virus mais également par d'autres facteurs comme les pneumallergènes ou l'exercice physique, associés à des symptômes entre les épisodes<sup>8</sup>. Cette classification est proche de la distinction entre « asthme intermittent » et « asthme persistant » utilisée par d'autres auteurs<sup>9</sup>. Largement utilisée dans différents essais cliniques, cette classification est limitée par les variations de phénotype intra-patient au cours du temps, certains asthme intermittents devenant persistants et inversement<sup>10</sup>.

Le score API (Asthma Predictive Index) et sa version modifiée mAPI (modified Asthma Predictive Index) ont représenté une autre tentative de prédire l'évolution des enfants à 6 ans, afin de déterminer s'ils resteraient asthmatiques ou non<sup>11,12</sup>. Ces scores ainsi que ceux développés par la suite, ont tous plusieurs limites : une sensibilité et une valeur prédictive positive faibles<sup>13,14</sup> ; l'absence de validation de ces scores dans d'autres populations que celles dont ils sont dérivés<sup>14</sup> ; et l'absence de preuve que les enfants ayant des scores positifs ou négatifs répondent différemment aux traitements couramment proposés dans l'asthme<sup>15,16</sup>.

Au total, il n'existe pas de classification phénotypique satisfaisante à l'heure actuelle. La plus répandue, notamment en ce qui concerne les traitements de l'exacerbation d'asthme de l'enfant d'âge préscolaire qui est le sujet de ce travail, reste la distinction entre asthme intermittent et asthme persistant.

## 1.2 Prévalence

### Messages clés

- *L'asthme est une maladie fréquente chez l'enfant d'âge préscolaire.*
- *L'absence de définition consensuelle ne permet pas d'établir de prévalence précise.*

L'asthme est la maladie chronique la plus fréquente chez l'enfant au niveau mondial<sup>17</sup>. Sa prévalence est très hétérogène d'une région à l'autre du globe terrestre, avec des chiffres variant chez l'enfant de 1% au Népal à 15% en Australie<sup>18</sup>.

Du fait de l'absence de définition consensuelle de l'asthme de l'enfant d'âge préscolaire, les chiffres de prévalence de l'asthme dans cette tranche d'âge diffèrent selon les critères choisis. La plupart des études se basent sur des questionnaires dérivés de l'initiative ISAAC (International Study of Asthma and Allergy in Childhood)<sup>19</sup>. Le projet ISAAC a permis d'évaluer la prévalence de l'asthme dans 105 pays grâce à des questionnaires standardisés adressés aux adolescents de 13-14 ans et aux parents d'enfants de 6-7 ans<sup>20</sup>. Plusieurs équipes de recherche ont réutilisé ces questionnaires auprès de parents d'enfants plus jeunes, en y apportant parfois quelques modifications. Les prévalences calculées chez les enfants de 5 ans et moins dans différents pays sur la base de ces questionnaires sont présentées dans le tableau 1. De la même manière que chez les adolescents de 13-14 ans, les prévalences sont très variables d'un pays à l'autre, et les prévalences les plus élevées sont retrouvées dans les pays anglo-saxons tels que les Etats-Unis, le Royaume-Uni et l'Australie (Table 1).

L'utilisation de questionnaires standardisés permet également d'apprécier l'évolution de la prévalence de l'asthme au cours du temps dans différents pays. De telles études ont été réalisées au Royaume-Uni, aux Etats-Unis et en France. Entre 1990 et 1998, la prévalence cumulée de l'asthme est ainsi passée de 11 à 19% chez les enfants de un à cinq ans dans le comté de Leicestershire en Angleterre<sup>21,22</sup>. A notre connaissance, il n'y a pas eu d'étude comparable dans ce comté les années suivantes, mais la tendance sur l'ensemble du Royaume-Uni à partir des années 2000 a été dans le sens d'une stabilisation, voire d'une diminution du recours aux soins pour asthme parmi les 0-4 ans<sup>23</sup>.

Tableau 1 : Prévalence de l'asthme de l'enfant d'âge préscolaire en fonction des pays.

Lieu (Période)	Etude	Nombre d'enfants (âge moyen ± ET)	Prévalence des sifflements dans les 12 derniers mois	Asthme diagnostiqué et/ou traité dans les 12 derniers mois	Prévalence cumulée de l'asthme
Australie (Lismore/Wagg a-Wagga) (1995)	Habby et al., 2001 <sup>24</sup>	n = 383/591 (3,7 ans)	30,8/28,8%	30,8/25,4%	30,0/27,3%
Brésil (1997-1998)	Chatkin et al., 2003 <sup>25</sup>	n = 981 (enfants 4 à 5 ans)	21,1%	18,4%	31,2%
Etats Unis (Chicago) (1996)	Grant et al., 1999 <sup>26</sup>	n = 638 (5,7 ans ± 0,55)	16%	NA	10,8%
Etats-Unis (2004-2005)	Akinbami et al., 2009 <sup>27</sup>	n = NA (enfants 0 à 4 ans)	NA	6,2% <sup>1</sup>	NA
France (2005-2006)	Delmas et al., 2012 <sup>28</sup>	n = 19601 (5,7 ans)	10,6%	9,9%	9,8%
France (2012-2013)	Delmas et al., 2017 <sup>29</sup>	n = 17564 (5,7 ans)	11,8%	11%	11%
Hong-Kong (NA)	Wong et al., 2007 <sup>30</sup>	n = 3089 (4,6 ans ± 0,9 ans)	9,3%	NA	4,9%
Royaume-Uni (Leicestershire) (1990)	Luyt et al., 1995 <sup>21</sup>	n = 1422 (enfants 1 à 5 ans)	12%	NA	11%
Royaume-Uni (Leicestershire) (1998)	Kueni et al., 2001 <sup>22</sup>	n = 2127 (enfants 1 à 5 ans)	26%	NA	19%
Portugal nord (2013-2014)	Branco et al., 2016 <sup>31</sup>	n = 497 (3,6 ans)	17,1%	NA	3,8%
Suède (NA)	Bröms et al., 2013 <sup>32</sup>	n = 4886 (3,8 ans ± 1,4 ans)	4,8% <sup>2</sup>	5,6% <sup>2</sup>	6,7% <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Le critère utilisé associait un diagnostic d'asthme par un médecin et la persistance de l'asthme au moment de l'étude. <sup>2</sup>Les critères présentés étaient différents de ceux des autres études : 1- Sifflements à 4 reprises ou plus dans les 12 derniers mois ; 2- Prévalence cumulée de l'asthme associé à des symptômes dans les 12 derniers mois ; 3- Traitement par corticoïdes inhalés au moment de l'étude. NA : données non disponibles.

C'est aux Etats-Unis que les données du National Health Interview Survey (NHIS), un organisme lié au Center for Disease Control and Prevention (CDC), sont les plus complètes<sup>33</sup>. Chaque année, un échantillon de la population est sélectionné pour participer à un entretien avec un enquêteur concernant des questions de santé dont l'asthme. La prévalence cumulée de l'asthme et la prévalence actuelle de l'asthme sont secondairement calculées à partir des données recueillies (Figure 1). Depuis 2012, la tendance est à une diminution de la prévalence de l'asthme chez les enfants d'âge préscolaire, sans que les raisons n'en soient comprises<sup>34</sup>. En revanche, en France, les deux études réalisées en 2005-2006 et 2012-2013 auprès de parents d'enfants en grande section de maternelle montrent une augmentation de la prévalence de l'asthme de 9,8 à 11%<sup>29</sup>.

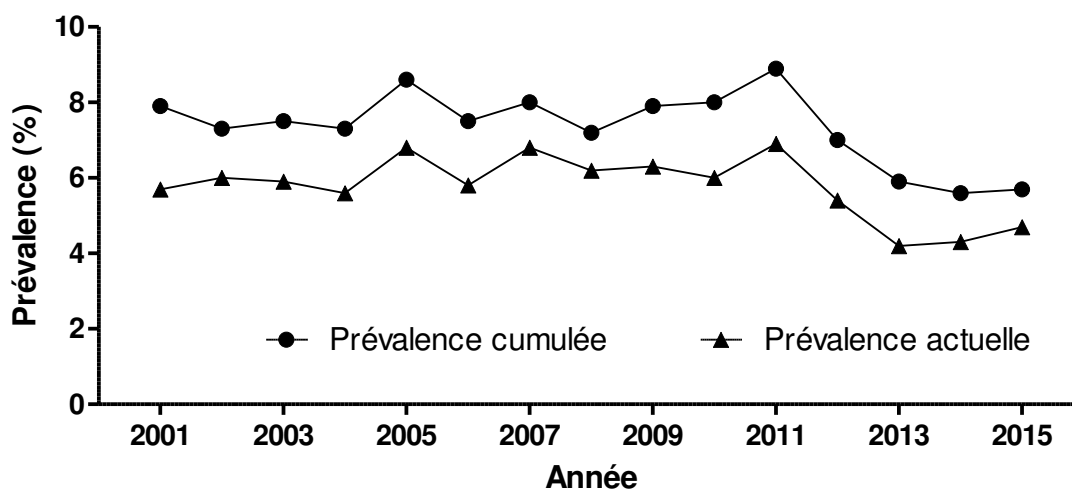


Figure 1 : Prévalence cumulée et actuelle de l'asthme chez les enfants âgés de 0 à 4 ans aux Etats Unis, par année. Source : NHIS/CDC<sup>33</sup>.

Ces enquêtes permettent également d'observer que la prévalence de l'asthme chez les enfants d'âge préscolaire est plus faible que la prévalence retrouvée chez l'enfant d'âge scolaire qui est de l'ordre de 12-13% en France et 14-15% aux Etats Unis au cours des 10 dernières années<sup>33,35</sup>.

Ces enquêtes ont deux principales limites. D'une part leur caractère descriptif ne permet pas de révéler les raisons de ces variations de prévalence d'un pays à l'autre ou d'une période à l'autre. D'autre part le caractère déclaratif des réponses des parents peut induire une surestimation des prévalences de l'asthme. Idéalement, le diagnostic d'asthme ou de sifflement devrait être vérifié par un médecin, puisque les termes utilisés dans les questionnaires ne sont pas toujours compris par les parents. Les parents anglophones utilisent notamment le terme « wheezing » de façon inappropriée pour différents bruits respiratoires, avec un risque de surdiagnostic de ce symptôme et donc de surestimation de la prévalence de l'asthme<sup>36,37</sup>. La prévalence de l'asthme est plus faible lorsque le diagnostic est posé par un médecin. Ainsi, en France, les données issues d'une base des médecins libéraux constituée de 1 200 médecins généralistes et de 100 pédiatres informatisés sur la France entière retrouvaient une prévalence de l'asthme de l'ordre de 2% chez les moins de 36 mois<sup>38</sup>.



## 2. Les exacerbations d'asthme chez l'enfant d'âge préscolaire: fréquence et conséquences

### Messages clés

- *Les enfants d'âge préscolaire présentent les plus forts taux d'exacerbation, de recours aux soins, et d'hospitalisations au sein de l'ensemble de la population asthmatique.*
- La prévention des exacerbations représente la stratégie la plus intéressante pour diminuer les coûts secondaires à l'asthme de l'enfant.

L'exacerbation d'asthme chez l'enfant de 5 ans et moins est définie par une détérioration aiguë ou subaiguë du contrôle des symptômes, suffisante pour représenter un risque pour sa santé, et requérant une consultation médicale et/ou un traitement par corticothérapie orale<sup>1</sup>.

### 2.1 Epidémiologie

Bien que la prévalence de l'asthme soit plus faible chez les enfants d'âge préscolaire comparée à celle de leurs aînés, les exacerbations sont plus fréquentes et plus sévères dans cette tranche d'âge. Les enfants d'âge préscolaire avec asthme présentent les taux d'exacerbation d'asthme au cours des 12 derniers mois les plus élevés au sein de l'ensemble de la population asthmatique. Ainsi, au Canada, 48% des enfants d'âges préscolaires avec asthme avaient présenté une exacerbation au cours de l'année 2000-2001<sup>39</sup>. Aux Etats-Unis, ce chiffre s'élevait à 60,6% en 2015<sup>33</sup>.

### 2.2 Morbidité associée aux exacerbations

Ces forts taux d'exacerbation se traduisent par un important recours aux soins. Les taux de consultation aux urgences pédiatriques pour exacerbation d'asthme, qu'ils soient rapportés à la population générale ou à la population asthmatique, sont les plus élevés chez les enfants de moins de 5 ans. Rapportés à la population générale, ces taux sont au Canada de 23-42 pour 1000 enfants d'âge préscolaire par an, comparé à 15 pour 1000 dans la population âgée de 6 à 70 ans<sup>40</sup>. Aux Etats-Unis, ils sont de 13 pour 1000 chez les enfants d'âge préscolaire, alors qu'ils sont plus faibles dans les autres tranches de la population, de l'ordre de 12 pour 1000 chez les enfants de 5 à 14 ans, de 6 pour 1000 chez les 15-64 ans, et de 2 pour 1000 chez les plus de 65 ans<sup>41</sup>. Rapportés à la population asthmatique, les enfants d'âge préscolaire présentent un taux de consultation aux urgences pédiatriques qui est le double de celui observé dans les autres tranches d'âge, avec aux Etats Unis un taux de 20,8 consultations pour 100 enfants d'âges préscolaires avec asthme par an<sup>41</sup>.

Ces forts taux de consultations aux urgences pédiatriques se traduisent ensuite par de forts taux d'hospitalisation. Rapportés à la population générale ou à la population asthmatique, ces taux restent les plus élevés chez l'enfant de moins 5 ans, avec aux Etats-Unis des taux d'hospitalisation pour exacerbation d'asthme de 4 pour 1000 par an chez les moins de 5 ans, et de 6,5 pour 100 par an chez les enfants de moins de 5 ans avec asthme<sup>41</sup>. Ces forts taux d'hospitalisations chez l'enfant de moins de 5 ans sont retrouvés de façon internationale, dans les pays du nord de l'Europe tels que la Suède, le Danemark ou la Finlande<sup>42,43</sup>, mais également au Royaume-Uni<sup>23</sup> et en France<sup>38,44,45</sup>. En France, les taux d'hospitalisations pour asthme fournies par les données du Programme de médicalisation des systèmes d'information (PMSI)

étaient quatre fois plus élevés chez les enfants de moins de 5 ans comparés aux enfants plus âgés et aux adultes. Ces taux étaient de 8 à 10 hospitalisations pour 1000 garçons de moins de 5 ans et de 5 hospitalisations pour 1000 filles de moins de 5 ans<sup>45</sup>.

Ces forts taux d'exacerbation, de consultations aux urgences et d'hospitalisations ne s'accompagnent cependant pas d'une mortalité accrue chez les enfants d'âge préscolaire. Au contraire, ceux-ci présentent les taux de mortalité les plus faibles au sein de la population asthmatique, avec un taux de l'ordre de 1,5 décès pour 10 000 hospitalisations<sup>38</sup>, ou de 2 décès par million d'enfant de moins de 5 ans<sup>41</sup>.

### **2.3 Impact socio-économique des exacerbations d'asthme**

En France, le montant total des dépenses médicales et sociales de l'asthme était évalué à 1,5 milliards d'euros en 2001<sup>46</sup>. Les hospitalisations représentaient 61% des coûts directs. Bien qu'à notre connaissance, aucune estimation relative aux coûts de l'asthme chez l'enfant de moins de 5 ans n'existe en France, il est probable que cette tranche d'âge représente une partie importante des dépenses médicales liées à l'asthme du fait de ses forts taux d'hospitalisation.

C'est en tout cas ce qui est observé dans plusieurs autres pays européens. Dans les pays nordiques (Suède, Danemark, Norvège, Finlande), les dépenses liées aux hospitalisations, sont, par enfant, 8,5 fois plus importantes chez les moins de 2 ans que chez les enfants d'âge scolaire, et 2,8 fois plus importantes chez les 2-5 ans que chez les enfants d'âge scolaire<sup>43</sup>. Au total, les enfants de moins de 5 ans y sont responsables de 75% des dépenses liées aux hospitalisations pour asthme<sup>47</sup>.

Le coût des hospitalisations pour asthme peut se décliner en coûts directs et indirects. Les coûts directs concernent les soins liés à la prise en charge de l'exacerbation d'asthme, alors que les coûts indirects incluent l'absentéisme parental au travail et la perte de productivité secondaire. Au Royaume-Uni, les dépenses liées à l'asthme chez les enfants de 1 à 5 ans sont représentées à 76% par les dépenses de santé (dont 57% sont liées aux hospitalisations), et à 18% par les coûts secondaires au temps de travail perdu du fait de l'asthme<sup>47</sup>.

Les études socio-économiques sur l'asthme permettent également de définir les meilleures stratégies pour réduire les coûts liés à l'asthme. Aussi bien au Royaume-Uni qu'en France, il apparaît que les actions les plus efficaces en matière de réduction des coûts sont celles réalisées en ambulatoire pour la prévention primaire ou secondaire des exacerbations<sup>47,48</sup>. Les actions liées à l'amélioration de la qualité de la prise en charge à l'hôpital, malgré leur efficacité, ont un impact économique moins important.

Améliorer la gestion des exacerbations à domicile représente donc un axe prioritaire pour diminuer la morbidité et les dépenses de santé liées à l'asthme du moins de 5 ans.

### 3. Prise en charge des exacerbations d'asthme à domicile : quels traitements pour l'enfant d'âge préscolaire ?

#### 3.1 Les bronchodilatateurs de courte durée d'action

##### Messages clés

- *Les bronchodilatateurs de courte durée d'action sont la pierre angulaire du traitement de l'exacerbation de l'enfant d'âge préscolaire, malgré la paucité des études scientifiques sur ce sujet.*
- *Pour être efficaces, les parents doivent maîtriser la technique d'inhalation permettant leur administration.*

Les bronchodilatateurs de courte durée d'action (BDCAs), et particulièrement le salbutamol, représentent la pierre angulaire du traitement de l'exacerbation d'asthme de l'enfant d'âge préscolaire, par analogie avec le traitement des exacerbations chez les enfants plus âgés, les adolescents et les adultes. Pourtant, au plan scientifique, les études ayant évalué l'efficacité du salbutamol inhalé contre placebo chez l'enfant de moins de 5 ans sont rares, et souvent d'une qualité méthodologique médiocre. Une revue systématique de la littérature incluant les études ayant évalué l'efficacité du salbutamol chez les enfants de moins de 2 ans présentant des épisodes récurrents de dyspnée sifflante (au moins deux) a conclu qu'il n'y avait pas de bénéfice clair à utiliser les BDCA pour prendre en charge les épisodes de dyspnée sifflante récurrents de l'enfant de moins de 2 ans, mais que les résultats des études incluses étaient contradictoires<sup>49</sup>. En effet, les études réunies au sein de cette revue étaient hétérogènes (certaines utilisaient le salbutamol en traitement de fond) et d'une qualité méthodologique inégale. Seule l'étude la plus robuste, correspondant à une étude contrôlée randomisée en double aveugle avec groupes parallèle a été retenue dans une revue des revues systématiques de la littérature publiée début 2017 évaluant la prise en charge de l'exacerbation d'asthme chez l'enfant de 0 à 18 ans<sup>50</sup>. Cette étude portant sur 28 enfants de moins de 2 ans ayant déjà présenté au moins un épisode de dyspnée sifflante retrouvait, lors d'un nouvel épisode de dyspnée sifflante se présentant dans un service d'accueil des urgences, un effet du salbutamol nébulisé (0,15mg/kg à 2 reprises) sur plusieurs paramètres cliniques (fréquence respiratoire, sévérité des sifflements et des signes de lutte, saturation artérielle en oxygène), mais pas sur le risque d'hospitalisation<sup>51</sup>. Cette amélioration clinique a été confirmée par six études bien conduites portant sur un total de 490 enfants avec asthme de moins de 3 ans, ayant comparé l'effet du salbutamol administré par voie inhalée via une chambre d'inhalation versus un nébuliseur. L'utilisation d'une chambre d'inhalation était associée à une réduction de 44% des hospitalisations, témoignant indirectement de l'efficacité du salbutamol dans la mesure où l'étude citée précédemment n'a pas montré de surrisque d'hospitalisation chez les enfants recevant des nébulisations de salbutamol par rapport au placebo<sup>41</sup>. Ces données sont confortées par des études plus fondamentales ayant montré un effet du salbutamol chez les enfants de moins de 5 ans avec asthme, avec une amélioration significative des paramètres gazométriques et des explorations fonctionnelles respiratoires grâce à ce traitement<sup>52,53</sup>. L'effet sur les explorations fonctionnelles respiratoires est également observé avec l'utilisation de Terbutaline<sup>54</sup>.

Au total, les BDCA représentent un traitement efficace des exacerbations d'asthme de l'enfant d'âge préscolaire. Les recommandations s'accordent donc à considérer les BDCA comme le

traitement principal de l'exacerbation d'asthme, et préconisent son utilisation à domicile lors de la survenue de symptômes compatibles<sup>1,8,55</sup>.

Les doses de salbutamol à utiliser sont en revanche non consensuelles, et reflètent la diversité des doses utilisées dans la littérature<sup>56,57</sup>. Le GINA propose de limiter la dose à 2 bouffées de 100µg toutes les 20 minutes, à répéter deux fois avant de consulter un médecin en l'absence d'amélioration<sup>1</sup>. La British Thoracic Society au Royaume-Uni conseille pour sa part d'administrer les bouffées de salbutamol une par une, espacées chacune de 30 à 60 secondes, jusqu'à obtenir une amélioration des symptômes, avec un maximum de 10 bouffées<sup>58</sup>. Si malgré 10 bouffées, l'enfant est toujours symptomatique, il est recommandé à la famille d'obtenir une consultation médicale en urgence. La Canadian Thoracic Society au Canada ne donne pas de conduite à tenir à domicile, mais propose à l'arrivée aux urgences, chez les enfants d'âge préscolaire de moins de 20kg en exacerbation légère ou modérée, l'administration de 5 bouffées de salbutamol toutes les 20 minutes pendant une heure<sup>59</sup>. En France, le Groupe de Recherche sur les Avancées en PneumoPédiatrie (GRAPP) considère qu'il est licite d'administrer à domicile de plus fortes doses de salbutamol, soit une bouffée par 2 kg de poids avec un maximum de 10 à 15 bouffées, à répéter toutes les 20 minutes pendant une heure en l'absence d'amélioration, et de recourir ensuite à une corticothérapie orale et à une consultation médicale en urgence<sup>55</sup>.

Chez les enfants de 5 ans et moins, l'administration de BDCA doit être administrée via une chambre d'inhalation pour être efficace<sup>60</sup>. Les parents doivent suivre une séquence précise pour administrer le traitement inhalé avec la bonne technique, qui peut se décomposer comme suit :

- 1- Retirer le capuchon de l'aérosol-doseur
- 2- Secouer l'aérosol-doseur
- 3- Adapter l'aérosol-doseur sur la chambre d'inhalation
- 4- Placer la chambre d'inhalation sur le visage de l'enfant en recouvrant le nez et la bouche (dans le cadre d'un masque facial) ou l'embout buccal dans la bouche de l'enfant (dans le cadre d'un embout buccal).
- 5- Presser l'aérosol-doseur pour délivrer une bouffée
- 6- Laisser l'enfant respirer plusieurs fois (au moins 2 à 3 fois pour une chambre avec embout buccal, au moins 5 à 6 fois pour une chambre avec masque facial).
- 7- Répéter les étapes 2 à 6 pour chaque bouffé prescrite.

Respecter l'ensemble de ces étapes est difficile pour les parents, qui effectuent au moins une erreur dans 22 à 99% des cas selon les études<sup>61-65</sup>. Les étapes les moins respectées sont l'étape 2 (secouer l'aérosol-doseur)<sup>61,64</sup> et l'étape 6 (laisser l'enfant respirer plusieurs fois)<sup>61-64</sup>. Former les parents aux techniques d'inhalation de l'enfant est donc indispensable pour que les BDCA puissent être réellement efficaces lors d'une exacerbation d'asthme.

### 3.2 Les corticoïdes oraux

#### Messages clés

- *Les corticoïdes oraux administrés à domicile par les parents d'enfants d'âge préscolaire lors d'une exacerbation n'ont pas fait la preuve de leur efficacité.*
- Les recommandations actuelles sont de les réserver aux parents qui apparaissent en capacité aux yeux du médecin de les utiliser de façon appropriée.

Le second traitement que les parents pourraient administrer à leur enfant dans le cadre d'une exacerbation d'asthme survenant à domicile correspond aux corticoïdes oraux. Les corticoïdes systémiques, une fois liés à leur récepteur cytoplasmique, et après migration dans le noyau cellulaire, activent la transcription de molécules anti-inflammatoires et répriment la transcription d'autres facteurs pro-inflammatoires<sup>66</sup>.

Leur efficacité chez l'enfant d'âge scolaire et chez l'adolescent est reconnue lorsqu'ils sont prescrits par un médecin dans le cadre d'une exacerbation d'asthme. Administrés précocement aux urgences, ils permettent de réduire le risque d'hospitalisation, la durée de l'hospitalisation, et le risque de récurrence d'exacerbation dans les trois mois suivants<sup>67-69</sup>.

Administrée par les parents à domicile, l'efficacité de la corticothérapie orale chez l'enfant de plus de 5 ans est plus sujette à controverse, essentiellement du fait de la rareté des études sur ce sujet. En effet, seules deux études ont évalué l'efficacité d'une corticothérapie orale administrée à domicile chez l'enfant d'âge scolaire<sup>70</sup>. La première étude publiée en 1995 n'a pas retrouvé de différence significative en matière d'hospitalisation ou de consultation en urgence pour exacerbation d'asthme chez les enfants âgés de 6 à 14 ans<sup>71</sup>. La seconde, publiée en 2010, montrait une réduction des symptômes d'asthme, de l'absentéisme scolaire et du recours aux soins chez les enfants de 5 à 12 ans randomisés dans le groupe prednisolone<sup>72</sup>. Sur la base de ces études, les recommandations internationales considèrent que les corticoïdes oraux doivent figurer sur le plan d'action de la plupart des patients à partir de l'âge de 6 ans<sup>1</sup>.

Chez l'enfant d'âge préscolaire, les données sont moins convaincantes.

Prescrits par un médecin dans le cadre d'un service d'accueil des urgences, une étude publiée en 1990 chez 76 enfants de 7 à 54 mois ayant présenté au moins trois épisodes sifflants retrouvait une réduction significative des hospitalisations (significative chez les 7-24 mois mais non significative chez les 25-54 mois), et une amélioration des scores de symptômes<sup>73</sup>. Une autre étude publiée en 2003 et menée chez des enfants plus jeunes, âgés de 6 à 35 mois, dont seulement 35 à 45% des enfants dans chaque groupe avaient eu un antécédent de dyspnée sifflante, ne retrouvait pas de différence en matière de taux d'hospitalisation, mais une tendance en faveur d'une réduction de la durée d'hospitalisation ( $p=0,06$ )<sup>74</sup>. Une dernière étude publiée en 2009 dans le *New England Journal of Medicine* menée chez 687 enfants âgés de 10 à 60 mois dont les deux tiers avaient un antécédent de dyspnée sifflante, adressés à l'hôpital pour dyspnée sifflante en contexte viral, ne retrouvait pas de différence entre le groupe traité par corticothérapie orale et le groupe traité par placebo en matière de durée d'hospitalisation, de recours aux BDCA, et de sévérité des symptômes<sup>75</sup>. Le statut API, permettant de prédire le risque de développer un asthme à l'âge scolaire, défini dans cette étude comme un antécédent d'au moins quatre épisodes de dyspnée sifflante et un antécédent d'asthme chez les parents ou un diagnostic médical de dermatite atopique<sup>11</sup>, n'influait pas ces résultats<sup>75</sup>. Une limite de

cette étude était la faible proportion d'exacerbations d'asthme sévères, ne permettant pas de conclure quant à l'efficacité des corticoïdes dans cette population.

Lorsque ce sont les parents qui sont chargés d'administrer les corticoïdes oraux dans le cadre d'un épisode de dyspnée sifflante survenant à domicile, les résultats des études réalisées sont encore moins probants. Le tableau 3 présente une synthèse de ces résultats.

Tableau 2 : Synthèse des études ayant évalué les corticoïdes oraux initiés à domicile dans le cadre de l'asthme de l'enfant d'âge préscolaire.

Etude	N	Population	Intervention	Critère de jugement	Résultats
Webb et al, 1986 <sup>76</sup> Essai R,C, DA, cross-over	38	3-17 mois Au moins 2 antécédents de dyspnée sifflante	Prednisolone 1mg/kg x2/j pendant 5 jours vs placebo, si exacerbation (pas de BDCA associé)	1- Score de symptômes sur 8 jours	Absence de différence sur les scores de symptômes à J1, J3, J5 et J8
Grant et al, 1995 <sup>71</sup> Essai R, C, DA, cross-over (Abstract)	86	2-14 ans (Analyse du sous-groupe 2-5 ans) Antécédent de 2 consultations pour asthme sur les 12 derniers mois	Prednisone 2mg/kg x 1/j (max 60mg) vs placebo, en l'absence de réponse aux traitements dans les 3 heures suivant le début de l'exacerbation	1- Consultations d'urgence chez le médecin ou dans un SAU. 2- Hospitalisations	Chez les 2-5 ans : Exacerbations plus nombreuses et plus fréquemment associées à des consultations d'urgence dans le groupe prednisone
Oomen et al, 2003 <sup>77</sup> Essai R, C, DA, Parallèle	120	1-5 ans Antécédent d'hospitalisation pour dyspnée sifflante	Prednisolone 20mg x 1/j pendant 5 jours vs placebo, si dyspnée sifflante (+ BDCA max 4 bouffées x 6/j)	1- Scores de symptômes 2- Hospitalisations, consultation au SAU, substitution du traitement d'essai par prednisolone	Absence de différences sur les scores de symptôme, ni sur taux d'hospitalisations et de consultations au SAU.
Beigelman et al, 2013 <sup>78</sup> Analyses post-hoc de 2 essais R, C, DA, parallèles	N*	1-5 ans Au moins deux antécédents de dyspnée sifflante	Prednisolone 2mg/kg x1/j pendant 2 jours puis 1mg/kg x 1/j pendant 2 jours, si absence d'amélioration malgré BDCA	1- Score de symptômes 2- Durée jusqu'à résolution des symptômes	L'administration de prednisolone n'était pas associée à une diminution de la sévérité ni de la durée des symptômes.

BDCA : bronchodilatateur de courte durée d'action ; C : contrôlé ; DA : double aveugle ; R : randomisé ; SAU : service d'accueil des urgences. N\* : plus de 700 exacerbations ont été analysées, provenant de chacun des deux essais réalisés.

Du fait de ces résultats négatifs, l'indication de la corticothérapie orale dans la prise en charge des exacerbations d'asthme de l'enfant d'âge préscolaire est de plus en plus questionnée<sup>79-82</sup>. Ce questionnement est d'autant plus légitime que les cures itératives de corticothérapie orale sont associées à divers effets secondaires. Le risque de fracture osseuse ne semble pas augmenté chez les enfants asthmatiques recevant jusqu'à trois cures de corticothérapie orale par an<sup>83</sup>, mais il est réel chez ceux dépassant quatre cures de corticothérapie orale par an<sup>84</sup>. Les patients sous

corticothérapie orale ont également un risque deux fois plus important d'insuffisance surrénalienne secondaire, même si le risque absolu reste faible<sup>85</sup>. Enfin, les enfants recevant une corticothérapie orale présentent des modifications du comportement à type d'anxiété, d'hyperactivité, et de comportement agressif, selon une relation dose-dépendante<sup>86</sup>.

La plupart des auteurs s'accordent à dire qu'il pourrait exister un sous-groupe d'enfants d'âge préscolaire qui bénéficierait d'une corticothérapie orale au cours des exacerbations, sans réussir à l'identifier. En effet, l'asthme chez l'enfant d'âge préscolaire semble être la manifestation de plusieurs processus physiopathologiques différents parmi lesquels certains pourraient être la cible des corticoïdes oraux, mais qu'il reste encore à déterminer<sup>10,87</sup>.

L'hétérogénéité des populations incluses, des lieux d'intervention (domicile, service d'accueil des urgences, services hospitaliers), des résultats des différentes études évaluant l'efficacité des corticoïdes oraux chez l'enfant d'âge préscolaire a mis en échec une revue systématique de la littérature avec méta-analyse, qui n'a pas pu aboutir à des conclusions sur leur utilisation<sup>88</sup>. L'établissement de recommandations à ce sujet est donc complexe. Les recommandations françaises publiées en 2007 maintiennent l'utilisation des corticoïdes oraux dans la prise en charge de l'exacerbation d'asthme chez l'enfant d'âge préscolaire, qu'ils soient prescrits par un médecin consulté ou initiés par les parents à domicile<sup>55</sup>. Les recommandations de la European Respiratory Society en 2008 étaient d'administrer une corticothérapie orale aux enfants d'âge préscolaire nécessitant une hospitalisation pour exacerbation, mais de ne pas laisser les parents administrer eux-mêmes des corticoïdes oraux<sup>8</sup>. Enfin, les experts du GINA 2017 jugent que le niveau de preuve concernant l'efficacité des corticoïdes oraux initiés par les parents est faible, et proposent que les parents aient l'initiative des corticoïdes uniquement lorsque le médecin a confiance en leur capacité à les utiliser de façon appropriée<sup>1</sup>. En pratique, les corticoïdes oraux restent largement prescrits sur les plans d'actions d'enfants d'âge préscolaire avec asthme aux Etats Unis<sup>89</sup>.

Concernant la dose de corticoïdes oraux à administrer, une étude ayant comparé les doses de 0,5mg/kg, 1mg/kg et 2mg/kg chez des enfants âgés de 1 à 15 ans n'a pas retrouvé de différence d'efficacité<sup>90</sup>. Le GINA propose d'utiliser la dose de 2mg/kg avec des maximum à 20 mg avant 2 ans et 30 mg entre 2 et 5 ans<sup>1</sup>.

### 3.3 Les corticoïdes inhalés

#### Messages clés

- Les corticoïdes inhalés administrés de façon intermittente à fortes doses sont efficaces *pour prévenir l'évolution d'une infection virale vers une exacerbation sévère, chez les enfants d'âge préscolaire présentant un asthme intermittent.*
- Du fait des risques associés à leur toxicité à fortes doses, notamment sur la croissance staturale, ils ne sont actuellement pas recommandés en première intention.

L'utilisation de corticoïdes inhalés a également été proposée dans le cadre de la prise en charge d'une exacerbation d'asthme de l'enfant. Les corticoïdes inhalés pourraient avoir une action plus rapide que les corticoïdes systémiques, via une inhibition immédiate de la capture de la noradrénaline par les cellules musculaires lisses vasculaires bronchiques. La noradrénaline s'accumulant alors au sein de la synapse entre la cellule musculaire lisse vasculaire et le neurone

sympathique, son action sur le récepteur  $\alpha$ -1 adrénergique de la cellule musculaire lisse aboutirait à une vasoconstriction plus prolongée, et à une diminution de l'œdème observé au cours de l'exacerbation<sup>91,92</sup>.

Chez l'adulte et le grand enfant, l'administration de corticoïdes inhalés lors de la prise en charge d'une exacerbation d'asthme sévère dans un service d'urgence est associée à une réduction du risque d'hospitalisation lorsque le comparateur est un placebo, mais pas lorsque le comparateur est un corticoïde oral<sup>93,94</sup>. Dans cette même population, et dans le cadre d'un asthme léger ou modéré, ajouter au plan d'action du patient une augmentation des doses de corticoïdes inhalés lors des premiers symptômes d'exacerbation ne réduit pas le risque de recours à une corticothérapie orale<sup>95</sup>. En revanche, l'utilisation de corticoïdes inhalés à la demande associés à la prise de bronchodilatateurs de courte durée d'action, en fonction des symptômes, chez des enfants de 6 à 18 ans avec un asthme léger, est associée à une réduction du risque d'exacerbation par rapport à l'utilisation de BDCA seuls<sup>96</sup>.

A notre connaissance, il n'existe pas d'étude ayant spécifiquement comparé au sein de la population d'enfant d'âge préscolaire l'utilisation de corticoïdes inhalés versus placebo lors de la prise en charge des exacerbations d'asthme en service d'accueil des urgences. Les études s'étant intéressées plus largement aux enfants et incluant des enfants de moins de 5 ans (dès l'âge de 6 mois) ont retrouvé comme chez l'adulte une réduction des hospitalisations secondaire à l'utilisation de corticoïdes inhalés par rapport au placebo, mais avec un effet inférieur ou égal à l'administration de prednisone orale<sup>97-100</sup>.

D'autres études ont évalué l'efficacité des corticoïdes inhalés non pas dans les services d'urgence, mais à domicile, lors de la survenue de symptômes d'infections virales ou d'exacerbation d'asthme. En effet, une majorité d'enfants d'âge préscolaire présentant des exacerbations viro-induites sans aucun symptôme intercritique, l'administration de corticoïdes inhalés « à la demande » représente une solution intéressante. Par rapport à une administration continue, elle permettrait de réduire les doses cumulées de corticothérapie inhalée reçues par l'enfant et donc les risques secondaires sur sa croissance staturale qui sont dose-dépendants. Les résultats de ces études sont présentés dans le tableau 4.



Tableau 3 : Synthèse des études ayant évalué les corticoïdes inhalés intermittents initiés à domicile dans le cadre de l'asthme de l'enfant d'âge préscolaire viro-induit.

Etude	N	Population	Intervention	Critère de jugement principal	Résultats
Wilson, 1990 <sup>101</sup> Essai R, C, DA, Cross-over	24	1-5 ans Au moins 2 épisodes sifflants dans les 3 mois.	Béclométasone 750µg x 3/j pendant 5 jours, versus placebo, lors des premiers signes d'exacerbation	Hospitalisations et recours à la corticothérapie orale	Pas de différence sur le critère de jugement principal. Ex (29% I ; 42% P, NS) Modeste différence sur les symptômes en faveur du groupe Béclométasone
Connet, 1993 <sup>102</sup> Essai R, C, DA, Parallèle	32	1-5 ans Au moins 2 épisodes sifflants viro-induits sur les 6 derniers mois	Budésonide 800µg x 2/j jusqu'à disparition des symptômes > 24h vs placebo, si IRH.	Score de symptômes	Score de symptômes légèrement inférieur dans le groupe Budésonide. Ex (8% I ; 32% P, NS)
Svedmyr, 1999 <sup>103</sup> Essai R, C, DA, Parallèle	55	1-3 ans Au moins 3 épisodes sifflants viro-induits	Budésonide 400µg x4/j 3 jours puis 400µg x 2/j 7 jours, vs placebo, si IRH.	Score de symptômes	Score de symptômes inférieur dans le groupe Budésonide. Ex (35% I ; 38% P, NS) EI : pas de différence sur cortisolémie matinale.
Bacharier, 2008 <sup>16</sup> Essai R, C, DA, Parallèle	143	1-5 ans Au moins 2 épisodes sifflants viro-induits sur les 6 derniers mois	Budésonide 1mg x 2/j pendant 7 jours, versus placebo, si IRH.	Jours sans symptômes.	Pas de différence entre les deux groupes pour le nombre de jours sans symptômes. Ex (38,5% I ; 55,3% P, NS) EI : pas de différence sur la taille.
Papi, 2009 <sup>15</sup> Essai R, C, DA, Parallèle	276	1-4 ans Au moins 3 épisodes sifflants sur les 6 derniers mois.	Béclométasone 800µg + salbutamol versus salbutamol seul, en cas de symptômes d'asthme	Jours sans symptômes	Pas de différence entre les deux groupes pour le nombre de jours sans symptômes total. Ex (5.5% I ; 9% P, NS) EI : pas de différence sur cortisol salivaire.
Ducharme, 2009 <sup>104</sup> Essai R, C, DA, Parallèle	129	1-6 ans Au moins 3 épisodes sifflants, 1 cure de corticothérapie orale dans les 6 mois, pas de symptômes intercritiques.	Fluticasone propionate 750µg x 2/j, max 10 jours, vs placebo, si IRH.	Recours à la corticothérapie orale	Ex (39% I ; 64% P, p <0.05) EI : Diminution de la croissance staturale dans le groupe fluticasone. Pas d'effet sur la cortisolémie ou la densité osseuse.

C : contrôlé ; DA : double aveugle ; EI : effet indésirable ; R : randomisé ; IRH : infection respiratoire haute. Ex (I ; P) : Taux d'exacerbation (% dans le groupe intervention ; % dans le groupe placebo).

Une méta-analyse des résultats de ces six études conclut à une réduction significative du taux d'exacerbation sévère dans le groupe traité par corticoïdes inhalés intermittents par rapport au groupe traité par placebo (24,8% dans le groupe traité versus 41,6% dans le groupe placebo ; RR 0,74 ; IC 95% 0,51-0,81,  $p < 0.001$ ,  $I^2=0\%$ )<sup>9</sup>. Le nombre de sujet à traiter avec des corticoïdes inhalés pour éviter une exacerbation à un enfant était de 6 (IC 95% : 4-11). Cependant, du fait des risques potentiels associés à ce type de prise en charge, et notamment des risques sur la croissance staturale de l'enfant, cette attitude n'est pas recommandée à l'heure actuelle<sup>1</sup>.

Par ailleurs, les corticoïdes inhalés administrés de façon intermittente devant être administrés le plus tôt possible par rapport aux symptômes pour être efficaces, ils représentent donc plus un traitement préventif de l'exacerbation, donné dès la survenue d'une infection virale, plutôt qu'un traitement curatif de l'exacerbation. L'objectif de cette thèse étant d'enseigner aux parents la reconnaissance et le traitement d'une exacerbation une fois les symptômes déclarés, ils sortent donc de ce cadre.

### 3.4 Les anti-leucotriènes

#### Messages clés

- *Les antagonistes des récepteurs des leucotriènes n'ont pas fait la preuve de leur efficacité dans le traitement de l'exacerbation d'asthme de l'enfant d'âge préscolaire.*

Le montelukast est un antagoniste des récepteurs des leucotriènes qui s'administre par voie orale. Il a l'autorisation de mise sur le marché (AMM) en France chez l'enfant de 2 à 5 ans comme alternative aux corticoïdes inhalés lorsqu'il y a des difficultés d'adhérence, et chez l'enfant de 6 mois à 5 ans comme traitement complémentaire lorsque l'asthme persistant léger à modéré n'est pas suffisamment contrôlé par corticothérapie inhalée<sup>105</sup>. Du fait de son efficacité rapide sur les symptômes d'asthme, dès les premières vingt-quatre heures, cinq études de bonne qualité méthodologique ont évalué l'utilisation de montelukast chez les enfants de 6 mois à 5 ans présentant un asthme du nourrisson viro-induit dès les premiers symptômes d'exacerbation d'asthme<sup>16,106-109</sup>. Une méta-analyse de leurs résultats en 2015 a révélé que la prise de montelukast n'était pas associée à une réduction du recours à une corticothérapie orale, ni à une diminution du recours aux soins<sup>108,110</sup>. Une méta-analyse publiée en 2017 a permis d'étendre ces résultats à l'ensemble des phénotypes d'asthme du nourrisson (viro-induit et multi-induit)<sup>111</sup>. Ce traitement n'est donc actuellement pas recommandé dans la prise en charge des exacerbations de l'asthme de l'enfant d'âge préscolaire.

### 3.5 L'azithromycine

#### Messages clés

- *L'azithromycine, administrée tôt au cours d'une infection virale, pourrait réduire le risque d'exacerbation sévère chez l'enfant d'âge préscolaire.*
- *Du fait du nombre important de sujet à traiter et du risque d'émergence de résistance bactérienne, elle n'est pas recommandée actuellement.*

Les macrolides, et particulièrement l'azithromycine, ont des effets antibactériens, mais également antiviraux et anti-inflammatoires<sup>112,113</sup>. Trois études ont évalué l'efficacité de l'azithromycine au cours des exacerbations d'asthme chez l'enfant d'âge préscolaire. La première a porté sur 607 enfants âgés de 12 à 71 mois avec un asthme intermittent, et dont les parents devaient administrer le traitement (azithromycine 12mg/kg/j ou placebo) pendant 5 jours dès le début des symptômes d'une infection respiratoire. Le risque d'évolution vers une exacerbation sévère était faible dans les deux groupes, mais il existait une différence significative entre les deux groupes (5% dans le groupe azithromycine et 8% dans le groupe placebo,  $p=0,04$ ). Plus les infections respiratoires étaient fréquentes chez les enfants, plus l'efficacité de l'azithromycine semblait importante : le nombre de sujet à traiter pour éviter une aggravation vers une exacerbation sévère était de 33 à la première infection, diminuant à 7 à la quatrième infection<sup>114</sup>. La seconde étude incluait des enfants de 1 à 3 ans avec des symptômes récurrents d'asthme, pour lesquels chaque exacerbation diagnostiquée par un médecin était randomisée soit dans le groupe azithromycine (10mg/kg/j pendant 3 jours) soit dans le groupe placebo. Il existait une diminution significative de la durée des exacerbations dans le groupe azithromycine (3,4 jours après traitement pour les exacerbations traitées par azithromycine et 7,7 jours après traitement pour celles traitées par placebo,  $p<0,0001$ ). Cette réduction était d'autant plus marquée que le traitement était initié tôt<sup>115</sup>. Ces résultats n'ont pas été confirmés par une troisième étude qui portait chez des enfants de 12 à 60 mois se présentant aux urgences avec des sifflements<sup>116</sup>. L'administration d'azithromycine (10mg/kg le premier jour puis 5mg/kg les quatre jours suivants) ne permettait pas une résolution plus rapide des symptômes par rapport au placebo, qu'il s'agisse d'un premier épisode sifflant ou d'épisodes récurrents. La limite principale de cette étude était un manque de puissance, dans la mesure où elle n'a pas réussi à inclure le nombre de patients prévu. Néanmoins, pour les 222 enfants qui ont pu être analysés sur le critère de jugement principal, la résolution des symptômes, aucune différence n'était observée. Une seconde limitation était l'absence de données sur la durée d'évolution des symptômes avant l'introduction d'azithromycine, dans la mesure où l'efficacité de ce traitement pourrait dépendre d'une administration précoce, dès les premiers symptômes.

L'efficacité de l'azithromycine dans la prise en charge de l'exacerbation d'asthme de l'enfant est donc encore débattue. Si un effet existait, le nombre de sujets à traiter semble important avec le risque de l'émergence de bactéries résistantes aux macrolides. L'azithromycine n'est donc actuellement pas recommandée dans la prise en charge de l'exacerbation d'asthme de l'enfant.

#### **4. Les parents face aux exacerbations d'asthme à domicile**

##### **4.1 Les parents, premiers soignants de l'enfant d'âge préscolaire**

###### **Messages clés**

- *Les parents sont le premier maillon de la prise en charge des exacerbations d'asthme de l'enfant d'âge préscolaire.*
- *La plupart ne savent pas prendre en charge une exacerbation de leur enfant.*
- *Les parents sont demandeurs d'une formation à cette prise en charge.*

Dans la mesure où prédire la survenue d'une exacerbation d'asthme n'est pas encore possible, ce sont les personnes de l'entourage du patient, et en premier lieu pour l'enfant ses parents, qui sont le premier maillon de la prise en charge des exacerbations d'asthme.

Il est donc primordial que les parents d'un enfant avec asthme sachent reconnaître et traiter de façon appropriée une exacerbation débutante de leur enfant. Cette responsabilité qui leur incombe est source d'un stress important chez les parents. Ils doivent à la fois savoir identifier les symptômes de l'exacerbation, évaluer sa sévérité, et administrer les premiers traitements. Or il semble que la plupart des parents d'enfants avec asthme ne savent pas gérer une exacerbation de leur enfant débutant à domicile. Une récente étude réalisée en France a révélé que plus de 80% des exacerbations d'asthme de l'enfant n'étaient pas prise en charge de façon appropriée à domicile<sup>117</sup>.

La reconnaissance des symptômes et l'évaluation de la gravité de l'exacerbation d'asthme est une première étape complexe pour beaucoup de parents. La plupart des études chez l'enfant d'âge préscolaire se sont intéressées à la reconnaissance par les parents des sifflements ou « wheezing » en anglais. Elles ont montré que plus d'un tiers des parents ne savaient pas reconnaître un wheezing ni évaluer sa sévérité<sup>118,119</sup>. La toux nocturne est également mal identifiée comme un symptôme d'asthme par un tiers de parents<sup>120</sup>. Ce sont finalement les signes de lutte, plus que les symptômes précurseurs qui conduisent les parents à initier les traitements de l'exacerbation<sup>121</sup>. A l'inverse, beaucoup de parents consultent dans les services d'accueil des urgences pensant se trouver face à une exacerbation d'asthme sévère alors que ce n'est pas le cas<sup>122</sup>.

Une fois identifiée, la prise en charge de l'exacerbation par les parents à domicile est souvent perfectible. Les BDCA, principaux traitements de l'exacerbation, sont utilisés de façon inappropriée par un à deux tiers des parents selon les études, soit du fait d'une sous-utilisation soit du fait d'une surutilisation<sup>123,124</sup>. La technique d'inhalation est également souvent incorrecte, comme discutée au paragraphe 3.1. Enfin, la plupart des parents interrogés quant à leur gestion d'une hypothétique exacerbation d'asthme ne savent pas définir à quel moment ils devraient recourir à leur médecin ou à un service d'accueil des urgences<sup>124,125</sup>.

Ces lacunes sont reconnues par les parents, qui sont plus confiants en leur capacité à administrer quotidiennement un traitement de fond qu'en leur capacité à prendre la bonne décision en cas d'exacerbation d'asthme<sup>126</sup>. Les parents sont demandeurs d'une éducation sur l'asthme de leur enfant privilégiant en priorité la reconnaissance de la gravité des exacerbations et la conduite à tenir dans de telles situations<sup>127-129</sup>.

## 4.2 L'éducation thérapeutique des parents d'enfants d'âge préscolaire

### Messages clés

- *L'éducation thérapeutique des enfants asthmatiques et de leur famille permet une réduction des recours aux soins et des hospitalisations.*
- *Elle doit être adaptée chez les enfants d'âge préscolaire et leurs familles.*
- *Très peu de patients ont accès à l'éducation thérapeutique.*
- *La révolution numérique pourrait permettre de démocratiser l'éducation thérapeutique dans l'asthme, et d'offrir de nouveaux outils plus efficaces pour former les patients.*

Selon la définition de l'Organisation Mondiale de la Santé reprise par la Haute Autorité de Santé (HAS), l'éducation thérapeutique du patient a pour objectif d'aider les patients à acquérir ou maintenir les compétences dont ils ont besoin pour gérer au mieux leur vie avec une maladie chronique<sup>130</sup>.

Dans l'asthme de l'enfant, l'éducation thérapeutique concerne à la fois l'enfant et ses parents. Une revue systématique de la littérature de la Cochrane avec méta-analyse publiée en 2006 a montré que les programmes d'éducation thérapeutique dans l'asthme de l'enfant permettaient de réduire l'absentéisme scolaire et le nombre de jours avec limitations d'activité, ainsi que les consultations dans les services d'urgence<sup>131,132</sup>. Une nouvelle méta-analyse publiée en 2008 retrouvait également une diminution du nombre moyen d'hospitalisations et de consultations aux urgences pédiatriques chez les familles ayant participé à un programme d'éducation thérapeutique<sup>133</sup>. Les conclusions d'une troisième méta-analyse de 2009 portant sur les enfants ayant présenté une exacerbation d'asthme dans les 12 derniers mois et donc à risque d'une nouvelle consultation aux urgences a encore révélé que l'éducation thérapeutique diminuait le recours aux urgences pédiatriques, les consultations médicales non programmées, et les hospitalisations<sup>134</sup>. Sur la base de ces résultats, l'éducation thérapeutique est recommandée par toutes les sociétés savantes<sup>1,5,135</sup>.

La plupart des études incluses dans ces méta-analyses portaient sur des enfants de plus de 6 ans et des adolescents, ou mélangeaient des enfants d'âge préscolaire avec des enfants plus âgés. A notre connaissance, seules six études randomisées contrôlées ont évalué des programmes d'éducation thérapeutique spécifiquement destinés à des enfants d'âge préscolaire et à leurs familles<sup>136-141</sup>. Tous les programmes d'éducation thérapeutique évalués par ces études étaient des programmes de qualité délivrés par des personnels formés, qui abordaient différents aspects de la prise en charge de l'asthme et se déclinaient au minimum en deux sessions de vingt minutes et au maximum en huit sessions de 90 minutes. Trois études ont évalué l'impact des programmes d'éducation thérapeutique sur les hospitalisations et n'ont pas retrouvé de différence par rapport aux groupes contrôles<sup>138,140,141</sup>. Cinq études ont évalué l'efficacité des interventions sur le recours aux soins (visites non programmées chez le médecin et/ou consultations aux urgences)<sup>137-141</sup>. Parmi ces cinq études, trois, deux proposant un programme d'éducation thérapeutique à des parents d'enfants d'âge préscolaire et la troisième directement à des enfants de 2 à 5 ans via un livre et/ou une vidéo éducative, ont montré une réduction des recours aux soins par rapport au groupe contrôle<sup>139-141</sup>. Deux autres ne retrouvaient pas de différence entre le groupe éduqué et le groupe non éduqué<sup>137,138</sup>. Les auteurs de l'une de ces deux études de qualité expliquaient que dans la mesure où la plupart des enfants qui avaient été inclus avaient un asthme viro-induit sans symptôme intercritique, il était possible que l'éducation thérapeutique proposée n'ait pas été adaptée à cette population<sup>138</sup>. En effet, le programme utilisé dans cette étude était dérivé de programmes s'adressant généralement à des enfants plus âgés, dont les facteurs déclenchants d'exacerbation et les symptômes intercritiques diffèrent d'avec les enfants d'âge préscolaire.

Les compétences devant être acquises par les familles au cours des séances d'éducation thérapeutique se déclinent en compétences d'autosoins et compétences d'adaptation<sup>130</sup>. Les compétences d'autosoins correspondent aux « décisions que le patient prend avec l'intention de modifier l'effet de la maladie sur sa santé ». Les compétences d'adaptation sont des « compétences personnelles et interpersonnelles, cognitives et physiques qui permettent aux personnes de maîtriser et de diriger leur existence, et d'acquérir la capacité à vivre dans leur

environnement et à modifier celui-ci. Elles font partie d'un ensemble plus large de compétences psychosociales»<sup>130</sup>. Savoir faire face et prendre les bonnes décisions lors d'une exacerbation d'asthme de son enfant est reconnu comme une compétence d'autosoins à acquérir lors des séances d'éducation thérapeutique<sup>142</sup>. L'éducation à la prise en charge des exacerbations respiratoires survenant à domicile est un chapitre majeur de tout programme d'éducation thérapeutique. Une trace écrite est ensuite conservée par les parents sous la forme d'un plan d'action en cas d'exacerbation, ou plus simplement nommé pour les patients plan d'action en cas de crise.

Les caractéristiques des plans d'actions qui permettent d'obtenir les meilleurs résultats auprès des patients ont été étudiées. Ils doivent comprendre une explication des symptômes devant amener à modifier ou introduire un traitement, les changements de traitement à effectuer, la durée de ces changements, et le moment à partir duquel il est nécessaire de recourir à une consultation médicale<sup>143,144</sup>. Les décisions à prendre doivent se concentrer en deux à quatre points<sup>143</sup>.

La valeur intrinsèque de ces plans d'action écrits est encore débattue chez l'enfant<sup>145</sup>. Une revue systématique de la littérature de 2008 n'a retrouvé qu'une seule étude comparant l'utilisation d'un plan d'action en cas de crise versus l'absence de plan d'action chez l'enfant<sup>146</sup>. Cette étude menée en Inde sur 68 enfants âgés de 5 à 12 ans a montré que l'utilisation d'un plan d'action permettait une réduction du nombre d'exacerbations sévères, du nombre de réveils nocturnes, de l'absentéisme scolaire, et d'un score de symptôme de l'asthme<sup>147</sup>. Néanmoins, du fait de l'absence d'autre étude randomisée, les auteurs de la revue n'ont pas pu conclure formellement que la remise d'un plan d'action était associée à une moindre morbidité chez l'enfant. Suite à la publication de cette revue, une étude menée dans les services d'urgence pédiatrique chez des enfants de 0 à 17 ans a montré que la remise d'un plan d'action en cas de crise permettait une meilleure compliance à la fluticasone et à la corticothérapie orale prescrites, et un meilleur contrôle des symptômes au 28<sup>ème</sup> jour<sup>148</sup>. Ces résultats étaient plus importants dans le sous-groupe des moins de 6 ans. Ces deux études plaident donc pour l'utilisation de plan d'action en cas de crise, y compris chez les enfants d'âge préscolaire.

Cependant, la plus-value d'un plan d'action en cas de crise est moindre lorsqu'une éducation thérapeutique de qualité est délivrée. Sur cinq études pédiatriques ayant comparé éducation thérapeutique seule et éducation thérapeutique associée à la remise d'un plan d'action écrit, toutes ont montré une réduction de la morbidité dans les deux groupes, mais une seule a identifié une différence entre les deux groupes en faveur de l'utilisation du plan d'action<sup>147,149-152</sup>. Ces résultats sont similaires à ceux observés chez l'adulte<sup>153</sup>. L'idée qui prédomine actuellement est que le plan d'action en cas de crise représente une partie seulement de l'éducation thérapeutique de laquelle il ne doit pas être dissocié. C'est en ce sens que la revue de la Cochrane portant sur l'efficacité des plans d'actions écrits chez l'enfant et chez l'adulte a été retirée en 2011<sup>154</sup>.

Les programmes d'éducation thérapeutique actuels, malgré leur efficacité, présentent plusieurs limites.

La limite principale de ces programmes est qu'ils ne touchent qu'une partie infime de la population asthmatique. En France, une évaluation des écoles de l'asthme en 2006 montrait que rapportée aux 3 millions de patients asthmatiques, l'éducation thérapeutique au sein d'écoles de l'asthme n'atteignait que 6000 à 12000 patients par an, soit environ 2 patients sur 1000<sup>155</sup>.

De plus, jusqu'à 80% des patients qui participent à un programme d'éducation thérapeutique étalé sur plusieurs séances abandonnent dès les premières séances<sup>156-158</sup>.

Les obstacles à la participation à un programme d'éducation thérapeutique sont de plusieurs ordres. D'abord, la disponibilité des patients est un vrai problème pour les programmes d'éducation thérapeutique: lorsque ces programmes sont proposés en semaine, beaucoup de patients ne peuvent pas s'y rendre, les adultes du fait de leur activité professionnelle et les enfants du fait de leur présence obligatoire à l'école<sup>158,159</sup>. Cet obstacle est également lié au statut socio-économique des familles, les familles les plus aisées ayant plus de facilité à s'absenter de leur travail et à payer les éventuels frais de transports entre leur domicile et la structure d'éducation thérapeutique<sup>160</sup>. Ensuite, des facteurs psychologiques limitent la participation aux programmes d'éducation thérapeutique. Le déni de l'asthme de l'enfant par les parents est un facteur associé à une plus faible participation, tout comme le tabagisme actif chez les parents<sup>161</sup>. Il est possible que les parents tabagiques actifs ne souhaitent pas entendre une fois de plus que leur tabagisme est un facteur de risque d'aggravation de l'asthme de leur enfant<sup>158</sup>. Enfin, les médecins eux-mêmes peuvent représenter un obstacle au succès des programmes d'éducation thérapeutique, notamment lorsque l'éducation thérapeutique est associée dans leur raisonnement à une perte de contrôle sur leur patient. Certains médecins pensent en effet que les patients éduqués pourraient consulter moins souvent, que les patients pourraient être redirigés aux cours des sessions vers d'autres médecins, et/ou que le patient ou sa famille une fois éduqués auraient tendance à être trop confiants dans leurs capacités et à se mettre en danger<sup>162</sup>. Enfin, une grande partie des médecins travaillant en ville, y compris des pédiatres et des pneumologues, ne voient tout simplement pas l'intérêt de ces programmes<sup>155</sup>.

Une autre limite des programmes d'éducation thérapeutique tels qu'ils sont déclinés actuellement tient à la manière dont l'éducation est menée. Les programmes visant simplement à délivrer de l'information aux patients, quels que soient les supports utilisés, ne s'accompagnent d'aucune amélioration sur la santé des patients<sup>163</sup>. Seuls les programmes qui permettent aux patients d'acquérir les compétences pour gérer au mieux leur maladie ont un impact sur le recours aux soins<sup>132</sup>. La HAS recommande donc l'utilisation de techniques pédagogiques interactives (exposés interactifs, jeu de rôle, ateliers, simulations de gestes et de techniques) pour maximiser l'efficacité des séances<sup>130</sup>. Les supports proposés dans le cadre de ces sessions par la HAS sont des « affiches, classeurs-imagiers, bandes audio ou vidéo, cédéroms, brochures, représentations d'objets de la vie courante ». Ainsi, les programmes d'éducation thérapeutique qui ne requièrent pas la participation active du patient dans la prise en charge de sa maladie risquent de n'avoir aucun impact sur sa santé et son bien-être.

A côté des programmes d'éducation thérapeutique sur le modèle des écoles de l'asthme, les consultations habituelles de suivi pourraient également représenter une opportunité de travailler les compétences d'autosoins et d'adaptation des patients. Néanmoins le temps limité de ces consultations permet rarement aux médecins d'aborder tous les points nécessaires à une bonne gestion de l'asthme<sup>158</sup>. Dans plus de la moitié des cas, les messages importants ne sont pas délivrés et le patient sort de la consultation sans même un plan d'action en cas de crise<sup>117,164</sup>.

La révolution numérique actuelle pourrait permettre d'une part de diffuser plus largement les principaux messages d'éducation thérapeutique dans l'asthme, et d'autre part de faire appel à de nouveaux outils pédagogiques plus appropriés pour la transmission effective de ces messages.

## II/ Serious games et éducation thérapeutique

### 1. Serious games : définitions et applications

#### Messages clés

- *Les différentes définitions des serious games partagent l'idée d'une application informatique conciliant une approche divertissante (ou plus précisément stimulante, « engaging »), et une approche utilitaire notamment éducative.*
- *Les simulation games sont une catégorie de serious games associant un environnement virtuel reproduisant le réel (simulation) et un objectif à atteindre permettant de gagner (game).*
- *Les serious games en santé sont d'abord classifiés en fonction du public qu'ils visent : grand public, patients, professionnels de santé.*
- *En pédiatrie, ce sont les serious games à destination des patients qui sont les plus développés*

#### 1.1 Définition des serious games

Plusieurs définitions des serious games ou « jeux vidéo sérieux » existent. D'après Julian Alvarez, « la vocation d'un serious game est d'inviter l'utilisateur à interagir avec une application informatique dont l'intention est de combiner à la fois des aspects d'enseignement, d'apprentissage, d'entraînement, de communication ou d'information, avec des ressorts ludiques issus du jeu vidéo. Une telle association a pour but de donner à un contenu utilitaire (serious), une approche vidéo-ludique (game). Elle s'opère par la mise en relation d'un scénario utilitaire avec un scénario ludique. »<sup>164</sup>.

Pour le centre de ressources et d'information sur les multimédias pour l'enseignement supérieur (CERIMES), il s'agit « d'applications développées à partir des technologies avancées du jeu vidéo, faisant appel aux mêmes approches de design et savoir-faire que le jeu classique (3D temps réel, simulation d'objets, d'individus, d'environnements...) mais qui dépassent la seule dimension du divertissement »<sup>165</sup>.

Au cœur de ces deux définitions, l'idée principale est que les serious games détournent la fonction première d'un jeu vidéo, le divertissement, pour y intégrer un objectif utile, sérieux.

La vision utilitaire se précise dans la définition de Bergeron pour qui un serious game permet le développement de connaissances ou des compétences qui peuvent être appliquées dans la vie réelle. Sa définition est la suivante : « Serious Games are interactive computer applications, with or without a hardware component, that (i) have challenging goals, (ii) are fun to play and/or engaging, (iii) incorporate concepts of scoring, (iv) and impart skills, knowledge, or attitudes to the user that can be applied in the real world ». Dans cette définition, le serious game ne doit pas forcément être amusant, divertissant, “fun”, mais alors il doit être “engaging”, prenant, stimulant. Cette nuance est importante car le divertissement pourrait détourner l'apprenant du contenu utilitaire, alors que l'aspect « prenant » du serious game pourrait au contraire l'amener à être plus concentré sur ce même contenu.



L'absence de définition consensuelle des serious games rend difficile d'interprétation les catégorisations qui ont été effectuées par la suite, et notamment les frontières entre serious games, simulation et simulation game.

## **1.2 Serious game, Simulation, et Simulation-game.**

De nombreux auteurs ont tenté de définir et de distinguer serious games et simulation<sup>166-171</sup>. Dans le cadre de cette thèse, la distinction faite par Alvarez et Djaouti a été retenue<sup>170</sup>. Selon ces deux auteurs, la principale distinction entre une simulation et un serious game est la présence ou non d'objectifs préétablis permettant de « gagner ».

Dans un serious game, les développeurs intègrent dès la conception du logiciel des objectifs que les utilisateurs doivent atteindre pour « gagner ». Au contraire, en simulation, les développeurs n'intègrent pas d'objectifs préétablis et se limitent à proposer un environnement virtuel permettant aux utilisateurs de choisir eux-mêmes leurs objectifs. Ainsi, dans le jeu commercial Microsoft Flight Simulator, qui est un simulateur permettant de piloter différents types d'avion, c'est à l'utilisateur de déterminer avec quel avion il souhaite voler, dans quelle direction, pour atterrir dans l'aéroport qu'il a choisi. Le simulateur se limite à reproduire les conséquences des actions prises par l'utilisateur : couper les moteurs pendant un vol conduit l'avion à perdre de la vitesse et au risque de crash.

Les « simulation games » sont des serious games qui évoluent dans un environnement virtuel permettant de reproduire les conséquences des actions de la même manière que dans la vie réelle<sup>168</sup>. Ils appartiennent au groupe plus large des serious games dans la mesure où ils intègrent des objectifs préétablis, par exemple la guérison du patient dans le cadre d'un « simulation game » médical. Ils partagent avec la simulation un environnement virtuel mimant le comportement de la vie réelle. L'objectif des « simulation games » est de permettre l'acquisition de connaissances, compétences, attitudes, comportements, qui soient ensuite transférables à la vie réelle.

## **1.3 Différentes applications des serious games en santé**

Les serious games en santé sont très divers. Plusieurs systèmes de classification ont été proposés<sup>170,172</sup>. Le plus abouti est celui de Djaouti et Alvarez qui classifie les serious games en santé selon leur gameplay, leur objectif, leur domaine d'application et leur public. Ainsi, il est possible d'identifier les catégories suivantes :

- A. Les serious games à destination des particuliers
  - a. Serious games liés à l'éducation : ils participent à l'éducation thérapeutique du patient, et correspondent typiquement aux serious games utilisés dans l'éducation thérapeutique portant sur l'asthme de l'enfant.
  - b. Serious games liés à la prévention : ces serious games sensibilisent le grand public aux situations à risque, par exemple aux effets de l'alcool au volant.
  - c. Serious games liés à la publicité : ces serious games généralement financés par l'industrie pharmaceutique permettent la promotion d'un produit ou d'une marque, tel le jeu Captain Novolin qui mettait en avant les produits de la marque d'insuline Novolin.

- d. Serious games liés aux soins : ces serious games ont un impact sur la santé du joueur, et représentent par exemple un moyen d'aider à une rééducation physique ou cérébrale.
- B. Les serious games à destination des professionnels de santé
- a. Serious games liés à l'éducation : ces serious games participent à la formation des professionnels de santé.
  - b. Serious games liés à la prévention : ces serious games permettent de sensibiliser les professionnels de santé à des situations dommageables pour le patient, comme les erreurs d'administration médicamenteuse ou les infections nosocomiales.
  - c. Serious games liés à la publicité : ces serious games font la promotion d'un produit de l'industrie de la santé aux professionnels de santé.
  - d. Serious games liés aux soins : ces serious games représentent une aide pour le soignant lors des soins, par exemple en divertissant un enfant qui est anxieux lors d'un geste invasif.
- C. Les serious games à destination des chercheurs et universitaires
- D. Les serious games à destination des institutions

Les deux dernières catégories, les serious games à destination des chercheurs et universitaires, et à destination des institutions, ne comprennent pour le moment aucun serious game.

Cette classification présente deux points forts : sa clarté et son intégration dans un système de classification plus large antérieurement développé par les auteurs et pouvant s'appliquer à d'autres domaines que la santé<sup>173</sup>. Son point faible est son approche théorique qui conduit à la création de catégories qui ne comprennent aucun serious game. L'approche inverse, pragmatique, est de partir des serious games existant dans un domaine et d'observer s'il existe des traits communs entre quelques-uns de ces serious games pour les regrouper sous une catégorie. C'est cette approche que nous avons privilégiée lorsque nous avons étudié les différents serious games existant en pédiatrie, et qui sont présentés dans la section suivante.

#### **1.4 Différentes applications des serious games en pédiatrie**

Nous avons réalisé une revue générale des différentes applications des serious games en pédiatrie. Cette revue, publiée dans les Archives de Pédiatrie en ligne en décembre 2017, est présentée en annexe 1.

## 2. Utilisation des serious games en éducation thérapeutique : rationnel théorique

### 2.1 Acquérir des connaissances : jeux vidéo et sciences cognitives

#### Messages clés

Les facteurs permettant un apprentissage efficace identifiés par les sciences cognitives sont intégrés dans la plupart des jeux vidéo.

- *Les jeux vidéo stimulent l'éveil et orientent l'attention du joueur.*
- Les jeux vidéo sont interactifs et permettent un apprentissage actif.
- Les jeux vidéo proposent un feedback continu et objectif.
- *Les jeux vidéo du fait de la répétition des actions qu'ils intègrent favorisent la consolidation des apprentissages.*

Pour le professeur Stanislas Dehaene, neuroscientifique français, les sciences cognitives ont identifié quatre facteurs principaux de réussite d'un apprentissage : l'attention, l'engagement actif, le retour d'information ou feedback, et la consolidation<sup>174</sup>. Dans la mesure où la plupart des jeux vidéo intègrent ces mêmes facteurs, il existe un rationnel théorique fort en faveur de l'utilisation des serious games comme outils pédagogiques.

#### 2.1.1 L'attention

L'attention permet la sélection de l'information et la modulation de son traitement. Selon Posner, l'attention se décline en trois systèmes attentionnels : l'alerte, l'orientation et le contrôle exécutif qui sont tous les trois essentiels pour l'apprentissage<sup>175</sup>.

Les apprenants doivent d'abord être alertes, c'est-à-dire que leurs cerveaux doivent être en éveil, réceptifs à l'apprentissage qui va être dispensé. La relation entre le niveau d'éveil et la mémorisation semble suivre une courbe en U inversée : pour maximiser l'apprentissage, le niveau d'alerte du cerveau ne doit être ni trop faible ni trop fort<sup>176</sup>. Les serious games permettent d'obtenir ces niveaux d'éveil nécessaires à l'apprentissage en jouant sur trois domaines : la motivation du joueur, le défi (challenge) proposé par le jeu, et l'environnement graphique et sonore du jeu. La motivation, qui est positivement corrélée au niveau d'éveil de l'utilisateur<sup>177</sup>, peut être augmentée grâce à l'utilisation de serious games du fait notamment de leurs ressorts ludiques<sup>178,179</sup>. Le défi (challenge) proposé par le jeu a également un impact sur l'éveil de l'utilisateur, avec selon la théorie du Flow de Csikszentmihalyi, le risque d'un ennui et donc d'une réduction de l'éveil si le niveau de difficulté proposé est trop faible par rapport aux compétences de l'utilisateur<sup>180,181</sup>. Enfin l'environnement graphique et sonore du jeu participe au degré d'éveil de l'utilisateur. Les jeux vidéo récents utilisant des environnements graphique et sonore de grande qualité augmentent le degré d'éveil de l'utilisateur<sup>182,183</sup>.

Le second système attentionnel, l'orientation, correspond à la faculté de sélectionner des stimuli aux dépens d'autres. Ce système fonctionne comme un filtre permettant de choisir les stimuli qui vont faire l'objet d'un traitement approfondi. Dans le domaine des serious games, les concepteurs peuvent guider l'apprenant de plusieurs manières différentes. Une première méthode est d'utiliser des procédés graphiques pour mettre en lumière les éléments pertinents dont l'utilisateur doit se servir, comme des couleurs vives ou l'utilisation de clignotements. Une seconde manière est de guider l'utilisateur dans sa recherche visuelle des informations pertinentes grâce à des instructions données via le canal audio. Une troisième méthode est de

donner à l'utilisateur un retour d'information sur ses actions, lui indiquant ainsi si les éléments vers lesquels il porte son attention sont pertinents ou non. Une quatrième façon est de proposer une démonstration au cours de laquelle le serious game montre à l'utilisateur la démarche qu'il doit suivre pour résoudre un problème, en lui indiquant les éléments pertinents à prendre en compte et/ou à manipuler<sup>184</sup>. Enfin, il est possible d'intégrer les informations pertinentes dans des objets virtuels dont l'utilisateur a besoin de se servir pour atteindre l'objectif du jeu.

Le contrôle exécutif est le troisième système attentionnel. Il permet de se concentrer sur une tâche en inhibant les autres sources de stimuli qui correspondraient à des distractions. Du fait de leur caractère immersif, les serious games pourraient représenter un moyen efficace de maintenir l'attention de l'utilisateur sur leur tâche sur des périodes prolongées<sup>185</sup>.

### **2.1.2 L'engagement actif**

L'apprentissage actif a pour objectif de rendre l'apprenant acteur de son apprentissage grâce à des activités, et s'oppose à l'apprentissage passif qui correspond à l'écoute passive d'un expert<sup>186</sup>. L'apprentissage actif a montré qu'il permettait de meilleurs résultats que l'apprentissage traditionnel par cours magistraux, en matière d'acquisition de connaissances et de modification des comportements<sup>186-188</sup>. La force des serious games est de toujours proposer un apprentissage actif dans la mesure où ils sont par essence interactifs, comme tout jeu vidéo. Contrairement à un cours magistral au cours duquel l'apprenant peut choisir d'écouter ou non, un serious game nécessite l'intervention de l'apprenant pour délivrer son contenu.

### **2.1.3 Le retour d'information ou feedback**

Selon la théorie du « cerveau Bayésien », notre cerveau fonctionnerait comme une machine qui génère des prédictions et intègre ensuite le résultat de ces prédictions pour améliorer les prédictions suivantes<sup>189,190</sup>. L'apprentissage correspond à la réduction de la différence entre le résultat attendu et le résultat réel, via le retour d'information obtenu. Cette théorie, confortée récemment par de nombreuses études, a deux implications importantes : la première est la nécessité d'un apprentissage expérientiel, au cours duquel la prédiction peut être « testée » ; la seconde est l'importance du retour d'information, ou feedback, pour que le différentiel entre le résultat attendu et le résultat réel puisse être évalué et conduire à l'apprentissage. Pour être efficace, le retour d'information doit être le plus objectif possible, focalisé sur la tâche et non sur l'apprenant<sup>191</sup>. Les serious games proposent un retour d'information parfaitement objectif, qui se concentre uniquement sur l'écart entre l'action attendue par le jeu et l'action effectuée par le joueur, et maximisent ainsi le potentiel de ce « pilier d'apprentissage » qu'est le retour d'information.

### **2.1.4. La consolidation**

La répétition est au cœur de la consolidation des apprentissages<sup>192,193</sup>. Grâce à la répétition, les processus conscients qui mobilisent une charge cognitive importante lors des premières phases de l'apprentissage sont progressivement remplacés par des processus automatisés, inconscients, sous-tendus par des circuits neuronaux plus rapides<sup>194</sup>. La neuro-imagerie permet d'observer que l'exécution d'une tâche motrice en cours d'apprentissage migre progressivement, au fur et à mesure de son entraînement, des régions préfrontales au cortex prémoteur, pariétal postérieur et cérébelleux<sup>195</sup>.

La répétition est encore plus efficace quand l'apprenant alterne des périodes d'entraînement et de repos<sup>196-199</sup>. L'espacement des périodes d'apprentissage ou spaced training, interrompu par des périodes plus ou moins longues, permet une meilleure mémorisation à long terme que l'apprentissage ramassé, ou massed training, délivré sans interruption. Les deux méthodes impliquent en effet deux voies de signalisation différentes au niveau neuronal, l'apprentissage espacé favorisant l'activation d'un facteur de transcription appelé CREB (Cyclic-AMP response element-binding protein 2) impliqué dans la mémorisation à long terme<sup>200</sup>.

La répétition est au cœur des jeux vidéo en général, et des serious games en particulier. Dans le monde du jeu vidéo, échouer équivaut à recommencer jusqu'à ce que le succès permette d'atteindre le niveau suivant. Par ailleurs, indépendamment de la répétition liée à l'échec, dans la mesure où les actions permises par le jeu sont limitées, elles sont chacune répétées à de maintes reprises par le joueur. Ainsi, dans le jeu Re-Mission, les joueurs devaient recharger en chimiothérapie régulièrement avant de pouvoir tirer sur les cellules cancéreuses, et ce à tous les niveaux<sup>201</sup>. La répétition, à la base de tout apprentissage, est donc également une caractéristique fondamentale des serious games.

## 2.2 Acquérir des compétences : de la simulation physique à la simulation virtuelle

### Messages clés

- Les simulation games, qui intègrent un monde virtuel réaliste, représentent un outil *pédagogique important pour l'apprentissage de la prise en charge de situations médicales*.
- Ils permettent un apprentissage expérientiel et favorisent ainsi le passage de la théorie à la pratique.
- Ils permettent un apprentissage basé sur le « mastery learning » et le « deliberate practice » *qui associent objectifs prédéfinis, retour d'information, feedback et répétition*.
- *Ils permettent enfin l'entraînement sur des situations imprévisibles et rares, sans risque ni pour l'apprenant ni pour le patient.*

Les serious games ont en commun des caractéristiques propres aux jeux vidéo qui stimulent l'apprentissage (interactivité, retour d'information, répétition). Les serious games qui intègrent des mondes virtuels présentent en plus les avantages éducatifs de ces mondes virtuels qui simulent le monde réel. En médecine, le potentiel de ce type d'approche a d'abord été pressenti lors de la diffusion de la simulation en santé. Avant les simulateurs virtuels, ce sont les simulateurs physiques (mannequins de tâche, mannequins basse et haute-fidélité) qui ont été étudiés pour leur efficacité pédagogique. Les résultats de ces recherches sont pertinents pour appréhender le potentiel pédagogique des serious games intégrant un monde virtuel.

### 2.2.1 L'apprentissage expérientiel

Les serious games intégrant un monde virtuel, tout comme les simulateurs physiques, permettent à l'apprenant de mettre en application les connaissances qu'il a acquises. Dans le cadre de la prise en charge de situations médicales, les étudiants en médecine font part de leur difficulté à appliquer en pratique des connaissances acquises en cours et parfaitement retenues<sup>202</sup>. La simulation, physique ou virtuelle, est un outil permettant grâce à la mise en

situation, à l'expérimentation active, de confronter ses connaissances théoriques à une expérience pratique.

L'expérience sur simulateur est suivie d'une phase réflexive au cours de laquelle l'apprenant transforme cette expérience pratique et singulière en une nouvelle connaissance généralisable et applicable à d'autres contextes. Cette phase réflexive, en simulation physique, est réalisée à l'occasion d'un débriefing qui suit la phase pratique de mise en situation sur le mannequin. Il a été montré que le débriefing était un élément essentiel d'une séance de simulation, nécessaire pour l'apprentissage<sup>203</sup>.

L'ensemble de ce cycle « Connaissances abstraites → Expérimentation active → Expérience concrète → Observation réflexive → Connaissances abstraits → ... » a été théorisé par David Kolb en 1984<sup>204</sup>. Il semble au cœur de l'apprentissage par simulation, dont l'efficacité pédagogique est maintenant clairement établie<sup>205</sup>.

Les serious games intégrant un monde virtuel pourraient tirer profit de ce même cycle d'apprentissage. Une limite des serious games est que l'expérience proposée n'est plus tout à fait concrète, dans la mesure où elle reste virtuelle. Le degré de réalisme de cette expérience virtuelle est d'une importance majeure.

Ce réalisme se décline en trois dimensions<sup>206,207</sup>. Le réalisme physique correspond à la ressemblance de l'environnement virtuel avec l'environnement réel, et est largement déterminé par la qualité de l'environnement graphique et sonore du serious game. Le réalisme cognitif correspond à la ressemblance du gameplay virtuel avec la réalité, c'est-à-dire à la correspondance entre les actions réalisables et attendues dans le monde virtuel avec les actions réalisables et attendues dans le monde réel. On parle de réalisme cognitif car les schémas cognitifs mis en jeu dans le serious game doivent être aussi proches que possibles que ceux mis en jeu dans la vie réelle. Enfin le réalisme émotionnel correspond à la capacité du serious game à mettre l'utilisateur dans le même registre émotionnel que lors de la vie réelle. Par exemple, la capacité du serious game à induire un stress chez l'utilisateur si la même situation rencontrée dans la vie réelle était génératrice de stress.

La dimension la plus importante en matière d'apprentissage est le réalisme cognitif. Augmenter le réalisme physique dans le cadre d'une simulation ne permet que de très modestes gains en matière d'apprentissage<sup>203</sup>. La dimension émotionnelle a été très peu étudiée mais pourrait également permettre un meilleur apprentissage.

### **2.2.2 La pratique délibérée et la pédagogie de la maîtrise**

La simulation, physique comme virtuelle, se prête à un mode d'entraînement décrit par le professeur de psychologie K. Anders Ericsson en 1993, la pratique délibérée<sup>208</sup>. Pour Ericsson, l'acquisition d'une expertise dans un domaine, et notamment chez le sportif de haut niveau, dépend moins du talent inné que de la pratique, et moins du nombre d'heures de pratique que de la manière dont ces heures sont utilisées. Ainsi, l'important pour un sportif de haut-niveau n'est pas de multiplier à l'infini les entraînements, ce qui risque de mener à la blessure, mais d'avoir un retour pertinent de la part de son entraîneur à l'issue de chaque entraînement pour que les progrès soient constants. Ce mode d'entraînement est réalisé en simulation lorsque l'apprenant a des objectifs clairement définis, une pratique ciblée et répétée, un retour

d'information pertinent pour améliorer ses compétences, et que le niveau de difficulté augmente à chaque fois que l'objectif précédent est atteint<sup>209</sup>.

La pédagogie de la maîtrise partage avec la pratique délibérée l'idée d'objectifs prédéfinis à atteindre et donc une approche par compétence. Le principe de la pédagogie de la maîtrise est d'offrir une pratique répétée jusqu'à ce que l'apprenant atteigne un niveau minimal de compétence requis, qu'il « maîtrise »<sup>210-212</sup>. A l'issue d'un enseignement basé sur la pédagogie de la maîtrise, tous les apprenants ont atteint le même niveau, mais certains apprenants ont dû s'entraîner plus longtemps que d'autres. Cette pédagogie est à l'opposé de l'enseignement traditionnel, car il obtient des résultats homogènes pour des durées d'apprentissage hétérogènes, alors que l'enseignement traditionnel obtient des résultats hétérogènes pour des durées d'apprentissage homogènes. Il permet d'obtenir de meilleurs résultats en matière d'apprentissage que l'enseignement traditionnel, mais au prix d'un temps de formation plus long<sup>212</sup>. Cette approche par compétence est particulièrement intéressante pour l'apprentissage des prises en charge des situations médicales. En effet, dans ces situations, il importe que le soignant ait acquis un niveau adéquat de compétence, quelle qu'ait été la durée de son apprentissage pour atteindre ce niveau de compétence.

Les serious games intégrant un monde virtuel peuvent reproduire les conditions de la pratique délibérée et de la pédagogie de la maîtrise, en instaurant des objectifs à chaque niveau, en obligeant l'utilisateur à répéter sa performance jusqu'à atteindre le niveau prédéfini, en lui autorisant l'accès à un niveau suivant de difficulté croissante dès que l'objectif précédent est atteint, et en lui donnant un retour d'information sur sa performance. Dans un contexte médical, les serious games pourraient représenter un outil pédagogique pertinent pour que les utilisateurs puissent atteindre un niveau minimal de compétence à l'issue d'un entraînement plus ou moins long selon leur niveau de départ.

### **2.2.3 Un entraînement sans risque sur des situations rares**

L'efficacité pédagogique des serious games intégrant un monde virtuel tient également au fait qu'ils peuvent provoquer la situation d'apprentissage. En effet, certaines situations médicales comme l'exacerbation d'asthme sont souvent rares et imprévisibles. Il est difficile d'enseigner leur prise en charge au moment où elles surviennent. Les serious games permettent de reproduire virtuellement ces situations, et donc d'apprendre la conduite à tenir pratique à adopter lorsqu'elles surviennent. L'efficacité pédagogique de ce type de serious games est donc avant tout de rendre possible l'apprentissage. Cet apprentissage a pour autre avantage de ne mettre en danger ni le patient, ni l'apprenant.

Quelle que soit l'approche choisie, il existe un rationnel fort pour justifier l'utilisation de serious games à visée éducative. Ces deux approches soulignent que les serious games peuvent offrir un apprentissage actif, répété, avec des objectifs définis et un retour d'information pertinent, autant d'éléments qui sont nécessaires à un apprentissage efficace.

### 3 Efficacité des serious games en éducation thérapeutique : données expérimentales

#### Messages clés

- *Les études de bonne qualité méthodologique évaluant l'efficacité des serious games sont très rares en comparaison de l'abondante littérature sur les serious games en santé.*
- Les serious games sont souvent associés à une grande satisfaction de leurs utilisateurs et à une progression de leurs connaissances, mais modifient de façon exceptionnelle leur comportement dans la vie réelle.
- *Dans l'asthme, la revue systématique de la littérature que nous avons menée a identifié douze serious games. Aucun n'a permis une réduction des hospitalisations.*
- *Aucun serious game n'a été développé à destination des parents d'enfants atteints de maladie chronique.*

S'il existe un rationnel théorique fort à l'utilisation des serious games comme outils d'éducation, les données expérimentales concernant leur efficacité ne permettent pas d'être aussi catégoriques. Plusieurs méta-analyses ont tenté de montrer que les serious games représentaient un vecteur pédagogique efficace, mais se sont heurtées à plusieurs difficultés. L'absence de définition consensuelle du serious game a représenté un vrai problème. Notamment, l'absence de délimitation nette avec d'autres types d'application informatiques telles que les jeux vidéo commerciaux, les simulateurs virtuels, et les tutoriels informatiques, a conduit certains auteurs à inclure des études portant sur des logiciels de nature très différente, avec comme résultat des conclusions peu pertinentes. Une méta-analyse française sérieuse a ainsi conclu à l'impossibilité de déterminer si les serious games étaient efficaces en matière d'éducation ou non dans l'état actuel des choses<sup>213</sup>.

Afin d'obtenir une approche rationnelle et cohérente de l'efficacité des serious games en éducation thérapeutique, les études présentées ci-dessous ont les caractéristiques suivantes :

- Il s'agit d'études randomisées contrôlées. Les études de type avant/après sans groupe contrôle, fréquemment retrouvées dans le domaine des serious games, sont exclues car elles ne permettent pas de mettre en évidence l'effet propre du serious game testé.
- Ces études sont limitées au champ de l'éducation thérapeutique du patient (ETP). Les études de prévention primaire (prévention des conduites sexuelles à risque, de l'obésité, etc.) ne sont donc pas décrites.
- Elles impliquent l'utilisation d'un serious game, tel que défini par Julian Alvarez.
- Leur critère de jugement porte au minimum sur le niveau 2 de l'échelle de Kirkpatrick permettant l'évaluation des méthodes éducatives, adaptée par Mosley (Figure). Le niveau 2a (Niv. 2a) correspond au sentiment d'efficacité personnelle (self-efficacy), le niveau 2b (Niv. 2b) à l'acquisition de connaissances et/ou compétences, le niveau 3 (Niv. 3) à l'acquisition de nouveaux comportements dans la vie réelle, et le niveau 4 (Niv. 4) à un bénéfice clinique pour les patients.

Les études retenues ont été catégorisées par public : serious games à destination d'enfants atteints par une maladie chronique, d'adultes atteints par une maladie chronique, de parents d'enfants atteints par une maladie chronique.



### 3.1 Serious games pour l'éducation thérapeutique des enfants atteints de maladie chronique

La plupart des serious games en éducation thérapeutique ont été développés à destination des enfants et adolescents.

#### Diabète de type 1

Une revue systématique de la littérature concernant les serious games utilisés dans l'éducation thérapeutique des enfants atteints de diabète de type 1 a identifié neuf études portant sur 11 serious games<sup>214</sup>. Seules deux études correspondaient à des essais randomisés contrôlés.

La première étude, publiée en 1997, portait sur le jeu Packy & Marlon, un serious game développé pour la console Super Nintendo<sup>215</sup>. Cinquante-neuf jeunes âgés de 8 à 16 ans ont été randomisés pour recevoir pour les 6 mois suivants soit le serious game, soit un jeu vidéo sans lien avec le diabète, avec la consigne d'y jouer à domicile librement. A l'issue des 6 mois de l'étude, les jeunes du groupe « serious games » étaient plus autonomes concernant la gestion de leur diabète que les jeunes du groupe contrôle (Niv. 2a). Il n'y avait pas de différence sur les connaissances (Niv. 2b). Il existait une nette diminution des recours aux soins dans le groupe « serious games », avec une moyenne de 0,57 visites par enfant sur les trois derniers mois au début de l'étude, diminuant à 0,13 à la fin de l'étude six mois plus tard, qui n'était pas significative par rapport au groupe contrôle (p=0.08) (Niv. 4). L'HbA1c n'était pas modifiée (Niv. 4). A noter : les connaissances des parents n'étaient pas modifiées par cette intervention.

La seconde étude, publiée en 2004, évaluait l'efficacité de l'adjonction d'un serious game à un dispositif de mesure de la glycémie capillaire<sup>216</sup>. Quarante jeunes de 8 à 18 ans ont été recrutés et randomisés. Le groupe qui utilisait le serious game avait acquis plus de connaissances sur le diabète (Niv. 2b), réalisait plus fréquemment des glycémies capillaires (Niv. 3) et présentait moins d'hyperglycémies (Niv. 4) que le groupe qui utilisait le dispositif de mesure seul. Il n'y avait pas de différence sur l'HbA1c (Niv. 4).

Aucune étude correspondant à nos critères n'a été identifiée après la publication de cette revue systématique de la littérature incluant ces deux études. Notamment, aucune des trois études incluses dans une nouvelle revue de la littérature parue dans le Lancet Diabetes Endocrinology en 2017 n'a été retenue : une étude n'était pas un essai contrôlé randomisé, une autre ne portait pas sur l'un des critères de jugement retenus mais sur l'appréhension des injections d'insuline, une troisième était un essai contrôlé randomisé portant sur cinq enfants au total et l'utilisation d'un robot interactif<sup>217</sup>.

#### Onco-hématologie

Deux serious games développés à destination des enfants et adolescents présentant des leucémies aiguës et/ou des cancers solides ont été évalués par des études randomisées contrôlées.

Un premier jeu, Kidz with Leukemia, a Space Adventure, correspondant à une succession de vidéos et de mini-jeux dans différents lieux d'un hôpital a été comparé à un livre présentant les mêmes informations sur la leucémie aiguë de l'enfant<sup>218</sup>. Parmi les 31 enfants âgés de 4 à 11 ans qui ont complété l'étude, ceux qui ont utilisé le serious game avaient un meilleur sentiment d'efficacité personnelle (Niv. 2a) mais il n'existait pas de différence concernant l'acquisition de connaissances (Niv. 2b).

Le second jeu, Re-Mission, a fait l'objet de l'étude la mieux conduite à ce jour concernant l'évaluation d'un serious game en éducation thérapeutique<sup>201</sup>. Ce serious game met le joueur dans la peau d'un nanorobot qui explore le corps de jeunes patients atteints d'hémopathies malignes et de cancers solides. L'objectif du joueur est de détruire les cellules cancéreuses et les infections opportunistes, ainsi que de gérer les effets secondaires des chimiothérapies, en utilisant comme armes des chimiothérapies, des antibiotiques, des anti-émétiques, des méthodes de relaxation, etc. L'étude multicentrique menée aux Etats-Unis et au Canada a comparé, chez 375 jeunes âgés de 13 à 29 ans, l'utilisation de ce serious game joué librement pendant 3 mois versus l'utilisation d'un jeu commercial (Indiana Jones) joué librement pendant la même période. Les patients du groupe serious game ont acquis un plus grand sentiment d'efficacité personnelle (Niv. 2a) et de meilleures connaissances (Niv. 2b) que ceux du groupe contrôle. Leur observance concernant la chimiothérapie et la prophylaxie antibiotique était également meilleure, attestée par des prélèvements sanguins chez 60 patients pour la chimiothérapie, et par des piluliers électroniques chez 200 patients (Niv. 3).

### Obésité

Les serious games communément utilisés dans l'obésité sont des « exergames », des jeux vidéo pendant lesquels le joueur a une activité physique, un « exercice » physique<sup>219</sup>. Ces jeux sortent du cadre de cette thèse car ils entrent dans la catégorie « serious games liés aux soins » (cf paragraphe 1.3), et ne correspondent donc pas à des serious games utilisés pour l'éducation thérapeutique.

Une étude s'est néanmoins intéressée à l'impact de deux serious games d'éducation thérapeutique sur le comportement alimentaire et l'activité physique de 133 enfants âgés de 10 à 12 ans avec un indice de masse corporelle compris entre le 50<sup>e</sup> et le 95<sup>e</sup> percentile<sup>220</sup>. Les enfants du groupe serious game, qui ont dû terminer les deux serious games, comparés aux enfants du groupe contrôle, qui ont reçu des informations similaires sous la forme d'un site internet avec des mini-jeux, consommaient plus de fruits et légumes à l'issue des deux mois de l'étude (Niv. 3). Il n'y avait pas de différence sur l'activité physique ni sur la composition corporelle (Niv. 4).

### Asthme

La plupart des serious games développés et évalués en éducation thérapeutique ont concerné l'asthme de l'enfant. Plutôt qu'une revue générale des serious games dans ce domaine, nous avons choisi d'effectuer une revue systématique de la littérature portant sur les serious games pour l'éducation thérapeutique des enfants avec asthme et de leurs familles. Cette revue systématique nous a permis d'une part d'être le plus exhaustif possible dans la description des serious games qui ont fait l'objet d'une évaluation scientifique, et d'autre part de les évaluer selon des critères de jugement que nous avons défini au préalable. Cette évaluation a donné lieu à de premières conclusions importantes pour la conception et le développement du « simulation game ». Dans le cadre de notre approche evidence-based de conception et développement du « simulation game », cette revue systématique de la littérature représentait la première étape de ce processus, et est donc présentée dans la partie résultats.

### 3.2 Serious games pour l'éducation thérapeutique des adultes atteints de maladie chronique

La grande majorité des serious games à destination des adultes atteints de maladie chronique entrent dans la catégorie des « serious games liés aux soins ». Ils sont utilisés pour la rééducation motrice notamment après un accident vasculaire cérébral<sup>221,222</sup>, et/ou pour une rééducation cognitive chez des patients suivis pour des maladies neurologiques telles que la maladie d'Alzheimer<sup>223</sup>.

En éducation thérapeutique, si de plus en plus d'applications sont développées pour offrir aux patients des informations sur leur maladie sous forme interactive ou améliorer leur suivi<sup>224,225</sup>, les serious games sont rares dans cette population d'adultes, et à notre connaissance, un seul serious game a fait l'objet d'un essai contrôlé randomisé<sup>226</sup>. Ce serious game nommé eSMART-HD est un jeu de simulation en 3D réaliste, au cours duquel l'utilisateur évolue au sein d'une clinique. Il interagit avec différents personnels médicaux et paramédicaux virtuels qui posent des questions et informent sur les différents aspects de la prise en charge de l'hypertension artérielle. L'étude a porté sur 116 adultes avec une hypertension artérielle, et a montré que l'utilisation du serious game 20 minutes toutes les semaines permettait une réduction des pressions artérielles systoliques et diastoliques à l'issue des 4 mois de l'étude. Cependant il n'existait pas de différence avec le groupe contrôle qui obtenait les mêmes informations via une vidéo pédagogique de 20 minutes, trois fois par mois.

L'utilisation de serious games pour l'éducation thérapeutique des adultes atteints de maladie chronique est donc pour le moment confidentielle.

### 3.3 Serious games pour l'éducation thérapeutique des parents d'enfants atteints de maladie chronique

L'éducation thérapeutique des parents via l'utilisation de serious games peut s'effectuer de deux façons. La première est de développer des serious games spécifiquement pour les parents ; la seconde est de développer des serious games à destination des enfants atteints de maladie chronique, avec l'hypothèse que les parents bénéficieront de l'intervention, soit qu'ils s'intéressent directement au serious game de leur enfant, soit que ce serious game soit l'occasion d'aborder la maladie de l'enfant.

Une revue systématique de la littérature de 2015 portant sur les « médias interactifs » pour l'éducation des parents à la prise en charge des maladies chroniques de l'enfant a identifié 12 études portant sur 12 interventions<sup>227</sup>. Six interventions ne correspondaient pas à des serious games (présentation d'informations seules sous forme interactive (4), simulation physique (1), programme d'entraînement interactif avec des psychologues (1)). Cinq interventions correspondaient à des serious games à destination des enfants atteints de maladie chronique (asthme (3), diabète (1), hématologie (1)). Une seule étude rapportait l'évaluation d'un programme informatique à destination des parents d'enfants asthmatiques, mais ce programme correspondait à une succession de courtes animations plus qu'à un serious game, et l'essai était de type avant/après et non pas contrôlé<sup>228</sup>. Cet essai ne montrait pas d'amélioration significative des connaissances des parents.

Depuis la publication de cette revue systématique de la littérature, une autre étude a suggéré que l'utilisation d'un serious game pouvait améliorer les attitudes des parents (Niv. 2a)

concernant l'éducation sexuelle de leurs enfants et la manière de communiquer sur ce sujet, mais il ne s'agit pas ici à proprement parler d'éducation thérapeutique du patient<sup>229</sup>.

Notre revue systématique de la littérature sur les serious games développés pour l'éducation thérapeutique dans l'asthme n'a pas retrouvé de serious games à destination des parents d'enfants avec asthme. En revanche, nous avons identifié deux études qui évaluaient l'impact de serious games destinés aux enfants avec asthme sur le sentiment d'efficacité personnelle de leurs parents. L'une ne retrouvait pas de différence<sup>230</sup>, alors que l'autre montrait un plus grand sentiment d'efficacité personnelle dans le groupe qui a bénéficié du serious game par rapport au groupe contrôle<sup>231</sup>. De même, quatre études évaluaient les connaissances des parents<sup>231-234</sup> : une seule retrouvait une plus grande acquisition de connaissances chez les parents dont les enfants avaient bénéficié du serious game<sup>234</sup>.

Au total, il n'existe pas à notre connaissance de serious game à destination des parents d'enfants atteints de maladie chronique, et notamment à destination des parents d'enfants avec asthme, qui aient été développés et fait l'objet d'une évaluation par un essai contrôlé randomisé. Les serious games à destination des enfants semblent avoir une efficacité pédagogique limitée chez leurs parents, et ne représentent sans doute pas la meilleure méthode pour leur éducation thérapeutique.

### **La simulation pour l'éducation thérapeutique des parents d'enfants atteints de maladies chroniques**

Trois études ont évalué l'utilisation de mannequins de simulation pour enseigner à des parents la prise en charge de la maladie de leur enfant.

La première a porté sur la formation des parents à l'utilisation des appareils de ventilation non invasive de leur enfant<sup>235</sup>. L'utilisation d'un mannequin pédiatrique a permis aux parents de s'entraîner à prendre en charge des situations d'urgence telles qu'une obstruction de la canule de trachéotomie ou une décanulation. Les parents se sentaient mieux préparés et plus confiants en leurs compétences à la fin de la formation (Niv. 2a), mais il n'existait pas de groupe contrôle.

La seconde étude était un essai contrôlé randomisé chez des parents d'enfants avec un diabète de type 1 comparant formation classique versus formation classique associée à des mises en situation sur mannequin pédiatrique<sup>236</sup>. Cent-quatre-vingt-onze parents ont été inclus dans l'étude et randomisés. Il n'y avait pas de différence sur le sentiment d'efficacité personnelle (Niv. 2a), l'acquisition de connaissances (Niv. 2b), l'HbA1c (Niv. 4) entre les deux groupes. Une analyse post-hoc retrouvait que les parents d'enfants de moins de 6 ans bénéficiaient plus de la formation avec mannequin pédiatrique, avec des répercussions significatives sur le taux d'HbA1c.

La troisième étude évaluait une formation classique à la prise en charge des crises convulsives de l'enfant par rapport à cette même formation associée à un entraînement sur mannequin pédiatrique<sup>237</sup>. Soixante et un parents ont participé à l'essai randomisé contrôlé. Les parents qui ont pu s'entraîner sur le mannequin acquéraient un plus grand sentiment d'efficacité personnelle (Niv. 2a), et de meilleures compétences mesurées de façon objectives à la fin de la formation (Niv. 2b).

Ces trois études montrent que l'utilisation de simulation physique lors des sessions d'éducation thérapeutique peut permettre d'augmenter le sentiment d'efficacité personnelle et d'améliorer le niveau de compétences des parents. Ces résultats sont intéressants à prendre en compte dans le cadre du développement de la simulation virtuelle chez les parents d'enfants atteints de maladie chronique, même s'il faut rester prudent sur leur transposition dans ce nouveau cadre.

#### 4 Caractéristiques associées à l'efficacité pédagogique des serious games : apports de l'éducation fondée sur les preuves (evidence-based education)

##### Messages clés

- *L'éducation fondée sur les preuves est une approche permettant d'identifier les caractéristiques associées à l'efficacité pédagogique des serious games sur la base d'études scientifiques publiées.*
- *Les principaux déterminants d'un serious game efficace au plan pédagogique sont :*
  - *La guidance de l'utilisateur via des démonstrations et un retour d'information sur la manière d'atteindre les objectifs*
  - *L'interactivité qui favorise un apprentissage actif*
  - *La personnalisation du contexte du serious game*
  - *La fidélité fonctionnelle du serious game, qui doit reproduire au plus près le comportement du monde réel.*
  - *La répétition des éléments pertinents de l'apprentissage*
  - *L'intégration du serious game dans un cursus plus large*

L'éducation fondée sur les preuves ou evidence-based education, est dérivée de la médecine fondée sur les preuves. L'une des premières mentions de l'evidence-based medicine est retrouvée dans l'article fondateur du journal de l'association américaine de médecine (JAMA) en 1992<sup>238</sup>. La médecine fondée sur les preuves, qui correspond à « l'utilisation consciencieuse, explicite et judicieuse des meilleures données disponibles pour la prise de décisions concernant les soins à prodiguer à chaque patient », devient alors le nouveau standard de la décision médicale au niveau mondial<sup>239</sup>. L'originalité de cette nouvelle approche est de faire reposer la prise de décision sur la conjugaison de trois éléments : l'expertise du clinicien, les préférences du patient, et les meilleures données issues de la recherche médicale. Ces meilleures données issues de la recherche médicale ont permis de montrer l'inefficacité, voire la dangerosité de certains traitements médicaux, et de comparer les effets de différents traitements pour conseiller l'utilisation du plus efficace.

L'éducation fondée sur les preuves apparaît une dizaine d'années plus tard, et suit les mêmes principes : les méthodes d'éducation doivent s'appuyer sur les données de la recherche<sup>240</sup>. Les résultats des études doivent être reproduits, et synthétisés au sein de revues systématiques de la littérature et des méta-analyses, afin que soient établies des recommandations. Il a été opposé à l'éducation fondée sur les preuves que l'éducation, contrairement à la médecine, est un domaine complexe où des facteurs spécifiques au contexte, voire à l'individu, entrent en jeu. Ce type d'objection sous-tend l'idée qu'en médecine, des mécanismes biologiques communs aux individus expliqueraient l'identification d'effets communs des traitements médicaux sur de grandes populations, alors qu'un tel déterminisme n'existerait pas en éducation. Pourtant, dans le domaine de l'éducation, les preuves s'accumulent en faveur d'un fonctionnement cérébral commun à l'espèce humaine, qui est désormais décodé pour l'apprentissage de la lecture et des mathématiques<sup>241</sup>. Dans le même sens, il a été montré que les « styles d'apprentissage » spécifiques à chaque individu (par exemple, les visuels qui préfèrent lire un texte pour le mémoriser, comparé aux auditifs qui préfèrent le réciter à haute voix), ne reposent sur aucun rationnel scientifique<sup>242</sup>. L'objectif des approches fondées sur les preuves est de trouver un compromis entre d'une part une approche fondée uniquement sur la singularité des individus, qui ne permettrait pas d'obtenir de preuves solides de l'efficacité d'une intervention, et d'autre part une approche fondée uniquement sur le groupe, qui ne permettrait pas de différencier les

individus pour lesquels l'intervention est efficace de ceux pour lesquels l'intervention est inefficace.

C'est sur cette base d'une éducation fondée sur les preuves qu'ont été déterminées les caractéristiques des serious games associées à leur efficacité pédagogique présentées ci-dessous. Dans la mesure du possible, le rationnel pour l'intégration de chaque caractéristique au serious game part de résultats obtenus sur de larges populations en sciences cognitives pour être ensuite spécifiquement étudié dans le contexte des serious games.

#### 4.1 Guider l'utilisateur

La nécessité d'être guidé dans l'apprentissage est fondamentale chez les apprenants novices. L'approche constructiviste qui propose que les apprenants construisent eux-mêmes leur savoir par la découverte autonome des informations (discovery learning) a montré son inefficacité chez les apprenants novices. Une méta-analyse portant sur 164 études et 580 comparaisons a ainsi révélé que les apprentissages non guidés ne permettaient pas aux apprenants d'acquérir des connaissances et des compétences<sup>243</sup>. Ces conclusions sont retrouvées dans le domaine des serious games. Dès 1987, il est montré chez des collégiens que l'utilisation de techniques pour guider l'utilisateur au sein de simulation games à visée scientifique permet d'obtenir de meilleurs résultats en matière de raisonnement scientifique et d'esprit critique que l'utilisation de ces mêmes simulation games sans guidance<sup>244</sup>. Une méta-analyse confirme ces premiers résultats en mettant en évidence que les techniques permettant d'aider l'utilisateur à sélectionner les informations pertinentes au sein d'un serious game sont associées à des gains plus importants en matière d'apprentissage que d'autres techniques pédagogiques privilégiant l'organisation des connaissances<sup>184</sup>. Dans le domaine des serious games, le risque de ne pas intégrer de guidance est que les utilisateurs se concentrent sur le jeu plutôt que sur l'acquisition de connaissances et de compétences utiles. Ainsi, dans une étude évaluant un serious game au sein duquel l'utilisateur devait jouer le rôle d'un fermier, il a été observé que les joueurs sans aucune guidance obtenaient de bonnes performances dans le jeu mais acquéraient peu de connaissances sur les principes et les règles du domaine. Autrement dit, ils avaient appris à utiliser le jeu, mais pas les connaissances qui lui étaient liées. Au contraire, les joueurs qui étaient guidés acquéraient plus de connaissances mais leur performance dans le jeu était moindre<sup>245</sup>.

La méta-analyse qui a remis en cause l'apprentissage sans guidance a identifié les trois méthodes les plus efficaces pour guider un apprenant :

- L'utilisation d'exemples/de démonstrations
- L'utilisation de retour d'information/feedback
- L'utilisation de l'échafaudage/scaffolding

Ces trois méthodes peuvent être intégrées dans les serious games.

#### L'utilisation d'exemples/démonstrations

L'utilisation d'exemples (worked examples), de démonstrations (demonstration-based training), ou de modèles (modeling), est une pratique dont l'efficacité pédagogique est démontrée. Cette technique a été très étudiée dans le cadre de l'apprentissage de nouvelles

compétences dans le milieu professionnel : une méta-analyse a révélé que l'utilisation de modèles suivie d'entraînement avec feedback était efficace pour l'acquisition de nouvelles compétences et/ou de nouveaux comportements au travail<sup>246</sup>.

En simulation physique, l'utilisation de démonstration est également associée à de meilleures performances<sup>247</sup>.

Dans le domaine des serious games, la méta-analyse de Wouters et al. conclut elle aussi que l'utilisation de modèles est l'une des méthodes les plus efficaces en matière pédagogique<sup>184</sup>.

Il subsiste des interrogations sur la meilleure manière d'intégrer les démonstrations au sein d'un apprentissage. Ainsi, il n'existe pas de données comparant l'efficacité d'une démonstration introduite avant, pendant, ou après la période d'entraînement par l'apprenant. Il est également suggéré que la démonstration est plus efficace si elle associe des exemples de ce qu'il faut faire (exemples positifs) et des exemples de ce qu'il ne faut pas faire (exemples négatifs), mais aucune étude n'a évalué cette modalité dans le domaine des serious games<sup>248</sup>.

Malgré ces limites, proposer des démonstrations au sein d'un serious game représente une méthode efficace pour transmettre des connaissances et des compétences à l'apprenant.

### L'utilisation du feedback/retour d'information

Le feedback a pour objectif de permettre à l'apprenant d'acquérir des connaissances et des compétences en ayant un retour d'information sur sa performance. La recherche sur le feedback date du début du XX<sup>e</sup> siècle, et ses résultats ont été analysés par une méta-analyse en 1996. Cette méta-analyse confirmait que le feedback améliorait les performances des apprenants, mais de façon non systématique : dans un tiers des cas il conduisait au contraire à une diminution des performances<sup>191</sup>. Sur la base de cette recherche, les auteurs ont révélé que le feedback était d'autant plus efficace qu'il était objectif et concentré sur la tâche à réaliser. Au contraire, les feedbacks qui étaient plus subjectifs et s'adressaient à l'apprenant sous la forme d'un éloge ou d'une punition étaient peu ou pas efficaces. L'une des conclusions était que les feedbacks délivrés par des ordinateurs, par rapport à des feedbacks délivrés oralement par un tiers, étaient plus focalisés sur la tâche et perçus comme plus objectifs, permettant de meilleurs apprentissages<sup>191</sup>.

Dans le domaine des serious games, la méta-analyse de Wouters et al. a confirmé que le feedback, en guidant l'utilisateur vers la sélection d'informations pertinentes à son apprentissage, était une des caractéristiques des serious games associées à leur efficacité pédagogique<sup>184</sup>.

Différentes caractéristiques du feedback peuvent moduler son efficacité.

D'abord, le contenu du feedback a une importance : on distingue le feedback correctif (corrective feedback, outcome-based feedback) et le feedback explicatif (explicative feedback, process feedback). Le feedback correctif donne une information à l'utilisateur sur sa performance, grâce à un score de performance par exemple. Le feedback explicatif donne des explications sur les raisons du succès/de l'échec, et guide l'utilisateur vers les stratégies à adopter pour réussir le serious game. Ces deux types de feedback ne sont pas exclusifs.



Que ce soit en sciences de l'éducation en général ou dans le domaine spécifique des serious games, la recherche a montré que l'utilisation d'un feedback explicatif, qui explique les raisons pour lesquelles une réponse ou une action dans le serious game est considérée comme correcte, permet un meilleur apprentissage que l'utilisation d'un feedback correctif seul<sup>249,250</sup>.

Ensuite, la modalité (modality) par laquelle le feedback est administré est importante. La modalité correspond au choix du canal par lequel les informations vont être données à l'utilisateur, le canal visuel ou le canal auditif. Il a été montré que l'utilisation du canal auditif permettait un meilleur apprentissage que l'utilisation du canal visuel lorsque des supports multimédia étaient utilisés<sup>251</sup>. L'explication avancée est qu'une présentation visuelle (par exemple de type PowerPoint) associée à des explications supplémentaires administrées par le même canal augmentent la charge cognitive avec le risque de saturer la mémoire de travail, alors que ces explications données par le canal auditif ne seraient pas associées au même risque du fait de l'utilisation d'un canal différent fonctionnant en parallèle<sup>252</sup>. Dans le domaine des serious games, des résultats similaires ont été obtenus. Lorsque le serious game demande une attention visuelle importante, présenter le feedback sous la forme d'informations auditives améliore l'apprentissage, que ce soit sur des tests évaluant la mémoire à long terme ou des tests évaluant le transfert des apprentissages<sup>253,254</sup>.

L'utilisation de voix synthétiques par rapport à des voix humaines délivrant le feedback a également fait l'objet de recherches. L'enregistrement et l'utilisation dans les serious games de voix humaines est associée à un meilleur apprentissage et à un meilleur transfert des apprentissages<sup>255,256</sup>.

Enfin, le fait de délivrer les informations sous la forme d'une conversation avec l'utilisateur du serious game, en utilisant le « je », le « tu », plutôt que sous une forme neutre, a été associé dans plusieurs études à de meilleurs apprentissages<sup>257</sup>.

Le moment (timing) du feedback a aussi fait l'objet de recherches qui ont comparé l'efficacité d'un feedback immédiat à l'efficacité d'un feedback retardé. Les résultats de ces recherches en sciences de l'éducation sont conflictuels, et ne permettent pas de montrer clairement la supériorité de l'une ou l'autre des solutions<sup>258</sup>. Dans le domaine des serious games, les rares études ayant comparé ces deux types de feedback ont retrouvé des effets marginaux en faveur du feedback immédiat<sup>250</sup>.

Enfin, la forme du feedback pourrait être importante pour l'apprentissage. Notamment, parmi les différentes formes de feedback correctif (barre de progression, scores, points d'expérience, monnaies, etc.), certaines pourraient distraire l'utilisateur de l'apprentissage. Ainsi, une étude réalisée chez des collégiens a montré que l'utilisation d'un feedback sous la forme d'un score ajusté en temps réel à leur performance diminuait l'impact d'un serious game d'entraînement cognitif<sup>259</sup>. A notre connaissance, il n'existe pas d'étude équivalente pour des serious games éducatifs. De telles recherches sont nécessaires.

Au total, la principale caractéristique associée à l'efficacité du feedback est son caractère explicatif, permettant de faire comprendre à l'apprenant les raisons de son succès ou de son échec. Lorsque le serious game demande une grande attention visuelle, il est délivré au mieux oralement, par des voix humaines et dans un style conversationnel.

## L'utilisation de l'étayage/scaffolding

Selon son théoricien Bruner, l'étayage en éducation correspond à un soutien initial que l'enseignant fournit aux apprenants dans l'apprentissage d'une compétence ou d'un concept; ce soutien est graduellement retiré, au fur et à mesure que l'apprenant acquiert la compétence et apprend à l'utiliser indépendamment de l'enseignant<sup>260</sup>. Ce concept est large et recouvre des méthodes telles que l'indication des informations utiles à l'acquisition de la compétence ou l'utilisation de la démonstration qui ont déjà été abordées ci-dessus. Dans le domaine des serious games, le scaffolding recouvre des techniques pédagogiques différentes, aussi éloignées que des instructions délivrées avant l'utilisation du serious games et des instructions apparaissant pendant l'utilisation sous la forme de questions visant à la réflexion<sup>261,262</sup>.

Une autre façon d'utiliser l'étayage est de réduire les degrés de liberté de l'apprenant en simplifiant la tâche pour ne garder que les éléments utiles à la résolution de la tâche. Ainsi, dans un serious game, cela pourrait correspondre à ne laisser que peu d'options à l'utilisateur novice, puis à élargir progressivement la liberté (et donc le risque d'erreur) de l'utilisateur en ajoutant des actions supplémentaires.

Au total, l'étayage est un concept qui semble trop vaste et trop peu scientifiquement étudié à l'heure actuelle pour que son implémentation dans les serious game puisse être recommandée. Il serait néanmoins intéressant d'évaluer la pertinence pédagogique d'un serious game augmentant progressivement les degrés de liberté du joueur.

## 4.2 Maximiser l'interactivité

L'apprentissage actif est associé à de meilleurs apprentissages, particulièrement dans le domaine scientifique. Chez des étudiants en sciences, technologie, ingénierie et mathématique, une méta-analyse récente a montré que l'enseignement traditionnel à base de cours en amphithéâtre augmentait de 55% le risque d'échec aux examens par rapport à l'apprentissage actif<sup>186,188</sup>. Les expériences de Roediger en sciences cognitives ont également montré que le fait d'être testé ou de tester soi-même ses connaissances permettait une meilleure rétention à long terme et un meilleur transfert des apprentissages que le fait de lire et relire un cours sur la même période de temps<sup>263</sup>. Ces résultats sont contre-intuitifs pour les étudiants pour qui lire et relire le cours représente (faussement) la méthode la plus productive<sup>264</sup>.

Les serious games sont interactifs par nature, et permettent de tester ses connaissances et/ou compétences. Dans une méta-analyse portant sur l'efficacité pédagogique des simulation games, Sitzmann met en évidence que les simulation games permettent un meilleur apprentissage que les autres méthodes d'instruction uniquement lorsque la majorité de l'instruction est délivrée de façon active<sup>168</sup>. Lorsqu'il s'agit de simulation game peu interactifs au cours desquels l'utilisateur est cantonné à cliquer pour faire progresser le jeu, l'apprentissage est meilleur dans les groupes recevant une autre méthode d'instruction. Sitzmann insiste sur le fait que l'interactivité doit porter sur le contenu pédagogique lui-même, et non pas sur des tâches annexes qui entoureraient le contenu pédagogique. Ce concept, nommé « intégration intrinsèque » (intrinsic integration) correspond à l'intégration du contenu pédagogique dans les actions du jeu elles-mêmes pour permettre un apprentissage efficace<sup>179</sup>.

### 4.3 Personnaliser le contexte

Le terme personnalisation (personalization) recouvre différents concepts dans la littérature portant sur les serious games. Il peut s'agir « d'humaniser » le serious game, en utilisant des voix humaines plutôt que synthétiques, un style conversationnel plutôt qu'un style neutre, comme déjà abordé ci-dessus<sup>265</sup>. Il peut s'agir également d'adapter continuellement le niveau de difficulté en fonction des capacités de l'utilisateur. Ce champ de recherche, très actif depuis l'émergence de l'intelligence artificielle reste pour le moment limité au cercle des programmeurs informatiques<sup>266,266</sup>. Il peut s'agir enfin de proposer un apprentissage qui prenne en compte les intérêts spécifiques de l'apprenant.

L'utilisation d'un contexte qui soit parlant pour l'utilisateur a en effet montré son efficacité dans des domaines très différents, de la personnalisation des problèmes d'algèbre à l'école élémentaire à la personnalisation des avatars dans les serious games<sup>267,268</sup>. La méta-analyse de Wouters et al. confirme que la personnalisation du contexte est l'une des techniques pédagogiques les plus efficaces pour optimiser l'apprentissage au sein des serious games<sup>184</sup>. Une explication serait que ces gains en matière d'apprentissage soient médiés par une plus forte motivation de l'utilisateur lorsque le contexte est personnalisé.

### 4.4 Maximiser la fidélité fonctionnelle

En 1989, Hays et Singer ont distingué deux types de fidélité : la fidélité physique et la fidélité fonctionnelle (ou cognitive)<sup>269</sup>. La fidélité physique évalue jusqu'à quel point le monde virtuel ressemble au monde réel (dans ses graphiques essentiellement), alors que la fidélité fonctionnelle évalue jusqu'à quel point le monde virtuel se comporte comme le monde réel. Ces deux paramètres n'ont pas le même impact sur le transfert de compétences acquises dans un environnement virtuel, vers un environnement réel.

En simulation physique, la fidélité physique a très peu d'influence sur le transfert des compétences<sup>206,270</sup>. Les mannequins haute-fidélités, très onéreux, n'apportent pas de gain net en matière d'apprentissage par rapport aux mannequins basse-fidélité qui n'ont pas d'informatique embarquée. En revanche, plusieurs études ont montré l'importance de la fidélité fonctionnelle de la simulation, également appelée fidélité cognitive : le fait que les processus cognitifs des apprenants pendant la simulation soient le plus proche possible des processus cognitifs mis en place dans la vie réelle semble primordial pour le transfert des apprentissages<sup>271-273</sup>.

Dans le domaine des serious games, il a été montré que l'utilisation de jeux vidéo avaient des conséquences sur les fonctions cognitives<sup>274,275</sup>, et de nombreuses études confirment que des compétences acquises dans un environnement virtuel peuvent être transférées dans la vie réelle, que ce soit dans les domaines de l'aviation<sup>276</sup>, de la défense<sup>277</sup>, ou de la chirurgie<sup>278</sup>. Une seule étude à notre connaissance a clairement distingué fidélité physique et cognitive, en proposant à des étudiants de construire un hélicoptère en Legos<sup>279</sup>. Un groupe disposait d'un logiciel ultra-réaliste de construction de Legos (groupe fidélité physique), un second groupe disposait d'un logiciel de construction moins réaliste, mais insistant sur l'utilisation et l'assemblage de chaque pièce (groupe fidélité cognitive), un groupe s'entraînait sur de vrais Legos et il y avait un quatrième groupe, contrôle. Lorsqu'il a été demandé, après quatre entraînements, au trois premiers groupes de construire l'hélicoptère avec de vrais Legos, ceux-ci arrivaient tous à

construire l'hélicoptère plus rapidement que le groupe contrôle, avec pour le groupe « fidélité cognitive » une plus grande rapidité à corriger les erreurs de construction.

La paucité de ces études dans le domaine des serious games à l'heure actuelle ne permet pas d'affirmer qu'obtenir une fidélité cognitive élevée est associée à de meilleurs apprentissages. Néanmoins les données de la recherche en simulation physique laissent penser qu'il s'agit d'un paramètre important à considérer pour le transfert des apprentissages d'une situation simulée à une situation réelle.

#### 4.5 Favoriser la répétition des apprentissages

L'une des techniques les plus reconnues pour favoriser l'apprentissage est la répétition. La pratique répétée au cours de l'apprentissage a été particulièrement étudiée en simulation physique, une méta-analyse ayant clairement montré sa supériorité par rapport aux enseignements classiques<sup>280</sup>. Il en est de même dans le domaine des serious games. Deux méta-analyses, l'une portant sur les serious games<sup>281</sup>, l'autre restreinte aux simulation games<sup>168</sup>, confirment que l'utilisation répétée de ces logiciels conduit à de meilleurs apprentissages que lorsque ces logiciels ne sont utilisés qu'à une ou deux reprises.

#### 4.6 Intégrer le serious game dans un cursus plus large

En simulation physique, une méta-analyse a montré que l'efficacité pédagogique de la simulation était renforcée lorsque les sessions de simulation s'intégraient dans un cursus faisant intervenir d'autres méthodes pédagogiques<sup>282</sup>. Les mécanismes par lesquels différentes stratégies d'apprentissage se révèlent supérieures à la répétition d'une seule stratégie sont mal connus. L'utilisation de stratégies diverses pourrait renforcer l'apprentissage en augmentant la difficulté de l'apprentissage, demandant à l'apprenant de réutiliser les connaissances et compétences acquises par une première méthode pédagogique au cours d'une seconde session d'apprentissage de nature différente<sup>283</sup>. Dans le domaine des serious games, l'intégration dans un cursus permet également de potentialiser l'effet pédagogique du serious game utilisé<sup>168,281</sup>. Dans la méta-analyse de Sitzmann sur les simulation games, l'utilisation d'un simulation game n'avait d'intérêt que lorsqu'il représentait un supplément pédagogique au sein d'une formation plus large<sup>168</sup>.

Les serious games doivent donc être considérés comme des vecteurs d'éducation ayant peu ou pas d'efficacité pédagogique lorsqu'ils ne sont pas intégrés dans des formations plus larges faisant intervenir d'autres méthodes pédagogiques.

#### 4.7 Caractéristiques non associées à l'efficacité pédagogique des serious games

Comme évoqué précédemment, la fidélité physique (physical fidelity), qui correspond au degré de réalisme physique du serious games avec la réalité, n'est pas associée dans les méta-analyses à de meilleurs apprentissages, que ce soit dans le domaine de la simulation physique<sup>270</sup>, dans le domaine des serious games<sup>184,281</sup>, ou dans le domaine des simulation games<sup>168</sup>. L'explication souvent avancée est qu'un environnement très réaliste pourrait, à force de détails, augmenter la charge cognitive des apprenants et les distraire des informations et actions pertinentes à leur

apprentissage. Néanmoins, les études évaluant la fidélité physique et ayant comparé dans ce but un environnement schématique à un environnement très réaliste ne requéraient pas une reconnaissance fine de signes physiques précis tels qu'observés en médecine. Les résultats des méta-analyses de ces études ne sont donc pas directement généralisables aux serious games du domaine médical<sup>168</sup>. Il n'est cependant pas exclu qu'une approche schématique des symptômes médicaux soit préférable à une approche ultraréaliste.

L'utilisation d'histoires (narrative) pour favoriser l'apprentissage du contenu pédagogique du serious game ne semble pas efficace. Au contraire, la méta-analyse de Wouters et al. révèle que les serious games qui n'utilisent pas d'histoire sont plus efficaces que les serious games qui en intègrent en matière d'apprentissage<sup>184,281</sup>. Lorsque l'histoire n'est pas directement reliée au contenu pédagogique, le risque est que l'attention de l'utilisateur soit dirigée vers les paramètres de l'histoire, et non pas vers les informations liées à l'apprentissage. De la même manière, le degré de divertissement (entertainment) du serious game ne semble pas avoir d'impact sur l'apprentissage, comme en témoignent les résultats de la méta-analyse portant sur les simulation games<sup>168</sup>. L'utilisation d'histoires et les serious games très amusants semblent avoir un effet sur la motivation des utilisateurs, sans que cela ne se traduise par de meilleurs apprentissages<sup>284</sup>.

La participation des utilisateurs au développement en tant que co-designer des serious games (participatory design) a récemment fait l'objet d'une méta-analyse portant sur 61 études dans le domaine de la promotion de modes de vie sain<sup>285</sup>. La participation des utilisateurs finaux (end users) au développement des serious games en tant que co-designer était associée à une moindre efficacité sur le sentiment d'efficacité personnelle (Niv. 2a) et sur les modifications de comportements (Niv. 3) des futurs utilisateurs. En revanche, recueillir l'avis des utilisateurs au cours du développement des serious games était associé à une meilleure efficacité pédagogique.

Le tableau 4 reprend les différentes caractéristiques des serious games associées à leur efficacité pédagogique, en notant leur niveau de preuve (3 croix représentant le niveau de preuve maximum) et le niveau de recommandation que nous y associerions (3 croix représentant le niveau de recommandation maximum).

Tableau 4 : Caractéristiques des serious games associées à leur efficacité pédagogique

Caractéristiques	Niveau de preuve	Recommandation
Démonstration	+++	+++
Feedback	+++	+++
Modalité (feedback audio)	+++	+++
Humanisation (voix humaines, style conversationnel)	++	++
Interactivité	+++	+++
Personnalisation du contexte	+++	+++
Fidélité cognitive	+	++
Pratique répétée	+++	+++
Intégration du serious game dans un cursus	+++	+++

## OBJECTIFS ET CONCEPTION DU TRAVAIL

L'objectif de ce travail doctoral était de développer une solution numérique permettant aux parents d'enfants avec asthme d'âge préscolaire d'apprendre et de s'entraîner à prendre en charge une exacerbation d'asthme de leur enfant survenant à domicile.

La première étape a été d'effectuer une revue systématique de la littérature concernant les serious games développés pour l'éducation thérapeutique dans l'asthme. L'objectif de cette première étape était d'obtenir une vision précise des stratégies déjà tentées en vue du développement et de l'évaluation du futur serious game.

La seconde étape avait pour objectif de mieux connaître les caractéristiques des parents d'enfants avec asthme auxquels s'adresserait cette solution numérique. A l'aide d'un questionnaire distribué à plus d'une centaine de parents d'enfants avec asthme, les données concernant les habitudes des parents relatives à l'utilisation de jeux vidéo, leur avis sur la perspective d'un serious game pour leur apprendre à prendre en charge une exacerbation, et leurs attentes vis-à-vis d'un tel serious game ont été recueillies.

La troisième étape a demandé à une trentaine de parents d'enfants de 5 ans et moins avec asthme de travailler sur un mannequin pédiatrique haute-fidélité reproduisant une exacerbation d'asthme. Cette étape avait pour objectifs :

- L'identification des erreurs fréquemment commises par les parents afin de définir au mieux les objectifs pédagogiques du serious game,
- L'évaluation de l'efficacité pédagogique de scénarios d'exacerbation d'asthme simulés.

La quatrième étape a été d'évaluer si, dans le cadre d'une utilisation restreinte du simulation game, de l'ordre d'une trentaine de minutes, il était préférable d'utiliser le même scénario d'exacerbation d'asthme de façon répétée, ou d'utiliser trois scénarios d'exacerbation différents, en matière de rétention à long terme et de transfert des apprentissages.

La cinquième étape a été de créer le cahier des charges du simulation game, basé sur les résultats des données de la littérature, et sur les résultats des études menées ci-dessus.

La sixième étape a été de développer, en partenariat avec une entreprise de développement informatique, et selon les directives du cahier des charges, une préproduction du simulation game.

Deux étapes n'ont pas pu être réalisées dans le cadre du temps imparti pour cette thèse, mais représentent deux perspectives certaines discutées dans la discussion.

La septième étape qui correspond au développement, en partenariat avec une entreprise spécialisée dans le développement de serious games, du serious game complet et à son lancement.

La huitième étape qui correspond à l'évaluation scientifique de l'efficacité du serious game développé, d'une part sur un critère pédagogique d'amélioration des connaissances et compétences des parents, d'autre part sur un critère de santé publique correspondant à la réduction du recours aux soins liés aux exacerbations d'asthme.

## **RESULTATS**

### **1. Première étape : revue systématique de la littérature des serious games pour l'éducation thérapeutique dans l'asthme**

Cette revue systématique de la littérature a identifié 12 articles portant sur 10 serious games. Tous ces serious games étaient destinés à un public pédiatrique. Ces serious games étaient souvent très appréciés des enfants et permettaient une amélioration de leurs connaissances sur l'asthme. En revanche, leur utilisation n'était pas associée à une diminution du recours aux soins ou à une diminution des hospitalisations.

Cette revue systématique a permis de mettre en évidence les limites des serious games jusqu'ici développés et de tirer des enseignements pour le développement et l'évaluation du serious game destinés aux parents qui était l'objectif de ce travail.

Concernant le développement du serious game, il est possible que l'absence de résultat sur les critères cliniques (recours aux soins et hospitalisations) soit liée au fait que la plupart des serious games utilisaient des mini-jeux ou des quizz, qui représentent une méthode classique d'amélioration des connaissances, mais se prêtent mal à un transfert des apprentissages à la vie réelle. L'utilisation d'un monde virtuel avec un haut degré de fidélité fonctionnelle ou cognitive, c'est-à-dire permettant de reproduire les conséquences des actions prises par l'utilisateur comme s'il s'agissait de la vie réelle, pourrait avoir un impact plus important en matière de transfert des apprentissages. D'autre part, la décision de recourir aux soins est une décision parentale, et il est peu probable qu'un serious game destiné à l'éducation thérapeutique des enfants puisse avoir des répercussions directes sur la décision ou non de recourir aux soins. L'absence de serious game à destination des parents était étonnante et nous a amené à considérer cette solution.

Concernant l'évaluation du serious game, cette revue systématique de la littérature a montré les difficultés d'évaluation des critères cliniques, dans la mesure où le recours aux soins et les hospitalisations pour exacerbation d'asthme sont très variables d'un enfant à l'autre et pour le même enfant, d'une année sur l'autre. L'amélioration spontanée des symptômes chez une majorité d'enfants d'âge préscolaire avec asthme fait courir le risque de l'absence de différence entre un groupe intervention (serious game) et un groupe contrôle du seul fait de la raréfaction des exacerbations.




## A systematic review of serious games in asthma education

Drummond, D., Monnier, D., Tesnière, A., & Hadchouel, A. (2017)

*Pediatric Allergy and Immunology*, 28(3), 257-265.

# A systematic review of serious games in asthma education

David Drummond<sup>1,2</sup> , Delphine Monnier<sup>1</sup>, Antoine Tesnière<sup>1,3</sup> & Alice Hadchouel<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Ilumens Simulation Department, Paris Descartes University, Paris, France; <sup>2</sup>Pediatric pulmonology, Necker-Enfants Malades Hospital; <sup>3</sup>Surgical Intensive Care Unit, Cochin Hospital, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris, Paris, France

**To cite this article:** Drummond D, Monnier D, Tesnière A, Hadchouel A. A systematic review of serious games in asthma education. *Pediatr Allergy Immunol* 2017; **28**: 257–265.

## Keywords

asthma; health education; patient education; pediatrics; video game

## Correspondence

David Drummond, Ilumens Simulation Department, Paris Descartes University, 45 rue des Saint Pères, 75006 Paris, France  
Tel.: +0033176530100  
E-mail: david.drummond@ilumens.org

Accepted for publication 14 December 2016

DOI:10.1111/pai.12690

## Abstract

**Background:** Serious games may be useful tools for asthma education. The objectives of this systematic review were to identify the available articles on serious games designed to educate patients and the general public about asthma and to assess their impact on patient's knowledge, behavior, and clinical outcomes related to asthma.

**Methods:** PubMed, EMBASE, Cochrane Library, PsychInfo, and Web of Science were systematically searched from January 1980 to December 2015 for studies investigating serious games in asthma education. Two investigators independently assessed studies against inclusion criteria and rated those included on indicators of quality. Investigators extracted data on serious games' content and learning objectives, and on outcomes following Kirkpatrick classification.

**Results:** A total of 12 articles were found to be relevant, describing a total of 10 serious games. All serious games were directed toward children, with eight games for children with asthma and two for school-based intervention. The average Medical Education Research Study Quality Instrument score was 13.9 of 18, which is high. Most of the serious games were associated with high rates of satisfaction and improvement in children's knowledge. Seven studies evaluated the impact of serious games on clinical outcomes and found no significant difference relative to control groups.

**Conclusions:** Although serious games designed for asthma education have evolved with advances in technology, results of their evaluation remained similar across studies, with clear improvements in knowledge but little or no change in behaviors and clinical outcomes.

Asthma education leads to significant improvement in controlling the disease and reduces emergency department visits and hospital admissions (1–3). It is recognized to be an essential element in the management of asthmatic patients and is recommended by national and international guidelines (4, 5). However, attendance at asthma education programs is low (6). Barriers that have been identified include difficulty getting time off work, travel costs, psychologic factors, and physician resistance (6–8). New approaches are required to reach patients and teach them asthma management.

Serious games (SGs) are theoretically very useful tools for health education in general, and asthma education in particular. According to Bergeron, SGs are interactive computer applications, with or without a hardware component, that (i) have challenging goals, (ii) are fun to play and/or engaging, (iii) incorporate concepts of scoring, (iv) and impart skills, knowledge, or attitudes to the user that can be applied in the real world (9). From an educational perspective, they promote active learning, which is more effective

than traditional didactic lectures for both knowledge acquisition and behavioral changes (10–12); they provide feedback, essential for learning (13); they promote deliberate practice by offering repetition of each game level until mastery is reached (14); and they encourage perseverance during the learning process because they are fun. From a healthcare perspective, SGs can teach patients to better understand the pathophysiology of asthma and the objectives of its treatments, to identify rare situations such as asthma attacks, and to practice several skills such as the inhalation technique. Finally, the accessibility of SGs is wider than classic asthma education programs and may reach many more patients. For these reasons, SGs can be considered to be new tools for changing patients' behaviors and outcomes regarding their asthma (15).

Previous reviews in the field were published more than 5 years ago (15–19), were not systematic (15–18), did not distinguish SGs from other computer-assisted instructions (18–20), and/or did not focus on asthma education (21, 22).

The objectives of this systematic review were to identify the available articles on SGs designed to educate patients and the general public about asthma and to assess their impact on patient's knowledge, behavior and clinical outcomes related to asthma.

## Methods

This systematic review was conducted in accordance with the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) guidelines (23). To be eligible for inclusion, studies were required to describe or assess SGs created for the purpose of asthma education. The definition of SGs by Bergeron was adopted for this review (9). Asthma education included all the interventions with the following goals: raising awareness that asthma is a serious chronic disease, ensuring the recognition of the triggers and symptoms of asthma, and/or ensuring effective management of asthma (24). Education tools aimed at health professionals were excluded from this review. No age limit for patients was applied.

All types of publications, such as articles, editorials, and conference abstracts, reported in English or French and published online between January 1, 1980, and December 31, 2015, were included. Past reviews were not included, but their eligible references were.

A comprehensive literature search of the PubMed, EMBASE, the Cochrane Library, Web of Sciences, and PsychInfo databases was conducted using the following key terms: (serious gam\* OR videogame\* OR video gam\* OR gaming) AND (asthma). These terms were selected using an iterative process guided by pediatric pulmonologists and an expert in serious games on the basis of past systematic reviews (25, 26). The returned studies were combined with the references of three relevant reviews (18, 20, 21). After removal of duplicates, the studies were screened independently and in duplicate by titles and abstract (D.D., D.M.), and studies that were not written in English or French and/or not relevant to asthma education were excluded. For the remaining studies, full-text articles were assessed for eligibility and sorted into the following categories: reviews or learning theory, intended for health professionals, not computer based, not considered to be a game, and relevant studies.

Data extraction was performed independently and in duplicate (D.D., D.M.) on the basis of a data extraction form adapted from Wang et al. (26). Methodological quality was also assessed independently and in duplicate using the Medical Education Research Study Quality Instrument (MERSQI) (27). If a study used multiple assessment tools, the tool associated with the primary outcome was chosen. If the primary outcome was not specified by the authors, the tool associated with the highest level of evaluation defined by Kirkpatrick was evaluated (28) (Fig. 1).

Primary data were first extracted from the publication. If additional information was necessary, an Internet search of the game name, publication title, and author was conducted. An email was sent to the corresponding author if further information was required. If information could not be provided, the field was marked 'not specified'. Game genres were categorized according to the nomenclature described by

Wolf (29) and adapted by Wang et al. (26). Several SGs were assigned to more than one genre because they included different mini-games, or because of some overlap between genres. Learning objectives of each game were extracted in plain text and then reorganized into eight categories. Study design, participants, intervention (including duration and frequency of game play), assessment tools, and results were also recorded.

Any disagreements during the categorization of publications, data extraction, or assessment of MERSQI items were settled by a third reviewer (A.H.).

## Statistical analysis

Data were collected and organized using Microsoft Excel (Microsoft, Redmond, WA, USA), and statistical analysis was performed using PASW Statistics 18 (IBM, Armonk, NY, USA). Cohen  $\kappa$  was used to assess interrater agreement for study selection, data extraction, and methodological quality assessment.

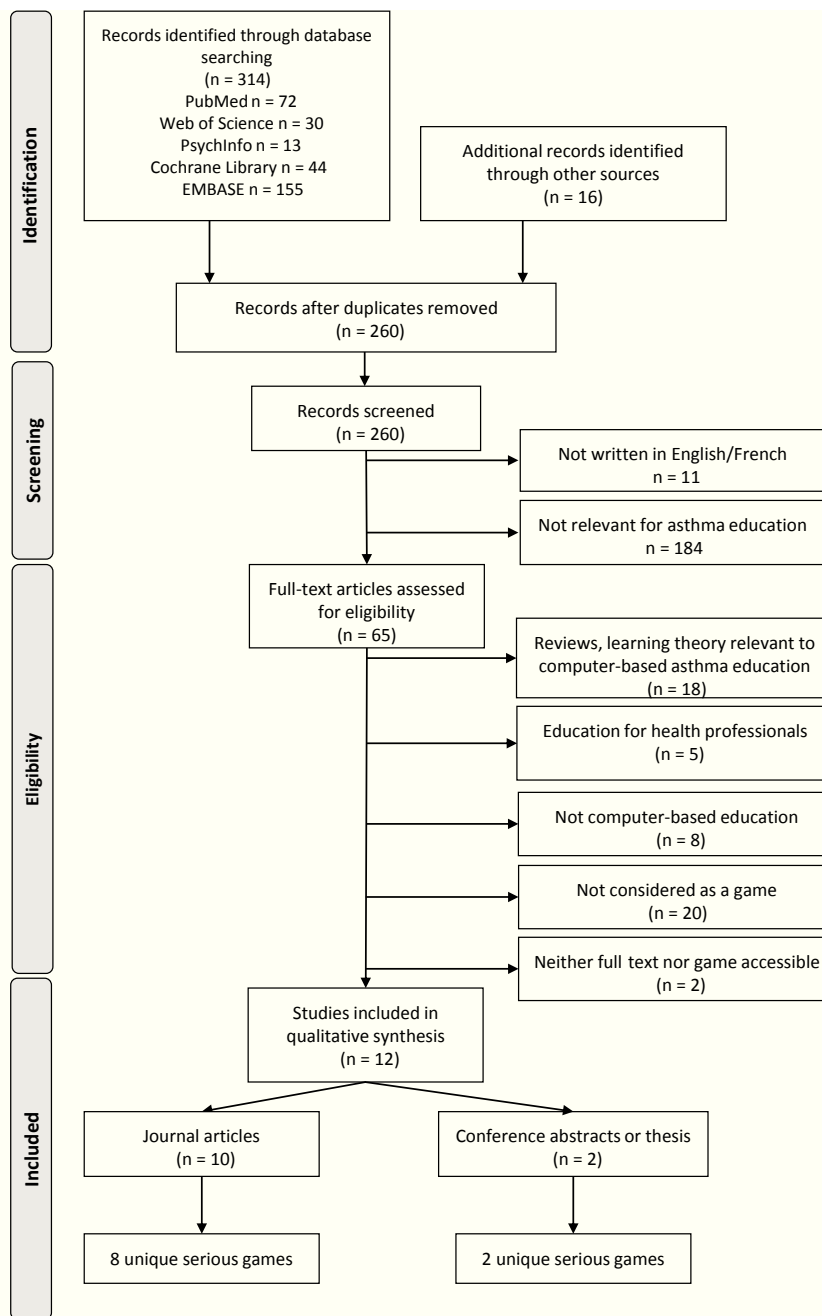
## Results

The search identified 12 publications, describing 10 unique SGs, for inclusion (Fig. 2). Interrater agreement calculated by Cohen  $\kappa$  was 0.96 for categorizing publications, 0.93 for data extraction, and 0.99 for MERSQI items. The articles associated with two references could not be found and were excluded from the analysis (30, 31). The list of included SGs is presented in Table 1, sorted by date of publication of their related article. One SG was discussed only in a thesis which was not accessible (32). Another was found as a conference abstract, and developers of the game provided unpublished data of a randomized trial they conducted (33). The learning objectives of the included SGs are presented in Table 2.

Given the definition of SG chosen, computer-assisted instructions without any fun element were not selected for



**Figure 1** Classification of outcomes related to educational interventions based on Kirkpatrick model (28) adapted by Mosley (34).



**Figure 2** Flowchart of systematic review and categorization.

analysis. All of the ten included SGs were directed toward children and teens. A description of each game is presented in the supplemental material.

**Evaluation data**

The results of the evaluation of the included SGs were available for nine of 10. They are presented in Table 3 (a more detailed version of the table is presented in the Table S1). This section is organized following Kirkpatrick’s levels of evaluation: user satisfaction with the SG (level 1), gain of skills and knowledge

(level 2), behavioral change (level 3), and improved clinical outcomes (level 4) (28). In the second level, we added the level 2a, described by Mosley et al. (34), which relates in this review to the self-efficacy gained after playing the game. Level 2b corresponds to the gain of knowledge and skills as usually described.

**Player satisfaction (Level 1)**

Seven studies covering six SGs reported player satisfaction. Overall, results were highly favorable for satisfaction associated with SGs. More than 90% of children who

**Table 1** Overview of included serious games

Authors	Game	Audience	Game Genre	Platform	Development Team	Publication	Represented online?
Rubin et al. (1986) (36)	Asthma Command	Asthmatic children aged 7–12 years	Management simulation	Computer	Not specified	Journal article	No
Bartholomew et al. (2000) (38), Shegog et al. (2001) (37)	Watch, Discover, Think and Act	Asthmatic children in elementary and middle school.	Training simulation	Computer	Medical experts, Programmers/game designers, Educationalists	Journal article	No
Yawn et al. (2000) (42)	Air Academy: The Quest for Airtopia	School children aged 6–12 years	Adventure	Computer	Medical experts, Programmers/game designers, Educationalists, Psychologists	Journal article	No
Homer et al. (2000) (39)	Asthma control	Asthmatic children aged 3–12 years	Adventure, Platform	Computer	Medical experts, Programmers/game designers, Educationalists	Journal article	No
McPherson et al. (2002) (53), McPherson et al. (2006) (35)	The Asthma Files	Asthmatic children aged 7–14 years	Mini-games, Quiz	Computer	Medical experts, Programmers/game designers, Psychologists	Journal article	No
Huss et al. (2003) (40)	Wee Willie Wheezie	Asthmatic children aged 7–12 years	Platform	Computer	Medical expert	Journal article	No
Shames et al. (2004) (41)	Bronkie's Asthma Adventure	Asthmatic children aged 5–12 years	Adventure	Super Nintendo	Medical experts, Programmers/game designers, Educationalists	Journal article	No
Howell (2005) (32)	Quest for the code	Asthmatic and school children aged 8–11 years	Mini-games, Quiz, Adventure	Computer and web-based	Not specified	Thesis abstract	Yes (61)
Kaufman et al. (2011) (52)	Asthma: 1,2,3... Breath!	School teens 14–18 years	Board game	Web-based	Medical experts, Programmers/game designers, Educationalists	Journal article	Yes (62)
Schroeder (2012) (33)	Lungtropolis	Asthmatic children aged 5–10 years	Mini-games, Quiz, Puzzle	Web-based	Not specified	Conference abstract + Unpublished data	Yes (63)

**Table 2** Learning goals of Serious Games published in journal articles

Authors	Game	Pathophysiology of asthma	Recognition of triggers	Recognition of symptoms	Inhalation technique	Appropriate use of medications	Therapeutic compliance	Appropriate use of health services	Maintenance of normal activity (school attendance)
Rubin (1986) (36)	Asthma Command		X	X		X	X	X	X
Bartholomew (2000) (38), Shegog (2001) (37)	Watch, Discover, Think and Act		X	X		X	X	X	
Yawn (2000) (42)	Air Academy: The Quest for Airtopia	X	X	X		X	X		
Homer (2000) (39)	Asthma control		X	X				X	X
McPherson (2002) (53), McPherson (2006) (35)	The Asthma Files		X	X		X	X	X	
Huss (2003) (40)	Wee Willie Wheezie		X	X		X	X		
Shames (2004) (41)	Bronkie's Asthma Adventure		X	X	X		X		
Howell (2005) (32)	Quest for the code	X	X	X		X	X		
Kaufman (2011) (52)	Asthma: 1,2,3... Breathe!		X	X		X	X		
Schroeder (2013) (33)	Lungropolis	X	X	X		X	X	X	

played the different SGs enjoyed it, and for some games such as *Watch, Discover, Think and Act*, a majority of children found it more fun than their favorite computer game.

**Self-efficacy (Level 2a)**

Six studies representing six SGs evaluated the modification of self-efficacy induced by playing the games, with mixed results. In a pre/post-assessment, the children's self-efficacy improved after playing the game in two studies (33, 35) and remained similar in three others (36–38). In randomized controlled trials, one SG was associated with more self-efficacy improvement than in the control group (35), while there was no difference for five others (33, 36–39).

Two studies evaluated parent self-efficacy with mixed results. The first used a structured interview on asthma decision-making and behavioral capacity and showed no difference (38). The second found a higher level of parent self-efficacy in the intervention group (33).

**Knowledge acquisition (Level 2b)**

Knowledge improvement was the most highly studied outcome, evaluated in all the articles. In a pre/post-assessment, the children's knowledge improved after playing the game in all but one study (40). In randomized controlled trials, six SGs were associated with more knowledge improvement than in the control group (33, 35, 36, 39, 41, 42), while there was no difference for three others (37, 38, 40).

Parent knowledge was assessed in four studies. There was no difference in parent knowledge in the intervention group compared with the control group in three studies (33, 36, 39), and a significant difference in favor of parents in the intervention group in one study (41).

**Behavior change (Level 3)**

Three studies evaluated whether playing the SG led to a change in behavior in real life. In the study from Rubin et al. (36), behavior changes were evaluated through a questionnaire on how the child participated in a variety of behaviors related to the management of asthma. Children and parents in the experimental group scored significantly higher for the total score than controls.

Two other studies found no difference in the behavior of the children between the experimental and control groups (33, 39).

**Clinical outcomes (Level 4)**

Seven studies, each evaluating one SG, reported clinical outcomes.

Six studies reported acute visits (33, 35, 36, 38, 39, 41) and four reported hospital admissions due to asthma (33, 35, 36, 38), with no difference between the intervention and control groups in all these studies. In one of these studies, the difference in terms of hospital admissions became

**Table 3** Outcome data for identified trials

Authors	Study participants	Results	MERSQI Score (of 18)
Rubin et al. (1986) (36)	65 asthmatic children aged 7–12 years	K/SE: Higher improvement in children knowledge in the I group. No diff. for parent knowledge. No diff. in SE. B: Improved behavior related to the management of asthma in children. No difference for parent behavior (questionnaire) CO: No difference in the number of EV, hospital days, and school days absent.	18
Bartholomew et al. (2000) (38)	133 asthmatic children aged 7–17 years	K/SE: No difference between groups for child knowledge and SE. CO: No difference on symptoms, functional status, HA, and EV when results were not adjusted on covariates. Decreased HA number when adjusted on baseline, sex, and severity.	14.4
Yawn et al. (2000) (42)	87 children aged 9–10 years	K: Higher post-test knowledge scores in the I group than in the C group*	12.5
Homer et al. (2000) (39)	137 asthmatic children aged 3–12 years	K: Higher child knowledge in the I group; no difference in parent knowledge B: No difference on children behavior (questionnaire) CO: No difference in asthma severity, functional status, mean number of EV*, and acute office visits*	16.2
Shegog et al. (2001) (37)	71 asthmatic children aged 8–13	SE/K: No difference in self-efficacy, attribution, knowledge of asthma self-management (questionnaires)	13.5
McPherson et al. (2002) (53)	10 asthmatic children aged 7–14 years	K: Improvement pre/post on the Child Knowledge and Appraisal Questionnaire scores*	10
Huss et al. (2003) (40)	101 asthmatic children aged 7–12 years	K: No difference on the Pediatric Asthma Quality of Life Questionnaire, Air Control Questionnaire (on management strategy), asthma knowledge test (on signs, symptoms, and cause of asthma) CO: No difference on asthma symptoms*, lung function tests.	14.5
Shames et al. (2004) (41)	119 asthmatic children aged 5–12 years	K: Child knowledge: Higher score for the I group at W8 but not at W32 and W52. Parental knowledge: No difference at W8 but higher score for the I group at W32 and W52. CO: No difference in asthma symptoms, lung function, and acute visits.	15.6
McPherson et al. (2006) (35)	101 asthmatic children aged 7–14 years	K: Higher knowledge* scores in the I group at 1 month. SE: Higher CALOC (children's asthma locus of control) scores in the I group at 1 month. CO: No difference on lung function, EV, HA, and steroid use at one month. Improved CO on steroids use and school absence at the 6-month follow-up but not significant in the intention-to-treat analysis.	16.5
Kaufman (2011) (52)	133 teens aged 14–18 years	K: Significant improvement pre/post in knowledge*	10.5
Schroeder (2013) (33)	622 asthmatic children aged 5–10 years with their parents	K/SE: Higher knowledge scores in children, not in parents. Higher self-efficacy scores in parents, not in children B: No difference on medication adherence (questionnaire) CO: No difference in attitudes, behavior, asthma control, EV, and HA (data not shown for EV and HA)	11.5

I, intervention group; C, control group; SE, self-efficacy; K, knowledge; B, behavior; CO, clinical outcomes; EV, emergency visits; HA, hospital admissions; W, week.

A more detailed version of the table is presented in the Table S1.

Asterisks (\*) indicate the primary outcome for each study when defined by the authors.

significant in favor of the SG group after adjusting on pre-test assessment, sex, and severity (38).

Five studies evaluated patient symptoms (33, 38–41). None of these studies demonstrated a difference between the intervention and control groups.

Three studies included lung function tests (forced expiratory volume in the first second (FEV1) and peak expiratory flow (PEF)) (35, 40, 41). Game play was not associated with any

improvement, and there was no difference between the intervention and control groups.

### Discussion

This study was the first systematic review to evaluate the effectiveness of SGs in asthma education. Overall, most of the SGs included in this review increased children's knowledge of

asthma but failed to change behaviors and did not improve clinical outcomes.

The improvements in children's knowledge of asthma after playing various SGs were consistent with findings from other reviews and meta-analysis which studied the effectiveness of SGs used in the fields of medication adherence (43), alcohol and drug use (44), sexual health behaviors (45), and general health promotion (46). However, if basic knowledge of the disease and its management is necessary for behavior change, it is not sufficient (47). Regardless of the learning vector, limited (information only) patient education for adults with asthma is not associated with behavior change or improved clinical outcomes (48). In contrast, self-efficacy, which is strongly associated with behavior change (49), was rarely improved by the SGs included in this review. This in line with the results of other reviews which also reported unexpectedly small effects of SGs on self-efficacy (46, 50).

As a consequence, the few studies which assessed behavior change found little or no change. Changing behaviors through educational interventions is challenging (12, 51), and few SGs reached this objective (44–46). An explanation may be that, in several studies included in our review, the SG was not played enough to lead to significant changes. In three studies, the SG was played just once (40, 52, 53), and in two others, children were supposed to play freely at home but many did not (35, 41). Future studies of SGs may benefit from testing the dose effect.

Finally, there was no difference between the SG and control groups in terms of clinical outcomes, when results were not adjusted on covariates. Clinical outcomes are rarely evaluated in studies evaluating the effectiveness of SGs in the field of preventive medicine (43, 44, 46, 54, 55). The absence of difference observed in our review may be the consequence of the very limited impact that the SGs had on behavior change. However, two other explanations need to be discussed. A first explanation may be a lack of power. Several studies reported a trend toward an improvement of clinical outcomes in the intervention group relative to control groups, but all failed to reach statistical significance. A second explanation may be that these interventions were directed toward children, and not their parents. Parents are the primary care providers for their children with asthma, and educational intervention should also be directed toward them.

The SGs included in this systematic review were all computer- or web-based. Mobile phone applications may be more appropriate to educate children and adolescents: a survey among children and adolescents in Europe and Japan aged 9–16 years found that, on average, 69% used a mobile phone, which was a smartphone in two-thirds of the cases (57). The easy accessibility of serious games integrated in

mobile applications on smartphones may enhance their effectiveness as educational tools, but to our knowledge, the three educational games developed on mobile applications for children with asthma were not evaluated (58). This approach is nevertheless supported by the demonstration that an app which associated reminders and positive reinforcement, although not being a SG, was effective in improving adherence and asthma control among underserved minority adolescents (59).

Thus, this systematic review has three main implications for the development of future SGs in asthma education. First, because it was shown that patient education limited to the delivery of information was not sufficient to lead to behavior change and improved clinical outcomes (48), we think that future SGs should not be limited to the delivery of information through quizzes or mini-games. Rather, developers should consider involving more game genres such as management or training simulation which are more likely to promote behavior change. Second, all the actors involved in pediatric asthma management should be targeted by educational interventions and the parents of children with asthma should not be left aside. To our knowledge, no SG was developed specifically for these parents, while parent education through interactive media seems possible and effective (60). Third, the effectiveness of SGs may be enhanced if they were integrated in mobile applications, and such applications should also be scientifically evaluated.

This systematic review has some limitations. First, we included only games that were described in the scientific literature, while other games for asthma education were developed. Second, conclusions were drawn on a small number of game studies. However, the average MERSQI score was 13.9 of 18, reflecting the overall good evaluation methodology of these studies. This score is well above the average of 9.95 calculated by Reed et al. (27), who applied the scale to 210 medical education research studies. Third, in multicomponent interventions, the effect of the game component could not be analyzed separately from the other intervention components. Fourth, knowledge and self-efficacy measurements relied on questionnaires which were often developed by the authors of the studies, and were not reproducible across studies. Lastly, the heterogeneity in the design of the studies, which evaluated different types of SGs and involved different uses, different control groups, and different primary outcomes, precluded the performance of a meta-analysis.

In conclusion, SGs for asthma education allow children to effectively learn while having fun. However, no significant difference could be shown for clinical outcomes despite most of the trends favoring the SG group.

## References

1. Coffman JM, Cabana MD, Halpin HA, et al. Effects of asthma education on children's use of acute care services: a meta-analysis. *Pediatrics* 2008; **121**: 575–86.
2. Guevara JP, Wolf FM, Grum CM, et al. Effects of educational interventions for self



- management of asthma in children and adolescents: systematic review and meta-analysis. *BMJ* 2003; **326**: 1308–9.
3. Boyd M, Lasserson TJ, McKean MC, et al. Interventions for educating children who are at risk of asthma-related emergency department attendance. *Cochrane Database Syst Rev* 2009: CD001290.
  4. From the Global Strategy for Asthma Management and Prevention, Global Initiative for Asthma (GINA). GINA Report, Global Strategy for Asthma Management and Prevention. 2015. <http://www.ginasthma.org/> (accessed 7 September 2015).
  5. Haute Autorité de Santé. Education thérapeutique de l'enfant asthmatique - Synthèse des recommandations. 2002. [http://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/education\\_asthmatique\\_enfant\\_version\\_finale\\_du\\_22\\_10\\_02\\_synthese.pdf](http://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/education_asthmatique_enfant_version_finale_du_22_10_02_synthese.pdf) (accessed 9 September 2015).
  6. Direction générale de la santé. Etats des lieux des écoles de l'asthme. 2006. <http://www.sante.gouv.fr/pour-connaître-les-résultats-de-l'étude-sur-les-écoles-de-l-asthme.html> (accessed 1 November 2015).
  7. FitzGerald JM. Psychosocial barriers to asthma education. *Chest* 1994; **106**: 260S–3S.
  8. Yoon R, McKenzie DK, Miles DA, et al. Characteristics of attenders and non-attenders at an asthma education programme. *Thorax* 1991; **46**: 886–90.
  9. Bergeron B. *Developing Serious Games*, 1st edn. Hingham, Mass: Charles River Media, 2006.
  10. Freeman S, Eddy SL, McDonough M, et al. Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proc Natl Acad Sci* 2014; **111**: 8410–5.
  11. Prince M. Does active learning work? A review of the research. *J Eng Educ* 2004; **93**: 223–32.
  12. Davis D, O'Brien M, Freemantle N, et al. Impact of formal continuing medical education: do conferences, workshops, rounds, and other traditional continuing education activities change physician behavior or health care outcomes? *JAMA* 1999; **282**: 867–74.
  13. Kirschner PA, Sweller J, Clark RE. Why minimal guidance during instruction does not work: an analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educ Psychol* 2006; **41**: 75–86.
  14. Ericsson KA. Deliberate practice and the acquisition and maintenance of expert performance in medicine and related domains. *Acad Med* 2004; **79**: S70–81.
  15. Lieberman DA. Interactive video games for health promotion: effects on knowledge, self-efficacy, social support, and health. In: Street RL, Gold WR, TManning T eds. *Health Promotion and Interactive Technology: Theoretical Applications and Future Directions*. Mahwah, NJ: R.L. Street, W.R. Gold, & T. Manning, 1997.
  16. Papastergiou M. Exploring the potential of computer and video games for health and physical education: a literature review. *Comput Educ* 2009; **53**: 603–22.
  17. Lieberman DA. Management of chronic pediatric diseases with interactive health games: theory and research findings. *J Ambul Care Manage* 2001; **24**: 26–38.
  18. Clark NM, Mitchell HE, Rand CS. Effectiveness of educational and behavioral asthma interventions. *Pediatrics* 2009; **123** (Suppl 3): S185–92.
  19. Sanders DL, Aronsky D. Biomedical informatics applications for asthma care: a systematic review. *J Am Med Inform Assoc* 2006; **13**: 418–27.
  20. Nabors LA, Kockritz JL, Ludke RL, et al. Enhancing school-based asthma education efforts using computer-based education for children. *J Asthma* 2012; **49**: 209–12.
  21. Hieftje K, Edelman EJ, Camenga DR, et al. Electronic media-based health interventions promoting behavior change in youth: a systematic review. *JAMA Pediatr* 2013; **167**: 574–80.
  22. Parisod H, Pakarinen A, Kauhanen L, et al. Promoting children's health with digital games: a review of reviews. *Games Health J* 2014; **3**: 145–56.
  23. Shamseer L, Moher D, Clarke M, et al. Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015: elaboration and explanation. *BMJ* 2015; **349**: g7647.
  24. National Heart, Lung, and Blood Institute. National Asthma Education and Prevention Program (NAEPP). [https://www.nhlbi.nih.gov/about/org/naepp/naep\\_pd](https://www.nhlbi.nih.gov/about/org/naepp/naep_pd)
  25. Graafland M, Schraagen JM, Schijven MP. Systematic review of serious games for medical education and surgical skills training. *Br J Surg* 2012; **99**: 1322–30.
  26. Wang R, DeMaria S, Goldberg A, et al. A systematic review of serious games in training health care professionals. *Simul Healthc* 2015; **11**: 41–51.
  27. Reed DA, Cook DA, Beckman TJ, et al. Association between funding and quality of published medical education research. *JAMA* 2007; **298**: 1002–9.
  28. Kirkpatrick DL. *Evaluating Training Programs: The Four Levels*. San Francisco, Emeryville, CA: Berrett-Koehler, 1994.
  29. Wolf MJP. Genre and the video game. 2000. <http://www.robinlionheart.com/gamedev/genres.xhtml> (accessed 29 January 2016).
  30. Huss K, Winkelstein ML, Crosbie K, et al. 'Backpack adventures in asthma': Interactive multimedia computer game piques children's interest in asthma. In: *Journal of Allergy and Clinical Immunology*. Mosby, Inc 11830 Westline Industrial Dr, St Louis, MO 63146-3318 USA 2001: S71.
  31. Sadock R, Rubin D. Development of a computer-video educational game for management of asthma. In: *Clinical Research*. Slack Inc 6900 Groe RD, Thorofare, NJ 08086 1984: A228.
  32. Howell K. 'Quest for the Code': a study of a computer based education program for children with asthma. *Psychol - Diss* Published Online First: 1 January 2005. [http://surface.syr.edu/psy\\_etd/32](http://surface.syr.edu/psy_etd/32)
  33. Schroeder S, Swartz L, Gau J, Ary DV. A randomized, controlled trial of Lungropolis™: An internet asthma game for children and companion website for parents. Unpubl. Manuser.
  34. Mosley C, Dewhurst C, Molloy S, et al. What is the impact of structured resuscitation training on healthcare practitioners, their clients and the wider service? A BEME systematic review: BEME Guide No. 20. *Med Teach* 2012; **34**: e349–85.
  35. McPherson AC, Glazebrook C, Forster D, et al. A randomized, controlled trial of an interactive educational computer package for children with asthma. *Pediatrics* 2006; **117**: 1046–54.
  36. Rubin DH, Leventhal JM, Sadock RT, et al. Educational intervention by computer in childhood asthma: a randomized clinical trial testing the use of a new teaching intervention in childhood asthma. *Pediatrics* 1986; **77**: 1–10.
  37. Shegog R, Bartholomew LK, Parcel GS, et al. Impact of a computer-assisted education program on factors related to asthma self-management behavior. *J Am Med Inform Assoc* 2001; **8**: 49–61.
  38. Bartholomew LK, Gold RS, Parcel GS, et al. Watch, Discover, Think, and Act: evaluation of computer-assisted instruction to improve asthma self-management in inner-city children. *Patient Educ Couns* 2000; **39**: 269–80.
  39. Homer C, Susskind O, Alpert HR, et al. An evaluation of an innovative multimedia educational software program for asthma management: report of a randomized, controlled trial. *Pediatrics* 2000; **106**: 210–5.
  40. Huss K, Winkelstein M, Nanda J, et al. Computer game for inner-city children does

- not improve asthma outcomes. *J Pediatr Health Care* 2003; **17**: 72–8.
41. Shames RS, Sharek P, Mayer M, et al. Effectiveness of a multicomponent self-management program in at-risk, school-aged children with asthma. *Ann Allergy Asthma Immunol* 2004; **92**: 611–8.
  42. Yawn BP, Algatt-Bergstrom PJ, Yawn RA, et al. An in-school CD-ROM asthma education program. *J Sch Health* 2000; **70**: 153–9.
  43. Kato PM, Cole SW, Bradlyn AS, et al. A video game improves behavioral outcomes in adolescents and young adults with cancer: a randomized trial. *Pediatrics* 2008; **122**: e305–17.
  44. Rodriguez DM, Teesson M, Newton NC. A systematic review of computerised serious educational games about alcohol and other drugs for adolescents. *Drug Alcohol Rev* 2014; **33**: 129–35.
  45. DeSmet A, Shegog R, Van Ryckeghem D, et al. A systematic review and meta-analysis of interventions for sexual health promotion involving serious digital games. *Games Health J* 2015; **4**: 78–90.
  46. DeSmet A, Van Ryckeghem D, Compernelle S, et al. A meta-analysis of serious digital games for healthy lifestyle promotion. *Prev Med* 2014; **69C**: 95–107.
  47. Thompson D. Designing serious video games for health behavior change: current status and future directions. *J Diabetes Sci Technol* 2012; **6**: 807–11.
  48. Gibson PG, Powell H, Coughlan J, et al. Limited (information only) patient education programs for adults with asthma. *Cochrane Database Syst Rev* 2002: CD001005.
  49. Eldredge LKB, Parcel GS, Kok G et al. Planning Health Promotion Programs: An Intervention Mapping Approach. John Wiley & Sons 2011.
  50. Lustria MLA, Cortese J, Noar SM, et al. Computer-tailored health interventions delivered over the Web: review and analysis of key components. *Patient Educ Couns* 2009; **74**: 156–73.
  51. Goossens E, Fieuw S, Van Deyk K, et al. Effectiveness of structured education on knowledge and health behaviors in patients with congenital heart disease. *J Pediatr* 2015; **166**: 1370–6.e1.
  52. Kaufman D, Sauve L, Renaud L. Enhancing learning through an online secondary school educational game. *J Educ Comput Res* 2011; **44**: 409–28.
  53. McPherson A, Forster D, Glazebrook C, et al. The asthma files: evaluation of a multimedia package for children's asthma education. *Paediatr Nurs* 2002; **14**: 32–5.
  54. Primack BA, Carroll MV, McNamara M, et al. Role of video games in improving health-related outcomes: a systematic review. *Am J Prev Med* 2012; **42**: 630–8.
  55. Charlier N, Zupancic N, Fieuw S, et al. Serious games for improving knowledge and self-management in young people with chronic conditions: A systematic review and meta-analysis. *J Am Med Inform Assoc* 2016; **23**: 230–239.
  56. GSMA and the Mobile Society Research. Children's use of mobile phones - A special report. 2015. [http://www.gsma.com/publicpolicy/wp-content/uploads/2012/03/GSMA\\_Childrens\\_use\\_of\\_mobile\\_phones\\_2014.pdf](http://www.gsma.com/publicpolicy/wp-content/uploads/2012/03/GSMA_Childrens_use_of_mobile_phones_2014.pdf) (accessed 10 November 2016).
  57. Wu AC, Carpenter JF, Himes BE. Mobile health applications for asthma. *J Allergy Clin Immunol Pract* 2015; **3**: 446–8.e16.
  58. Mosnaim G, Li H, Martin M, et al. A tailored mobile health intervention to improve adherence and asthma control in minority adolescents. *J Allergy Clin Immunol Pract* 2015; **3**: 288–90.e1.
  59. Annaim A, Lassiter M, Viera AJ, et al. Interactive media for parental education on managing children chronic condition: a systematic review of the literature. *BMC Pediatr* 2015; **15**: 201.
  60. Quest for the code . <http://asthma.starlight.org/> (accessed: 15th March 2016). <http://asthma.starlight.org/> (accessed 14 March 2016).
  61. Asthme: 1, 2, 3... Respirez! Available at <http://www.savie.qc.ca/CarrefourJeux2/Site/Jeux/Parchesi/infoParchesi.Asp?NoPartie=270> (accessed: 15 March 2016). <http://www.savie.qc.ca/CarrefourJeux2/Site/Jeux/Parchesi/infoParchesi.Asp?NoPartie=270> (accessed 15 March 2016).
  62. Lungtropolis. Available at: <http://www.lungtropolis.com/> (accessed: 15th March 2016).

## Supporting Information

Additional Supporting Information may be found in the online version of this article:

**Appendix S1.** Description of the games.

**Table S1.** Detailed outcome data for identified trials.

## Supplemental Material

### A systematic review of serious games in asthma education

#### Description of the games

The first serious game for asthma education was developed in 1983. Asthma Command(1) was played on an Apple Macintosh II microcomputer. While crossing the screen and passing through a schematic representation of school, the player had to avoid color-coded triggers such as “flu” or “cold”. The objective was to spend as much time as possible with a controlled asthma to achieve a higher score. Despite limited graphics, this game could address many different learning goals (Table 2) and opened the way for serious games in patient education.

An updated version of Asthma Command(2) was developed 14 years later with new graphics. Asthma Control had evolved into an adventure game where Spacer, a superhero with asthma, had to keep his asthma under control while navigating six different indoor and outdoor environments. Some players’ options were similar to those of Asthma Command, while new options such as taking rescue medication during an asthma crisis or premedication before exercise were added.

Bronkie the Bronchiasaurus or *Bronkie’s Asthma Adventure* was a game released for the Super Nintendo in 1995(3). Its objective was to help two dinosaurs, Bronkie and Trakie, to find and assemble pieces of a wind machine which could clear the dust in the air resulting from a meteor struck. In this platform game, the player controlled Bronkie from a 2D perspective, avoiding allergens, fighting enemies, and answering questions about asthma.

Another game developed for children with asthma was Watch, Discover, Think and Act (WDTA)(4–6). Children had to use the 4-step metacognitive problem-solving process (Watch-Discover-Think-Act) to treat the asthma of their chosen character. In addition to managing their asthma, players collected items to liberate an air-cleaning machine from the menacing castle of the inventor turned bad guy, Dr Foulaire. WDTA was a simulation game with several specificities. It was tailored to the player who could choose the gender and the ethnicity of his character, and could enter his own symptoms and triggers. In addition, player chose coach role models who were about 16 years of age and more advanced than the characters to provide feedback and reinforcement. Finally, instructions were delivered by coaches orally because the game aimed at children with low socioeconomic status and literacy issues.

The Asthma Files was another computer program to teach asthmatic children about asthma and its management(7,8). Information was grouped into eight sections which address different aspects of asthma, from its triggers to its self-management. Children played “secret agents” who should explore all of the sections, finding out as much about asthma self-management as possible, by listening to voiceovers, completing quizzes, and engaging with interactive problem solving tasks.

Wee Willie Wheezie was developed by a medical doctor from Alberta (Canada), Dr Vincent Osundwa(9). This game required Willie, an asthmatic black boy, to navigate a home setting while avoiding various allergens and taking his medications. When a specified number of triggers were hit or medications were missed, Willie’s health line dropped to zero and an ambulance took him to the hospital. Feedback was provided by a virtual nurse in the hospital.

Quest for the Code was an educational online game for asthmatic children and teens(10). It challenged players to outsmart a team of asthma villains in order to win back the pieces of the secret code. Cuba Gooding, Jr. played the guide, Cyrus, and first led the player through a lung simulator to explain how the human respiratory system operates and how asthma and its triggers act upon the system. Then, players evolved through several mini-games, including cleaning mucus in the nose, answering multiple choice answers, and shooting mucus in an asteroids clone.

The most recent asthma education game included in the analysis was Lungtropolis, a web-based educational game for children aged five to 10 years(11). Created by the American Lung Association, the game puts children in the role of asthma control agents as they defend the city of Lungtropolis from the attacking mucus mob. The player plays a series of mini-games such as tetris-like or racing car games, and watch videos about asthma self-management. On the same website, parents can find information and resources about asthma.

In addition to the games designed for asthmatic children, two other games were directed towards school children. Air Academy: The Quest for Airtropia is an interactive computer-based game designed to be an asthma educational tool for school-based health education programs(12). The game is set in a science fiction environment with alien worlds where children complete missions to find clues that lead to AirTropia. A friendly guide, O2, helps children to navigate within the game. Each mission includes an introduction, the game, and a debriefing, and has a different learning objective (Table 2).

Asthme: 1, 2, 3... Respirez! (Asthma: 1,2,3...Breathe!) is an educational online game based on the popular board game Parchesi, still available(13,14). It was created to fit within the Canadian health education curriculum in grades 10 and 11, for 15-17 year-old students. Players move their pawns by throwing dice and answering questions related to the following topics: asthma prevention, asthma control, asthma triggers, and asthma and allergy.

Table S1: Detailed outcome data for identified trials.

Authors + Game	Study participants	Intervention and control	Results	MERSQI Score (of 18)
Rubin et al (1986)(1) Asthma Command	65 asthmatic children 7-12 years (32 I; 33 C)	I: Asthma command played 40 min + 5 min review of performance every 6 weeks for 10 months in an asthma clinic C: Computer game not related to asthma + 5-10 min of supplemental verbal asthma education	- K: Higher improvement in children knowledge in the I group (14.4 % v 2.0%, p<0.001). No difference for parent knowledge. - SE: No difference in SE - B: Improved behavior related to the management of asthma in children. (64.1/85 vs 57.8/85, p<0.008). No difference for parent behavior (questionnaire) - CO: No difference on the number of EV (Mean change (SD) I vs C: -2.8 (2.6) vs -0.7 (6.3), p=0.13), hospital days (+0.03 (1.6) vs -0.2 (4.0), p=0.78), and school days absent (1.1 (11.2) vs 1.6 (13.6), p=0.89).	18
Bartholomew et al (2000)(4) Watch, Discover, Think and Act	133 asthmatic children 7-17 years (70 I; 63 C)	I: WDTA 40 min following each healthcare visit for 8 months in an asthma clinic C: Traditional healthcare with scheduled clinic appointments.	- S: All children wanted to continue to use the program - K/SE: No difference between groups for child knowledge and SE. - CO: No difference on symptoms, functional status, HA and EV when results were not adjusted on covariates. Decreased HA number when adjusted on baseline, sex and severity (From [mean (SD)] 0.7(1.1) to 0.4 (0.8) in I vs 0.6 (1.0) to 0.5 (1.1) in C, p=0.01).	14.4
Yawn et al (2000)(12) Air Air Academy: The quest for Airtopia	87 children 9-10 years (Repartition not specified)	I1: Air Academy 20 min 3 times a week for 6 weeks in classroom. I2: Idem + 30 min asthma talk by investigator on W5. C: Usual health and science education program	- S: children enjoyed the game - K: Post-test knowledge scores higher in the I groups than in the C group (p=0.008) *	12.5
Homer et al (2000)(2) Asthma control	137 asthmatic children 3-12 years (76 I; 61 C)	I: Asthma control 45 min 3 times in a hospital based primary care clinic C: Asthma education book + non-educational computer game (Lemmings)	- S: All children in the I group enjoyed playing the game - K: Higher child knowledge in the I group (correct answers 70% vs 60%, p=0.002); No difference in parent knowledge - B: No difference on children behavior (questionnaire) - CO: No difference in asthma severity, functional status, mean number of EV* (I vs C: 0.86 vs 0.73) and acute office visits* (0.93 vs 0.77)	16.2
Shegog et al (2001)(6) Watch, Discover, Think and Act	71 asthmatic children 8-13 years (38 I; 33C)	I: WDTA played two times (day 0 and day 7, length of play not specified) in a university campus C: No game played	- S: All children in the intervention group wanted to continue to play - SE/K: No difference in self-efficacy, attribution, knowledge of asthma self-management (questionnaires)	13.5
McPherson et al (2002)(7) The Asthma Files	10 asthmatic children 7-14 years	One group pretest-post-test. The Asthma Files was played once (length of play not specified)	- S: Children enjoyed using the package - K: Improvement pre/post in median score of the Child Knowledge and Appraisal Questionnaire from 2.5 to 5.5 (p<0.01)*	10
Huss et al (2003)(9) Wee Willie Wheezie	101 asthmatic children 7-12 years (56 I; 45 C)	I: Computer game "Magic School Bus" played for 20 min followed by "Wee Willie Wheezie" played for 20 min at home, once. C: "Magic School Bus" played for 20 min.	- S: Enjoyment of the program was rated high - K: No difference on the Pediatric Asthma Quality of Life Questionnaire, Air Control Questionnaire (on management strategy), Asthma knowledge test (on signs, symptoms, and cause of asthma) - CO: No difference on asthma symptoms*, lung function tests.	14.5

Table S1 (continued)

Authors + Game	Study participants	Intervention and control	Results	MERSQI Score (of 18)
Shames et al (2004)(15) <i>Bronkie's Asthma Adventure</i>	119 asthmatic children 5-12 years of low economic status (59 I; 60 C)	I: Assignment to an asthma case manager + Bronkie's asthma adventure played freely at home for 12 months. + 2 visits to a pediatric allergist + access to a hotline staffed by pediatric nurses. C: usual care + nonviolent Super Nintendo video game	- K: Child knowledge: Higher score for the I group at W8 but not at W32 and W52 Parental knowledge: No difference at 8 but higher score for the I group at W32 and W52. - CO: No difference in asthma symptoms, lung function. No difference in acute visits (mean adjusted difference on sex and baseline value (IC95%): -0.48 (-1.12 to 0.17) at W52)	15.6
McPherson et al (2006)(8) <i>The Asthma Files</i>	101 asthmatic children 7-14 years (50 I; 51 C)	I: Asthma information booklet + Asthma files computer game played freely at home for 6 months. C: Asthma information booklet alone.	- K: Higher knowledge* scores in the I group at 1 month. - SE: Higher CALOC (Children's asthma locus of control) scores in the I group at 1 month. - CO: No difference on lung function, HA, and steroid use at one month. Improved CO on steroids use and school absence at the 6-month follow up not significant in the intention-to-treat analysis. No significant difference in % of children who required EV (I: 18.2% vs C:21.8%) or HA (2.3% vs 2.2%)	16.5
Kaufman (2011)(14) <i>Asthma: 1,2,3 Breath!</i>	133 teens 14-18 years	One group pretest-post-test. Game played once 60 min at school.	- K: Significant improvement pre/post in knowledge*	10.5
Schroeder (2013)(11) <i>Lungtropolis</i>	622 asthmatic children 5-10 years with their parents (I: 311; C 311)	I: Lungtropolis kids asthma game + parent website accessed freely at home for 45 days C: Electronic asthma information booklet	- S: Children liked the game - SE: Improved self-efficacy in parents, not in children - K: Improved knowledge in children, not in parents - B: No difference on medication adherence (questionnaire) - CO: No difference in attitudes, behavior, asthma control, EV and HA (data not shown for EV and HA)	11.5

I: intervention group; C: control group. S: Satisfaction; SE: self-efficacy; K: Knowledge; B: Behavior; CO: Clinical outcomes.

FEV1: forced expiratory volume in one second. MCQ: Multiple choice questionnaire. PEF: peak expiratory flow. EV: emergency visits. IC95%: 95% confidence interval. HA: hospital admissions. W: week. Asterixis (\*) indicate the primary outcome for each study when defined by the authors.

## References

1. Rubin DH, Leventhal JM, Sadock RT et al. Educational intervention by computer in childhood asthma: a randomized clinical trial testing the use of a new teaching intervention in childhood asthma. *Pediatrics* 1986: 77:1–10.
2. Homer C, Susskind O, Alpert HR et al. An evaluation of an innovative multimedia educational software program for asthma management: report of a randomized, controlled trial. *Pediatrics* 2000: 106:210–215.
3. Lieberman DA. Management of chronic pediatric diseases with interactive health games: Theory and research findings. *J Ambulatory Care Manage* 2001: 24:26–38.
4. Bartholomew LK, Gold RS, Parcel GS et al. Watch, Discover, Think, and Act: evaluation of computer-assisted instruction to improve asthma self-management in inner-city children. *Patient Educ Couns* 2000: 39:269–280.
5. Bartholomew LK, Shegog R, Parcel GS et al. Watch, Discover, Think, and Act: a model for patient education program development. *Patient Educ Couns* 2000: 39:253–268.
6. Shegog R, Bartholomew LK, Parcel GS et al. Impact of a computer-assisted education program on factors related to asthma self-management behavior. *J Am Med Inform Assoc JAMIA* 2001: 8:49–61.
7. McPherson A, Forster D, Glazebrook C et al. The asthma files: evaluation of a multimedia package for children's asthma education. *Paediatr Nurs* 2002: 14:32–35.
8. McPherson AC, Glazebrook C, Forster D et al. A randomized, controlled trial of an interactive educational computer package for children with asthma. *Pediatrics* 2006: 117:1046–1054.
9. Huss K, Winkelstein M, Nanda J et al. Computer game for inner-city children does not improve asthma outcomes. *J Pediatr Health Care Off Publ Natl Assoc Pediatr Nurse Assoc Pract* 2003: 17:72–78.
10. Howell K. 'Quest for the Code': A study of a computer based education program for children with asthma. *Psychol - Diss Published Online First*: 1 January 2005. [http://surface.syr.edu/psy\\_etd/32](http://surface.syr.edu/psy_etd/32)
11. Schroeder, Susan; Swartz, Lynne; Gau, Jeff; Ary, Dennis V. A randomized, controlled trial of Lungropolis™: An internet asthma game for children and companion website for parents. Unpubl. Manusc.
12. Yawn BP, Algatt-Bergstrom PJ, Yawn RA et al. An in-school CD-ROM asthma education program. *J Sch Health* 2000: 70:153–159.
13. Asthme: 1, 2, 3... Respirez! Available at <http://www.savie.qc.ca/CarrefourJeux2/Site/Jeux/Parchesi/infoParchesi.Asp?NoPartie=270> (Accessed: 15th March 2016).
14. Kaufman D, Sauve L, Renaud L. Enhancing Learning through an Online Secondary School Educational Game. *J Educ Comput Res* 2011: 44:409–428.
15. Shames RS, Sharek P, Mayer M et al. Effectiveness of a multicomponent self-management program in at-risk, school-aged children with asthma. *Ann Allergy Asthma Immunol Off Publ Am Coll Allergy Asthma Immunol* 2004: 92:611–618.

## **2. Deuxième et troisième étapes : caractérisation des futurs utilisateurs du serious game et préparation du simulation game à partir de la simulation physique.**

La revue systématique de la littérature menée n'ayant retrouvé aucun serious game à destination des parents d'enfants avec asthme, l'étape suivante a été de déterminer si les parents étaient prêts à utiliser de tels outils. Comme discuté dans l'introduction, il existe un rationnel fort à l'utilisation de serious games pour l'apprentissage. Cependant, l'absence de serious game développé à destination des parents posait la question de l'acceptation d'une telle solution numérique dans cette population. Nous avons donc mené une enquête auprès de 108 parents d'enfants avec asthme (dont trois-quarts de mères) se présentant soit aux explorations fonctionnelles respiratoires, soit en consultation, soit en hospitalisation, sur la période de septembre à décembre 2015. Cette enquête avait également pour but de mieux caractériser les futurs utilisateurs du potentiel serious game que nous étions en train de concevoir, ainsi que leurs attentes quant à ce serious game.

Les résultats de cette enquête ont dû être présentés de façon très synthétique dans l'article présenté ci-dessous, et se retrouvent essentiellement dans les tables présentées dans le supplément associé.

Cette enquête a révélé que 88% des parents interrogés jugeaient que les serious games représentaient des outils intéressants pour éduquer les patients et leurs familles sur leur maladie et leurs traitements. Cette population était donc prête à utiliser de tels outils.

Une majorité de parents (60%) avaient l'habitude de jouer aux jeux vidéo. Un quart de ces parents jouaient quotidiennement. Concernant le support utilisé, près de 80% des parents jouaient sur smartphone, 55% sur tablette numérique, et moins de 40% sur ordinateur. Ces données nous ont permis de cibler les smartphones et tablettes comme principaux supports du serious game.

La principale qualité du futur serious game, aux yeux des parents, était d'être utile. Un environnement réaliste en 3D avec une vue à la troisième personne représentait le modèle d'interface graphique préféré par les parents. Ces informations ont été déterminantes pour la conception du serious game, dans la mesure où elles nous ont conduits à faire le choix d'un « simulation game », qui, comme expliqué dans l'introduction, privilégie un environnement virtuel réaliste et des interactions dans le jeu proches de celles observées dans la réalité.

L'étape suivante, une fois que le choix d'un « simulation game » fut actée, a utilisé une approche originale. L'idée a été de préparer le développement de cette simulation virtuelle en recourant à la simulation physique sur mannequin haute-fidélité. Nous avons donc demandé à 35 parents d'enfants de moins de 6 ans avec asthme de travailler sur un mannequin pédiatrique haute-fidélité reproduisant une exacerbation d'asthme avec trois objectifs :

- Identifier les erreurs fréquemment commises par les parents afin de définir au mieux les objectifs pédagogiques du serious game.
- Lister les erreurs fréquemment commises par les parents afin de les intégrer comme erreurs potentielles au sein des scénarios du serious game.
- Evaluer l'efficacité pédagogique de scénarios d'exacerbation d'asthme utilisés avant leur transposition dans un environnement virtuel.



Les résultats de cette étude ont eu pour conséquences :

- L'ajout dans les choix offerts aux parents lors de l'utilisation du « simulation game » de différentes actions qui n'auraient pas pu être anticipées autrement, telle que « laver les yeux ».
- L'ajout du plan d'action en cas de crise de l'enfant dans une interface au sein du simulation game, dans la mesure où la séquence d'actions à réaliser était rarement respectée par les parents.
- Une réflexion sur l'utilisation de différents mouvements gestuels sur smartphone et tablette pouvant reproduire de façon la plus réaliste possible les différentes étapes de l'administration de thérapies inhalées, qui reste non maîtrisée par beaucoup de parents.
- Une réflexion sur la meilleure manière d'utiliser le « simulation game » lorsque le temps est limité, notamment en matière de transfert des apprentissages. Cette réflexion a donné naissance à l'étude réalisée ensuite, intitulée « Fixed versus variable practice for teaching medical students the management of pediatric asthma exacerbations using simulation », présentée à la section suivante.

L'article présenté ci-dessous, intitulé « Toward virtual simulation for parents of children with asthma » et publié dans le Journal of Allergy and Clinical Immunology : In Practice, reprend sous forme synthétique les résultats de l'enquête réalisée auprès des parents d'enfants avec asthme, et détaille l'étude de simulation physique menée pour préparer le développement du simulation game.

## Toward virtual simulation for parents of children with asthma

Drummond, D., Fabbro, E., Tesnière, A., & Hadchouel, A. (2017).

The Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice, 5(6), 1779-1781

### Toward virtual simulation for parents of children with asthma

David Drummond, MD<sup>a,b</sup>, Eleonora Fabbro, MSc<sup>a</sup>,  
Antoine Tesnière, MD, PhD<sup>a,c</sup>, and  
Alice Hadchouel, MD, PhD<sup>a,b</sup>



#### Clinical Implications

- Most parents fail to manage properly the asthma exacerbations of their child. We used simulation training with a pediatric high-fidelity manikin to prepare the development of a simulation game aimed at parents of children with asthma.

#### TO THE EDITOR:

Asthma is the most common chronic disease in children worldwide and represents a major burden on health care systems.<sup>1</sup> Asthma education has been shown to be effective for decreasing the number of emergency department visits and hospital admissions and is recommended by international guidelines.<sup>2</sup> However, attendance rates for asthma education programs are low.<sup>3</sup> The barriers to attendance identified include difficulty getting time off work, travel costs, psychological factors, and resistance to this approach on the part of the physician. New approaches are required to overcome these barriers.

Serious Games (SGs) constitute one such approach. Bergeron defined SGs as interactive computer applications, with or without a hardware component, that (1) have challenging goals, (2) are fun to play and/or engaging, (3) incorporate concepts of scoring, and (4) impart skills, knowledge, or attitudes that the user can apply in real-life situations.<sup>4</sup> These games are accessible anywhere at any time, and can therefore reach many more patients than traditional asthma education programs.

A recent systematic review of SGs in asthma education revealed mixed results.<sup>5</sup> SGs were found to improve children's knowledge about asthma, but failed to change behavior or affect clinical outcomes.<sup>5</sup> Interestingly, all the SGs evaluated were aimed at children rather than at their parents. However, parents are typically the primary care providers for children with asthma, and they report a lack of knowledge and education regarding the management of their child's disease.<sup>6</sup> Most parents fail to recognize the first symptoms of asthma exacerbation (AE) in their child, use the drugs required to treat the exacerbation incorrectly, and delay seeking medical advice.<sup>7</sup> An SG for parents might therefore be an effective approach to teaching them how to manage AE at home, leading to possible improvements in the asthma-related use of health care facilities by children.

We describe here 2 preliminary studies conducted with parents to prepare the development of this SG.

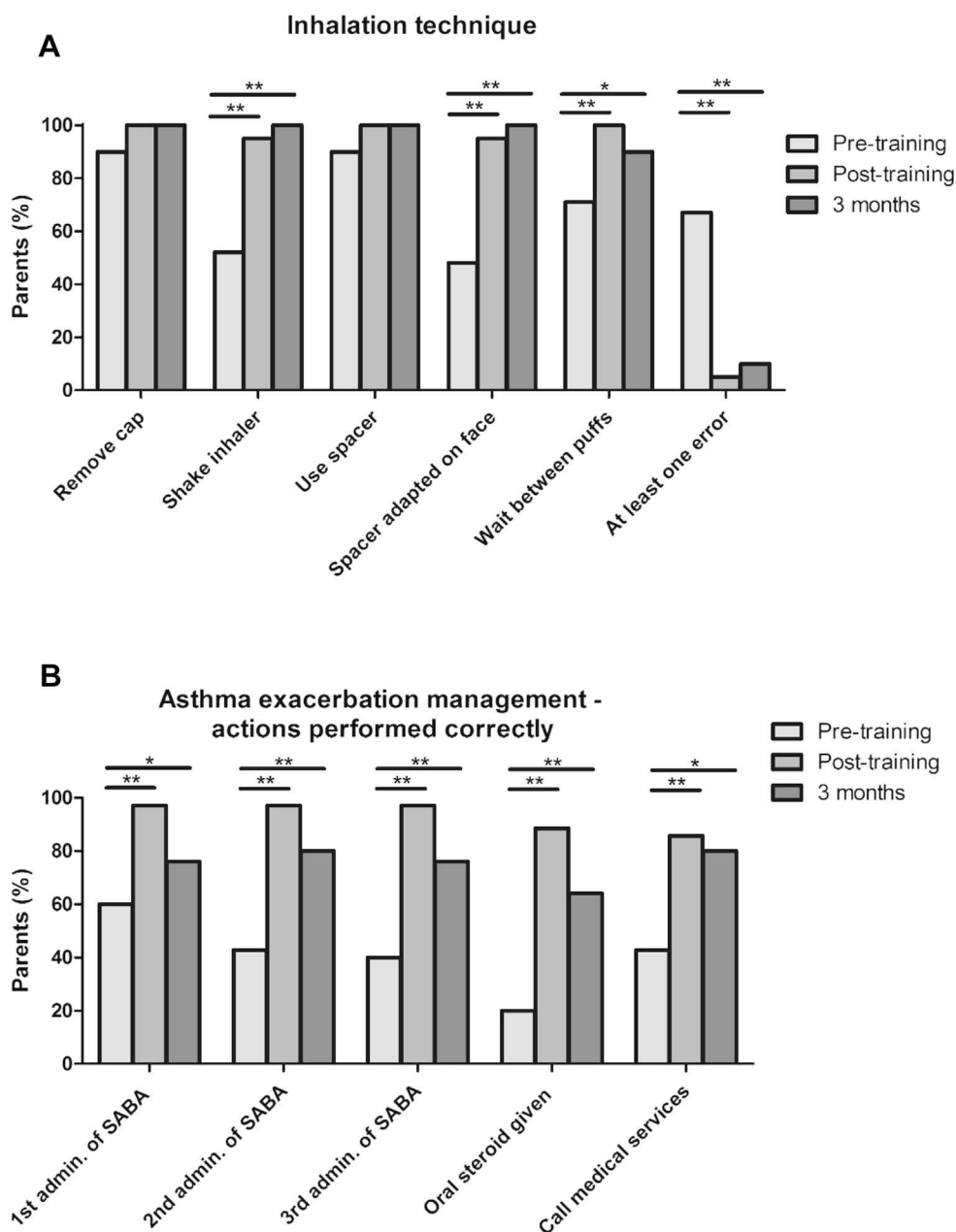
The first study explored parents' experience with video games and attitudes to new types of media, technology, and SGs through a survey. The aim of this survey was to determine whether the use of this medium would be acceptable to the end users (the parents of children with asthma). Methods and

complete results of this study are described in this article's Online Repository at [www.jaci-inpractice.org](http://www.jaci-inpractice.org). Briefly, the 108 parents (for characteristics, see Table E1 in this article's Online Repository at [www.jaci-inpractice.org](http://www.jaci-inpractice.org)) who responded were very positive about the potential role of new media, technology, and SGs in the education of patients and their families: 94% agreed that technology could enhance the education of patients and their families, and 88% agreed that SGs were of value for the education of patients and their families (see Table E2 in this article's Online Repository at [www.jaci-inpractice.org](http://www.jaci-inpractice.org)). Most parents insisted that SG in the field of patient education should be useful, and that they would prefer a realistic 3-dimensional environment (see Table E3 in this article's Online Repository at [www.jaci-inpractice.org](http://www.jaci-inpractice.org)). These results led us to consider a simulation game to teach parents how to manage AE at home.

To this end, we asked parents to participate in sessions in which they had to deal with a simulated AE on a pediatric high-fidelity manikin. To our knowledge, this is the first time that simulation with a high-fidelity manikin has been used and evaluated with the parents of children with asthma. This study involved 25 parents during 3 months. Their characteristics are presented in Table E4 in this article's Online Repository at [www.jaci-inpractice.org](http://www.jaci-inpractice.org). It enabled us to identify the learning objectives of the SG. The evaluation of parents' skills during a simulated AE that required the administration of short-acting beta-agonist 3 times and oral steroids showed that most of our participants were not capable of respecting the sequence of treatments prescribed, or of administering the treatments at the correct dose, with the correct technique (Figure 1). This led us to consider (1) the addition of an electronic Written Asthma Action Plan integrated into the simulation game, to encourage the parents to follow the sequence of actions prescribed, and (2) the addition of different commands in the game, such as up-down movements to shake the inhaler, to teach parents the correct inhalation technique.

This study also revealed several unexpected types of parental behavior (see Table E5 in this article's Online Repository at [www.jaci-inpractice.org](http://www.jaci-inpractice.org)). The integration of these types of behavior into the simulation game will allow parents to have a wider range of actions available to them in the game, with more opportunities to make mistakes. In accordance with the principles of experience-based learning, parents will learn not only from the actions they perform correctly but also, and more importantly, from their errors.

Finally, we were also able to evaluate the effectiveness of learning with a scenario of moderate AE designed for the SG. The training combined repeated simulation in this scenario with short debriefings, and was associated with improvements in knowledge scores (median score [interquartile range] before, after, 3 months after training: 5 [3-6], 6 [5-7], 6 [5-7];  $P < .01$  for comparison before vs after, before vs 3 months), self-efficacy (see Table E6 in this article's Online Repository at [www.jaci-inpractice.org](http://www.jaci-inpractice.org)), and skills (Figure 1), which persisted 3 months later. All these results are important, because their implications are different: good knowledge and skills are required for the correct management of an AE, whereas high levels of self-efficacy are an important determinant of behavior and are associated with



**FIGURE 1.** Parents' performance in a simulation of AE in their child before, after, and 3 months after the training. **A**, Compliance of parents with the inhalation technique, for the 17 parents using a spacer. **B**, Actions correctly performed in terms of dose and timing, by the 25 parents included. *Admin*, Administration; *SABA*, short-acting beta-agonist. \* $P < .05$ ; \*\* $P < .001$ .

the implementation in real life of the management practices learnt.<sup>8</sup>

One area of concern was the contrast between the excellent skills observed at 3 months in the training scenario and the poor performance of parents faced with a new, rapidly worsening AE scenario. It led us to consider new studies to enhance the transfer of skills from one situation to another.

In conclusion, this study illustrates how classical simulation with high-fidelity manikins can be used to prepare development of simulation games. The main limitation of this pilot study was the absence of outcome data related to efficacy in real life. A randomized controlled trial involving parents and their

children will evaluate the effectiveness of our simulation game to prevent asthma-related health care use.

<sup>a</sup>Ilumens Simulation Department, Paris Descartes University, Paris, France

<sup>b</sup>Pediatric Pulmonology, Necker-Enfants Malades Hospital, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris, Paris, France

<sup>c</sup>Surgical Intensive Care Unit, Cochin Hospital, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris, Paris, France

D.D. received a grant from Assistance Publique – Hôpitaux de Paris (AP-HP, Année Médaille) for the first year of his PhD.

Conflicts of interest: D. Drummond has received research support from Année Médaille (Assistance Publique - Hôpitaux de Paris). The rest of the authors declare that they have no relevant conflicts of interest.

Received for publication December 10, 2016; revised March 12, 2017; accepted for publication April 4, 2017.

Available online May 18, 2017.

Corresponding author: David Drummond, MD, Ilumens Simulation Dept, Paris Descartes University, 45 rue des Saint Pères, 75006 Paris, France. E-mail: david.drummond@ilumens.org.

2213-2198

© 2017 American Academy of Allergy, Asthma & Immunology  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jaip.2017.04.017>

#### REFERENCES

1. WHO Asthma. World Health Organization. Available from: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs307/en/>. Accessed February 6, 2016.
2. From the Global Strategy for Asthma Management and Prevention, Global Initiative for Asthma (GINA). GINA Report, Global Strategy for Asthma Management and Prevention. Available from: <http://www.ginasthma.org/>; April 2015. Accessed September 7, 2015.
3. Direction générale de la santé. Etats des lieux des écoles de l'asthme. Available from: <http://www.sante.gouv.fr/pour-connaître-les-résultats-de-l'étude-sur-les-écoles-de-l-asthme.html>. Accessed November 1, 2015.
4. Bergeron B. Developing serious games. Hingham, Mass: Charles River Media; 2006.
5. Drummond D, Monnier D, Tesnière A, Hadchouel A. A systematic review of serious games in asthma education. *Pediatr Allergy Immunol* 2017;28:257-65.
6. Mansour ME, Lanphear BP, DeWitt TG. Barriers to asthma care in urban children: parent perspectives. *Pediatrics* 2000;106:512-9.
7. Julian V, Pereira B, Labbé A, Amat F. [Characteristics of admissions to pediatric emergency departments for exacerbations of asthma: assessment and prospects for improving prehospital care]. *Rev Mal Respir* 2014;31:13-20.
8. Thompson D. Designing serious video games for health behavior change: current status and future directions. *J Diabetes Sci Technol* 2012;6:807-11.

**ONLINE REPOSITORY****STUDY 1: PARENTAL ATTITUDES TOWARD SGS FOR ASTHMA EDUCATION****Methods**

The study design was based on the use of an anonymous, cross-sectional, paper-based survey. Research was conducted in the pediatric pulmonology department of Necker Hospital, a pediatric tertiary care hospital (Paris, France), and was approved by the institutional review board of the French Pediatricians Society (CER\_SFP 2015-003). The participants were the parents of children with asthma hospitalized for AE or scheduled lung function tests. Data were collected from September to December 2015. The questionnaire used was adapted from previous studies on medical and nursing students' attitudes toward video games.<sup>E1,E2</sup> The survey data were input into Microsoft Excel (Redmond, Wash) and analyzed with SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) statistical software.

**STUDY 2: TECHNOLOGY-ENHANCED SIMULATION TO PREPARE THE DEVELOPMENT OF AN SG FOR PARENTS OF CHILDREN WITH ASTHMA****Methods**

**Population.** This study was approved by the appropriate institutional review board (CPP Ile de France 5; no. 15087) and was conducted between December 2015 and July 2016. The participants were parents recruited at the pediatric pulmonology department of Necker Hospital (Paris, France) during the hospitalization of their child for AE. The high-fidelity manikin used in the program represented an infant. We therefore chose not to include the parents of children with asthma older than 5 years.

**Study design.** The parents were invited to participate in the study individually. First, the parents were presented the pediatric high-fidelity manikin and its environment. The high-fidelity manikin used was a SimBaby (Laerdal, Stavanger, Norway). Parents were told that the SimBaby was the same age as their own child. The environment included the real treatment of the child brought by his or her parent (asthma reliever = short-acting beta-agonist [SABA], asthma spacer, controller medications, oral steroids, Written Asthma Action Plan, health record), completed by a real phone, acetaminophen syrup, a thermometer, 2 glasses (1 filled with water, 1 empty), a spoon, some paper tissues, and a hydro alcoholic solution for hand washing. The parents were asked whether they noticed something missing that they usually used when managing an AE of their child at home. If need be, the investigators tried to find the missing items before starting.

Then, the parents were told that they had to manage a simulated AE of their child as if it occurred at home. The situation was presented as follows: they heard their child coughing during the night around 4 am, and found their child in AE in his or her bed. Because the evaluation was limited to 10 minutes, it was not possible for them to wait 20 minutes after giving SABA as required by Written Asthma Action Plans. Thus, they were explained that during the waiting times, they could accelerate the time by sitting on a special chair. Once seated, the investigator

converted the seconds into minutes and announced to parents every 5 seconds that 5, 10, 15, etc minutes went by until they stood up to perform the next action.

The case was a moderate AE that evolved toward a severe one because not responding to 3 administrations of SABA spaced by 20 minutes each.

At the end of the evaluation described in the previous part, parents were asked to complete a multiple-choice questionnaire on their knowledge about asthma. Following this first evaluation, the participants alternated a hands-on session on the repeated scenario of AE for 10 minutes and short terminal debriefings corresponding to directive feedback for 10 more minutes. An exception was made for the second run. Participants with a score above 6 out of 12 on the Asthma Exacerbation Checklist during the first evaluation were provided terminal debriefing as usual, but participants with a score lower than 6 were given concurrent feedback with an instructor (D.D., pediatric pulmonologist and simulation instructor for 3 years) present in the same room to help them to manage the case properly. Thus, parents who experienced important difficulties during the management of the exacerbation (reflected by a score lower than 6), were not left alone during the second hands-on session.

At the end of the session, participants again completed the questionnaire on self-efficacy and knowledge of asthma.

Three months after this first session, participants were asked to come back for a second session that included the completion of the questionnaire on self-efficacy, 2 simulated scenarios, and the questionnaire on knowledge of asthma. The first scenario was exactly the same as during the first session, a moderate AE that did not respond to SABAs. The second one was a "transfer scenario" that corresponded to an AE rapidly worsening after the second administration of SABA, with an increased respiratory rate to 66/min, abdominal breathing, cyanosis, and grunting. Its objective was to assess whether the parents would strictly repeat the same management despite the different evolution of the exacerbation, or modulate their management to the actual symptoms of the child.

**Outcomes and data collection.** All the actions performed by parents during this evaluation were recorded and analyzed to identify the learning objectives on the one hand, and the unexpected behaviors that need to be integrated in the future simulation game for enhanced realism on the other hand.

The effectiveness of the training was assessed by considering 3 outcomes: knowledge, self-efficacy, and skills, evaluated before, just after, and 3 months after training. Knowledge was assessed with a questionnaire custom-designed for the study; self-efficacy was assessed with the validated "Parent Asthma Management Self-Efficacy questionnaire,"<sup>E3</sup> and skills were assessed on the video records, with all the actions performed by parents checked.

Questionnaires were filled on Google Forms (Google, Mountain View, Calif) and exported in Microsoft Excel (Microsoft, Redmond, Wash). Data were analyzed with Graph-Pad Prism v5.03 (La Jolla, Calif). Results are presented as median values and interquartile ranges. A Wilcoxon signed rank test was used to compare the knowledge and self-efficacy scores at the different end points. A MacNemar test was used to compare the percentage of parents who correctly performed each action expected during the scenario at the different end points.

**TABLE E1.** Participants' demographic characteristics

Characteristic	Total	Male	Female	P value
Age (y), mean ± SD	40.0 ± 6.7	41.9 ± 5.0	39.4 ± 7.1	NS
Ever played video game	73 (71)	20 (80)	53 (68)	NS
Device owned				
Smartphone	93 (91)	23 (92)	70 (90)	NS
Tablet computer	78 (76)	18 (72)	60 (77)	NS
Computer	92 (89)	24 (96)	68 (87)	NS
Game platform	42 (41)	10 (40)	32 (41)	NS
Sony PS2/PS3/PS4	9 (9)	3 (12)	6 (8)	NS
Microsoft Xbox	10 (10)	3 (12)	7 (9)	NS
Nintendo DS/Wii	15 (15)	4 (16)	11 (14)	NS
No answer	15 (15)	2 (8)	13 (17)	NS
Social network used				
Facebook	57 (56)	12 (48)	45 (58)	NS
Instagram	15 (15)	2 (8)	13 (17)	NS
Twitter	10 (10)	4 (16)	6 (8)	NS
Snapchat	1 (1)	0	1 (1)	NS

NS, Not significant.

Values are n (%) unless otherwise indicated.

**TABLE E2.** Parents' attitudes toward new media for patient education

Attitude	Total agree	M	F	Total disagree	M	F	P value
I think that technology can enhance education of patients and their families (n = 103)*	97 (94)	25 (100)	72 (92)	3 (3)	0	3 (3)	.57
I think that serious games can have educational value in the education of patients and their families (n = 103)†	91 (88)	24 (96)	67 (86)	7 (7)	1 (4)	6 (3)	.67

F, Females; M, males.

\*Three patients answered "neutral" to the proposition.

†Five patients answered "neutral" to the proposition.

**TABLE E3.** Parents' expectations about SGs for asthma education

Expectation	Mean $\pm$ SD			P value
	Total	Male	Female	
On a scale from 0 to 5, what are the features of the serious game that seem important to you? (n = 103/25/78)				
It should be useful; I should improve my skills	4.4 $\pm$ 1.1	4.1 $\pm$ 1.2	4.5 $\pm$ 1.0	NS
It should concern a subject that matters, such as the asthma of my child	4.2 $\pm$ 1.3	4.2 $\pm$ 1.3	4.3 $\pm$ 1.3	NS
It should allow me to meet other parents with the same worries	2.3 $\pm$ 1.6	2.5 $\pm$ 1.6	2.2 $\pm$ 1.6	NS
It should allow me to play together with my child	4.1 $\pm$ 1.3	4.1 $\pm$ 1.3	4.2 $\pm$ 1.3	NS
It should be fun	4.0 $\pm$ 1.4	3.9 $\pm$ 1.4	4.0 $\pm$ 1.4	NS
It should be original, new, innovative	4.0 $\pm$ 1.4	3.8 $\pm$ 1.4	4.0 $\pm$ 1.3	NS
It should be tailored to my child (age, treatments)	4.1 $\pm$ 1.3	3.8 $\pm$ 1.7	4.3 $\pm$ 1.2	NS
It should be available for free	4.3 $\pm$ 1.1	4.3 $\pm$ 1.2	4.3 $\pm$ 1.1	NS
<hr/>				
Expectation	n (%)			P value
	Total	Male	Female	
You would not play a serious game designed for patient education if... (n = 93/22/71)*, †				
The game was useless	77 (83)	14 (64)	63 (89)	.02
The game was boring	67 (72)	15 (68)	52 (73)	NS
The graphics of the game were of poor quality	51 (55)	13 (59)	38 (54)	NS
The scenario of the game was of poor quality	49 (53)	9 (41)	40 (56)	NS
You had to pay to play the game	49 (53)	12 (55)	37 (52)	NS
Would you prefer, for the serious game... (n = 73/17/56) †				
A first-person view?	25 (34)	7 (41)	18 (23)	NS
A third-person view with an avatar?	48 (66)	10 (14)	38 (49)	
Would you prefer, for the serious game... (n = 76/15/61) †				
A realistic 3D environment	54 (71)	8 (53)	46 (75)	NS
A fantasy 3D environment	17 (22)	5 (33)	12 (20)	
A 2D environment	5 (7)	2 (14)	3 (5)	

NS, Not significant; 2D, 2-dimensional; 3D, 3-dimensional.

\*Multiples responses were permitted, so percentages do not add up to 100%.

†Several respondents did not answer the question.



**TABLE E4.** Characteristics of parents who participated in the physical simulation assessment

Parents' characteristics (n = 25)	n (%)
<b>Sex</b>	
Female	13 (52)
Male	12 (48)
<b>Graduation level</b>	
Less than high school	4 (16)
French high-school degree	1 (4)
French high-school degree + 2 y (eg, 2-y technical degree)	4 (16)
French high-school degree + 3/4 y (eg, bachelor)	6 (24)
French high-school degree + 5 y (eg, master)	9 (36)
French high-school degree + 7 y or more (eg, PhD)	1 (4)
<b>Ownership of a WAAP</b>	
WAAP already used*	16 (64)
WAAP not yet used*	8 (36)
<b>Oral explanations of the WAAP by physician*</b>	
Parent with asthma	21 (84)
Parent with asthma	7 (28)
Children characteristics (n = 21)	n (%)
Age (y)†	2 (1-3)
Duration of asthma (y)†	1 (1-2)
ED/urgent care asthma visit for asthma	21 (100)
Number, ever†	2 (1-4)
Number, in last 12 mo†	1 (1-2)
Asthma hospitalizations	21 (100)
Number, ever†	1 (1-3)
Number, in last 12 mo†	1 (1-1)
Preventive asthma medication	17 (81)
<b>Administration modality</b>	
Spacer	17 (81)
Nebulizer	4 (19)

ED, Emergency department; WAAP, Written Asthma Action Plan.

\*Among owners of a WAAP.

†Median (interquartile ranges 1-3).

**TABLE E5.** Unexpected types of behavior

The parent...	n
• Takes the child's temperature with a thermometer	13
• Takes the child's temperature with his or her hand	1
• Tries to give water to the manikin	6
• Tries to clear the manikin's nose with normal saline	5
• Gives oral acetaminophen (despite the absence of fever)	1
• Gives controller medication during the exacerbation	1

TABLE E6. Self-efficacy questionnaire

Question	Pretest score	Posttest score	Retention test score	<i>P</i> value posttest vs pretest	<i>P</i> value retention test vs pretest
How sure are you that you can get your child to take his or her medications?	5 (4-5)	5 (5-5)	5 (5-5)	0.09	1.00
How sure are you that you can use the medication correctly?*	4 (4-5)	5 (5-5)	5 (4-5)	<b>&lt;0.01</b>	<b>&lt;0.01</b>
How sure are you that you can get your child to a doctor's appointment?	5 (4-5)	5 (4-5)	5 (5-5)	<b>0.04</b>	<b>0.01</b>
How sure are you that you can follow the directions for giving medication to your child?	5 (4-5)	5 (5-5)	5 (4-5)	<b>0.02</b>	1.00
How sure are you that you can help your child avoid things he or she is allergic to?	4 (4-5)	4 (4-5)	4 (4-5)	0.67	0.59
How sure are you that you can help your child prevent a serious breathing problem?*	3 (2-4)	4 (4-5)	4 (4-5)	<b>&lt;0.01</b>	<b>&lt;0.01</b>
How sure are you that you can have inhalers with you if your child has a serious breathing problem?	4 (3-5)	5 (4-5)	4.5 (4-5)	<b>&lt;0.01</b>	<b>0.03</b>
How sure are you that you can control a serious breathing problem at home rather than take your child to the emergency room?*	3 (3-4)	5 (5-5)	4 (4-5)	<b>&lt;0.01</b>	<b>&lt;0.01</b>
How sure are you that you can keep the asthma from getting worse if your child starts to wheeze or cough?*	4 (3-4)	5 (4-5)	5 (4-5)	<b>&lt;0.01</b>	<b>0.01</b>
How sure are you that you can help your child stay calm during a serious breathing problem?*	3 (2-4)	4 (4-5)	4 (4-5)	<b>&lt;0.01</b>	<b>&lt;0.01</b>
How sure are you that you would know which medications to use when your child is having a serious breathing problem?*	4 (3-4)	5 (4-5)	5 (4-5)	<b>&lt;0.01</b>	<b>&lt;0.01</b>
How sure are you that you know when your child's breathing problem can be controlled at home?*	3 (2-4)	4 (4-5)	4 (4-5)	<b>&lt;0.01</b>	<b>0.02</b>
How sure are you that you know when to take your child to the emergency room during a serious breathing problem?*	4 (3-5)	5 (4-5)	4 (4-5)	<b>&lt;0.01</b>	<b>0.01</b>

Bold values indicate statistical significance.

\*Items in relation with the training. Results are presented as medians with their interquartile ranges.

**REFERENCES**

- E1. Kron FW, Gjerde CL, Sen A, Fetters MD. Medical student attitudes toward video games and related new media technologies in medical education. *BMC Med Educ* 2010;10:50.
- E2. Lynch-Sauer J, Vandenbosch TM, Kron F, Gjerde CL, Arato N, Sen A, et al. Nursing students' attitudes toward video games and related new media technologies. *J Nurs Educ* 2011;50:513-23.
- E3. Bursch B, Schwankovsky L, Gilbert J, Zeiger R. Construction and validation of four childhood asthma self-management scales: parent barriers, child and parent self-efficacy, and parent belief in treatment efficacy. *J Asthma* 1999;36:115-28.

### **3. Quatrième étape : varier versus répéter les scénarios d'exacerbation d'asthme pour l'apprentissage**

La revue systématique de la littérature qui nous a permis d'identifier les serious games développés pour l'éducation thérapeutique dans l'asthme de l'enfant a révélé que la plupart des patients utilisaient le serious game lorsqu'ils le découvraient, mais s'en servaient rarement à distance. Par ailleurs, l'étude sur simulateur physique présentée à la section précédente a montré qu'un apprentissage faisant appel à un entraînement répété sur un même scénario d'exacerbation d'asthme pouvait se traduire par de bons résultats lorsque les parents devaient reproduire la même prise en charge trois mois plus tard, mais par un mauvais transfert des apprentissages à l'occasion d'un entraînement sur un scénario différent.

Nous avons donc voulu savoir si, dans un temps limité d'une trentaine de minutes qui pourrait correspondre à la première utilisation du simulation game que nous voulions développer, il était préférable de faire travailler les parents de façon répétée sur le même scénario pour qu'ils acquièrent certains automatismes (groupe « répétition »), ou si au contraire il était plus indiqué de les exposer à différentes situations d'exacerbation d'asthme de leur enfant (groupe « variation »).

Dans la mesure où cette étude nécessitait plus de 60 inclusions, nous avons demandé à des étudiants en médecine de troisième année, qui n'ont aucune connaissance de la prise en charge de l'exacerbation d'asthme de l'enfant, de participer à cette étude à la place des parents. Nous avons fait l'hypothèse que les mécanismes d'apprentissage de la gestion d'une exacerbation d'asthme à domicile étaient communs aux parents et aux étudiants en médecine. Malheureusement les étudiants en médecine n'ont pas réagi comme les parents, puisque les étudiants qui appartenaient au groupe répétition et qui ont eu la même formation que les parents de l'étude précédente se sont bien adaptés aux nouveaux scénarios d'exacerbation d'asthme, contrairement aux parents.

Les scores de prise en charge de l'exacerbation d'asthme nouvelle aux deux groupes d'étudiants (« répétition » et « variation ») n'étaient pas différents entre les deux groupes. Cependant, sur la base des autres scores et comme détaillé dans l'article, varier les scénarios permet une plus large exposition aux situations cliniques fréquemment rencontrées en pratique et d'obtenir des scores similaires ou légèrement supérieurs pour tous les scénarios testés.

Ce travail, publié dans la revue *European Journal of Pediatrics*, est présenté ci-dessous.

Fixed versus variable practice for teaching medical students the management of pediatric asthma exacerbations using simulation

Drummond, D., Truchot, J., Fabbro, E., Ceccaldi, P. F., Plaisance, P., Tesnière, A., & Hadchouel, A. (2017).

European journal of pediatrics, [Epub ahead of print]



# Fixed versus variable practice for teaching medical students the management of pediatric asthma exacerbations using simulation

David Drummond<sup>1,2</sup>  · Jennifer Truchot<sup>1,3</sup> · Eleonora Fabbro<sup>1</sup> · Pierre-François Ceccaldi<sup>1,4,5</sup> · Patrick Plaisance<sup>1,3</sup> · Antoine Tesnière<sup>1,6</sup> · Alice Hadchouel<sup>1,2</sup>

Received: 7 August 2017 / Revised: 18 November 2017 / Accepted: 20 November 2017  
© Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2017

## Abstract

Simulation-based trainings represent an interesting approach to teach medical students the management of pediatric asthma exacerbations (PAEs). In this study, we compared two pedagogical approaches, training students once on three different scenarios of PAEs versus training students three times on the same scenario of PAE. Eighty-five third-year medical students, novice learners for the management of PAEs, were randomized and trained. Students were assessed twice, 1 week and 4 months after the training, on a scenario of PAE new to both groups and on scenarios used during the training. The main outcome was the performance score on the new scenario of PAE at 1 week, assessed on a checklist custom-designed for the study. All students progressed rapidly and acquired excellent skills. One week after the training, there was no difference between the two groups on all the scenarios tested, including the new scenario of PAE (median performance score (IQR) of 8.3 (7.4–10.0) in the variation group versus 8.0 (6.0–10.0) in the repetition group ( $p = 0.16$ )). Four months later, the performance of the two groups remained similar.

**Conclusion:** Varying practice with different scenarios was equivalent to repetitive practice on the same scenario for novice learners, with both methods leading to transfer and long-term retention of the skills acquired during the training.

---

Communicated by Peter de Winter

---

**Electronic supplementary material** The online version of this article (<https://doi.org/10.1007/s00431-017-3054-1>) contains supplementary material, which is available to authorized users.

---

✉ David Drummond  
david.drummond@ilumens.org

Jennifer Truchot  
jennifer.truchot@aphp.fr

Eleonora Fabbro  
eleonora.fabbro@ilumens.org

Pierre-François Ceccaldi  
pf.ceccaldi@aphp.fr

Patrick Plaisance  
patrick.plaisance@aphp.fr

Antoine Tesnière  
antoine.tesniere@ilumens.org

Alice Hadchouel  
alice.hadchouel-duverge@aphp.fr

<sup>1</sup> Ilumens Simulation Department, Paris Descartes University, 45 rue des Saint Pères, 75006 Paris, France

<sup>2</sup> Pediatric Pulmonology, Necker-Enfants Malades Hospital, AP-HP, 149 rue de Sèvres, 75015 Paris, France

<sup>3</sup> Emergency Department, Lariboisiere Hospital, AP-HP, 2, Rue Ambroise Paré, Paris, France

<sup>4</sup> Department of Obstetrics and Gynecology, Beaujon, AP-HP, Clichy and Paris Diderot University, Paris, France

<sup>5</sup> Risks in Pregnancy, Universitary Hospital Departement, Paris Descartes University, Paris, France

<sup>6</sup> Surgical Intensive Care Unit, Cochin Hospital, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris, AP-HP, Paris, France

**What is known:**

- Simulation-based trainings represent an interesting approach to teach medical students the management of pediatric asthma exacerbations.
- It is unclear whether students would benefit more from repetitive practice on the same scenario of asthma exacerbation or from practice on different scenarios in terms of transfer of skills.

**What is new:**

- An individual 30-min training on the management of pediatric asthma exacerbations using simulation allows transfer and long-term retention of the skills acquired.
- Varying practice with different scenarios is equivalent to repetitive practice on the same scenario in terms of transfer of skills.

**Keywords** Asthma exacerbation · Medical education · Variability of practice · Simulation training

**Abbreviations**

CPP	Comité de protection des personnes
MCQ	Multiple-choice questionnaire
PAE	Pediatric asthma exacerbation
SABA	Short-acting beta-agonist
SBT	Simulation-based training

**Introduction**

Pediatric asthma exacerbations (PAEs) are one of the leading causes of emergency department visits in developed countries, representing up to 20% of emergency departments visits during autumn and winter in France [1], and 640,000 visits annually in the USA [2]. Therefore, all physicians should have a basic knowledge of the management of PAEs, which should be taught during medical studies.

Simulation-based trainings (SBTs) represent an appropriate approach to teach medical students the management of PAEs. During SBTs, students can work on both the theoretical aspects (the sequence of actions to be performed) and the practical aspects (the use of inhaling devices) of PAE management without any risk to the patient. However, access to SBTs is limited because these trainings require important human and financial resources [3, 4]. It is thus essential to optimize the learning efficiency of SBTs.

A key instructional feature that leads to effective learning in technology-enhanced simulation is repetitive practice, which involves intense and repetitive learner engagement in a focused, controlled domain [5, 6]. Whether this repetitive practice should correspond to the repetition of the exact same task until mastery, or should involve different tasks which share similar characteristics is a question that is still unanswered. For skill-based tasks with a unique procedure such as thoracentesis [7], lumbar puncture [8], or central venous catheterization [9, 10], practicing on the exact same task until mastery was associated with improved outcomes. To a lesser extent, rule-based tasks such as the management of a cardiac arrest, which has a unique presentation and limited variation in its management, can also

be taught through the repetition of the same scenario until mastery is achieved [11].

The question becomes more complex for medical diseases which vary in their presentation and their management. For example, the presentation of a pediatric asthma exacerbation (PAE) can range from a simple repetitive cough to a severe respiratory distress, with different implications in terms of management. Simulation training on such topics should allow the learners to transfer the skills they learnt to new, unexperienced presentations of the same disease.

A first solution to reach this objective may be to repeat the management of one type of PAE several times, and to explain orally how to manage the other types. The mastery of one type of PAE may decrease the cognitive resources required to manage several aspects of a new PAE, and enable learners to concentrate on new aspects of the situation [12].

A second strategy would be to vary the scenario of PAE during the training. This would not allow mastery learning of each type of PAE. However the “variability of practice” hypothesis holds that practicing with task variation results in improved learning retention and transfer compared to the repetition of the exact same task [13]. A considerable number of studies have provided empirical evidence for this hypothesis (for reviews, see [14–16]).

To our knowledge, only one study compared varied and repeated scenarios in SBTs. This study which involved pediatric residents found that practice on varied scenarios of emergency situations was not superior to practice on a unique scenario [17]. However, the different scenarios used in this study were very different from one another (pulseless electrical activity, hypoglycemia, ventricular tachycardia, and seizure), whereas it was shown that some similarities need to exist to expect transfer of learning [18, 19].

This study focused on the management of PAE in outpatient settings and compared the use of varied scenario versus repeated scenarios during a SBT training dedicated to medical students on this topic. The main outcome was the performance score of students during a scenario of PAE which was new to both groups, 1 week after the initial training.

## Methods

A monocentric randomized controlled trial was conducted in the Department of Simulation in Healthcare “Ilumens” in Paris Descartes University (France). It was qualified as exempt research by the Institutional Review Board of Saint Antoine Hospital (CPP Ile de France 5, no. 16141), and the study was registered in [ClinicalTrials.gov](http://ClinicalTrials.gov) (Identifier: NCT02754310).

### Participants and randomization

Participants were third-year medical students from two French medical faculties who voluntarily participated from May to October 2016. All students aged more than 18 years old were eligible. These students corresponded to novice learners regarding the management of PAEs since they did not receive any training on this specific topic during the first years of their medical studies.

Recruitment took place through e-mails and directly during conferences. Written consent was obtained from all participants.

Participants were randomized in blocks of four and assigned into two groups: the “repetition” and the “variation” groups. The simulation clinical educator (D.D.) used an online software (<http://www.randomization.com/>) to create the random list of numbers used for the allocation of participants.

### Study design and interventions

The study design is presented in Fig. 1. On arrival at the training session (first session), each student completed a

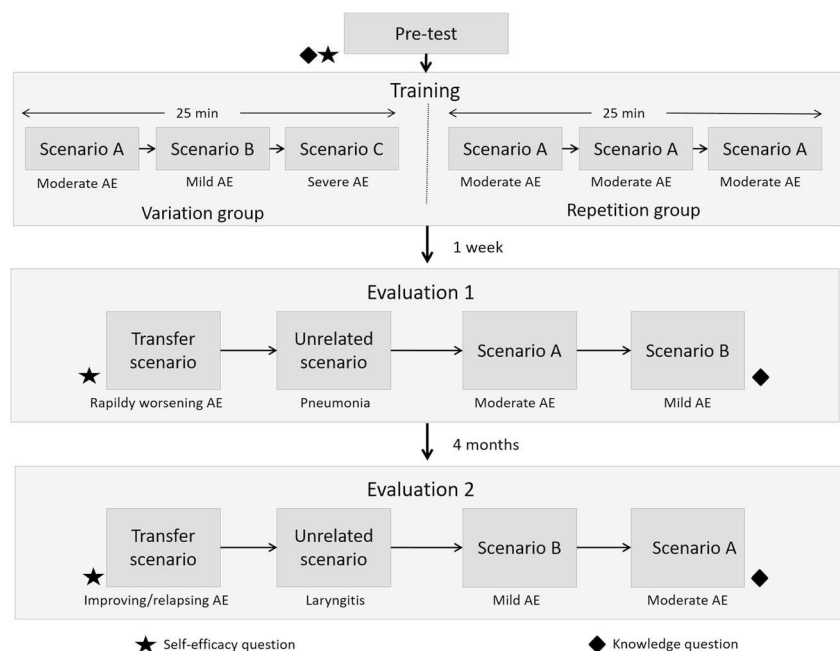
multiple-choice questionnaire (MCQ) of 20 questions on pediatric emergency situations which included 5 questions on PAE management. They also responded to 5 questions about their self-efficacy in the management of various pediatric emergencies, including one on the management of PAE. Then, the students watched a 5-min video presenting the features of the pediatric high-fidelity manikin used and its environment.

A first evaluation on the simulator was conducted before the training to ensure that students had little or no skills in asthma management. The scenario was a simulated moderate PAE occurring in a private physician’s office, described in Table S1. Following this first evaluation of 5 min, an individual training with a simulation clinical educator specialized in pediatric pulmonology (D.D.) took place for 25 min, using three scenarios of PAE.

These three scenarios were the same scenario of a moderate PAE in the “repetition group,” while the “variation group” faced three different scenarios (a moderate, a mild, and a severe PAE, Fig. 1 and Table S1) for the same amount of time.

During the evaluation session 1 week later, participants completed the same questionnaire on their self-efficacy regarding the management of a PAE and were evaluated individually on four different scenarios. The first scenario was a “transfer scenario” new for both groups corresponding to a PAE rapidly worsening. The second scenario was an “unrelated scenario” corresponding to severe pneumonia which also presented as a respiratory distress but with a completely different management. The third scenario was the moderate PAE already experienced three times by the repetition group and once by the variation group. The fourth scenario was the mild PAE already experienced once by the variation group. At the

**Fig. 1** Study design. After randomization, students participated in a first evaluation (pre-test) before being trained either using three different scenarios of asthma exacerbation (variation group) or the same scenario three times (repetition group). All were then evaluated 1 week and 4 months later on four scenarios each time. PAE asthma exacerbation





end of the assessments, a 5 min long feedback was given to each student on his/her performance, and students completed the same MCQ on knowledge.

Four months later, participants attended a last session which was like the second session. The only difference was the content of two of the scenarios. The “transfer scenario” was a PAE improving before relapsing, and the “unrelated scenario” was a pediatric laryngitis.

## Simulation and training characteristics

The characteristics of the training are detailed in the supplemental material. Briefly, the high-fidelity manikin used was a SimBaby (Laerdal, Stavanger, Norway). The environment included a short-acting beta-agonist (SABA), a controller medication (fluticasone), an asthma spacer with a facial mask, oral steroids in tablets (prednisone) and in syrup (betamethasone), among other tools.

The learning objectives of the training session were the following: (i) to recognize the symptoms of a PAE on the simulator, (ii) to master the inhalation technique, (iii) to respect the sequence and the dose of the medications needed, (iv) to determine when emergency medical services needed to be called. During the training, the instructor (D.D.) was present with the student in the simulation room. Following the “Four-Component Instructional Design Model,” the instructor provided both procedural and supportive information [20]. Procedural information, which corresponds to the information needed to complete recurrent or routine aspects of learning tasks, was provided through corrective tips and concurrent feedback. It focused mainly on the inhalation technique. Supportive information, which corresponds to information about the subject domain essential for the reasoning and problem-solving aspects of learning tasks, was provided when participants were waiting for the SABA to have an effect. It took the form of general questions on PAE listed in the supplemental material.

## Outcomes and measurements

For each scenario, a specific performance score was developed. The main outcome was the performance score of participants on the “transfer” scenario at 1 week. Secondary outcomes were the score of participants on the “unrelated” scenario, the moderate and the mild PAE scenarios at 1 week, along with all these outcomes 4 months later.

All the checklists developed to assess the scenarios of PAEs were based on both international recommendations and discussions with a group of experts in pediatric pulmonology [1, 21]. They are presented in Table S2. Different items related to the sequence, the dose, and the administration technique of the treatments were developed.

During each evaluation, the investigator (D.D.) rated the actions of the participant on these different checklists. A second rater (J.T.) assessed independently 86% of the participants on video records to estimate inter-rater reliability. J.T. was blinded to group allocation, while D.D. was not. There was a high level of rater agreement, with a mean intraclass correlation coefficient of 0.86 for the key events checklists (Table S2).

Questionnaires on self-efficacy and knowledge are presented in Table S3. They were filled on Google Forms (Google, California) and exported in Microsoft Excel (Microsoft, Washington).

## Primary data analysis

Sample size calculation is detailed in the supplemental material.

Data were analyzed with GraphPad Prism v5.03 (La Jolla, California). The distribution of continuous data was assessed with the Shapiro–Wilk test. Median values and interquartile ranges are reported, and cohorts were compared in Mann–Whitney *U* tests. A Wilcoxon signed-rank test was used to compare the scores obtained by students on the knowledge and self-efficacy tests on the first, second, and third sessions.

## Results

### Population

A total of 85 participants were included in this study. Forty-three were randomly assigned to the repetition group and 42 to the variation group. Their characteristics, which were similar, are presented in Table 1. No participant was lost to follow-up.

### Skills

#### Evaluation pre-training

Before the training, most students were not able to diagnose a PAE (Table 2). Once told the diagnosis, their management was often limited to a first administration of SABA before being lost (Table 2). There was no difference between groups.

#### Performance score on transfer scenarios

When evaluated 1 week after the training, the performance of students on the transfer scenario was similar between the two groups with a median score out of 10 (IQR) of 8.3 (7.4–10.0) in the variation group and 8.0 (6.0–10.0) in the repetition group ( $p = 0.16$ ) (Fig. 2a). Four months later, on another new scenario of PAE, median scores were also similar between the two groups (13.0 out of 16 (10.4–15.3) versus 12.3 (9.8–16.0) ( $p = 0.88$ ), respectively, Fig. 2b).

**Table 1** Baseline characteristics of participants

Baseline characteristics	Variation <i>n</i> = 42	Repetition <i>n</i> = 43	<i>p</i>
Sex			
Male, <i>n</i> (%)	13 (31%)	16 (37%)	0.65
Female, <i>n</i> (%)	29 (69%)	27 (63%)	
Age (years) <sup>a</sup>	22 (21–22)	22 (21–23)	0.31
Asthma			
Yes	2 (5%)	3 (7%)	1.00
No	40 (95%)	40 (93%)	
Asthma among close relatives	16 (38%)	16 (37%)	1.00
Medical experience			
Rotation in adult or pediatric respiratory medicine in the last 12 months	3 (7%)	8 (19%)	0.20
Simulation experience			
Familiar with low-fidelity manikin, <i>n</i> (%)	39 (93%)	40 (93%)	1.00
Familiar with the SimBaby© high-fidelity manikin, <i>n</i> (%)	0 (0%)	0 (0%)	–

<sup>a</sup> Median (interquartile range)

Regarding the “unrelated” scenarios which corresponded to respiratory distresses unrelated to asthma, the median scores were similar between groups for the scenario of pneumonia (3.0 out of 5 (3.0–4.0) versus 4.0 (3.0–4.0),  $p = 0.17$ ), and the scenario of laryngitis used 4 months later (2.0 out of 5 (2.0–3.0) versus 3.0 (2.0–3.0)  $p = 0.47$ , Fig. 2c).

### Performance score on other scenarios

Students in the repetition and variation groups were exposed three times and one time, respectively, to the scenario of

**Table 2** Pre-test evaluation

Evaluation pre-test	Variation <i>n</i> = 42	Repetition <i>n</i> = 43	<i>p</i>
Asthma exacerbation diagnosed <sup>a</sup>	9 (21%)	16 (37%)	0.15
1st administration of SABA	37 (88%)	38 (88%)	1.00
Administration technique of the SABA <sup>b</sup>			
Cap removed	29 (78%)	31 (82%)	0.81
Inhaler shaken	3 (8%)	7 (18%)	0.31
Spacer used	32 (86%)	36 (95%)	0.43
Wait between actuations	13 (35%)	17 (45%)	0.50
Next actions reported by the participant			
2nd administration of SABA	12 (29%)	8 (23%)	0.32
3rd administration of SABA	2 (5%)	0 (0%)	0.24
Administration of oral steroids	2 (5%)	3 (9%)	1.00
Call of emergency services	16 (38%)	21 (61%)	0.38

<sup>a</sup> After 1 min, all participants were told that the diagnosis was an asthma attack

<sup>b</sup> Among participants who gave SABA

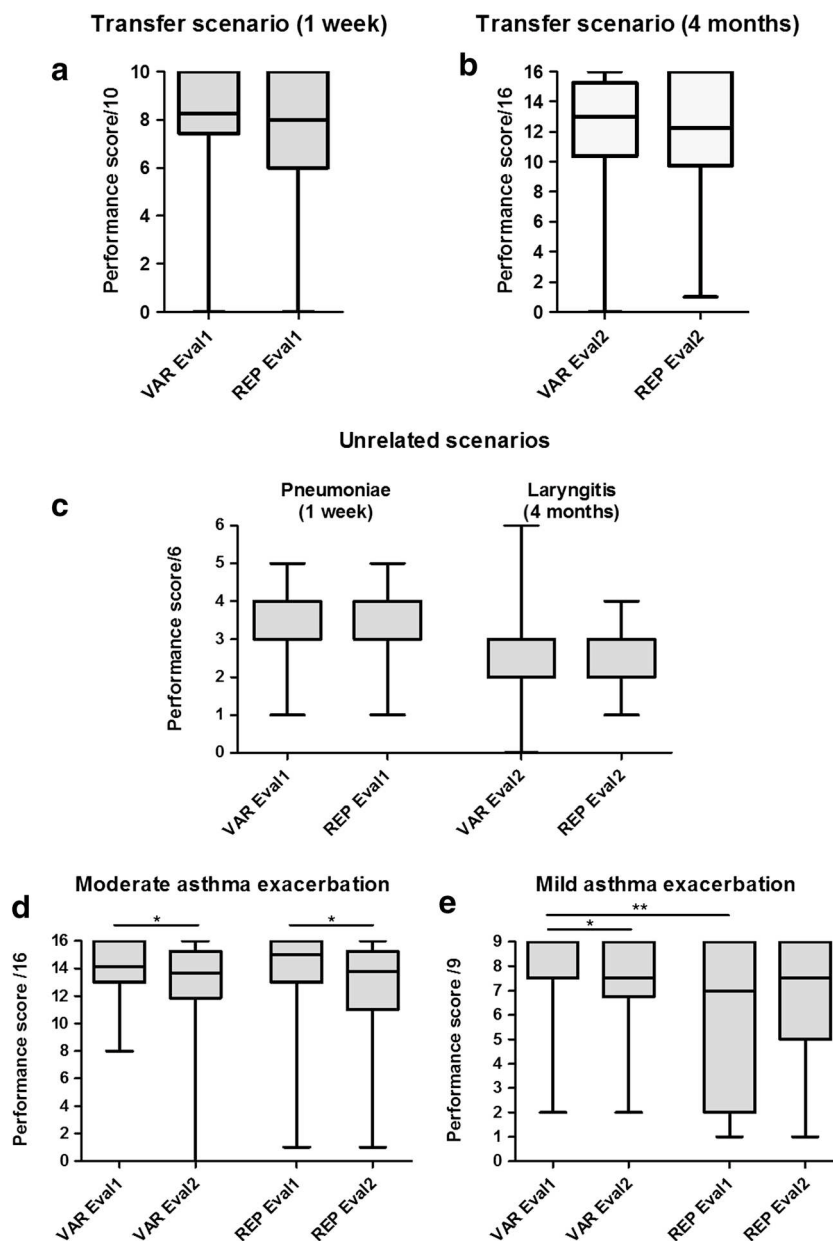
moderate PAE during their training. When evaluated on this same scenario 1 week later, median scores were similar in the two groups (14.1 out of 16 (13.0–16.0) in the variation group versus 15.0 (13.0–16.0) in the repetition group ( $p = 0.97$ )) (Fig. 2d). Four months later, the performance of students decreased significantly in both groups, with a median score of 13.6 (11.9–15.3) in the variation group ( $p = 0.01$ ) and 13.8 (11.0–15.3) in the repetition group ( $p = 0.03$ ). These results did not differ significantly between the two groups ( $p = 0.69$ ) (Fig. 2d).

Finally, students in the variation group were trained on a scenario of mild PAE, whereas students in the repetition group were not. When evaluated on this scenario 1 week later, students in the variation group obtained higher scores than those in the repetition group (median score of 9.0 out of 9 (7.5–9.0) versus 7.0 (2.0–9.0), respectively ( $p = 0.001$ ), Fig. 2e). Four months later, the median performance score decreased significantly in the variation group to 7.5 (IQR 6.8–9.0,  $p = 0.047$ ) while it remained at the same level, 7.5 (5.0–9.0) in the repetition group ( $p = 0.29$ ). The difference between the two groups was no longer statistically significant ( $p = 0.16$ ) (Fig. 2e).

### Self-efficacy

Self-efficacy scores are presented in Table 3. At baseline, the median self-efficacy scores were similar between the two groups. One week after the training, scores increased in both groups but the repetition group reached a significantly higher score than the variation group (Table 2). Four months later, the median self-efficacy score became similar between the two groups, but remained significantly higher than those observed before the training (Table 2).

**Fig. 2** Performance scores of students when evaluated on different scenarios. **a** Performance scores of students evaluated on a transfer scenario corresponding to a worsening asthma exacerbation 1 week after the training. There was no statistically significant difference between the variation (VAR) and repetition (REP) groups. **b** Performance scores of students evaluated on a transfer scenario of an asthma exacerbation improving and relapsing 4 months after the training did not differ significantly between groups. **c** Performance scores of students evaluated on an unrelated scenario of pneumonia 1 week after the training, and on a scenario of laryngitis 4 months after the training. No statistically significant difference was observed between the variation and repetition groups. **d** Performance scores of students evaluated on a scenario of moderate asthma exacerbation used during the training at 1 week (eval1) and 4 months (eval2). \* $p < 0.05$ . **e** Performance scores of students evaluated on a scenario of mild asthma exacerbation used during the training of the variation group only at 1 week (eval1) and 4 months (eval2). \* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$



**Table 3** Knowledge and self-efficacy scores

	Pre-training			Evaluation 1 (1 week)			Evaluation 2 (4 months)		
	Var	Rep	p	Var	Rep	p	Var	Rep	p
Self-efficacy score/5	2 (1–2)	2 (1–3)	0.51	4 (3–4) <sup>a</sup>	4 (4–4) <sup>a</sup>	0.03	4 (3–4) <sup>a</sup>	4 (3–4) <sup>a,b</sup>	0.56
Knowledge score/5	2 (1–2)	2 (1–2)	0.63	4 (4–5) <sup>a</sup>	4 (3–5) <sup>a</sup>	0.82	4 (4–5) <sup>a</sup>	4 (4–5) <sup>a</sup>	0.91

Results are presented as median (interquartile 1–3). At evaluation 1, the median self-efficacy score was higher for the repetition group than for the variation group

Var variation group, Rep repetition group

<sup>a</sup>  $p < 0.001$  for comparison between evaluation and pre-training scores

<sup>b</sup>  $p < 0.01$  for comparison between evaluation 1 and 2 (decreased self-efficacy on evaluation 2)

## Knowledge

The median knowledge scores were similar between the two groups at baseline, improved significantly after the training in both groups in the same proportions, and remained at the same level 4 months later (Table 3).

## Discussion

Two main conclusions can be drawn from this study. First, our results revealed that the individual 30-min simulation training proposed to our medical students was very effective in teaching them the management of PAEs. The second conclusion was that for our students who had very little previous knowledge on the management of PAEs, varying or repeating the scenarios of PAEs led to similar performances on the transfer tests 1 week and 4 months after the training.

Before the training, our medical students were not able to manage a PAE: after delivering salbutamol for the first time, most of them were totally lost in the management of the PAE. One week after the individual 30-min training, their performance on three different scenarios of PAEs became excellent, regardless of their group. More importantly, there was evidence of long-term retention with an assessment 4 months later which demonstrated that the performance of students remained very good. SBTs involving asthma exacerbation scenarios were proposed by other authors [22–25], but to our knowledge, this is the only study to have conducted a rigorous evaluation of the training including transfer and retention tests. These results are important for medical educators who would like to implement trainings on PAEs management in their medical faculties. Another specificity of this study was to place medical students in an outpatient setting rather than in a hospital. This was a deliberated choice because the management of PAEs by physicians in outpatient settings is similar to the management of PAEs by parents at home. The SBT we proposed allowed students to acquire a thorough understanding of the way parents should manage a PAE at home and use inhaling devices, to help them to provide high-quality asthma education in the future. This seems important to us because several studies revealed that most physicians have difficulties in explaining asthma management to families, in particular regarding inhalation techniques [26–29].

The other finding of this study was that the “variability of practice” hypothesis was not supported by our results: students who practiced with task variation (on three different scenarios of PAEs) did not outperform students who practiced repeatedly on the same task (a unique scenario of moderate PAE) on a transfer test involving a scenario of PAE new to both groups.

Several hypotheses can explain these results. A first reason may be that students in the variation group were exposed to

only three different scenarios of PAE during the training. Because it was demonstrated that increasing the number of situations enhances transfer [30], participants in the variation group may have reached better results if they had been exposed to a larger number of scenarios. However, the increased duration of the training would not have been compatible with the time constraints associated with SBTs. Another explanation for the absence of difference observed may be that the scenarios used in the variation group shared many similarities. It can be argued that the low degree of variability between the different scenarios in the variation group was not sufficient to make a real difference with the repetition group. However, the variability of the scenarios we could propose was limited by the variability of PAEs observed in real life, with patients presenting mild, moderate, and severe exacerbations. To increase the degree of variability of our scenarios, the solution would have been to use different causes of respiratory distress (cardiac failure, pneumonia, PAE) rather than three different types of PAEs in the variation group. However, it was shown that transfer occurs when similarities can be found between the different tasks during the training, and between the tasks used during the training and the transfer test [18, 19]. Tofil et al. who trained pediatric residents using varied scenarios (pulseless electrical activity, ventricular tachycardia, and seizure) or similar scenarios (three pulseless electrical activity) did not find any transfer of skills to a new scenario of critical coarctation [17]. Therefore, we preferred a low degree of variability using different scenarios of PAEs rather than a high degree of variability which was previously shown to be ineffective for transfer of skills.

The analysis of the results regarding students’ performances on the two scenarios which were used during the training and the evaluations (moderate and mild PAE) is also interesting. Participants in the repetition group exposed three times to the moderate PAE scenario did not perform better than students in the variation group who were exposed just once. These results contrast with findings from other studies which found that repetition was associated with improved performance [17, 31]. An explanation may be that the scenarios used in our study were easy to learn for the two groups, leading to a “ceiling effect” when students were evaluated 1 week and 4 months later. The conclusion is that for the SBT we proposed, varying the scenario offered the advantage to expose our students to different situations without impairing their performance, particularly on the case that the repetition group encountered three times. Indeed, despite lower self-efficacy scores, students in the variation group performed equally as well as those in the repetition group on all the scenarios used for the evaluation.

This study presents several limitations regarding the generalizability of our results. First, our study included volunteer third-year medical students from two French universities, and the extent to which our results are

generalizable to other settings and to students with other levels of experience is unknown. Second, it was a simulation study, and future research should assess whether such findings may be translated in real practice.

In conclusion, the management of different PAEs can be rapidly learnt by medical students using a short SBT. Varying practice with different scenarios was equivalent to repetitive practice on the same scenario in terms of transfer of skills to a new scenario of PAE. Future studies should evaluate whether the acquisition of conceptual understanding of a medical situation can occult the effects of variability in practice.

**Acknowledgments** The authors would like to thank Guillaume Escouboué for his technical assistance throughout the study, and Sylviane Frédéric and Emeline d'Angelo for their help in the management of the simulation rooms.

**Authors' contributions** David Drummond conceptualized the study, participated in data collection, carried out the initial analyses, drafted the initial manuscript, and approved the final manuscript as submitted;

Jennifer Truchot participated in data collection, revised the manuscript critically, and approved the final manuscript as submitted.

Eleonora Fabbro contributed to the design of the study, participated in data collection, revised the manuscript critically, and approved the final manuscript as submitted;

Pierre-François Ceccaldi participated in the conception of the study, revised the manuscript critically, and approved the final manuscript as submitted.

Patrick Plaisance participated in the conception of the study, revised the manuscript critically, and approved the final manuscript as submitted.

Antoine Tesnière participated in the conception of the study, revised the manuscript critically, and approved the final manuscript as submitted.

Alice Hadchouel participated in the conception of the study, carried out the analysis with David Drummond, revised the manuscript critically, and approved the final manuscript as submitted.

#### Compliance with ethical standards

**Conflict of interest** The authors declare that they have no conflicts of interest.

## References

- Marguet C (2007) Prise en charge de la crise d'asthme de l'enfant (nourrisson inclus): recommandations pour la pratique clinique. *Rev Mal Respir* 24(4):427–439. [https://doi.org/10.1016/S0761-8425\(07\)91567-3](https://doi.org/10.1016/S0761-8425(07)91567-3)
- Akinbami LJ, Moorman JE, Garbe PL, Sondik EJ (2009) Status of childhood asthma in the United States, 1980–2007. *Pediatrics* 123(Suppl 3):S131–S145. <https://doi.org/10.1542/peds.2008-2233C>
- Iglesias-Vázquez JA, Rodríguez-Núñez A, Penas-Penas M, Sánchez-Santos L, Cegarra-García M, Barreiro-Díaz MV (2007) Cost-efficiency assessment of Advanced Life Support (ALS) courses based on the comparison of advanced simulators with conventional manikins. *BMC Emerg Med* 7(1):18. <https://doi.org/10.1186/1471-227X-7-18>
- Drummond D, Arnaud C, Thouvenin G, Guedj R, Grimprel E, Duguet A, de Suremain N, Petit A (2016) An innovative pedagogic course combining video and simulation to teach medical students about pediatric cardiopulmonary arrest: a prospective controlled study. *Eur J Pediatr* 175(6):767–774. <https://doi.org/10.1007/s00431-016-2702-1>
- Issenberg SB, McGaghie WC, Petrusa ER et al (2005) Features and uses of high-fidelity medical simulations that lead to effective learning: a BEME systematic review. *Med Teach* 27(1):10–28. <https://doi.org/10.1080/01421590500046924>
- Cook DA, Hamstra SJ, Brydges R, Zendejas B, Szostek JH, Wang AT, Erwin PJ, Hatala R (2013) Comparative effectiveness of instructional design features in simulation-based education: systematic review and meta-analysis. *Med Teach* 35(1):e867–e898. <https://doi.org/10.3109/0142159X.2012.714886>
- Wayne DB, Barsuk JH, O'Leary KJ et al (2008) Mastery learning of thoracentesis skills by internal medicine residents using simulation technology and deliberate practice. *J Hosp Med* 3(1):48–54. <https://doi.org/10.1002/jhm.268>
- Kessler DO, Auerbach M, Pusic M, Tunik MG, Foltin JC (2011) A randomized trial of simulation-based deliberate practice for infant lumbar puncture skills. *Simul Healthc J Soc Simul Healthc* 6(4):197–203. <https://doi.org/10.1097/SIH.0b013e318216bfc1>
- Barsuk JH, McGaghie WC, Cohen ER, Balachandran JS, Wayne DB (2009) Use of simulation-based mastery learning to improve the quality of central venous catheter placement in a medical intensive care unit. *J Hosp Med* 4(7):397–403. <https://doi.org/10.1002/jhm.468>
- Barsuk JH, Cohen ER, Feinglass J, McGaghie WC, Wayne DB (2009) Use of simulation-based education to reduce catheter-related bloodstream infections. *Arch Intern Med* 169(15):1420–1423. <https://doi.org/10.1001/archinternmed.2009.215>
- Kim JW, Lee JH, Lee KR, et al (2016) improvement in trainees' attitude and resuscitation quality with repeated cardiopulmonary resuscitation training: cross-sectional simulation study. *Simul Healthc J Soc Simul Healthc*. doi: <https://doi.org/10.1097/SIH.000000000000151>
- Schwartz DL, Bransford JD, Sears D (2005) Efficiency and innovation in transfer. *Transf Learn Mod Multidiscip Perspect*:1–51
- Schmidt RA (1975) A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychol Rev* 82(4):225–260. <https://doi.org/10.1037/h0076770>
- Van Rossum JHA (1990) Schmidt's schema theory: the empirical base of the variability of practice hypothesis. A critical analysis. *Hum Mov Sci* 9(3-5):387–435. [https://doi.org/10.1016/0167-9457\(90\)90010-B](https://doi.org/10.1016/0167-9457(90)90010-B)
- Wulf G, Schmidt RA (1997) Variability of practice and implicit motor learning. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn* 23(4):987–1006. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.23.4.987>
- Bangert M, Wiedemann A, Jabusch H-C (2014) Effects of variability of practice in music: a pilot study on fast goal-directed movements in pianists. *Front Hum Neurosci* 8:598. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00598>
- Tofil NM, Peterson DT, Wheeler JT, Youngblood A, Zinkan JL, Lara D, Jakaitis B, Niebauer J, White ML (2014) Repeated versus varied case selection in pediatric resident simulation. *J Grad Med Educ* 6(2):275–279. <https://doi.org/10.4300/JGME-D-13-00099.1>
- Catrambone R, Holyoak KJ (1989) Overcoming contextual limitations on problem-solving transfer. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn* 15(6):1147–1156. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.15.6.1147>
- Sweegers CCG, Talamini LM (2014) Generalization from episodic memories across time: a route for semantic knowledge acquisition. *Cortex J Devoted Study Nerv Syst Behav* 59:49–61. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2014.07.006>
- Van Merriënboer JJ, Jelsma O, Paas FG (1992) Training for reflective expertise: a four-component instructional design model for complex cognitive skills. *Educ Technol Res Dev* 40(2):23–43. <https://doi.org/10.1007/BF02297047>
- GINA (2017) Global strategy for asthma management and prevention

22. Adler MD, Trainor JL, Siddall VJ, McGaghie WC (2007) Development and evaluation of high-fidelity simulation case scenarios for pediatric resident education. *Ambul Pediatr Off J Ambul Pediatr Assoc* 7(2):182–186. <https://doi.org/10.1016/j.ambp.2006.12.005>
23. Richard JJ (2009) Beginning experiences with simulation: asthma in a pediatric patient. *Clin Simul Nurs* 5(1):e5–e8. <https://doi.org/10.1016/j.ecns.2008.09.005>
24. Vyas D, Wombwell E, Russell E, Caligiuri F (2010) High-fidelity patient simulation series to supplement introductory pharmacy practice experiences. *Am J Pharm Educ* 74(9):169. <https://doi.org/10.5688/aj7409169>
25. Kirkman TR (2013) High fidelity simulation effectiveness in nursing students' transfer of learning. *Int J Nurs Educ Scholarsh* 10(1): 171–176. <https://doi.org/10.1515/ijnes-2012-0009>
26. Hanania NA, Wittman R, Kesten S, Chapman KR (1994) Medical personnel's knowledge of and ability to use inhaling devices. Metered-dose inhalers, spacing chambers, and breath-actuated dry powder inhalers. *Chest* 105(1):111–116. <https://doi.org/10.1378/chest.105.1.111>
27. Interiano B, Guntupalli KK (1993) Metered-dose inhalers. Do health care providers know what to teach? *Arch Intern Med* 153(1):81–85. <https://doi.org/10.1001/archinte.1993.00410010105009>
28. Jones JS, Holstege CP, Riekse R, White L, Bergquist T (1995) Metered-dose inhalers: do emergency health care providers know what to teach? *Ann Emerg Med* 26(3):308–311. [https://doi.org/10.1016/S0196-0644\(95\)70078-1](https://doi.org/10.1016/S0196-0644(95)70078-1)
29. Amirav I, Goren A, Pawlowski NA (1994) What do pediatricians in training know about the correct use of inhalers and spacer devices? *J Allergy Clin Immunol* 94(4):669–675. [https://doi.org/10.1016/0091-6749\(94\)90173-2](https://doi.org/10.1016/0091-6749(94)90173-2)
30. Duncan CP (1958) Transfer after training with single versus multiple tasks. *J Exp Psychol* 55(1):63–72. <https://doi.org/10.1037/h0047506>
31. Abe Y, Kawahara C, Yamashina A, Tsuboi R (2013) Repeated scenario simulation to improve competency in critical care: a new approach for nursing education. *Am J Crit Care Off Publ Am Assoc Crit-Care Nurses* 22(1):33–40. <https://doi.org/10.4037/ajcc2013229>

## **Supplemental Material**

### **Fixed versus variable practice for teaching medical students the management of pediatric asthma exacerbations using simulation**

#### **e-Methods**

##### **Simulation and training characteristics**

The high-fidelity manikin used was a SimBaby (Laerdal, Stavanger, Norway). The environment included a short acting beta-agonist (SABA), a controller medication (fluticasone), an asthma spacer with a facial mask, some oral steroids in tablets (prednisone) and in syrup (betamethasone), acetaminophen in syrup, a real phone, a thermometer, two glasses (one filled with water, one empty), a spoon, some paper tissues, some saline solution to clean the nose, and an hydro alcoholic solution for hand-washing.

Two scenarios had been tested before this study. The moderate AE scenario was used in a previous study involving 35 parents of children with asthma (ref), and the rapidly worsening AE scenario was used with around 100 5th year medical students in the previous two years.

Because the simulations were limited to 6-12 minutes depending on the scenario, it was not possible to wait 20 minutes after giving SABA as recommended. Thus, participants were explained that during the waiting times, they could accelerate the time by sitting on a chair. Once sited, the investigator converted the seconds in minutes and announced participants every 5 seconds that 5, 10, 15, etc. minutes went by until they stood up to perform the next action.

##### **Sample size calculation**

We calculated sample size by using data from a previous study involving parents of children with asthma who repeated the same scenario four times. We estimated that the mean performance score for the “transfer scenario” at one week would be 7 out of 10 (standard deviation: 3) in the repetition group. Assuming that varying the scenarios would increase this score to 9 out of 10 (an improvement of 20%), a sample of 72 participants was needed ( $\alpha=0.05$ , paired 2-tailed test, power 80%).

##### **Questions asked to the student during the training**

During periods when students were sited (waiting for 20 minutes after the delivery of SABA, corresponding to 20 seconds in the scenario), the instructor asked students several questions to provide them some concepts and information related to the management of a pediatric asthma exacerbation. These questions are listed below:

- What is the mechanism of action of SABA?
- What are the side effects of SABA?
- What shall we do if there is no improvement after the third administration of SABA?
- What is the mechanism of action of oral steroids?
- What are the side effects of oral steroids?
- What would you do if the symptoms resolve after your administration of SABA?
- If the symptoms resolve, what would you prescribe to the child for the next days?
- Why shall we use a spacer with a facial mask to deliver inhaled treatments to this child?
- What are the three signs of severity which require you to call the emergency medical services immediately?

**Table S1: Simulation scenarios**

**Scenario A: Moderate asthma exacerbation.**

Used for pre-test, training and subsequent evaluations.

**Stem**

You replace a physician in his private office. On arrival, you find your secretary with your first patient, a 10-month-old child, weight 8kg, with a history of 2 bronchiolitis. His mother, who is absent for few minutes the time for her to park her car, told your secretary that she came because of the repetitive cough of her child.

Scenario Stage	Patient Condition	Simulator Parameters	Expected intervention	Cues
Moderate asthma exacerbation	Weight: 8kg  Physical Exam: • T 37.8°C, HR 140/min, RR 46/min, Sat non-available • Resp: no cyanosis, RR 46/min, abdominal breathing, audible bilateral wheezing. • CNS: Conscious, coughing and crying • CVS: pulses palpable. • Monitor: not available	Vitals <ul style="list-style-type: none"> <li>• T 37.8 °C</li> <li>• HR 140/min</li> <li>• RR 46/min</li> <li>• Sat non-available</li> <li>• BP 90/50 mmHg(63)</li> </ul> Condition <ul style="list-style-type: none"> <li>• Abdominal breathing</li> <li>• Wheezing bilateral (sound level 100%)</li> <li>• Cough every 30 seconds</li> <li>• Crying every 2 minutes</li> <li>• Bilaterally palpable pulses</li> </ul>	- 1 <sup>st</sup> administration of SABA with proper technique and dose.  - 2 <sup>nd</sup> administration of SABA 20 minutes later  - 3 <sup>rd</sup> administration of SABA 20 minutes later  - Administration of an oral steroid and call of the emergency medical services.	The parameters stay identical throughout the case.

BP: blood pressure; CNS: central nervous system; CVS: cardiovascular system; HR: heart rate; Resp: respiratory system; RR: respiratory rate; T: temperature; SABA: short acting beta agonist;



**Scenario B: Mild asthma exacerbation.**

Used for training and subsequent evaluations.

Stem: idem scenario A

Scenario Stage	Patient Condition	Simulator Parameters	Expected intervention	Cues
Mild asthma exacerbation	<p>Weight: 8kg</p> <p>Physical Exam:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• T 37.8, HR 120/min, RR 24/min, Sat non available</li> <li>• Resp: no cyanosis, RR 24/min, audible bilateral wheezing.</li> <li>• CNS: Conscious, coughing</li> <li>• CVS: pulses palpable.</li> <li>• Monitor: not available</li> </ul>	<p>Vitals</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• T 37.8°C</li> <li>• HR 120/min</li> <li>• RR 24/min</li> <li>• Sat non-available</li> <li>• BP 90/50 mmHg (63)</li> </ul> <p>Condition</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wheezing bilateral (sound level 100%)</li> <li>• Cough every 30 seconds</li> <li>• Bilaterally palpable pulses</li> </ul>	<p>- 1<sup>st</sup> administration of SABA with proper technique and dose.</p> <p>- 2<sup>nd</sup> administration of SABA 20 minutes later</p>	<p>After the second administration of SABA, the child improves → Next stage</p>
Resolution	<p>Physical Exam :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• T 37.8, HR 120/min, RR 24/min, Sat non available</li> <li>• Resp: no cyanosis, RR 24/min, no more wheezing.</li> <li>• CNS: Conscious, no more cough</li> <li>• CVS: pulses palpable.</li> </ul>	<p>Vitals</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• T 37.8°C</li> <li>• HR 120/min</li> <li>• RR 24/min</li> <li>• Sat non-available</li> <li>• BP 90/50 (63)</li> </ul> <p>Condition</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Normal lung sounds</li> <li>• No cough</li> <li>• Bilaterally palpable pulses</li> </ul>	<p>- Decision to send the child home with SABA quarterly for one week.</p>	

**Scenario C: Severe asthma exacerbation.**

Used for training.

Stem: idem scenario A

Scenario Stage	Patient Condition	Simulator Parameters	Expected intervention	Cues
Severe asthma exacerbation	<p>Weight : 8kg</p> <p>Physical Exam:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• T 37.8,</li> <li>HR 160/min,</li> <li>RR 60/min, Sat non-available</li> <li>• Resp: cyanosis, RR 60/min,</li> </ul> <p>abdominal breathing, audible bilateral wheezing.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• CNS: Conscious, coughing</li> <li>• CVS: pulses palpable.</li> <li>• Monitor : not available</li> </ul>	<p>Vitals</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• T 37.8°C</li> <li>• HR 160/min</li> <li>• RR 60/min</li> <li>• Sat non-available (80%)</li> <li>• BP 90/50 mmHg (63)</li> </ul> <p>Condition</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cyanosis</li> <li>• Abdominal breathing</li> <li>• Wheezing bilateral (sound level 100%)</li> <li>• Cough every 20 seconds</li> <li>• Bilaterally palpable pulses</li> </ul>	<p>- Immediate call of the emergency medical services.</p> <p>- Repeated administration of SABA with proper technique and dose until arrival of the emergency services. - 1<sup>st</sup> administration of SABA with proper technique and dose.</p>	<p>The parameters stay identical throughout the case.</p> <p>The scenario ends after 3 minutes of administration of SABA, with the arrival of the emergency medical services.</p>

BP: blood pressure; CNS: central nervous system; CVS: cardiovascular system; HR: heart rate; Resp: respiratory system; RR: respiratory rate; T: temperature; SABA: short acting beta agonist;

**Transfer scenario 1: Rapidly worsening asthma exacerbation.**

Stem (identical to the previous scenario).

You replace a physician in his private office. On arrival, you find your secretary with your first patient, a 12 month old child, weight 10kg, with a history of 2 bronchiolitis. His mother, who is absent for few minutes the time for her to park her car, told your secretary that she came because of the repetitive cough of her child.

Scenario Stage	Patient Condition	Simulator Parameters	Expected intervention	Cues
Moderate asthma exacerbation	Weight: 10kg  Physical Exam: • T 37.8, HR 140/min, RR 46/min, Sat non-available • Resp: no cyanosis, RR 38/min, abdominal breathing, audible bilateral wheezing. • CNS: Conscious, coughing and crying • CVS: pulses palpable. • Monitor: not available	Vitals <ul style="list-style-type: none"> <li>• T 37.8°C</li> <li>• HR 140/min</li> <li>• RR 46/min</li> <li>• Sat non-available</li> <li>• BP 90/50 mmHg (63)</li> </ul> Condition <ul style="list-style-type: none"> <li>• Abdominal breathing</li> <li>• Wheezing bilateral (sound level 100%)</li> <li>• Cough every 30 seconds</li> <li>• Crying every 2 minutes</li> <li>• Bilaterally palpable pulses</li> </ul>	- 1 <sup>st</sup> administration of SABA with proper technique and dose.  - 2 <sup>nd</sup> administration of SABA 20 minutes later	
Severe asthma exacerbation	Physical Exam : • T 37.8, HR 160/min, RR 60/min, Sat non available • Resp: cyanosis, RR 60/min, abdominal breathing, grunting.	Vitals <ul style="list-style-type: none"> <li>• T 37.8°C</li> <li>• HR 160/min</li> <li>• RR 60/min</li> <li>• Sat non available (set to 80%)</li> <li>• BP 90/50 mmHg(63)</li> </ul> Condition <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cyanosis</li> <li>• Abdominal breathing</li> </ul>	Call the emergency services	This stage starts at the beginning of the second administration of SABA by the student.

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CNS : Conscious, grunting</li> <li>• CVS: pulses palpable.</li> <li>• Monitor : not available</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grunting</li> <li>• Cough every 30 seconds</li> <li>• Bilaterally palpable pulses</li> </ul>		
--	---	---	--	--

BP: blood pressure; CNS: central nervous system; CVS: cardiovascular system; HR: heart rate; Resp: respiratory system; RR: respiratory rate; T: temperature; SABA: short acting beta agonist;

### Unrelated scenario 1: Pneumonia

Stem: idem precedent scenario.

Scenario Stage	Patient Condition	Simulator Parameters	Expected intervention	Cues
Pneumonia	Weight : 10kg  Physical Exam : <ul style="list-style-type: none"> <li>• T 39.0°C, HR 160/min, RR 46/min, Sat non available</li> <li>• Resp: no cyanosis, RR 46/min, unilateral coarse crackles</li> <li>• CNS : Conscious, coughing</li> <li>• CVS: pulses palpable.</li> <li>• Monitor : not available</li> </ul>	Vitals <ul style="list-style-type: none"> <li>• T 39.0°C</li> <li>• HR 160/min</li> <li>• RR 38/min</li> <li>• Sat non available</li> <li>• BP non available</li> </ul> Condition <ul style="list-style-type: none"> <li>• Unilateral coarse crackles</li> <li>• Cough every 30 seconds</li> <li>• Crying every 2 minutes</li> <li>• Bilaterally palpable pulses</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No administration of SABA or oral steroids</li> <li>- Antipyretic</li> <li>- Prescription of a chest X-Ray.</li> </ul>	The scenario was ended after 6 minutes and the participant was asked if he thought the scenario was an asthma exacerbation, and if not, what his diagnosis was.

BP: blood pressure; CNS: central nervous system; CVS: cardiovascular system; HR: heart rate; Resp: respiratory system; RR: respiratory rate; T: temperature; SABA: short acting beta agonist;

## Transfer scenario 2: Asthma exacerbation improving then relapsing

### Stem

You replace a physician in his private office. On arrival, you find your secretary with your first patient, a 6-month-old child, born at 34SA, weight 6 kg, with a history of 3 bronchiolitis. His mother, who is absent for few minutes the time for her to park her car, told your secretary that she came because of the repetitive cough of her child.

Scenario Stage	Patient Condition	Simulator Parameters	Expected intervention	Cues
Moderate asthma exacerbation	Weight: 6kg  Physical Exam: <ul style="list-style-type: none"> <li>• T 37.8, HR 140/min, RR 56/min, Sat non-available</li> <li>• Resp: no cyanosis, RR 56/min, abdominal breathing, audible bilateral wheezing.</li> <li>• CNS: Conscious, coughing and crying</li> <li>• CVS: pulses palpable.</li> <li>• Monitor: not available</li> </ul>	Vitals <ul style="list-style-type: none"> <li>• T 37.8°C</li> <li>• HR 140/min</li> <li>• RR 56/min</li> <li>• Sat non-available</li> <li>• BP 90/50 mmHg (63)</li> </ul> Condition <ul style="list-style-type: none"> <li>• Abdominal breathing</li> <li>• Wheezing bilateral (sound level 100%)</li> <li>• Cough every 30 seconds</li> <li>• Crying every 2 minutes</li> <li>• Bilaterally palpable pulses</li> </ul>	- 1 <sup>st</sup> administration of SABA with proper technique and dose.	
Improvement	Changes: - RR: 46/min - Normal chest movements (no more abdominal breathing)	Vitals <ul style="list-style-type: none"> <li>• T 37.8°C</li> <li>• HR 140/min</li> <li>• RR 46/min</li> <li>• Sat non-available</li> <li>• BP 90/50 mmHg (63)</li> </ul> Condition <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wheezing bilateral (sound level 100%)</li> </ul>	- 2 <sup>nd</sup> administration of SABA with proper technique and dose.	The improvement occurred after the first administration of SABA, or, if not administered, after 2 minutes.

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cough every 30 seconds</li> <li>• Crying every 2 minutes</li> <li>• Bilaterally palpable pulses</li> </ul>		
Relapse	<p>Changes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- RR: 56/min</li> <li>- Abdominal breathing</li> </ul>	<p>Vitals</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• T 37.8°C</li> <li>• HR 140/min</li> <li>• RR 56/min</li> <li>• Sat non-available</li> <li>• BP 90/50 mmHg (63)</li> </ul> <p>Condition</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Abdominal breathing</li> <li>• Wheezing bilateral (sound level 100%)</li> <li>• Cough every 30 seconds</li> <li>• Crying every 2 minutes</li> <li>• Bilaterally palpable pulses</li> </ul>	<p>- 3<sup>rd</sup> administration of SABA with proper technique and dose.</p> <p>- Administration of an oral steroid and call of the emergency medical services.</p>	<p>The relapse occurred after the second administration of SABA, or, if not administered, after 2 minutes.</p>

BP: blood pressure; CNS: central nervous system; CVS: cardiovascular system; HR: heart rate; Resp: respiratory system; RR: respiratory rate; T: temperature; SABA: short acting beta agonist;

## Unrelated scenario 2: Laryngitis

Stem: idem precedent scenario.

Scenario Stage	Patient Condition	Simulator Parameters	Expected intervention	Cues
Laryngitis	Weight: 6kg  Physical Exam: • T 37.8°C, HR 160/min, RR 55/min, Sat non available • Resp: no cyanosis, RR 56/min, stridor, chest retractions • CNS: Conscious, coughing • CVS: pulses palpable. • Monitor: not available	Vitals <ul style="list-style-type: none"> <li>• T 37.8°C</li> <li>• HR 160/min</li> <li>• RR 55/min</li> <li>• Sat non-available</li> <li>• BP non-available</li> </ul> Condition <ul style="list-style-type: none"> <li>• Stridor</li> <li>• Chest retractions</li> <li>• Bilaterally palpable pulses</li> </ul>	- No administration of SABA  - Administration of oral steroids  - Send to the emergency department.	

BP: blood pressure; CNS: central nervous system; CVS: cardiovascular system; HR: heart rate; Resp: respiratory system; RR: respiratory rate; T: temperature; SABA: short acting beta agonist;

**Table S2: Checklist developed for the evaluation of the scenarios.**

Table S2.1: Checklist used to calculate the performance score on the transfer scenario (Asthma exacerbation rapidly worsening). Maximal time allowed: 10 minutes.

	0	1	2	3
Recognition of asthma exacerbation	No	Yes		
1 <sup>st</sup> administration of SABA	Not given	SABA given but incorrect dose and incorrect timing x AT1 score	SABA given but incorrect dose or timing x AT1 score	SABA given with correct dose and correct timing x AT1 score
2 <sup>nd</sup> administration of SABA	Not given	SABA given but incorrect dose and incorrect timing x AT2 score	SABA given but incorrect dose or timing x AT2 score	SABA given with correct dose and correct timing x AT2 score
Call emergency services	No	Call but incorrect timing		Call with correct timing
<b>TOTAL</b>	<b>Out of 10</b>			
	Administration Technique of SABA score (AT score)			
	0	0.5	0.75	1
1 <sup>st</sup> administration of SABA AT1 score	Do not remove cap Do not use chamber	Forget to shake and to wait between puffs	Forget to shake or to wait between puffs	Remove cap + use chamber + shake + wait between puffs
2 <sup>nd</sup> administration of SABA AT2 score	Do not remove cap Do not use chamber	Forget to shake and to wait between puffs	Forget to shake or to wait between puffs	Remove cap + use chamber + shake + wait between puffs

SABA: Short acting beta agonist. AT: administration technique.



Table S2.1.1 Inter-rater reliability on the items of the checklist calculated using the intraclass correlation coefficient on 67 pairs (78% of the sample).

Item	ICC
Recognition of the asthma exacerbation	0.89 (0.81-0.93)
1 <sup>st</sup> administration of SABA	1.00 (1.00-1.00)
1 <sup>st</sup> administration of SABA- correct timing	1.00 (1.00-1.00)
1 <sup>st</sup> administration of SABA- correct dose	0.82 (0.71-0.89)
1 <sup>st</sup> administration of SABA- remove cap	0.85 (0.76-0.91)
1 <sup>st</sup> administration of SABA- shake inhaler	0.70 (0.51-0.81)
1 <sup>st</sup> administration of SABA- use spacer	0.89 (0.81-0.93)
1 <sup>st</sup> administration of SABA- wait between puffs	0.58 (0.31-0.74)
2 <sup>nd</sup> administration of SABA	1.00 (1.00-1.00)
2 <sup>nd</sup> administration of SABA- correct timing	0.89 (0.81-0.93)
2 <sup>nd</sup> administration of SABA- correct dose	0.87 (0.79-0.92)
2 <sup>nd</sup> administration of SABA- remove cap	0.92 (0.87-0.95)
2 <sup>nd</sup> administration of SABA- shake inhaler	0.74 (0.57-0.84)
2 <sup>nd</sup> administration of SABA- use spacer	0.89 (0.81-0.93)
2 <sup>nd</sup> administration of SABA- wait between puffs	0.64 (0.42-0.78)
Call emergency medical services	0.67 (0.47-0.80)
Call emergency medical services- correct timing	0.91 (0.85-0.94)
Mean intraclass correlation coefficient	0.84

Table S2.2: Checklist used to calculate the performance score for the far-transfer scenario 1 (Pneumonia). Maximal time allowed: 6 minutes.

	0	1
Asthma exacerbation diagnosed	Yes	No
Pneumoniae diagnosed	No	Yes
SABA given	Yes	No
Oral steroids given	Yes	No
Call for help/advice	No	Yes
Total	Out of 5	

SABA: Short acting beta agonist.

Table S2.2.1 Inter-rater reliability on the items of the checklist calculated using the intraclass correlation coefficient on 67 pairs (78% of the sample).

Item	ICC
Asthma exacerbation diagnosed	0.96 (0.93-0.97)
Pneumoniae diagnosed	0.60 (0.35-0.75)
SABA given	0.96 (0.93-0.97)
Oral steroids given	0.57 (0.30-0.73)
Call for help/advice	0.93 (0.88-0.96)
Mean intraclass correlation coefficient	0.80

Table S2.3: Checklist used to calculate the performance score for the scenario A (moderate asthma exacerbation which does not respond to SABA). Maximum time allowed: 12 minutes.

	0	1	2	3
Recognition of the asthma exacerbation	No	Yes		
2 <sup>nd</sup> administration of SABA	Not given	SABA given but incorrect dose and incorrect timing x AT1 score	SABA given but incorrect dose or timing x AT1 score	SABA given with correct dose and correct timing x AT1 score
2 <sup>nd</sup> administration of SABA	Not given	SABA given but incorrect dose and incorrect timing x AT2 score	SABA given but incorrect dose or timing x AT2 score	SABA given with correct dose and correct timing x AT2 score
3 <sup>rd</sup> administration of SABA	Not given	SABA given but incorrect dose and incorrect timing x AT3 score	SABA given but incorrect dose or timing x AT3 score	SABA given with correct dose and correct timing x AT3 score
Oral steroids	Not given	Given but incorrect dose and incorrect timing	Given but incorrect dose OR timing	Given with correct dose AND timing
Call emergency services	No	Call but incorrect timing		Call with correct timing
<b>TOTAL</b>	<b>Out of 16</b>			
	<b>Administration Technique of SABA score (AT score)</b>			
	0	0.5	0.75	1
1 <sup>st</sup> administration of SABA AT1 score	Do not remove cap Do not use chamber	Forget to shake and to wait between puffs	Forget to shake or to wait between puffs	Remove cap + use chamber + shake + wait between puffs
2 <sup>nd</sup> administration of SABA AT2 score	Do not remove cap Do not use chamber	Forget to shake and to wait between puffs	Forget to shake or to wait between puffs	Remove cap + use chamber + shake + wait between puffs
3 <sup>rd</sup> administration of SABA AT3 score	Do not remove cap Do not use chamber	Forget to shake and to wait between puffs	Forget to shake or to wait between puffs	Remove cap + use chamber + shake + wait between puffs

SABA : Short acting beta agonist.

Table S2.3.1 Inter-rater reliability on the items of the checklist calculated using the Kappa coefficient on 67 pairs (1<sup>st</sup> evaluation, 78% of the sample) and 79 pairs (2<sup>nd</sup> evaluation, 92% of the sample).

Item	Kappa coefficient – 1 <sup>st</sup> evaluation	Kappa coefficient – 2 <sup>nd</sup> evaluation
Recognition of the asthma exacerbation <sup>a</sup>	0.99	1.00 (1.00-1.00)
1 <sup>st</sup> administration of SABA <sup>a</sup>	1.00	1.00 (1.00-1.00)
1 <sup>st</sup> administration of SABA- correct timing <sup>a</sup>	1.00	0.81 (0.71-0.88)
1 <sup>st</sup> administration of SABA- correct dose	0.90 (0.84-0.94)	0.94 (0.91-0.96)
1 <sup>st</sup> administration of SABA- remove cap	0.80 (0.67-0.88)	1.00 (1.00-1.00)
1 <sup>st</sup> administration of SABA- shake inhaler	0.58 (0.33-0.74)	0.69 (0.51-0.80)
1 <sup>st</sup> administration of SABA- use spacer <sup>a</sup>	0.99	1.00 (1.00-1.00)
1 <sup>st</sup> administration of SABA- wait between puffs <sup>a</sup>	0.93	0.84 (0.75-0.90)
2 <sup>nd</sup> administration of SABA <sup>a</sup>	0.97	1.00 (1.00-1.00)
2 <sup>nd</sup> administration of SABA- correct timing <sup>a</sup>	0.94	0.76 (0.62-0.85)
2 <sup>nd</sup> administration of SABA- correct dose	0.89 (0.82-0.93)	0.97 (0.95-0.98)
2 <sup>nd</sup> administration of SABA- remove cap	0.80 (0.67-0.88)	1.00 (1.00-1.00)
2 <sup>nd</sup> administration of SABA- shake inhaler	0.47 (0.13-0.67)	0.78 (0.65-0.86)
2 <sup>nd</sup> administration of SABA- use spacer <sup>a</sup>	0.99	1.00 (1.00-1.00)
2 <sup>nd</sup> administration of SABA- wait between puffs <sup>a</sup>	0.94	0.87 (0.79-0.92)
3 <sup>rd</sup> administration of SABA	0.47 (0.13-0.67)	0.87 (0.80-0.92)
3 <sup>rd</sup> administration of SABA- correct timing	0.64 (0.42-0.78)	0.75 (0.61-0.84)
3 <sup>rd</sup> administration of SABA- correct dose	0.80 (0.67-0.87)	0.86 (0.78-0.91)
3 <sup>rd</sup> administration of SABA- remove cap	0.64 (0.41-0.78)	0.87 (0.80-0.92)
3 <sup>rd</sup> administration of SABA- shake inhaler	0.47 (0.14-0.68)	0.73 (0.58-0.83)
3 <sup>rd</sup> administration of SABA- use spacer	0.47 (0.14-0.68)	0.87 (0.80-0.92)
3 <sup>rd</sup> administration of SABA- wait between puffs	0.34 (-0.08-0.60)	0.88 (0.81-0.92)
Oral steroids	0.71 (0.53-0.82)	0.90 (0.85-0.94)
Oral steroids- correct timing	0.76 (0.61-0.85)	0.76 (0.63-0.85)
Oral steroids- correct dose	0.88 (0.80-0.92)	0.79 (0.66-0.86)
Call emergency medical services	0.89 (0.82-0.93)	0.79 (0.66-0.86)
Call emergency medical services- correct timing	0.43 (0.08-0.64)	0.86 (0.78-0.91)
Mean intraclass correlation coefficient	0.49	0.87

a: the intraclass correlation coefficient (ICC) could not be calculated for this item during evaluation 1 because one rater rated “1” for all the students. It was not included in the calculation of the mean intraclass correlation coefficient. The percentage of observed agreements is provided.

Table S2.4: Checklist used to calculate the performance score for the scenario B (mild asthma exacerbation which responds to SABA). Maximal time allowed: 8 minutes.

	0	1	2	3
Recognition of asthma exacerbation	No	Yes		
2 <sup>nd</sup> administration of SABA	Not given	SABA given but incorrect dose and incorrect timing x AT1 score	SABA given but incorrect dose or timing x AT1 score	SABA given with correct dose and correct timing x AT1 score
2 <sup>nd</sup> administration of SABA	Not given	SABA given but incorrect dose and incorrect timing x AT2 score	SABA given but incorrect dose or timing x AT2 score	SABA given with correct dose and correct timing x AT2 score
Oral steroids	Given	Not given		
Decision to send the child home	No	Yes		
TOTAL	Out of 9			
	Administration Technique of SABA score (AT score)			
	0	0.5	0.75	1
AT1 score	Do not remove cap Do not use chamber	Forget to shake and to wait between puffs	Forget to shake or to wait between puffs	Remove cap + use chamber + shake + wait between puffs
AT2 score	Do not remove cap Do not use chamber	Forget to shake and to wait between puffs	Forget to shake or to wait between puffs	Remove cap + use chamber + shake + wait between puffs

SABA : Short acting beta agonist.

Table S2.4.1 Inter-rater reliability on the items of the checklist calculated using the intraclass correlation coefficient on 67 pairs (78% of the sample) for the 1<sup>st</sup> evaluation and 79 pairs (92% of the sample) for the 2<sup>nd</sup> evaluation.

Item	ICC - 1 <sup>st</sup> evaluation	ICC - 2 <sup>nd</sup> evaluation
Recognition asthma exacerbation	0.93 (0.88-0.96)	0.94 (0.91-0.96)
1 <sup>st</sup> administration of SABA	0.98 (0.96-0.99)	1.00 (1.00-1.00)
1 <sup>st</sup> administration of SABA- correct timing	0.98 (0.97-0.99)	1.00 (1.00-1.00)
1 <sup>st</sup> administration of SABA- correct dose	0.89 (0.82-0.93)	0.92 (0.88-0.95)
1 <sup>st</sup> administration of SABA- remove cap	0.94 (0.90-0.96)	0.97 (0.96-0.98)
1 <sup>st</sup> administration of SABA- shake inhaler	0.92 (0.87-0.95)	0.86 (0.78-0.91)
1 <sup>st</sup> administration of SABA- use spacer	0.98 (0.97-0.99)	0.97 (0.96-0.98)
1 <sup>st</sup> administration of SABA- wait between puffs	0.94 (0.89-0.96)	0.87 (0.80-0.91)
2 <sup>nd</sup> administration of SABA	0.98 (0.97-0.99)	0.96 (0.93-0.97)
2 <sup>nd</sup> administration of SABA- correct timing	0.94 (0.90-0.96)	0.82 (0.72-0.89)
2 <sup>nd</sup> administration of SABA- correct dose	0.95 (0.92-0.97)	0.91 (0.86-0.94)
2 <sup>nd</sup> administration of SABA- remove cap	0.93 (0.88-0.96)	0.96 (0.93-0.97)
2 <sup>nd</sup> administration of SABA- shake inhaler	0.90 (0.84-0.94)	0.79 (0.67-0.87)
2 <sup>nd</sup> administration of SABA- use spacer	0.98 (0.97-0.99)	0.93 (0.89-0.96)
2 <sup>nd</sup> administration of SABA- wait between puffs	0.92 (0.86-0.95)	0.90 (0.84-0.93)
Oral steroid <sup>a</sup>	0.99	0.85 (0.77-0.91)
Send the child home	0.73 (0.56-0.83)	0.85 (0.76-0.90)
Mean intraclass correlation coefficient	0.94	0.91

a: the intraclass correlation coefficient (ICC) could not be calculated for this item during the first evaluation because one rater rated “1” for all the students. It was not included in the calculation of the mean intraclass correlation coefficient. The percentage of observed agreements is provided.

Table S2.5: Checklist used to calculate the performance score for the transfer scenario 2 (Asthma exacerbation improving and relapsing). Maximum time allowed: 10 minutes.

	0	1	2	3
Recognition of the asthma exacerbation	No	Yes		
2 <sup>nd</sup> administration of SABA	Not given	SABA given but incorrect dose and incorrect timing x AT1 score	SABA given but incorrect dose or timing x AT1 score	SABA given with correct dose and correct timing x AT1 score
2 <sup>nd</sup> administration of SABA	Not given	SABA given but incorrect dose and incorrect timing x AT2 score	SABA given but incorrect dose or timing x AT2 score	SABA given with correct dose and correct timing x AT2 score
3 <sup>rd</sup> administration of SABA	Not given	SABA given but incorrect dose and incorrect timing x AT3 score	SABA given but incorrect dose or timing x AT3 score	SABA given with correct dose and correct timing x AT3 score
Oral steroids	Not given	Given but incorrect dose and incorrect timing	Given but incorrect dose OR timing	Given with correct dose AND timing
Call emergency services	No	Call but incorrect timing		Call with correct timing
<b>TOTAL</b>	<b>Out of 16</b>			
	<b>Administration Technique of SABA score (AT score)</b>			
	0	0.5	0.75	1
1 <sup>st</sup> administration of SABA AT1 score	Do not remove cap Do not use chamber	Forget to shake and to wait between puffs	Forget to shake or to wait between puffs	Remove cap + use chamber + shake + wait between puffs
2 <sup>nd</sup> administration of SABA AT2 score	Do not remove cap Do not use chamber	Forget to shake and to wait between puffs	Forget to shake or to wait between puffs	Remove cap + use chamber + shake + wait between puffs
3 <sup>rd</sup> administration of SABA AT3 score	Do not remove cap Do not use chamber	Forget to shake and to wait between puffs	Forget to shake or to wait between puffs	Remove cap + use chamber + shake + wait between puffs

SABA : Short acting beta agonist.

Table S2.1.1 Inter-rater reliability on the items of the checklist calculated using the intraclass correlation coefficient on 79 pairs (92% of the sample).

Item	ICC (IC95%)
Recognition of the asthma exacerbation <sup>a</sup>	0.96
1 <sup>st</sup> administration of SABA	1.00 (1.00-1.00)
1 <sup>st</sup> administration of SABA- correct timing	1.00 (1.00-1.00)
1 <sup>st</sup> administration of SABA- correct dose	0.85 (0.76-0.90)
1 <sup>st</sup> administration of SABA- remove cap	1.00 (1.00-1.00)
1 <sup>st</sup> administration of SABA- shake inhaler	0.71 (0.54-0.81)
1 <sup>st</sup> administration of SABA- use spacer	0.92 (0.88-0.95)
1 <sup>st</sup> administration of SABA- wait between puffs	0.74 (0.59-0.83)
Improvement	
2 <sup>nd</sup> administration of SABA	0.96 (0.93-0.97)
2 <sup>nd</sup> administration of SABA- correct timing	0.76 (0.62-0.85)
2 <sup>nd</sup> administration of SABA- correct dose	0.87 (0.80-0.92)
2 <sup>nd</sup> administration of SABA- remove cap	0.96 (0.93-0.97)
2 <sup>nd</sup> administration of SABA- shake inhaler	0.85 (0.76-0.90)
2 <sup>nd</sup> administration of SABA- use spacer	0.96 (0.93-0.97)
2 <sup>nd</sup> administration of SABA- wait between puffs	0.80 (0.69-0.87)
Worsening	
3 <sup>rd</sup> administration of SABA	0.93 (0.89-0.95)
3 <sup>rd</sup> administration of SABA- correct timing	0.72 (0.57-0.82)
3 <sup>rd</sup> administration of SABA- correct dose	0.90 (0.84-0.93)
3 <sup>rd</sup> administration of SABA- remove cap	0.93 (0.89-0.95)
3 <sup>rd</sup> administration of SABA- shake inhaler	0.79 (0.67-0.87)
3 <sup>rd</sup> administration of SABA- use spacer	0.93 (0.89-0.95)
3 <sup>rd</sup> administration of SABA- wait between puffs	0.80 (0.69-0.87)
Oral steroids	0.98 (0.96-0.99)
Oral steroids- correct timing	0.81 (0.70-0.88)
Oral steroids- correct dose	0.87 (0.79-0.92)
Call emergency medical services	0.68 (0.50-0.80)
Call emergency medical services- correct timing	0.66 (0.46-0.78)
Mean intraclass correlation coefficient	0.86

a: the intraclass correlation coefficient (ICC) could not be calculated for this item because one rater rated “1” for all the students. It was not included in the calculation of the mean intraclass correlation coefficient. The percentage of observed agreements is provided.



Table S2.6: Checklist used to calculate the performance score for the far-transfer scenario 2 (Laryngitis). Maximum time allowed: 10 minutes.

	0	1
Asthma exacerbation diagnosed	Yes	No
Laryngitis/Upper airway obstruction diagnosed	No	Yes
SABA given	Yes	No
Oral steroids given	Yes	No
Call the emergency medical services	No	Yes
Total	Out of 5	

SABA : Short acting beta agonist.

Table S2.6.1: Inter-rater reliability on the items of the checklist calculated using the intraclass correlation coefficient on 79 pairs (92% of the sample).

Item	ICC
Asthma exacerbation diagnosed	0.89 (0.82-0.92)
Laryngitis/Upper airway obstruction diagnosed	1.00 (1.00-1.00)
SABA given	0.97 (0.96-0.98)
Oral steroids given	0.96 (0.93-0.97)
Call the emergency medical services	0.90 (0.85-0.94)
Mean intraclass correlation coefficient	0.94

**Table S3: Questionnaire on self-efficacy and knowledge**

The only questions presented here are the ones related to the management of an asthma exacerbation. Actually, these questions represented only 20 to 25% of all the questions answered, in order to “dilute” the questions related to asthma and not reveal the topic of the pre-evaluation.

French version filled by residents	Translated version in English
Self-efficacy	
<p>- A quel point vous sentez vous capable de gérer seul les premières minutes d'une crise d'asthme de l'enfant?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Incapable</li> <li>▪ Un peu capable</li> <li>▪ Moyennement capable</li> <li>▪ Plutôt capable</li> <li>▪ Tout à fait capable</li> </ul>	<p>- How sure are you that you can manage the first minutes of a child asthma exacerbation on your own?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Not at all sure</li> <li>▪ A little bit sure</li> <li>▪ Fairly sure</li> <li>▪ Quite sure</li> <li>▪ Completely sure</li> </ul>
Knowledge	
<p>- Parmi les propositions suivantes, quels peuvent être les signes d'une crise d'asthme de l'enfant?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Toux</li> <li>▪ Sifflement dans la poitrine</li> <li>▪ Gêne pour respirer</li> <li>▪ Fièvre</li> <li>▪ Maux de tête, migraine</li> </ul>	<p>Which of the following proposals can be the signs of an asthma exacerbation in a child?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cough</li> <li>▪ Wheezing in the chest</li> <li>▪ Difficulties in breathing</li> <li>▪ Fever</li> <li>▪ Headaches</li> </ul>
<p>- Parmi les propositions suivantes, quel(s) médicament(s) peuvent être utile à un enfant lors d'une crise d'asthme ?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Un corticoïde à avaler (exemple: céléstène, solupred, prednisone)</li> <li>▪ Un médicament d'urgence type bronchodilatateur (exemple: ventoline, salbutamol, terbutaline, bricanyl)</li> <li>▪ Un médicament de fond type corticoïde inhalé (exemple: flixotide, sérétide, qvar, pulmicort)</li> <li>▪ Un antalgique (exemple: paracétamol, doliprane, ibuprofène, profénid)</li> <li>▪ Aucun médicament ne doit être donné</li> </ul>	<p>- Among the followings, which are the treatments which can be useful to a child during an asthma exacerbation?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ An oral steroid (ex: betamethasone, prednisone)</li> <li>▪ A reliever medication such as a bronchodilator (ex: ventoline, salbutamol, albuterol, terbutaline)</li> <li>▪ A controller medication such as an inhaled steroid (ex: flixotide, seretide, qvar, pulmicort).</li> <li>▪ A painkiller (ex: acetaminophen, paracetamol, ibuprofen, profenid)</li> <li>▪ No treatment should be administered.</li> </ul>
<p>- Que faut-il faire si après la première administration du médicament d'urgence (la</p>	<p>- What shall be the next step if after the first administration of the reliever medication</p>

<p>ventoline ou le bricanyl) l'état de l'enfant en crise d'asthme est toujours identique avec une difficulté à respirer sans autre signe de gravité ?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Il faut attendre vingt minutes et redonner le médicament d'urgence</li> <li>▪ Il faut arrêter complètement le médicament d'urgence</li> <li>▪ Il faut donner un corticoïde à avaler (Exemple : célestène, solupred, prednisone)</li> <li>▪ Il faut appeler ou consulter un médecin</li> <li>▪ Il faut administrer le corticoïde inhalé (Exemple: Flixotide, Budésonide)</li> </ul>	<p>(ventoline or terbutaline), the child asthma exacerbation has not improved with difficulties in breathing but no other sign of severity?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ One should wait 20 minutes and give the reliever medication again.</li> <li>▪ One should stop to give the reliever medication definitively</li> <li>▪ One should give an oral steroid (ex : betamethasone, prednisone)</li> <li>▪ One should call or contact a physician</li> <li>▪ One should give the controller medication (Ex: flixotide, budesonide).</li> </ul>
<p>- Si un enfant a une crise d'asthme, dans quelle(s) situation(s) ses parents doivent-ils appeler le 15 (SAMU) ?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Si l'enfant a les lèvres ou le visage bleu ou violet</li> <li>▪ Si la difficulté à respirer s'aggrave vite et que le traitement commencé à domicile ne fonctionne pas</li> <li>▪ Si on a un doute sur la conduite à tenir</li> <li>▪ Si l'enfant tousse depuis plusieurs nuits</li> <li>▪ Si on peut entendre des sifflements dans la poitrine de l'enfant</li> </ul>	<p>- If a child has an asthma exacerbation, what are the situations that should lead his parents to call the emergency medical services?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ If the child has blue or purple lips or face</li> <li>▪ If the difficulty to breath rapidly worsens and that the treatment started at home does not act.</li> <li>▪ If they have a doubt on the way to manage the asthma exacerbation.</li> <li>▪ If the child has been coughing for several nights</li> <li>▪ If one can hear wheezing when listening to chest of the child.</li> </ul>
<p>- Comment doit-on donner le médicament d'urgence (la ventoline, le salbutamol, le bricanyl, ou la terbutaline) lors d'une crise d'asthme d'un enfant de 1 an survenant à domicile?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Directement dans la bouche de l'enfant</li> <li>▪ Avec une chambre d'inhalation et un embout dans la bouche</li> <li>▪ Avec une chambre d'inhalation et un masque qui recouvre le nez et la bouche</li> <li>▪ C'est un médicament à avaler avec un verre d'eau</li> <li>▪ Je ne sais pas ce qu'est une chambre d'inhalation</li> </ul>	<p>- How the reliever medication (ex: ventoline, salbutamol, albuterol, terbutaline) should be administered to a one year old child with an asthma exacerbation occurring at home?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Directly in the child's mouth</li> <li>▪ With a spacer and a mouthpiece in the mouth</li> <li>▪ With a spacer and a facial mask which covers both the nose and the mouth</li> <li>▪ It is a treatment to swallow with a glass of water.</li> <li>▪ I do not know what a spacer is.</li> </ul>

#### 4. Cinquième étape : création du cahier des charges du simulation game

Sur la base de la revue de la littérature effectuée et des études présentées ci-dessus, le cahier des charges du serious game Effic'Asthme a été réalisé. La version présentée ci-dessous est celle qui a été utilisée pour le cahier des clauses techniques et particulières de l'appel d'offres ouvert n° 2017SECUSPE075.

Le tableau ci-dessous présente l'adéquation des caractéristiques du serious game telles que présentées dans le cahier des charges ci-dessous avec les principes liés à l'efficacité pédagogique des serious games et basés sur l'éducation fondée sur les preuves, développés dans l'introduction.

Tableau 5 : Intégration des caractéristiques associées à l'efficacité pédagogique des serious games au cas d'Effic'Asthme

Caractéristiques	Niveau de preuve	Recommandation	Intégration dans le cahier des charges
Démonstration	+++	+++	+++
Feedback	+++	+++	+++
Modalité (feedback audio)	+++	+++	-
Humanisation (voix humaines, style conversationnel)	++	++	+
Interactivité	+++	+++	+++
Personnalisation du contexte	+++	+++	+++
Fidélité cognitive	+	++	+++
Pratique répétée	+++	+++	+++
Intégration du serious game dans un cursus	+++	+++	++

## « 1. Caractéristiques générales

### 1.1 Objectifs pédagogiques

Les objectifs pédagogiques d'Effic'Asthme, basés sur les études ci-dessus sont :

- **La reconnaissance précoce des symptômes** d'une crise d'asthme de l'enfant. Les symptômes qui doivent être connus des parents sont les suivants :

- Toux répétée, surtout en milieu de nuit
- Sifflement (Wheezing) audible à l'oreille
- Respiration rapide (tachypnée)
- Balancement thoraco-abdominal
- Tirage intercostal et sus sternal
- Signes de gravité : visage pâle (blanc), lèvres violettes, incapacité à parler, malaise.

- **L'acquisition de la technique d'administration** de l'aérosol-doseur de Salbutamol (Ventoline) à l'enfant via la chambre d'inhalation, comprenant les étapes suivantes : 1- retirer le capuchon ; 2- secouer l'aérosol doseur ; 3- insérer l'aérosol-doseur dans la chambre d'inhalation et poser le masque sur le visage de l'enfant ; 4- appuyer sur l'aérosol-doseur pour délivrer une bouffée ; 5- attendre cinq respirations ; 6- recommencer les étapes 2, 3, 4 et 5 autant de fois que prescrit ; 7- retirer la chambre d'inhalation du visage de l'enfant, désadapter l'aérosol-doseur et remettre le capuchon sur l'aérosol-doseur.

- **La capacité à suivre le plan d'action de l'enfant en cas de crise.** Le plan d'action est une conduite à tenir en cas de crise d'asthme, remise aux parents sous forme papier à chaque consultation. Ce plan d'action indique la séquence et la dose de médicaments à administrer en fonction des symptômes de l'enfant, et le moment à partir duquel il faut recourir à un médecin, aux urgences pédiatriques ou au SAMU. Ce plan d'action est détaillé au paragraphe 2.7.

### 1.2 Population ciblée

La cible d'Effic'Asthme correspond aux parents dont les enfants ont entre 1 et 5 ans et sont asthmatiques, soit des adultes âgés d'environ 25 à 40 ans. Il s'adresse autant aux mères qu'aux pères, autant aux familles aisées qu'aux familles moins aisées.

### 1.3 Plateformes

Effic'Asthme doit être disponible sur téléphone mobile et tablette tactile, et fonctionner sous les systèmes d'exploitation Android et iOS.

### 1.4 Langage informatique

Le langage informatique est laissé à l'appréciation du candidat.

## **1.5 Production graphique**

Effic'Asthme est un simulateur virtuel. L'un des objectifs pédagogiques étant la reconnaissance des symptômes d'une crise d'asthme, l'univers graphique proposé par le candidat devra permettre une reconnaissance fine des symptômes observés dans la vie réelle. Un autre objectif pédagogique étant l'enseignement de la technique d'administration du salbutamol, il est également nécessaire que ces différentes étapes soient reproduites fidèlement.

Le type de graphisme nécessaire à cette reconstitution, 2D ou 3D, est laissé à l'appréciation du candidat.

Si les symptômes de la crise et la technique d'administration doivent être reproduits fidèlement, aucune étude scientifique ne permet de considérer qu'un environnement uniquement réaliste soit associé à un meilleur apprentissage qu'un environnement métaphorique comprenant des éléments réalistes. L'option préférée est donc laissée à l'appréciation du candidat.

## **1.6 Production sonore**

De la même manière que pour la production graphique, certains éléments sonores doivent être fidèles à la réalité. Il s'agit des éléments liés à la reconnaissance des symptômes (toux sèche, sifflements respiratoires, geignements), et des éléments liés à la technique d'administration (« pshitt » de l'aérosol doseur lorsqu'une bouffée est délivrée).

Les autres éléments sonores (musique de fond, récompenses, etc.) sont laissés à l'appréciation du candidat.

## **2 Contenu du simulateur virtuel Effic'Asthme**

### **2.1 Interface d'accueil**

Effic'Asthme est un simulateur virtuel qui s'intégrera dans une plateforme d'éducation thérapeutique de l'asthme plus large, nommée « EducAsthma ». L'interface d'accueil doit donc permettre la création d'un profil du parent qui permettra la sauvegarde des paramètres et de l'avancée de l'utilisateur dans l'application. Ce profil devra permettre au parent d'accéder aux résultats de son enfant lorsqu'un second module de la plateforme EducAsthma, correspondant à un jeu vidéo sérieux à destination des enfants asthmatiques, sera développé.

### **2.2 Création du plan d'action**

Lorsque l'utilisateur se connecte pour la première fois, le recueil des informations nécessaires à la personnalisation du jeu débute. Ces informations sont les suivantes :

1/ Âge : Moins d'1 an, 1 an, 2 ans, 3 ans, 4 ans, 5 ans.

2/ Sexe : Garçon ou Fille

3/ Poids : Rouleau avec les poids de 5 à 30 kg.

4/ Modalité d'administration : nébuliseur ; chambre avec masque ; chambre avec embout buccal. Sont représentés par des schémas sur des vignettes.

5/ Traitements inhalés : dépend de la modalité d'administration ci-dessus.

- Si nébuliseur : proposer un choix de pipettes vignettes avec d'abord un écran « médicament d'urgence » : « ventoline/salbutamol » ou « terbutaline/bricanyl » puis un écran « médicament de fond » : « pulmicort/budésonide », « beclospin /beclométhasone », « aucun ». Chaque fois, une petite vignette avec une pipette transparente sera présentée et le nom du traitement écrit en dessous. Toutes les vignettes sont présentées simultanément sur l'écran. Les inscriptions des pipettes, non lisibles seront bleues s'il s'agit d'un médicament d'urgence, et noire s'il s'agit du médicament de fond.
- Si chambre d'inhalation : même schéma. Un écran médicament d'urgence proposant : « ventoline/salbutamol) » ou « terbutaline/bricanyl » puis un écran « médicament de fond ». L'écran « médicament de fond » dépendra de l'âge de l'enfant. Si < 4 ans, il comprendra :
  - o « Flixotide/Fluticasone) »
  - o « Aucun »Si l'enfant a 4 ou 5 ans, alors il comprendra les mêmes options que ci-dessus +
  - o « Sérétide/fluticasone-salmétérol) »

Chaque fois, une petite vignette avec un schéma d'aérosol doseur sera présentée et le nom du traitement sera écrit en dessous. L'aérosol doseur sera de couleur bleue pour les médicaments d'urgence, et de couleur rouge pour les médicaments de fond (sauf pour le sérétide qui sera violet).

6/ Corticothérapie orale : nouvel écran présentant trois vignettes :

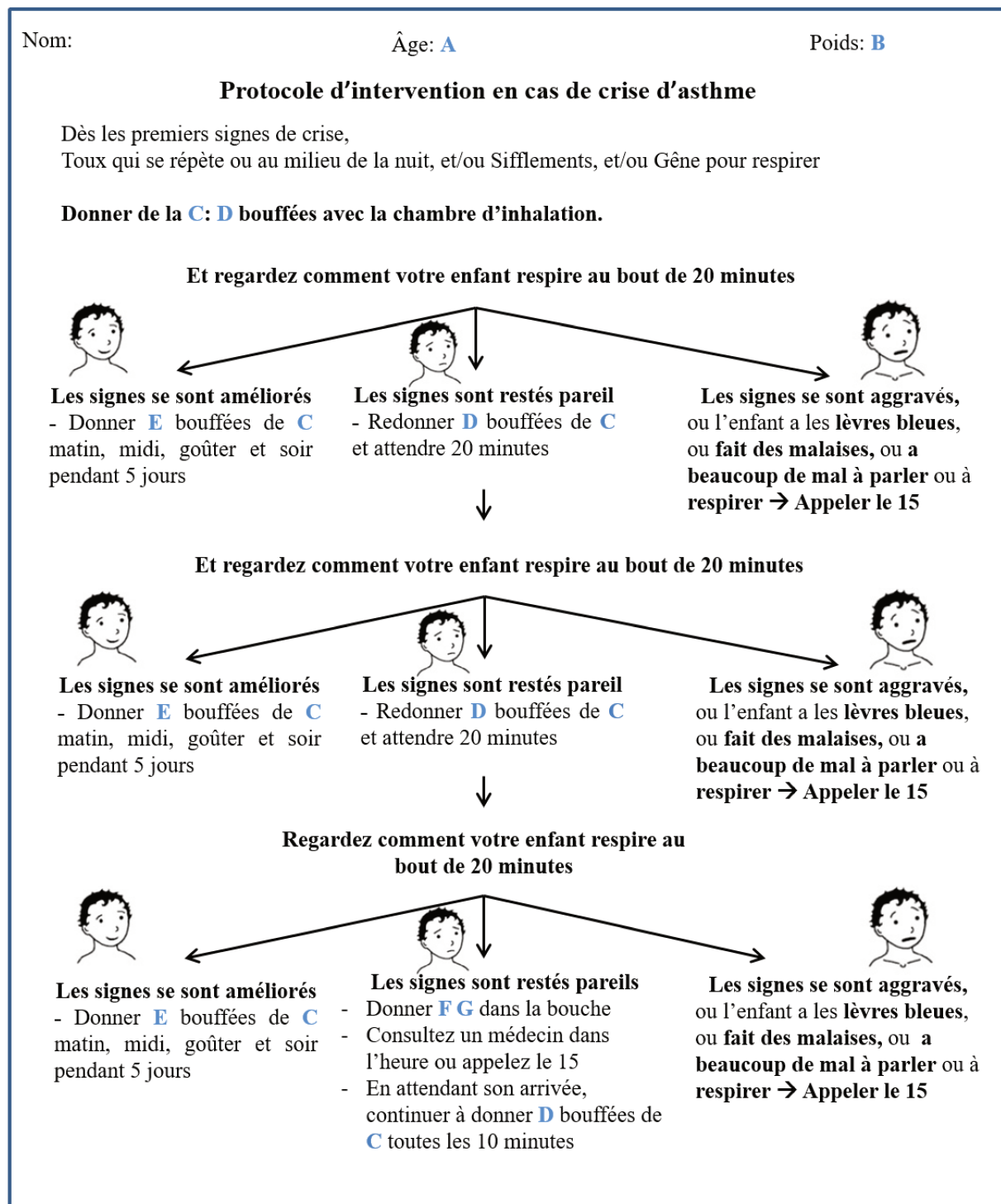
- Image de sirop avec en dessous : « Bethametasone/Célestène »
- Image de comprimés blancs avec en dessous : « Prednisolone/Solupred 20 mg »
- Aucune

7/ Téléphone du médecin : image de téléphone sur lequel le parent doit pianoter le numéro de téléphone de son médecin et « enregistrer » pour terminer la configuration.

8/ « Merci, nous créons votre plan d'action ».

Les informations entrées par l'utilisateur permettent de créer le plan d'action de l'enfant, qui apparaîtra ensuite dans le menu principal sous la rubrique « plan d'action en cas de crise »

Si l'enfant possède une chambre d'inhalation, le plan d'action est présenté tel que ci-dessous :



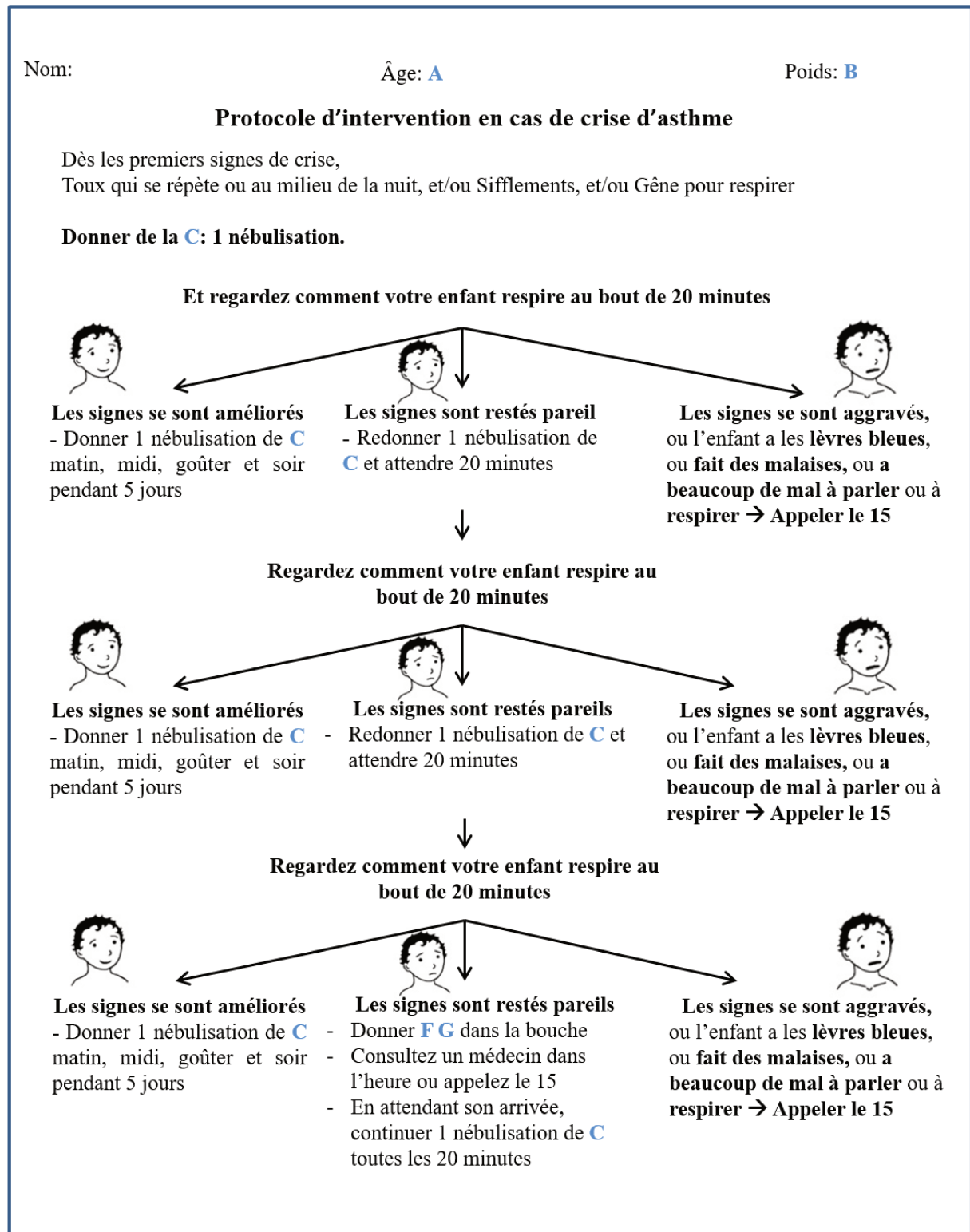
En bleues apparaissent les lettres qui doivent être remplacées par les informations complétées par l'utilisateur.

- A : âge de l'enfant + « an(s) » (Ex : 2 ans)
- B : poids + « kg » (Ex : 10 kg)
- C : médicament d'urgence (Ex : Ventoline/Salbutamol)
- D : nombre de bouffées = 0.5 x poids de l'enfant (max 10 bouffées).
- E : nombre de bouffées = 4



- G : corticothérapie orale : «de betaméthasone » ou « de prednisolone 20mg ».
- F : dose de corticothérapie orale :
  - si betaméthasone :
    - Si poids de l'enfant = 5 kg : « 80 gouttes »
    - Si poids de l'enfant = 6 kg : « 100 gouttes »
    - Si poids de l'enfant = 7kg : « 110 gouttes »
    - Si poids de l'enfant = 8kg : « 130 gouttes »
    - Si poids de l'enfant = 9 kg : « 140 gouttes »
    - Si poids de l'enfant = 10kg : « 160 gouttes »
    - Si poids de l'enfant = 11kg : « 180 gouttes »
    - Si poids de l'enfant = 12 kg : « 200 gouttes »
    - Si poids de l'enfant = 13 kg : « 210 gouttes »
  - si prednisolone :
    - Si poids de l'enfant entre 5 et 9 kg : 10 mg → « la moitié d'un comprimé »
    - Si poids de l'enfant entre 10 et 15 kg : 20 mg → « 1 comprimé »
    - Si poids de l'enfant supérieur à 15 kg : 30mg → « 1 comprimé et demi de prednisolone 20mg »

Si l'enfant reçoit les traitements à l'aide d'un nébuliseur, le plan d'action sera présenté tel que ci-dessous :



En bleues apparaissent les lettres qui doivent être remplacées par les informations complétées par l'utilisateur.

- A : âge de l'enfant + « an(s) » (Ex : 2 ans)
- B : poids + « kg » (Ex : 10 kg)

- C : médicament d'urgence (Ex : Ventoline/Salbutamol)
- G : corticothérapie orale : «de betaméthasone » ou « de prednisolone 20mg ».
- F : dose de corticothérapie orale :
  - o si betaméthasone :
    - Si poids de l'enfant = 5 kg : « 80 gouttes »
    - Si poids de l'enfant = 6 kg : « 100 gouttes »
    - Si poids de l'enfant = 7kg : « 110 gouttes »
    - Si poids de l'enfant = 8kg : « 130 gouttes »
    - Si poids de l'enfant = 9 kg : « 140 gouttes »
    - Si poids de l'enfant = 10kg : « 160 gouttes »
    - Si poids de l'enfant = 11kg : « 180 gouttes »
    - Si poids de l'enfant = 12 kg : « 200 gouttes »
    - Si poids de l'enfant = 13 kg : « 210 gouttes »
  - o si prednisolone :
    - Si poids de l'enfant entre 5 et 9 kg : 10 mg → « la moitié d'un comprimé »
    - Si poids de l'enfant entre 10 et 15 kg : 20 mg → « 1 comprimé »
    - Si poids de l'enfant supérieur à 15 kg : 30mg → « 1 comprimé et demi de prednisolone 20mg »

A noter que le nom de l'enfant n'est pas rempli, ce qui nous permet de garder les informations recueillies anonymes.

Ce plan d'action, présenté au parent à l'issue de la première connexion et des informations qu'ils ont rentrées doit pouvoir être envoyé par e-mail

Une fenêtre pop-up leur annonce que ce plan d'action est désormais rangé dans la vignette « Plan d'action en cas de crise » de l'application, et peut être retrouvé à tout moment.

### **2. 3 Menu du simulateur virtuel**

Le menu du simulateur virtuel comportera –au minimum– les rubriques suivantes :

- Profil. Cet onglet permet à l'utilisateur de mettre à jour les informations nécessaires à la personnalisation du jeu (poids de l'enfant, âge, etc.), et de suivre ses performances sur les différents scénarios.
- Entraînement. Cet onglet permet à l'utilisateur de s'entraîner sur différents scénarios de crise d'asthme à prendre en charge son enfant, en utilisant les médicaments habituels de son enfant.
- Documents. Cet onglet permet d'accéder au plan d'action en cas de crise d'asthme, et à des fiches d'information sur l'asthme de l'enfant.
- Médecin. Cet onglet permet de montrer au médecin suivant l'enfant, au cours de la consultation, le point d'éducation thérapeutique prioritaire qu'il faut travailler en fonction des résultats du parent aux différents scénarios.

## 2. 4 Le module « Entraînement »

Le module « Entraînement » est le cœur du simulateur virtuel. Il permet à l'utilisateur de tester ses capacités à prendre en charge une crise d'asthme de son enfant survenant à domicile.

Les scénarios prennent tous place au sein de la chambre de l'enfant. L'environnement graphique doit donc correspondre à une chambre d'enfant.

### 2.4.1 Scénarios

Chaque scénario est présenté sous la forme d'une icône dans l'application. Le simulateur virtuel Effic'Asthme comportera au final six scénarios, reflétant des crises d'asthme de sévérité différente.

#### 1<sup>er</sup> scénario : Scénario crise d'asthme légère

##### A/ Introduction

Il est 17h. Votre enfant s'est amusé avec ses jouets tout l'après-midi. Il s'est beaucoup agité. Il est souriant mais vous trouvez qu'il fait un bruit inhabituel et qu'il tousse beaucoup.

##### B/ Présentation du simulateur

Paramètre	Modalité
Pleurs	Non
Toux	Oui, sèche, toutes les 20 secondes
Sifflements	Oui, forts
Fréquence respiratoire	Normale (30/min si < 2 ans, 20/min si > 2 ans)
Signes de lutte respiratoire	Aucun

##### C/ Actions

Action	Conséquence
Désobstruction du nez/lavage des yeux (sérum physiologique)	Pleurs
Paracétamol sirop	Aucune
Thermomètre digital	Température affichée : 37°3
Chaise ou autre action proposée par candidat	Accélération du temps
Médicament d'urgence	Si : <ul style="list-style-type: none"><li>- Technique correcte</li><li>- Dose &gt; 2 bouffées</li></ul> → Fin de la crise (stop toux et stop sifflements)
Médicament de fond	Aucune
Corticothérapie orale	Aucune
Téléphone portable	Appel médecin : choix entre <ul style="list-style-type: none"><li>- Je ne sais pas ce que je dois faire</li><li>- J'ai besoin que vous voyiez mon enfant</li></ul>

	<p>Réponse unique : venez à mon cabinet, je vais examiner votre enfant → Fin du scénario</p> <p>Appel SAMU :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Je ne sais pas ce que je dois faire</li> <li>- J'ai besoin qu'un médecin voie mon enfant</li> </ul> <p>Réponse unique : la crise que vous me décrivez n'est pas grave. Voyez avec votre médecin.</p>
--	--

D/ Fin du scénario :

- Appel du médecin.
- Sortie par la porte « j'ai terminé ».
- 8 minutes sont passées.

E/ Actions attendues

- Administration du médicament d'urgence
  - A la bonne dose
  - Avec la bonne technique d'inhalation
- Sortie vers la porte « j'ai terminé ».

## 2<sup>e</sup> scénario : Scénario crise d'asthme modérée

A/ Briefing

Il est 17h. Vous avez laissé votre enfant chez une amie toute l'après-midi. Lorsque vous le récupérez, vous trouvez qu'il a du mal à respirer. Votre amie dit qu'il a beaucoup toussé, peut-être à cause du pic de pollution actuel.

B/ Présentation du simulateur

Paramètre	Modalité
Pleurs	Non
Toux	Oui, sèche, toutes les 20 secondes
Sifflements	Oui, forts
Fréquence respiratoire	Elevée (50/min si < 2 ans, 40/min si > 2 ans)
Signes de lutte respiratoire	Balancement thoraco-abdominal Tirage sus sternal Tirage intercostal
Signe de gravité	Non

C/ Actions

Action	Conséquence
--------	-------------

Désobstruction du nez/lavage des yeux (sérum physiologique)	Pleurs
Paracétamol sirop	Aucune
Thermomètre digital	Température affichée : 37°7
Chaise ou autre action proposée par candidat	Accélération du temps
Médicament d'urgence	Aucune
Médicament de fond	Aucune
Corticothérapie orale	Aucune
Téléphone portable	Appel médecin : choix entre - Je ne sais pas ce que je dois faire - J'ai besoin que vous voyiez mon enfant Réponse unique : venez, je peux vous recevoir en consultation immédiatement → Fin du scénario Appel SAMU : - J'ai besoin qu'un médecin voie mon enfant Réponse unique : la crise que vous me décrivez semble sévère. Nous envoyons une équipe médicale à votre domicile. Pendant ce temps, pouvez-vous continuer à donner de la ventoline à votre enfant toutes les 5 minutes → → Fin du scénario avec l'arrivée du SAMU.
Clefs de voiture	Inactivées pour ce scénario

D/ Fin du scénario :

- Appel du médecin.
- Sortie par la porte « j'ai terminé ».
- 12 minutes sont passées.

E/ Actions attendues :

- 1<sup>ère</sup> administration de médicament d'urgence à la bonne dose et avec la bonne technique
- Attente 20 minutes sur la chaise
- 2<sup>ème</sup> administration de médicament d'urgence à la bonne dose et avec la bonne technique
- Attente 20 minutes sur la chaise
- 3<sup>ème</sup> administration de médicament d'urgence à la bonne dose et avec la bonne technique
- (Attente 20 minutes facultative)
- Administration de la corticothérapie orale à la bonne dose
- Appel du médecin / Départ aux urgences.

### 3<sup>e</sup> scénario : Scénario crise d'asthme sévère

#### A/ Briefing

Il est 15h. Votre enfant tousse depuis plusieurs jours. Comme il était fatigué, vous l'avez couché pour la sieste vers 14h. Vous l'avez beaucoup entendu tousser, et depuis quelques minutes il pleure beaucoup. Lorsque vous arrivez dans sa chambre, vous trouvez qu'il a du mal à respirer.

#### B/ Présentation du simulateur

Paramètre	Modalité
Pleurs	Oui
Toux	Oui, sèche, toutes les 20 secondes
Sifflements	Oui, forts
Fréquence respiratoire	Elevée (70/min si < 2 ans, 50/min si > 2 ans)
Signes de lutte respiratoire	Balancement thoraco-abdominal Tirage sus sternal et intercostal
Signe de gravité	Lèvres violettes Visage pâle

#### C/ Actions

Action	Conséquence
Désobstruction du nez/lavage des yeux (sérum physiologique)	Pleurs
Paracétamol sirop	Aucune
Thermomètre digital	Température affichée : 37°7
Chaise ou autre action proposée par candidat	Accélération du temps
Médicament d'urgence	Aucune
Médicament de fond	Aucune
Corticothérapie orale	Aucune
Téléphone portable	Appel médecin : choix entre - Je ne sais pas ce que je dois faire - J'ai besoin que vous voyiez mon enfant Réponse unique : D'après ce que vous me racontez, l'état de votre enfant est très sérieux. Il faudrait que vous appeliez le SAMU au 15 Appel SAMU : - J'ai besoin qu'un médecin voie mon enfant Réponse unique : la crise que vous me décrivez semble grave. Nous envoyons immédiatement une équipe médicale à votre domicile. Pendant ce temps, pouvez-vous continuer à donner de la ventoline à votre enfant toutes les 5 minutes → Fin du scénario avec l'arrivée du SAMU.

#### D/ Fin du scénario :

- Appel du SAMU
- Sortie par la porte « j'ai terminé ».
- Départ pour les urgences pédiatriques
- 12 minutes sont passées.

E/ Actions attendues :

- (1<sup>ère</sup> administration de médicament d'urgence à la bonne dose et avec la bonne technique) facultatif.
- Appel du SAMU
- Administration de médicament d'urgence à la bonne dose et avec la bonne technique
- Arrivée du SAMU = fin du scénario.

**4<sup>e</sup> scénario : Scénario crise d'asthme s'améliorant après 2 ventoline/contexte rhinopharyngite**

A/ Briefing

Il est 16h. Votre enfant a attrapé un rhume. Il a de la fièvre et le nez qui coule. Il tousse depuis plusieurs jours. Il vient de se réveiller de sa sieste et il vous semble qu'il fait un bruit inhabituel.

B/ Présentation du simulateur

Paramètre	Modalité
Nez	Sale, sécrétions
Pleurs	Oui
Toux	Oui, sèche, toutes les 30 secondes
Sifflements	Oui, forts
Fréquence respiratoire	Normale (30/min si < 2 ans, 20/min si > 2 ans)
Signes de lutte respiratoire	Non
Signe de gravité	Non

C/ Actions

Action	Conséquence
Désobstruction du nez/lavage des yeux (sérum physiologique)	Pleurs transitoires + nez/yeux nettoyés
Paracétamol sirop	Fait descendre la température à 37°3 après 20 minutes.
Thermomètre digital	Température affichée : 38°6
Chaise ou autre action proposée par candidat	Accélération du temps
Médicament d'urgence	Si : - Technique correcte



	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dose &gt; 2 bouffées</li> <li>A 2 reprises espacées de 20 minutes d'intervalle</li> <li>→ Fin de la crise (stop toux et stop sifflements)</li> </ul>
Médicament de fond	Aucune
Corticothérapie orale	Aucune
Téléphone portable	Appel médecin : choix entre <ul style="list-style-type: none"> <li>- Je ne sais pas ce que je dois faire</li> <li>- J'ai besoin que vous voyiez mon enfant</li> </ul> Réponse unique : venez à mon cabinet, je vais examiner votre enfant → Fin du scénario Appel SAMU : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Je ne sais pas ce que je dois faire</li> <li>- J'ai besoin qu'un médecin voie mon enfant</li> </ul> Réponse unique : la crise que vous me décrivez n'est pas grave. Voyez avec votre médecin.
Clefs de voiture	Départ pour les urgences

D/ Fin du scénario :

- Appel du SAMU/du médecin/départ pour les urgences
- Sortie par la porte « j'ai terminé ».
- 10 minutes sont passées.

E/ Actions attendues :

- 1<sup>ère</sup> administration de médicament d'urgence à la bonne dose et avec la bonne technique
  - Attente 20 minutes sur la chaise
  - 2<sup>ème</sup> administration de médicament d'urgence à la bonne dose et avec la bonne technique
  - Attente 20 minutes sur la chaise
  - Sortie par la porte j'ai terminé.
- +/- Bonus (ordre aléatoire) :
- Administration de paracétamol
  - Nettoyage du nez (sérum physiologique et/ou mouchoir)

## 5<sup>e</sup> scénario : Scénario crise d'asthme s'aggravant/contexte rhinopharyngite

A/ Briefing

Il est 16h. Votre enfant a un rhume depuis plusieurs jours. Il a de la fièvre, le nez qui coule, et il tousse. Il vient de se réveiller de sa sieste et il vous semble qu'il a du mal à respirer.

#### B/ Présentation du simulateur

- Initialement

Paramètre	Modalité
Nez	Sale, sécrétions
Pleurs	Oui
Toux	Oui, sèche, toutes les 30 secondes
Sifflements	Oui, forts
Fréquence respiratoire	Augmentée (40/min si < 2 ans, 30/min si > 2 ans)
Signes de lutte respiratoire	Balancement thoraco-abdominal Tirage intercostal Tirage sus sternal
Signe de gravité	Non

- Aggravation après la première administration de médicament d'urgence, pendant que l'utilisateur patiente sur la chaise.

Paramètre	Modalité
Nez	Sale, sécrétions
Pleurs	Oui
Toux	Oui, sèche, toutes les 30 secondes
Sifflements	Oui, forts
Fréquence respiratoire	Augmentée (70/min si < 2 ans, 50/min si > 2 ans)
Signes de lutte respiratoire	Balancement thoraco-abdominal Tirage intercostal Tirage sus sternal
Signe de gravité	Lèvres violettes Visage pâle

#### C/ Actions

Action	Conséquence
Désobstruction du nez/lavage des yeux (sérum physiologique)	Pleurs transitoires + nez/yeux nettoyés
Paracétamol sirop	Fait descendre la température à 37°3 après 20 minutes.
Thermomètre digital	Température affichée : 38°6
Chaise ou autre action proposée par candidat	Accélération du temps
Médicament d'urgence	Aucune
Médicament de fond	Aucune
Corticothérapie orale	Aucune
Téléphone portable	<u>Avant aggravation</u>

	<p>Appel médecin : choix entre</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Je ne sais pas ce que je dois faire</li> <li>- J'ai besoin que vous voyiez mon enfant</li> </ul> <p>Réponse unique : venez à mon cabinet, je vais examiner votre enfant → Fin du scénario</p> <p>Appel SAMU :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Je ne sais pas ce que je dois faire</li> <li>- J'ai besoin qu'un médecin voie mon enfant</li> </ul> <p>Réponse unique : la crise que vous me décrivez n'est pas grave. Voyez avec votre médecin.</p> <p><u>Après aggravation</u></p> <p>Appel médecin : choix entre</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Je ne sais pas ce que je dois faire</li> <li>- J'ai besoin que vous voyiez mon enfant</li> </ul> <p>Réponse unique : D'après ce que vous me racontez, l'état de votre enfant est très sérieux. Il faudrait que vous appeliez le SAMU au 15</p> <p>Appel SAMU :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- J'ai besoin qu'un médecin voie mon enfant</li> </ul> <p>Réponse unique : la crise que vous me décrivez semble grave. Nous envoyons immédiatement une équipe médicale à votre domicile. Pendant ce temps, pouvez-vous continuer à donner de la ventoline à votre enfant toutes les 5 minutes → Fin du scénario avec l'arrivée du SAMU.</p>
Clefs de voiture	Départ pour les urgences

D/ Fin du scénario :

- Appel du SAMU/du médecin/départ pour les urgences
- Sortie par la porte « j'ai terminé ».
- 10 minutes sont passées.

E/ Actions attendues :

- 1<sup>ère</sup> administration de médicament d'urgence à la bonne dose et avec la bonne technique
- Attente 20 minutes sur la chaise
- (2<sup>ème</sup> administration de médicament d'urgence à la bonne dose et avec la bonne technique) facultatif
- Devant l'aggravation : appel du SAMU.

+/- Bonus (ordre aléatoire) :

- Administration de paracétamol
- Nettoyage du nez (sérum physiologique et/ou mouchoir)

## 6<sup>e</sup> scénario : Scénario de rhinopharyngite sans crise d’asthme

### A/ Briefing

Il est 15h. Votre enfant a un rhume depuis plusieurs jours : il a le nez qui coule, de la fièvre et il tousse. Vous avez vu votre médecin hier qui a conclu à une infection virale et qui a prescrit uniquement du paracétamol. Vous retrouvez votre enfant à la sortie de la sieste. Il est plutôt souriant.

### B/ Présentation du simulateur

Paramètre	Modalité
Pleurs	Non
Toux	Oui, grasse, toutes les 60 secondes
Sifflements	Non
Fréquence respiratoire	Normale (30/min si < 2 ans, 20/min si > 2 ans)
Signes de lutte respiratoire	Aucun
Signe de gravité	Non

### C/ Actions

Action	Conséquence
Désobstruction du nez/lavage des yeux (sérum physiologique)	Pleurs
Paracétamol sirop	Fait descendre la température à 37°3
Thermomètre digital	Température affichée : 38°8
Chaise ou autre action proposée par candidat	Accélération du temps
Médicament d’urgence	Aucune
Médicament de fond	Aucune
Corticothérapie orale	Aucune
Téléphone portable	Appel médecin : choix entre - Je ne sais pas ce que je dois faire - J’ai besoin que vous voyiez mon enfant Réponse unique : venez à mon cabinet, je vais examiner votre enfant → Fin du scénario Appel SAMU : - Je ne sais pas ce que je dois faire - J’ai besoin qu’un médecin voie mon enfant Réponse unique : les symptômes que vous me décrivez ne sont pas graves. Voyez avec votre médecin.
Clefs de voiture	« Nous partons pour les urgences pédiatriques »

D/ Fin du scénario :

- Appel du médecin/Départ pour les urgences
- Sortie par la porte « j'ai terminé ».
- 8 minutes sont passées.

E/ Actions attendues

Ordre aléatoire :

- Administration de paracétamol
- Nettoyage et/ou mouchage du nez
- Sortie par la porte « j'ai terminé »

### **2.4.2 Débriefing**

Le débriefing a lieu à l'issue de chaque scénario. Il a pour objectif de reprendre avec l'utilisateur les forces et les faiblesses de sa prise en charge.

Il débute par l'explication des symptômes, puis détaille la séquence des traitements et leur technique d'administration.

Il fait intervenir à la fois des fenêtres de texte expliquant les actions correctement réalisées ou non, selon les textes fournis par le département de simulation en santé iLumens, et une courte vidéo montrant la prise en charge exemplaire qui était attendue si le score du parent est inférieur à 75% du score maximal.

### **2.4.3 Performances**

Les performances de l'utilisateur sont calculées à partir des données collectées sur les actions effectuées pendant le scénario. Pour chaque scénario, une grille sera fournie au prestataire afin qu'il puisse associer chaque action avec un certain nombre de points. Ci-dessous l'exemple pour le scénario 1.

Action :

- Salbutamol non administré = 0
- Salbutamol administré mais capuchon non retiré = 0
- Salbutamol administré – dose correcte = +1 point
- Salbutamol administré – moment correct (avant « j'ai terminé ») = +1 point
- Salbutamol administré – technique d'inhalation correcte = + 2 point
- Corticothérapie orale administrée = - 2 points
- Onglet « J'ai terminé » après administration de salbutamol = + 2 points.
- Total sur 6 points.

Ces performances sont également analysées qualitativement, sous différents thèmes, afin de permettre au médecin qui suit l'enfant de savoir quel est le point prioritaire d'éducation thérapeutique à revoir en consultation.

#### **2.4.4 Récompenses**

Le titulaire doit être force de proposition sur la manière dont le gameplay intégrera des récompenses.

#### **2.4.5 Crises d'asthme réelles et reminders**

Un « reminder » ou « rappel » pouvant être activé ou désactivé dans les options du simulateur, permet lorsqu'il est activé de rappeler au parent, tous les 15 jours :

- De la nécessité de se ré-entraîner sur le simulateur virtuel.
- De la nécessité d'inscrire si une crise d'asthme réelle a eu lieu chez l'enfant ou non, et le cas échéant de décrire sa prise en charge.

Un module « Crise d'asthme réelle » complète donc le simulateur virtuel. Le parent entre des informations sur la date de la crise d'asthme, les symptômes qu'il a reconnus, et les traitements qu'il a administrés et leur séquence à l'aide des différentes icônes déjà utilisées dans le jeu. Ces informations sont enregistrées pour pouvoir être montrées au médecin lors de la consultation.

### **2.5 Module « Médecin »**

Le résumé médecin doit permettre à l'utilisateur de montrer directement depuis son téléphone portable le point principal d'éducation thérapeutique qu'il doit travailler avec son médecin. Il implique que toutes les actions réalisées par l'utilisateur au cours des scénarios soient cotées de façon binaire oui/non.

Le point principal à travailler sera l'un des items suivants, en ordre décroissant de priorité :

- Doses de médicament d'urgence et de corticothérapie orale
- Technique d'inhalation
- Réaction en cas de crise d'asthme très sévère
- Réaction en cas de crise d'asthme modérée
- Réaction en cas de crise d'asthme légère

La décision du point à aborder est automatisée par l'algorithme du simulateur virtuel. Il reprend les données des jusqu'à 4 derniers scénarios simulés. »

## 5. Sixième étape : Préproduction

Conjointement avec l'entreprise Dowino qui a été choisie parmi trois autres candidats, nous avons réalisé une pré-production correspondant à une réécriture du cahier des charges par l'entreprise Dowino dans un objectif d'appropriation du simulateur virtuel, et à la création de visuels afin de pouvoir prétendre à être lauréats d'appels d'offres conséquents.

Les figures présentées ci-dessous sont accompagnées d'une légende expliquant la démarche ayant accompagné la création de chacun de ces visuels.

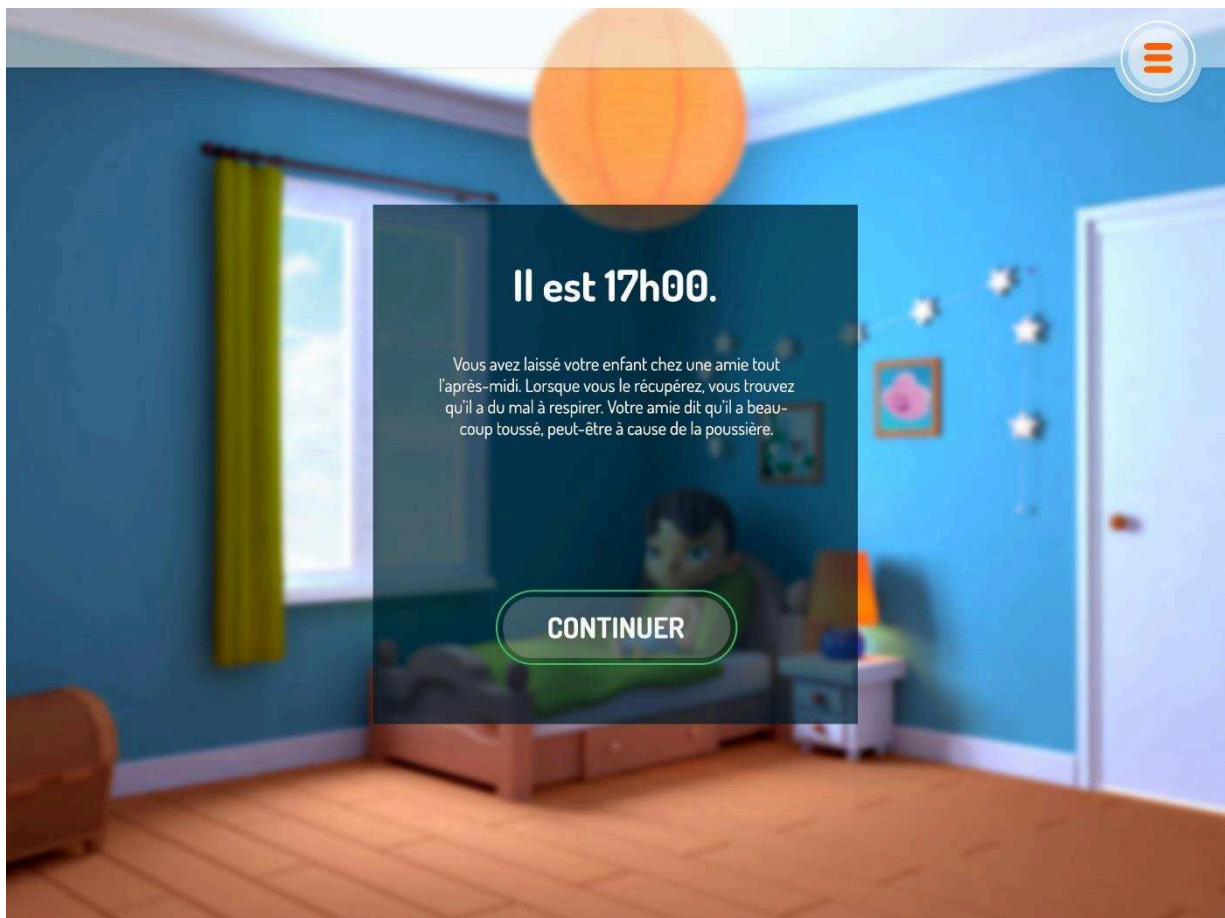


Figure 2 : Lancement du scénario.

Au lancement du scénario, une fenêtre de texte apparaît, correspondant au briefing. Les informations permettent au parent de comprendre le contexte dans lequel survient la crise d'asthme, et également les ressources qu'il a sa disposition (selon l'horaire, son médecin est joignable ou non). Ces fenêtres de briefing sensibilisent également aux potentiels facteurs déclenchants d'une crise d'asthme, comme ici les acariens (la « poussière »).



Figure 3 : Chambre de l'enfant

La chambre de l'enfant est colorée, et n'est pas anxiogène. Le choix d'un environnement qui ne soit pas ultraréaliste repose d'une part sur notre crainte qu'un environnement trop réaliste soit trop anxiogène pour les parents qui se détourneraient du jeu, et d'autre part sur les données de la littérature qui montrent qu'un environnement ultraréaliste ne permet pas de meilleurs apprentissages.





Figure 4 : interface principale

Lorsque le parent s'approche de l'enfant, il peut visualiser les symptômes de la crise d'asthme. L'enfant reste présent sur la gauche, alors qu'un menu sur la droite permet aux parents de choisir l'action la plus appropriée. Le parent peut réaliser une action immédiate, comme rassurer l'enfant, ouvrir la trousse de soins, téléphoner au SAMU ou au médecin traitant, attendre qu'un traitement comme le salbutamol fasse effet, ou partir, soit de la chambre si l'enfant est redevenu asymptomatique, soit vers un service d'accueil des urgences si l'état de l'enfant le nécessite.

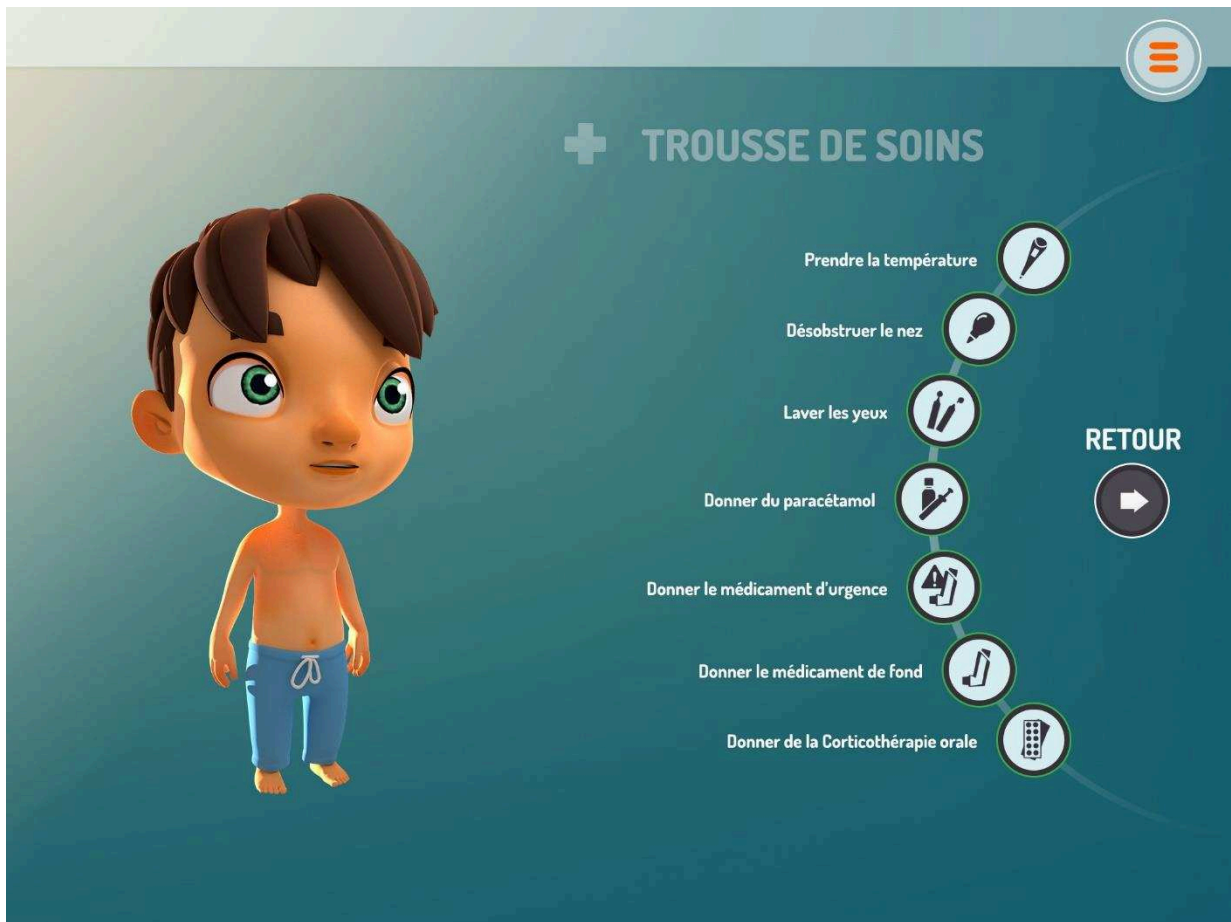


Figure 5 : Interface trousse de soins

Lorsque le parent ouvre la trousse de soins, il a le choix entre plusieurs actions à effectuer. Ces différentes actions sont toutes directement dérivées des enseignements de l'étude SimParents qui a demandé à des parents d'enfants avec asthme de montrer sur un mannequin physique haute-fidélité pédiatrique la façon dont ils prenaient en charge une exacerbation d'asthme de leur enfant à domicile. Les seules actions réellement pertinentes ici sont l'administration du médicament d'urgence et/ou de la corticothérapie orale. Désobstruer le nez peut être pertinent en cas de rhinite associée. Les autres actions ne sont pas dommageables pour l'enfant mais risquent d'entraîner un léger retard à la prise en charge.

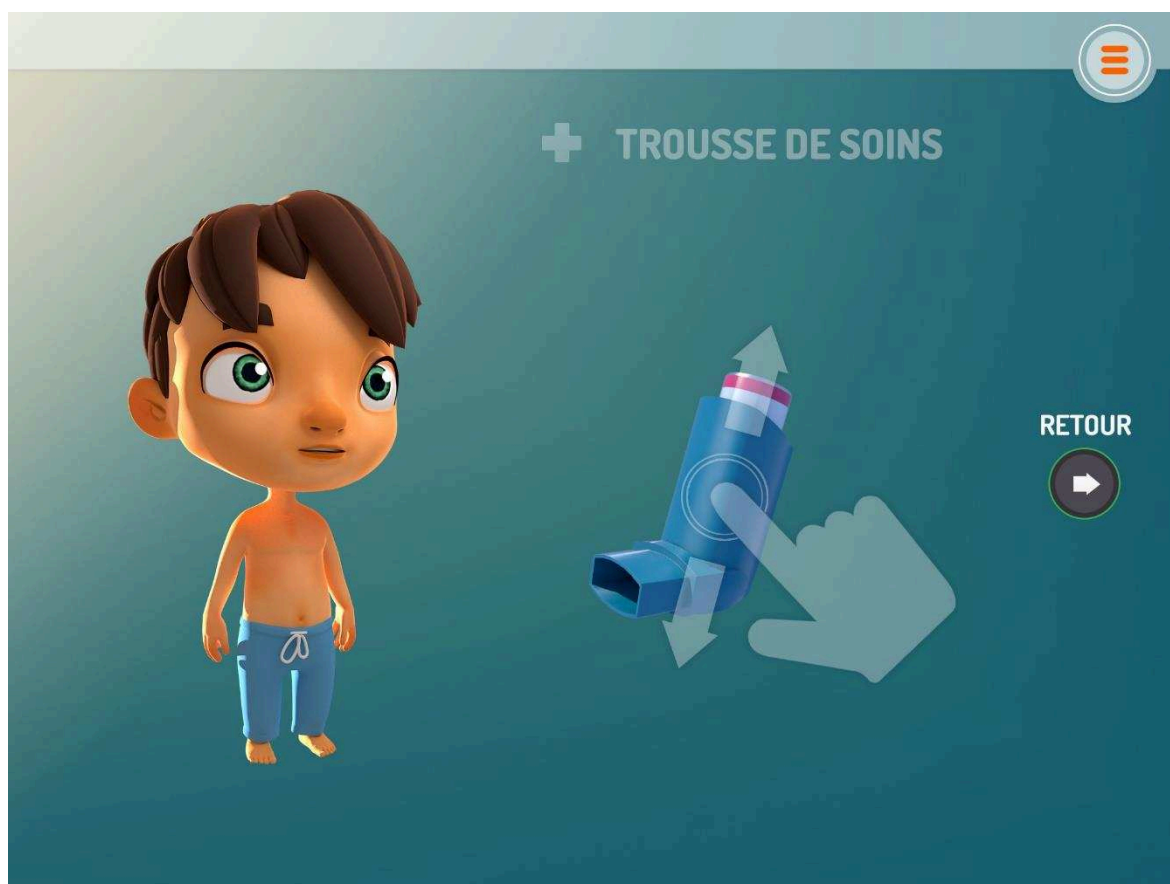


Figure 6 : Administration du salbutamol

Dans la mesure où nous avons montré que les parents commettaient de nombreuses erreurs lors de l'administration des traitements inhalés tel que le salbutamol, la technique d'inhalation fait partie des objectifs pédagogiques d'Effic'Asthme. Un effort a été fait pour que les gestes devant être effectués par les parents au cours de la simulation soient aussi proches que possible de la réalité, afin de maximiser la fidélité fonctionnelle et donc la transférabilité des apprentissages dans la réalité. Plus de 50% des parents oubliant de secouer le salbutamol avant de l'administrer, ce visuel présente le geste qu'il est demandé aux parents d'accomplir afin de secouer virtuellement le salbutamol.

# SYNTHESE DU TRAVAIL ET PERSPECTIVES

## 1. Synthèse du travail

Ce travail doctoral a permis le développement d'un serious game spécifiquement destiné aux parents d'enfants avec asthme. Ce résultat n'est pas anecdotique dans la mesure où à notre connaissance, aucun serious game n'a jusqu'ici été développé pour les parents d'enfants atteints de maladies chroniques.

Nous avons révélé que contrairement à ce qui pouvait être préconçu, les parents d'enfants atteints de maladie chronique étaient familiers des jeux vidéo, et que quasiment tous plébiscitaient l'utilisation de serious games pour leur éducation thérapeutique.

Nous avons également utilisé une approche originale pour préparer au mieux le serious game, en demandant à plus d'une trentaine de parents de reproduire la prise en charge d'une exacerbation d'asthme à domicile sur simulateur. Cette approche, que nous n'avons pas retrouvée lors de la conception d'autres serious games en santé, nous a permis d'obtenir des renseignements précieux : les objectifs pédagogiques ont pu être définis en fonction des lacunes parentales, les actions erronées fréquemment commises par les parents ont pu être intégrées dans le simulation game pour plus de réalisme, les scénarios d'exacerbation d'asthme ont pu être testés avec les parents. Par ailleurs, c'est à notre connaissance la première fois que des mannequins haute-fidélités capable de reproduire les symptômes d'asthme ont été utilisés dans le cadre de l'éducation thérapeutique des parents, et nous avons montré les bénéfices en matière d'acquisition de connaissance, de sentiment d'efficacité personnelle, et de compétences qui pouvaient être associés à une telle démarche.

Enfin, nous avons étudié s'il était préférable, dans le cadre d'une utilisation courte (une trentaine de minutes) du simulation game, d'utiliser des scénarios d'exacerbation d'asthme différents pour élargir le panel des situations susceptibles de se produire à domicile, ou de répéter l'entraînement sur le même scénario d'exacerbation pour favoriser l'acquisition d'automatisme et leur rétention à long-terme. Cette étude, menée chez des étudiants en médecine et recourant encore une fois à la simulation physique, a montré que les deux approches avaient des résultats similaires en matière de transfert des apprentissages et de rétention à long-terme.

Tout au long du développement du serious game, nous avons utilisé une approche basée sur les preuves (evidence-based). Cette approche largement développée en médecine conjugue, selon ses fondateurs l'expertise du clinicien, la prise en compte des préférences et des droits du patient, et les meilleures données issues de la recherche, pour arriver à une décision<sup>235</sup>.

Appliquée à l'éducation, et particulièrement au développement de ce serious game, notre approche a conjugué (Figure 7):

- Les meilleures données issues de la recherche, qui ont été extraites de la littérature scientifique d'une part, et créées au cours de ce travail doctoral d'autre part. Le travail bibliographique présenté en introduction a permis de faire reposer le contenu scientifique du simulation game sur les meilleures données issues de la recherche sur la prise en charge de l'exacerbation d'asthme du jeune enfant, et de faire reposer la construction du serious game sur les meilleures

données issues de la recherche concernant l'efficacité pédagogique des différentes caractéristiques des serious games.

- Les préférences et l'expérience des utilisateurs finaux, grâce au recueil par questionnaire des habitudes des parents vis-à-vis des jeux vidéo, de leurs avis concernant l'utilisation d'un serious game pour leur éducation thérapeutique, et également de leurs préférences et attentes vis-à-vis du serious game finalement développé.

- L'expertise d'une entreprise spécialisée dans le développement de serious games, qui a offert un troisième regard au cours de la création de notre simulation game ; et l'expertise d'un service de pneumologie pédiatrique de l'hôpital Necker, centre de référence pour l'asthme de l'enfant.

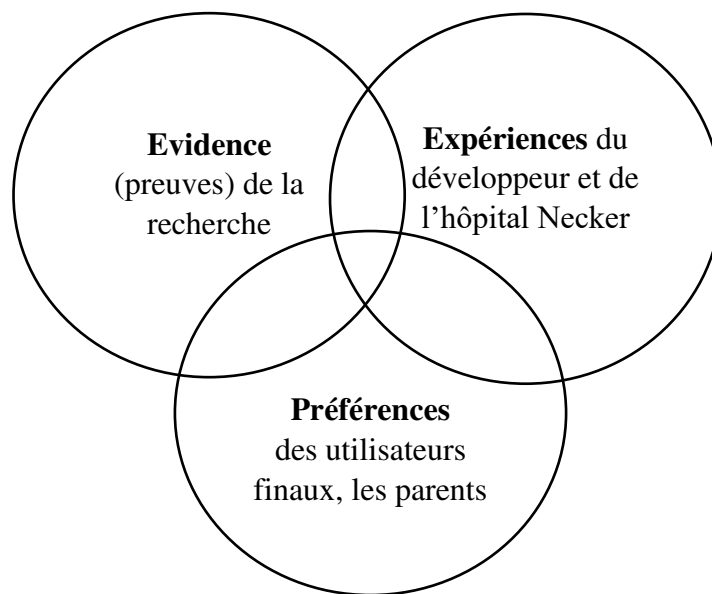


Figure 7 : Approche basée sur les preuves développée lors du développement du serious game.

## 2. Perspectives

### 2.1 Développement d'Effic'Asthme, puis intégration dans une plateforme d'éducation thérapeutique

La réalisation complète du serious game est prévue pour Octobre 2018. Le serious game sera disponible sur les smartphones et les tablettes numériques fonctionnant sous iOS et Android. La version francophone du serious game sera gratuite.

Une version anglophone a également été prévue et financée.

L'objectif de ce serious game à terme est d'être intégré dans une plateforme plus large d'éducation thérapeutique de l'enfant. Cette plateforme devrait permettre au médecin suivant la famille d'avoir directement accès aux résultats de l'utilisation des serious games. Le médecin pourrait ainsi déterminer rapidement le niveau de connaissances et de compétences de la famille, et les points d'éducation thérapeutique qu'il est nécessaire d'aborder prioritairement en

consultation. Une première version de cette plateforme, nommée EducAsthma, est actuellement à l'étude. Elle associerait au serious game développé dans le cadre de ce travail un serious game destiné cette fois-ci directement aux enfants avec asthme âgés de 6 à 12 ans.

## **2.2 L'évaluation du simulation game**

La dernière étape de l'approche evidence-based choisie pour la conception et le développement d'Effic'Asthme consiste à évaluer son efficacité auprès des parents d'enfants d'âge préscolaire avec asthme. Le protocole pressenti pour cette étude est présenté en annexe.

Ce protocole va prochainement faire l'objet d'une demande dans le cadre de la campagne 2018 du Programme Hospitalier de Recherche Clinique. D'autres pistes de financement sont également envisagées.

## **2.3 Autres utilisations possibles du simulation game**

Le simulation game présenté a été spécifiquement développé pour les parents d'enfants avec asthme. Cependant, il pourrait être utile à la formation d'autres publics :

- Les professionnels de santé en formation : étudiants en médecine, étudiant en soins infirmiers.
- Les infirmiers et infirmières travaillant en milieu scolaire.
- Les enseignants de l'éducation nationale qui ont dans leur classe des enfants avec asthme.

Il pourrait même être intéressant d'utiliser ce simulation game chez des enfants avec asthme à partir de 6 ou 7 ans en leur demandant de prendre soin de l'enfant présent au sein du serious game.

L'autre détournement possible du simulation game concerne son usage : au lieu de servir à l'éducation, ce simulation game pourrait également être utilisé dans le cadre de l'évaluation. Une étude pourrait évaluer l'intérêt de ce simulation game pour évaluer les étudiants en médecine, et comparer ainsi les performances des étudiants en médecine lorsque l'outil d'évaluation correspond à des Questions à Choix Multiples (QCM) ou à une simulation virtuelle permise par le serious game. Ces performances pourraient ensuite être étudiées au regard des performances objectivées lors de la prise en charge d'une exacerbation d'asthme, soit idéalement au lit du malade, soit de façon plus pragmatique sur simulateur physique tel que le mannequin haute-fidélité pédiatrique que nous avons utilisé au cours de ce travail. Il est possible que les résultats de telles études incitent à l'avenir à utiliser la simulation virtuelle plutôt que de QCM pour départager les étudiants en médecine qui se présentent aux épreuves classantes nationales informatisées en fin de sixième année.

Enfin, ce simulation game pourrait être détourné pour faire progresser les connaissances sur les caractéristiques permettant d'optimiser l'efficacité pédagogique des serious games. L'analyse de la littérature proposée en introduction met en lumière de nombreux champs de recherche. L'utilisation de différentes versions du serious game, faisant intervenir la variation d'une variable à la fois (exemple : feedback concomitant avec barre de score versus feedback terminal avec score total) pourrait permettre de déterminer les stratégies qui permettent d'optimiser l'apprentissage de celles qui éloignent l'attention de l'utilisateur du contenu pédagogique.

## CONCLUSION

Ce travail doctoral préparé la naissance d'Effic'Asthme, premier serious game à destination des parents d'enfants avec asthme. Son développement a été l'occasion de montrer que les parents d'enfants avec des maladies chroniques sont prêts à utiliser des serious games pour leur formation ; que la simulation physique représente une modalité intéressante pour préparer le développement d'un simulation game ; qu'il est possible d'enseigner en peu de temps la prise en charge des principales situations d'exacerbation d'asthme qui sont susceptibles de se présenter dans la vie réelle ; qu'il est possible d'appliquer les principes de la médecine fondée sur les preuves en éducation et particulièrement dans le domaine du serious gaming avec l'objectif de maximiser l'efficacité pédagogique des solutions proposées.

Au cours de ses trois ans de gestation, le projet Effic'Asthme s'est enrichi des résultats des études scientifiques menées, des retours des parents, de l'expertise des médecins et des développeurs. Effic'Asthme est désormais sur le point de prendre forme et d'entrer dans la vie de beaucoup de familles. Cette confrontation à la réalité va être l'occasion de juger du bienfondé des choix effectués durant son développement, et de déterminer si de tels outils représentent de réelles opportunités pour l'éducation thérapeutique des patients. La recherche continue !

## REFERENCES

1. Global Initiative for Asthma. Global Strategy for Asthma Management and Prevention. [www.ginasthma.org](http://www.ginasthma.org). Published 2017. Accessed November 7, 2017.
2. De Blic J. Synthèse : asthme chez l'enfant préscolaire - Diagnostic et phénotypes. *Rev Mal Respir.* 2006;1305(1502):5.
3. GINA. Global Strategy for Asthma Management and Prevention. <http://ginasthma.org/2016-gina-report-global-strategy-for-asthma-management-and-prevention/>. Published 2016.
4. Ducharme FM, Dell SD, Radhakrishnan D, et al. Diagnosis and management of asthma in preschoolers: A Canadian Thoracic Society and Canadian Paediatric Society position paper. *Paediatr Child Health.* 2015;20(7):353-371.
5. Haute Autorité de Santé. Recommandations professionnelles: Asthme de l'enfant de moins de 36 mois : diagnostic, prise en charge et traitement en dehors des épisodes aigus. [http://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2009-05/asthme\\_de\\_l'enfant\\_de\\_moins\\_de\\_36\\_mois\\_-\\_recommandations.pdf](http://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2009-05/asthme_de_l'enfant_de_moins_de_36_mois_-_recommandations.pdf). Published March 2009. Accessed September 7, 2015.
6. Dictionnaire de l'académie de médecine. <http://dictionnaire.academie-medecine.fr/>.
7. Martinez FD, Wright AL, Taussig LM, Holberg CJ, Halonen M, Morgan WJ. Asthma and wheezing in the first six years of life. *The Group Health Medical Associates. N Engl J Med.* 1995;332(3):133-138. doi:10.1056/NEJM199501193320301.
8. Brand PLP, Baraldi E, Bisgaard H, et al. Definition, assessment and treatment of wheezing disorders in preschool children: an evidence-based approach. *Eur Respir J.* 2008;32(4):1096-1110. doi:10.1183/09031936.00002108.
9. Kaiser SV, Huynh T, Bacharier LB, et al. Preventing Exacerbations in Preschoolers With Recurrent Wheeze: A Meta-analysis. *Pediatrics.* 2016;137(6). doi:10.1542/peds.2015-4496.
10. Schultz A, Devadason SG, Savenije OEM, Sly PD, Le Souëf PN, Brand PLP. The transient value of classifying preschool wheeze into episodic viral wheeze and multiple trigger wheeze. *Acta Paediatr Oslo Nor* 1992. 2010;99(1):56-60. doi:10.1111/j.1651-2227.2009.01508.x.
11. Castro-Rodríguez JA, Holberg CJ, Wright AL, Martinez FD. A Clinical Index to Define Risk of Asthma in Young Children with Recurrent Wheezing. *Am J Respir Crit Care Med.* 2000;162(4):1403-1406. doi:10.1164/ajrccm.162.4.9912111.
12. Chang TS, Lemanske RF, Guilbert TW, et al. Evaluation of the Modified Asthma Predictive Index in High-Risk Preschool Children. *J Allergy Clin Immunol Pract.* 2013;1(2):152-156. doi:10.1016/j.jaip.2012.10.008.
13. Castro-Rodríguez JA. The Asthma Predictive Index: a very useful tool for predicting asthma in young children. *J Allergy Clin Immunol.* 2010;126(2):212-216. doi:10.1016/j.jaci.2010.06.032.
14. Brand PLP. The Asthma Predictive Index: not a useful tool in clinical practice. *J Allergy Clin Immunol.* 2011;127(1):293-294. doi:10.1016/j.jaci.2010.10.012.
15. Papi A, Nicolini G, Baraldi E, et al. Regular vs prn nebulized treatment in wheeze preschool children. *Allergy.* 2009;64(10):1463-1471. doi:10.1111/j.1398-9995.2009.02134.x.
16. Bacharier LB, Phillips BR, Zeiger RS, et al. Episodic use of an inhaled corticosteroid or leukotriene receptor antagonist in preschool children with moderate-to-severe intermittent wheezing. *J Allergy Clin Immunol.* 2008;122(6):1127-1135.e8. doi:10.1016/j.jaci.2008.09.029.
17. OMS | Asthme. WHO. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs307/fr/>. Accessed January 12, 2015.



18. Lai C, Beasley R, Crane J, Foliaki S, Shah J, Weiland S. Global variation in the prevalence and severity of asthma symptoms: Phase Three of the International Study of Asthma and Allergies in Childhood (ISAAC). *Thorax*. February 2009. doi:10.1136/thx.2008.106609.
19. Asher MI, Keil U, Anderson HR, et al. International Study of Asthma and Allergies in Childhood (ISAAC): rationale and methods. *Eur Respir J*. 1995;8(3):483-491.
20. The International Study of Asthma and Allergies in Childhood. <http://isaac.auckland.ac.nz/about/about.php>.
21. Luyt DK, Burton PR, Simpson H. Epidemiological study of wheeze, doctor diagnosed asthma, and cough in preschool children in Leicestershire. *BMJ*. 1993;306(6889):1386-1390.
22. Kuehni CE, Davis A, Brooke AM, Silverman M. Are all wheezing disorders in very young (preschool) children increasing in prevalence? *Lancet Lond Engl*. 2001;357(9271):1821-1825. doi:10.1016/S0140-6736(00)04958-8.
23. Anderson HR, Gupta R, Strachan DP, Limb ES. 50 years of asthma: UK trends from 1955 to 2004. *Thorax*. 2007;62(1):85-90. doi:10.1136/thx.2006.066407.
24. Haby MM, Peat JK, Marks GB, Woolcock AJ, Leeder SR. Asthma in preschool children: prevalence and risk factors. *Thorax*. 2001;56(8):589-595.
25. Chatkin MN, Menezes AMB, Victora CG, Barros FC. High prevalence of asthma in preschool children in Southern Brazil: a population-based study. *Pediatr Pulmonol*. 2003;35(4):296-301. doi:10.1002/ppul.10229.
26. Grant EN, Daugherty SR, Moy JN, Nelson SG, Piorkowski JM, Weiss KB. Prevalence and burden of illness for asthma and related symptoms among kindergartners in Chicago public schools. *Ann Allergy Asthma Immunol Off Publ Am Coll Allergy Asthma Immunol*. 1999;83(2):113-120. doi:10.1016/S1081-1206(10)62621-X.
27. Akinbami LJ, Moorman JE, Garbe PL, Sondik EJ. Status of childhood asthma in the United States, 1980-2007. *Pediatrics*. 2009;123 Suppl 3:S131-145. doi:10.1542/peds.2008-2233C.
28. Delmas M-C, Guignon N, Leynaert B, et al. [Prevalence and control of asthma in young children in France]. *Rev Mal Respir*. 2012;29(5):688-696. doi:10.1016/j.rmr.2011.11.016.
29. Delmas M-C, Guignon N, Leynaert B, Moisy M, Marguet C, Fuhrman C. [Increase in asthma prevalence among young children in France]. *Rev Mal Respir*. 2017;34(5):525-534. doi:10.1016/j.rmr.2016.09.002.
30. Wong GWK, Leung TF, Ma Y, Liu EKH, Yung E, Lai CKW. Symptoms of asthma and atopic disorders in preschool children: prevalence and risk factors. *Clin Exp Allergy J Br Soc Allergy Clin Immunol*. 2007;37(2):174-179. doi:10.1111/j.1365-2222.2007.02649.x.
31. Branco PTBS, Nunes R a. O, Alvim-Ferraz MCM, et al. Asthma prevalence and risk factors in early childhood at Northern Portugal. *Rev Port Pneumol*. 2016;22(3):146-150. doi:10.1016/j.rppnen.2015.11.001.
32. Bröms K, Norbäck D, Eriksson M, Sundelin C, Svärdsudd K. Prevalence and co-occurrence of parentally reported possible asthma and allergic manifestations in pre-school children. *BMC Public Health*. 2013;13:764. doi:10.1186/1471-2458-13-764.
33. Division of Health Interview Statistics. 2015 National Health Interview Survey (NHIS) Public Use Data Release. <https://www.cdc.gov/asthma/nhis/default.htm>.
34. Akinbami LJ, Simon AE, Rossen LM. Changing Trends in Asthma Prevalence Among Children. *Pediatrics*. 2016;137(1). doi:10.1542/peds.2015-2354.
35. Delmas M-C, Guignon N, Leynaert B, et al. [Prevalence of asthma among children in France]. *Arch Pédiatrie Organe Off Société Fr Pédiatrie*. 2009;16(9):1261-1269. doi:10.1016/j.arcped.2009.06.009.

36. Cane RS, Ranganathan SC, McKenzie SA. What do parents of wheezy children understand by “wheeze”? *Arch Dis Child*. 2000;82(4):327-332.
37. Michel G, Silverman M, Strippoli M-PF, et al. Parental understanding of wheeze and its impact on asthma prevalence estimates. *Eur Respir J*. 2006;28(6):1124-1130. doi:10.1183/09031936.06.00008406.
38. Haute Autorité de Santé. Asthme de l'enfant de moins de 36 mois : diagnostic, prise en charge et traitement en dehors des épisodes aigus - Argumentaire. [https://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2009-05/asthme\\_de\\_l'enfant\\_de\\_moins\\_de\\_36\\_mois\\_-\\_argumentaire.pdf](https://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2009-05/asthme_de_l'enfant_de_moins_de_36_mois_-_argumentaire.pdf). Published 2009.
39. Garner R, Kohen D. Changes in the prevalence of asthma among Canadian children. *Health Rep*. 2008;19(2):45-50.
40. Lougheed MD, Garvey N, Chapman KR, et al. The Ontario Asthma Regional Variation Study: emergency department visit rates and the relation to hospitalization rates. *Chest*. 2006;129(4):909-917. doi:10.1378/chest.129.4.909.
41. Moorman JE, Akinbami LJ, Bailey CM, et al. National surveillance of asthma: United States, 2001-2010. *Vital Health Stat 3*. 2012;(35):1-58.
42. Valovirta E, Kocevar VS, Kaila M, et al. Inpatient resource utilisation in younger (2-5 yrs) and older (6-14 yrs) asthmatic children in Finland. *Eur Respir J*. 2002;20(2):397-402.
43. Kocevar VS, Bisgaard H, Jönsson L, et al. Variations in pediatric asthma hospitalization rates and costs between and within Nordic countries. *Chest*. 2004;125(5):1680-1684.
44. Fuhrman C, Delacourt C, De Blic J, et al. Caractéristiques des hospitalisations pour exacerbation d'asthme en pédiatrie. *Arch Pédiatrie*. 2010;17(4):366-372. doi:10.1016/j.arcped.2009.11.030.
45. DRESS. *L'état de Santé de La Population En France - Rapport 2017*.; 2017. <http://drees.solidarites-sante.gouv.fr/etudes-et-statistiques/publications/recueils-ouvrages-et-rapports/recueils-annuels/l-etat-de-sante-de-la-population/article/l-etat-de-sante-de-la-population-en-france-rapport-2017>.
46. Ministère de la Solidarité de la Santé et de la Protection Sociale. Direction Générale de la Santé. (D.G.S.). Bureau des maladies chroniques SD5 Paris. FRA. *Programme d'actions, de Prévention et de Prise En Charge de l'asthme : 2002-2005*. Paris: DGS; 2002:39p.
47. Stevens CA, Turner D, Kuehni CE, Couriel JM, Silverman M. The economic impact of preschool asthma and wheeze. *Eur Respir J*. 2003;21(6):1000-1006.
48. Chouaid C, Vergnenègre A, Vandewalle V, et al. [The costs of asthma in France: an economic analysis by a Markov model]. *Rev Mal Respir*. 2004;21(3 Pt 1):493-499.
49. Chavasse R, Seddon P, Bara A, McKean M. Short acting beta agonists for recurrent wheeze in children under 2 years of age. *Cochrane Database Syst Rev*. 2002;(3):CD002873. doi:10.1002/14651858.CD002873.
50. Pollock M, Sinha IP, Hartling L, Rowe BH, Schreiber S, Fernandes RM. Inhaled short-acting bronchodilators for managing emergency childhood asthma: an overview of reviews. *Allergy*. 2017;72(2):183-200. doi:10.1111/all.13039.
51. Bentur L, Hellou E, Goldbart A, et al. Laboratory and clinical acute effects of active and passive indoor group water-pipe (narghile) smoking. *Chest*. 2014;145(4):803-809. doi:10.1378/chest.13-0960.
52. Holmgren D, Bjure J, Engström I, Sixt R, Sten G, Wennergren G. Transcutaneous blood gas monitoring during salbutamol inhalations in young children with acute asthmatic symptoms. *Pediatr Pulmonol*. 1992;14(2):75-79.
53. Kraemer R, Frey U, Sommer CW, Russi E. Short-term effect of albuterol, delivered via a new auxiliary device, in wheezy infants. *Am Rev Respir Dis*. 1991;144(2):347-351. doi:10.1164/ajrccm/144.2.347.

54. Pool JB, Greenough A, Gleeson JG, Price JF. Inhaled bronchodilator treatment via the nebulizer in young asthmatic patients. *Arch Dis Child*. 1988;63(3):288-291.
55. Marguet C, Michelet I, Couderc L, Lubrano M. [Management of acute asthma exacerbation in childhood: French recommendations]. *Arch Pédiatrie Organe Off Société Fr Pédiatrie*. 2009;16(6):505-507. doi:10.1016/S0929-693X(09)74046-1.
56. Schuh S, Parkin P, Rajan A, et al. High-versus low-dose, frequently administered, nebulized albuterol in children with severe, acute asthma. *Pediatrics*. 1989;83(4):513-518.
57. Schuh S, Reider MJ, Canny G, et al. Nebulized albuterol in acute childhood asthma: comparison of two doses. *Pediatrics*. 1990;86(4):509-513.
58. BTS/SIGN British guideline on the management of asthma | British Thoracic Society | Better lung health for all. <https://www.brit-thoracic.org.uk/standards-of-care/guidelines/btssign-british-guideline-on-the-management-of-asthma/>. Accessed December 17, 2017.
59. Society CP. Canadian Paediatric Society - Managing the paediatric patient with an acute asthma exacerbation. Managing the paediatric patient with an acute asthma exacerbation. <https://www.cps.ca/en/documents/position/management-acute-asthma-exacerbation>. Accessed December 17, 2017.
60. Gillette C, Rockich-Winston N, Kuhn JA, Flesher S, Shepherd M. Inhaler Technique in Children With Asthma: A Systematic Review. *Acad Pediatr*. 2016;16(7):605-615. doi:10.1016/j.acap.2016.04.006.
61. Marguet C, Couderc L, Le Roux P, Jeannot E, Lefay V, Mallet E. Inhalation treatment: errors in application and difficulties in acceptance of the devices are frequent in wheezy infants and young children. *Pediatr Allergy Immunol Off Publ Eur Soc Pediatr Allergy Immunol*. 2001;12(4):224-230.
62. Aziz NA, Norzila MZ, Hamid MZA, Noorlaili MT. Skills amongst parents of children with asthma: a pilot interventional study in primary care setting. *Med J Malaysia*. 2006;61(5):534-539.
63. Deerojanawong J, Promsaka na Sakolnakorn V, Prapphal N, Hanrutakorn C, Sritippayawan S. Evaluation of metered-dose inhaler administration technique among asthmatic children and their caregivers in Thailand. *Asian Pac J Allergy Immunol Launched Allergy Immunol Soc Thail*. 2009;27(2-3):87-93.
64. Reznik M, Silver EJ, Cao Y. Evaluation of MDI-spacer utilization and technique in caregivers of urban minority children with persistent asthma. *J Asthma Off J Assoc Care Asthma*. 2014;51(2):149-154. doi:10.3109/02770903.2013.854379.
65. Welch MJ, Martin ML, Williams PV, et al. Evaluation of inhaler device technique in caregivers of young children with asthma. *Pediatr Allergy Immunol Pulmonol*. 2010;23(2):113-120. doi:10.1089/ped.2010.0020.
66. Barnes PJ. How corticosteroids control inflammation: Quintiles Prize Lecture 2005. *Br J Pharmacol*. 2006;148(3):245-254. doi:10.1038/sj.bjp.0706736.
67. Rowe BH, Spooner C, Ducharme FM, Bretzlaff JA, Bota GW. Early emergency department treatment of acute asthma with systemic corticosteroids. *Cochrane Database Syst Rev*. 2001;(1):CD002178. doi:10.1002/14651858.CD002178.
68. Rowe BH, Spooner CH, Ducharme FM, Bretzlaff JA, Bota GW. Corticosteroids for preventing relapse following acute exacerbations of asthma. *Cochrane Database Syst Rev*. 2007;(3):CD000195. doi:10.1002/14651858.CD000195.pub2.
69. Smith M, Iqbal S, Elliott TM, Everard M, Rowe BH. Corticosteroids for hospitalised children with acute asthma. *Cochrane Database Syst Rev*. 2003;(2):CD002886. doi:10.1002/14651858.CD002886.

70. Vuillermin P, South M, Robertson C. Parent-initiated oral corticosteroid therapy for intermittent wheezing illnesses in children. *Cochrane Database Syst Rev.* 2006;(3):CD005311. doi:10.1002/14651858.CD005311.pub2.
71. Grant CC, Duggan AK, DeAngelis C. Independent parental administration of prednisone in acute asthma: a double-blind, placebo-controlled, crossover study. *Pediatrics.* 1995;96(2 Pt 1):224-229.
72. Vuillermin PJ, Robertson CF, Carlin JB, Brennan SL, Biscan MI, South M. Parent initiated prednisolone for acute asthma in children of school age: randomised controlled crossover trial. *BMJ.* 2010;340:c843.
73. Tal A, Levy N, Bearman JE. Methylprednisolone therapy for acute asthma in infants and toddlers: a controlled clinical trial. *Pediatrics.* 1990;86(3):350-356.
74. Csonka P, Kaila M, Laippala P, Iso-Mustajärvi M, Vesikari T, Ashorn P. Oral prednisolone in the acute management of children age 6 to 35 months with viral respiratory infection-induced lower airway disease: a randomized, placebo-controlled trial. *J Pediatr.* 2003;143(6):725-730. doi:10.1067/S0022-3476(03)00498-0.
75. Panickar J, Lakhanpaul M, Lambert PC, et al. Oral prednisolone for preschool children with acute virus-induced wheezing. *N Engl J Med.* 2009;360(4):329-338. doi:10.1056/NEJMoa0804897.
76. Webb MS, Henry RL, Milner AD. Oral corticosteroids for wheezing attacks under 18 months. *Arch Dis Child.* 1986;61(1):15-19.
77. Oommen A, Lambert PC, Grigg J. Efficacy of a short course of parent-initiated oral prednisolone for viral wheeze in children aged 1-5 years: randomised controlled trial. *Lancet Lond Engl.* 2003;362(9394):1433-1438. doi:10.1016/S0140-6736(03)14685-5.
78. Beigelman A, King TS, Mauger D, et al. Do oral corticosteroids reduce the severity of acute lower respiratory tract illnesses in preschool children with recurrent wheezing? *J Allergy Clin Immunol.* 2013;131(6):1518-1525. doi:10.1016/j.jaci.2013.01.034.
79. Grigg J. Role of systemic steroids in acute preschool wheeze. *Arch Dis Child.* 2010;95(7):491-492. doi:10.1136/adc.2009.160994.
80. Bush A. Practice imperfect--treatment for wheezing in preschoolers. *N Engl J Med.* 2009;360(4):409-410. doi:10.1056/NEJMe0808951.
81. Collins AD, Beigelman A. An update on the efficacy of oral corticosteroids in the treatment of wheezing episodes in preschool children. *Ther Adv Respir Dis.* 2014;8(6):182-190. doi:10.1177/1753465814552283.
82. Bhatt JM, Smyth AR. The management of pre-school wheeze. *Paediatr Respir Rev.* 2011;12(1):70-77. doi:10.1016/j.prrv.2010.09.001.
83. Ducharme FM, Chabot G, Polychronakos C, Glorieux F, Mazer B. Safety profile of frequent short courses of oral glucocorticoids in acute pediatric asthma: impact on bone metabolism, bone density, and adrenal function. *Pediatrics.* 2003;111(2):376-383.
84. van Staa TP, Cooper C, Leufkens HGM, Bishop N. Children and the risk of fractures caused by oral corticosteroids. *J Bone Miner Res Off J Am Soc Bone Miner Res.* 2003;18(5):913-918. doi:10.1359/jbmr.2003.18.5.913.
85. Mortimer KJ, Tata LJ, Smith CJP, et al. Oral and inhaled corticosteroids and adrenal insufficiency: a case-control study. *Thorax.* 2006;61(5):405-408. doi:10.1136/thx.2005.052456.
86. Kayani S, Shannon DC. Adverse behavioral effects of treatment for acute exacerbation of asthma in children: a comparison of two doses of oral steroids. *Chest.* 2002;122(2):624-628.
87. Savenije OEM, Kerkhof M, Koppelman GH, Postma DS. Predicting who will have asthma at school age among preschool children. *J Allergy Clin Immunol.* 2012;130(2):325-331. doi:10.1016/j.jaci.2012.05.007.

88. Castro-Rodriguez JA, Beckhaus AA, Forno E. Efficacy of oral corticosteroids in the treatment of acute wheezing episodes in asthmatic preschoolers: Systematic review with meta-analysis. *Pediatr Pulmonol.* 2016;51(8):868-876. doi:10.1002/ppul.23429.
89. Farber HJ, Silveira EA, Vicere DR, Kothari VD, Giardino AP. Oral Corticosteroid Prescribing for Children With Asthma in a Medicaid Managed Care Program. *Pediatrics.* 2017;139(5). doi:10.1542/peds.2016-4146.
90. Langton Hewer S, Hobbs J, Reid F, Lenney W. Prednisolone in acute childhood asthma: clinical responses to three dosages. *Respir Med.* 1998;92(3):541-546.
91. Rodrigo GJ. Rapid effects of inhaled corticosteroids in acute asthma: an evidence-based evaluation. *Chest.* 2006;130(5):1301-1311. doi:10.1378/chest.130.5.1301.
92. Horvath G, Lieb T, Conner GE, Salathe M, Wanner A. Steroid sensitivity of norepinephrine uptake by human bronchial arterial and rabbit aortic smooth muscle cells. *Am J Respir Cell Mol Biol.* 2001;25(4):500-506.
93. Edmonds ML, Milan SJ, Camargo CA, Pollack CV, Rowe BH. Early use of inhaled corticosteroids in the emergency department treatment of acute asthma. *Cochrane Database Syst Rev.* 2012;12:CD002308. doi:10.1002/14651858.CD002308.pub2.
94. Beckhaus AA, Riutort MC, Castro-Rodriguez JA. Inhaled versus systemic corticosteroids for acute asthma in children. A systematic review. *Pediatr Pulmonol.* 2014;49(4):326-334. doi:10.1002/ppul.22846.
95. Kew KM, Quinn M, Quon BS, Ducharme FM. Increased versus stable doses of inhaled corticosteroids for exacerbations of chronic asthma in adults and children. *Cochrane Database Syst Rev.* 2016;(6):CD007524. doi:10.1002/14651858.CD007524.pub4.
96. Martinez FD, Chinchilli VM, Morgan WJ, et al. Use of beclomethasone dipropionate as rescue treatment for children with mild persistent asthma (TREXA): a randomised, double-blind, placebo-controlled trial. *Lancet Lond Engl.* 2011;377(9766):650-657. doi:10.1016/S0140-6736(10)62145-9.
97. Singhi S, Banerjee S, Nanjundaswamy H. Inhaled budesonide in acute asthma. *J Paediatr Child Health.* 1999;35(5):483-487. doi:10.1046/j.1440-1754.1999.355408.x.
98. Sung L, Osmond MH, Klassen TP. Randomized, controlled trial of inhaled budesonide as an adjunct to oral prednisone in acute asthma. *Acad Emerg Med Off J Soc Acad Emerg Med.* 1998;5(3):209-213.
99. Milani GKM, Rosário Filho NA, Riedi CA, Figueiredo BC. [Nebulized budesonide to treat acute asthma in children]. *J Pediatr (Rio J).* 2004;80(2):106-112.
100. Upham BD, Mollen CJ, Scarfone RJ, Seiden J, Chew A, Zorc JJ. Nebulized budesonide added to standard pediatric emergency department treatment of acute asthma: a randomized, double-blind trial. *Acad Emerg Med Off J Soc Acad Emerg Med.* 2011;18(7):665-673. doi:10.1111/j.1553-2712.2011.01114.x.
101. Wilson NM, Silverman M. Treatment of acute, episodic asthma in preschool children using intermittent high dose inhaled steroids at home. *Arch Dis Child.* 1990;65(4):407-410.
102. Connett G, Lenney W. Prevention of viral induced asthma attacks using inhaled budesonide. *Arch Dis Child.* 1993;68(1):85-87.
103. Svedmyr J, Nyberg E, Thunqvist P, Asbrink-Nilsson E, Hedlin G. Prophylactic intermittent treatment with inhaled corticosteroids of asthma exacerbations due to airway infections in toddlers. *Acta Paediatr Oslo Nor* 1992. 1999;88(1):42-47.
104. Ducharme FM, Lemire C, Noya FJD, et al. Preemptive use of high-dose fluticasone for virus-induced wheezing in young children. *N Engl J Med.* 2009;360(4):339-353. doi:10.1056/NEJMoa0808907.

105. Commission de la transparence. Avis du 21 octobre 2015 relatif à l'intérêt thérapeutique du Singulair. [https://www.has-sante.fr/portail/jcms/c\\_2579437/fr/singulair-montelukast-antileucotriene](https://www.has-sante.fr/portail/jcms/c_2579437/fr/singulair-montelukast-antileucotriene). Published October 21, 2015.
106. Harmanci K, Bakirtas A, Turktas I, Degim T. Oral montelukast treatment of preschool-aged children with acute asthma. *Ann Allergy Asthma Immunol Off Publ Am Coll Allergy Asthma Immunol*. 2006;96(5):731-735. doi:10.1016/S1081-1206(10)61073-3.
107. Valovirta E, Boza ML, Robertson CF, et al. Intermittent or daily montelukast versus placebo for episodic asthma in children. *Ann Allergy Asthma Immunol*. 2011;106(6):518-526. doi:10.1016/j.anai.2011.01.017.
108. Nwokoro C, Pandya H, Turner S, et al. Intermittent montelukast in children aged 10 months to 5 years with wheeze (WAIT trial): a multicentre, randomised, placebo-controlled trial. *Lancet Respir Med*. 2014;2(10):796-803. doi:10.1016/S2213-2600(14)70186-9.
109. Robertson CF, Price D, Henry R, et al. Short-course montelukast for intermittent asthma in children: a randomized controlled trial. *Am J Respir Crit Care Med*. 2007;175(4):323-329. doi:10.1164/rccm.200510-1546OC.
110. Brodli M, Gupta A, Rodriguez-Martinez CE, Castro-Rodriguez JA, Ducharme FM, McKean MC. Leukotriene receptor antagonists as maintenance and intermittent therapy for episodic viral wheeze in children. In: *Cochrane Database of Systematic Reviews*. John Wiley & Sons, Ltd; 2015. doi:10.1002/14651858.CD008202.pub2.
111. Hussein HR, Gupta A, Broughton S, Ruiz G, Brathwaite N, Bossley CJ. A meta-analysis of montelukast for recurrent wheeze in preschool children. *Eur J Pediatr*. 2017;176(7):963-969. doi:10.1007/s00431-017-2936-6.
112. Gielen V, Johnston SL, Edwards MR. Azithromycin induces anti-viral responses in bronchial epithelial cells. *Eur Respir J*. 2010;36(3):646-654. doi:10.1183/09031936.00095809.
113. Simpson JL, Powell H, Boyle MJ, Scott RJ, Gibson PG. Clarithromycin targets neutrophilic airway inflammation in refractory asthma. *Am J Respir Crit Care Med*. 2008;177(2):148-155. doi:10.1164/rccm.200707-1134OC.
114. Bacharier LB, Guilbert TW, Mauger DT, et al. Early Administration of Azithromycin and Prevention of Severe Lower Respiratory Tract Illnesses in Preschool Children With a History of Such Illnesses: A Randomized Clinical Trial. *JAMA*. 2015;314(19):2034-2044. doi:10.1001/jama.2015.13896.
115. Stokholm J, Chawes BL, Vissing NH, et al. Azithromycin for episodes with asthma-like symptoms in young children aged 1-3 years: a randomised, double-blind, placebo-controlled trial. *Lancet Respir Med*. 2016;4(1):19-26. doi:10.1016/S2213-2600(15)00500-7.
116. Mandhane PJ, Paredes Zambrano de Silbernagel P, Aung YN, et al. Treatment of preschool children presenting to the emergency department with wheeze with azithromycin: A placebo-controlled randomized trial. *PloS One*. 2017;12(8):e0182411. doi:10.1371/journal.pone.0182411.
117. Julian V, Pereira B, Labbé A, Amat F. [Characteristics of admissions to pediatric emergency departments for exacerbations of asthma. Assessment and prospects for improving prehospital care]. *Rev Mal Respir*. 2014;31(1):13-20. doi:10.1016/j.rmr.2013.04.021.
118. Levy ML, Godfrey S, Irving CS, et al. Wheeze detection: recordings vs. assessment of physician and parent. *J Asthma Off J Assoc Care Asthma*. 2004;41(8):845-853.
119. Cane RS, McKenzie SA. Parents' interpretations of children's respiratory symptoms on video. *Arch Dis Child*. 2001;84(1):31-34. doi:10.1136/adc.84.1.31.
120. Butz AM, Huss K, Mudd K, Donithan M, Rand C, Bollinger ME. Asthma Management Practices at Home in Young Inner-City Children. *J Asthma*. 2004;41(4):433-444. doi:10.1081/JAS-120033985.

121. Garbutt J, Highstein G, Nelson KA, Rivera-Spoljaric K, Strunk R. Detection and Home Management of Worsening Asthma Symptoms. *Ann Allergy Asthma Immunol Off Publ Am Coll Allergy Asthma Immunol*. 2009;103(6):469-473. doi:10.1016/S1081-1206(10)60262-1.
122. Sabah A. Étude descriptive des motifs de consultation aux urgences pédiatriques pour une exacerbation d'asthme légère à modérée chez des enfants déjà suivis en ville pour l'asthme. *March* 2015:71.
123. Garbutt JM, Freiner D, Highstein GR, Nelson KA, Smith SR, Strunk RC. Home use of albuterol for asthma exacerbations. *Ann Allergy Asthma Immunol Off Publ Am Coll Allergy Asthma Immunol*. 2009;102(6):504-509. doi:10.1016/S1081-1206(10)60125-1.
124. Warman KL, Silver EJ, McCourt MP, Stein RE. How does home management of asthma exacerbations by parents of inner-city children differ from NHLBI guideline recommendations? *National Heart, Lung, and Blood Institute. Pediatrics*. 1999;103(2):422-427.
125. Scarfone RJ, Zorc JJ, Capraro GA. Patient self-management of acute asthma: adherence to national guidelines a decade later. *Pediatrics*. 2001;108(6):1332-1338.
126. Brown N, Gallagher R, Fowler C, Wales S. Asthma management self-efficacy in parents of primary school-age children. *J Child Health Care*. 2014;18(2):133-144. doi:10.1177/1367493512474724.
127. Berg J, Anderson NLR, Tichacek MJ, Tomizh AC, Rachelefsky G. One gets so afraid: Latino families and asthma management--an exploratory study. *J Pediatr Health Care Off Publ Natl Assoc Pediatr Nurse Assoc Pract*. 2007;21(6):361-371. doi:10.1016/j.pedhc.2006.08.004.
128. Archibald MM, Caine V, Ali S, Hartling L, Scott SD. What Is Left Unsaid: An Interpretive Description of the Information Needs of Parents of Children With Asthma. *Res Nurs Health*. 2015;38(1):19-28. doi:10.1002/nur.21635.
129. Peterson-Sweeney K, McMullen A, Yoos HL, Kitzman H. Parental perceptions of their child's asthma: management and medication use. *J Pediatr Health Care Off Publ Natl Assoc Pediatr Nurse Assoc Pract*. 2003;17(3):118-125. doi:10.1067/mpn.2003.31.
130. Haute Autorité de Santé. Éducation thérapeutique du patient Comment la proposer et la réaliser ?[http://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/etp\\_-\\_comment\\_la\\_proposer\\_et\\_la\\_realiser\\_-\\_recommandations\\_juin\\_2007.pdf](http://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/etp_-_comment_la_proposer_et_la_realiser_-_recommandations_juin_2007.pdf). Published 2007. Accessed September 9, 2015.
131. Wolf FM, Guevara JP, Grum CM, Clark NM, Cates CJ. Educational interventions for asthma in children. *Cochrane Database Syst Rev*. 2003;(1):CD000326. doi:10.1002/14651858.CD000326.
132. Guevara JP, Wolf FM, Grum CM, Clark NM. Effects of educational interventions for self management of asthma in children and adolescents: systematic review and meta-analysis. *BMJ*. 2003;326(7402):1308-1309. doi:10.1136/bmj.326.7402.1308.
133. Coffman JM, Cabana MD, Halpin HA, Yelin EH. Effects of asthma education on children's use of acute care services: a meta-analysis. *Pediatrics*. 2008;121(3):575-586. doi:10.1542/peds.2007-0113.
134. Boyd M, Lasserson TJ, McKean MC, Gibson PG, Ducharme FM, Haby M. Interventions for educating children who are at risk of asthma-related emergency department attendance. *Cochrane Database Syst Rev*. 2009;(2):CD001290. doi:10.1002/14651858.CD001290.pub2.
135. Haute Autorité de Santé. Education thérapeutique de l'enfant asthmatique - Synthèse des recommandations.[http://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/education\\_asthmatique\\_enfant\\_version\\_finale\\_du\\_22\\_10\\_02\\_synthese.pdf](http://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/education_asthmatique_enfant_version_finale_du_22_10_02_synthese.pdf). Published 2002. Accessed September 9, 2015.
136. Wilson SR, Latini D, Starr NJ, et al. Education of parents of infants and very young children with asthma: a developmental evaluation of the Wee Wheezers program. *J Asthma Off J Assoc Care Asthma*. 1996;33(4):239-254.

137. Brown JV, Bakeman R, Celano MP, Demi AS, Kobrynski L, Wilson SR. Home-based asthma education of young low-income children and their families. *J Pediatr Psychol.* 2002;27(8):677-688.
138. Stevens CA, Wesseldine LJ, Couriel JM, Dyer AJ, Osman LM, Silverman M. Parental education and guided self-management of asthma and wheezing in the pre-school child: a randomised controlled trial. *Thorax.* 2002;57(1):39-44.
139. Holzheimer L, Mohay H, Masters IB. Educating young children about asthma: comparing the effectiveness of a developmentally appropriate asthma education video tape and picture book. *Child Care Health Dev.* 1998;24(1):85-99.
140. Mesters I, Meertens R, Kok G, Parcel GS. Effectiveness of a multidisciplinary education protocol in children with asthma (0-4 years) in primary health care. *J Asthma Off J Assoc Care Asthma.* 1994;31(5):347-359.
141. Szczepanski R, Jaeschke R, Spindler T, Ihorst G, Forster J, ASEV Study Group. Preschoolers' and parents' asthma education trial (P2AET)--a randomized controlled study. *Eur J Pediatr.* 2010;169(9):1051-1060. doi:10.1007/s00431-010-1173-z.
142. Cypress M, Weinger K, Mulcahy K, Barta P. Structuration d'un programme d'éducation thérapeutique du patient dans le champ des maladies chroniques. *Guide Méthodologique HAS.* 2007.
143. Gibson PG, Powell H. Written action plans for asthma: an evidence-based review of the key components. *Thorax.* 2004;59(2):94-99. doi:10.1136/thorax.2003.011858.
144. Rank MA, Volcheck GW, Li JTC, Patel AM, Lim KG. Formulating an effective and efficient written asthma action plan. *Mayo Clin Proc.* 2008;83(11):1263-1270. doi:10.4065/83.11.1263.
145. Kelso JM. Do Written Asthma Action Plans Improve Outcomes? *Pediatr Allergy Immunol Pulmonol.* 2016;29(1):2-5. doi:10.1089/ped.2016.0634.
146. Zemek RL, Bhogal SK, Ducharme FM. Systematic review of randomized controlled trials examining written action plans in children: what is the plan? *Arch Pediatr Adolesc Med.* 2008;162(2):157-163. doi:10.1001/archpediatrics.2007.34.
147. Agrawal SK, Singh M, Mathew JL, Malhi P. Efficacy of an individualized written home-management plan in the control of moderate persistent asthma: a randomized, controlled trial. *Acta Paediatr Oslo Nor* 1992. 2005;94(12):1742-1746. doi:10.1080/08035250510039973.
148. Ducharme FM, Zemek RL, Chalut D, et al. Written action plan in pediatric emergency room improves asthma prescribing, adherence, and control. *Am J Respir Crit Care Med.* 2011;183(2):195-203. doi:10.1164/rccm.201001-0115OC.
149. Espinoza-Palma T, Zamorano A, Arancibia F, et al. Effectiveness of asthma education with and without a self-management plan in hospitalized children. *J Asthma Off J Assoc Care Asthma.* 2009;46(9):906-910. doi:10.3109/02770900903199979.
150. Sunshine J, Song L, Krieger J. Written action plan use in inner-city children: is it independently associated with improved asthma outcomes? *Ann Allergy Asthma Immunol Off Publ Am Coll Allergy Asthma Immunol.* 2011;107(3):207-213. doi:10.1016/j.anai.2011.04.015.
151. Wong SS, Nathan AM, de Bruyne J, Zaki R, Mohd Tahir SZ. Does a written asthma action plan reduce unscheduled doctor visits in children? *Indian J Pediatr.* 2013;80(7):590-595. doi:10.1007/s12098-012-0839-0.
152. Sheares BJ, Mellins RB, Dimango E, et al. Do Patients of Subspecialist Physicians Benefit from Written Asthma Action Plans? *Am J Respir Crit Care Med.* 2015;191(12):1374-1383. doi:10.1164/rccm.201407-1338OC.
153. Gatheral TL, Rushton A, Evans DJ, et al. Personalised asthma action plans for adults with asthma. *Cochrane Database Syst Rev.* 2017;4:CD011859. doi:10.1002/14651858.CD011859.pub2.



154. Toelle B, Ram FS. WITHDRAWN: Written individualised management plans for asthma in children and adults. *Cochrane Database Syst Rev.* 2011;(7):CD002171. doi:10.1002/14651858.CD002171.pub3.
155. Direction générale de la santé. Evaluation des écoles de l'asthme en France. Rapport 2006. <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/rapports-publics/064000547/index.shtml>. Accessed July 14, 2017.
156. Yoon R, McKenzie DK, Miles DA, Bauman A. Characteristics of attenders and non-attenders at an asthma education programme. *Thorax.* 1991;46(12):886-890.
157. Clark NM, Feldman CH, Evans D, Levison MJ, Wasilewski Y, Mellins RB. The impact of health education on frequency and cost of health care use by low income children with asthma. *J Allergy Clin Immunol.* 1986;78(1 Pt 1):108-115.
158. FitzGerald JM. Psychosocial barriers to asthma education. *Chest.* 1994;106(4 Suppl):260S-263S.
159. Direction générale de la santé. Etats des lieux des écoles de l'asthme. <http://www.sante.gouv.fr/pour-connaître-les-résultats-de-l-etude-sur-les-écoles-de-l-asthme.html>. Published June 2006. Accessed November 1, 2015.
160. McClellan VE, Garrett JE. Attendance failure at Middlemore Hospital asthma clinic. *N Z Med J.* 1989;102(867):211-213.
161. Fish L, Wilson SR, Latini DM, Starr NJ. An education program for parents of children with asthma: differences in attendance between smoking and nonsmoking parents. *Am J Public Health.* 1996;86(2):246-248.
162. Bauman A, McKenzie DK, Young L, Yoon R. Asthma education: the perceptions of family physicians. *J Asthma Off J Assoc Care Asthma.* 1990;27(6):385-392.
163. Gibson PG, Powell H, Coughlan J, et al. Limited (information only) patient education programs for adults with asthma. *Cochrane Database Syst Rev.* 2002;(2):CD001005. doi:10.1002/14651858.CD001005.
164. Alvarez J, Michaud L. Serious games. Advergaming, edugaming, training and more. *Fr IDATE.* 2008.
165. Jeu sérieux. Eduscol, le site des professionnels de l'éducation. <http://eduscol.education.fr/numerique/dossier/apprendre/jeuxserieux/notion/definitions/jeu-serieux>. Accessed August 4, 2017.
166. Aldrich C. Virtual Worlds, Simulations, and Games for Education: A Unifying View. *Innov J Online Educ.* 2009;5(5). <http://nsuworks.nova.edu/innovate/vol5/iss5/1>.
167. O'Neil HF, Wainess R, Baker EL. Classification of learning outcomes: evidence from the computer games literature. *Curr J.* 2005;16(4):455-474. doi:10.1080/09585170500384529.
168. Sitzmann T. A meta-analytic examination of the instructional effectiveness of computer-based simulation games. *Pers Psychol.* 2011;64(2):489-528.
169. Hays RT. *The Effectiveness of Instructional Games: A Literature Review and Discussion.*; 2005.
170. Alvarez J, Djaouti D. Une taxinomie des serious games dédiés au secteur de la santé. *Rev Lelectricite Lelectronique.* 2008;(11):91.
171. Tobias S, Fletcher JD. What Research Has to Say about Designing Computer Games for Learning. *Educ Technol.* 2007;47(5):20-29.
172. Wattanasoontorn V, Boada I, García R, Sbert M. Serious games for health. *Entertain Comput.* 2013;4. doi:10.1016/j.entcom.2013.09.002.
173. Djaouti D, Alvarez J, Jessel J-P. Classifying serious games: the G/P/S model. *Handb Res Improv Learn Motiv Educ Games Multidiscip Approaches.* 2011:118-136.

174. Did neuroscience find the secrets of learning? [Internet]. Available from: <http://www.paristechreview.com/2013/11/07/neuroscience-secret-learning/>. [cited 17 Jul 2015]. <http://www.paristechreview.com/2013/11/07/neuroscience-secret-learning/>.
175. Petersen SE, Posner MI. The attention system of the human brain: 20 years after. *Annu Rev Neurosci.* 2012;35:73-89. doi:10.1146/annurev-neuro-062111-150525.
176. Baldi E, Bucherelli C. The inverted “u-shaped” dose-effect relationships in learning and memory: modulation of arousal and consolidation. *Nonlinearity Biol Toxicol Med.* 2005;3(1):9-21. doi:10.2201/nonlin.003.01.002.
177. Cowley B, Ravaja N. Learning in balance: Using oscillatory EEG biomarkers of attention, motivation and vigilance to interpret game-based learning. *Cogent Educ.* 2014;1(1):962236. doi:10.1080/2331186X.2014.962236.
178. Garris R, Ahlers R, Driskell JE. Games, Motivation, and Learning: A Research and Practice Model. *Simul Gaming.* 2002;33(4):441-467. doi:10.1177/1046878102238607.
179. Habgood MPJ, Ainsworth SE. Motivating Children to Learn Effectively: Exploring the Value of Intrinsic Integration in Educational Games. *J Learn Sci.* 2011;20(2):169-206. doi:10.1080/10508406.2010.508029.
180. Hamari J, Shernoff DJ, Rowe E, Coller B, Asbell-Clarke J, Edwards T. Challenging games help students learn: An empirical study on engagement, flow and immersion in game-based learning. *Comput Hum Behav.* 2016;54:170-179. doi:10.1016/j.chb.2015.07.045.
181. Csikszentmihalyi M. *Flow: The Psychology of Optimal Experience.* New York: Harper Perennial; 1991.
182. Ivory JD, Kalyanaraman S. The Effects of Technological Advancement and Violent Content in Video Games on Players’ Feelings of Presence, Involvement, Physiological Arousal, and Aggression. *J Commun.* 2007;57(3):532-555. doi:10.1111/j.1460-2466.2007.00356.x.
183. Grimshaw M. Sound and immersion in the first-person shooter. *Int J Intell Games Simul.* 2008;5(1):119-124.
184. Wouters P, Oostendorp H. A meta-analytic review of the role of instructional support in game-based learning. *Comput Educ.* 2013;60. doi:10.1016/j.compedu.2012.07.018.
185. Jennett C, Cox AL, Cairns P, et al. Measuring and defining the experience of immersion in games. *Int J Hum-Comput Stud.* 2008;66(9):641-661. doi:10.1016/j.ijhcs.2008.04.004.
186. Freeman S, Eddy SL, McDonough M, et al. Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proc Natl Acad Sci.* 2014;111(23):8410-8415. doi:10.1073/pnas.1319030111.
187. Davis D, O’Brien M, Freemantle N, Wolf FM, Mazmanian P, Taylor-Vaisey A. Impact of formal continuing medical education: Do conferences, workshops, rounds, and other traditional continuing education activities change physician behavior or health care outcomes? *JAMA.* 1999;282(9):867-874. doi:10.1001/jama.282.9.867.
188. Prince M. Does active learning work? A review of the research. *J Eng Educ Wash.* 2004;93. doi:10.1002/j.2168-9830.2004.tb00809.x.
189. Knill DC, Pouget A. The Bayesian brain: the role of uncertainty in neural coding and computation. *Trends Neurosci.* 2004;27(12):712-719. doi:10.1016/j.tins.2004.10.007.
190. Sutton RS. Learning to predict by the methods of temporal differences. *Mach Learn.* 1988;3(1):9-44. doi:10.1007/BF00115009.

191. Kluger AN, DeNisi A. The effects of feedback interventions on performance: A historical review, a meta-analysis, and a preliminary feedback intervention theory. *Psychol Bull.* 1996;119(2):254-284. doi:10.1037/0033-2909.119.2.254.
192. McGaugh JL. The perseveration-consolidation hypothesis: Mueller and Pilzecker, 1900. *Brain Res Bull.* 1999;50(5):445-446.
193. McGaugh JL. Memory—a century of consolidation. *Science.* 2000;287. doi:10.1126/science.287.5451.248.
194. Froyen DJW, Bonte ML, van Atteveldt N, Blomert L. The Long Road to Automation: Neurocognitive Development of Letter–Speech Sound Processing. *J Cogn Neurosci.* 2008;21(3):567-580. doi:10.1162/jocn.2009.21061.
195. Shadmehr R, Holcomb HH. Neural Correlates of Motor Memory Consolidation. *Science.* 1997;277(5327):821-825. doi:10.1126/science.277.5327.821.
196. Vlach HA, Sandhofer CM, Kornell N. The spacing effect in children’s memory and category induction. *Cognition.* 2008;109(1):163-167. doi:10.1016/j.cognition.2008.07.013.
197. Kerfoot BP, Baker H, Pangaro L, et al. An online spaced-education game to teach and assess medical students: a multi-institutional prospective trial. *Acad Med J Assoc Am Med Coll.* 2012;87(10):1443-1449. doi:10.1097/ACM.0b013e318267743a.
198. Goverover Y, Hillary FG, Chiaravalloti N, Arango-Lasprilla JC, DeLuca J. A functional application of the spacing effect to improve learning and memory in persons with multiple sclerosis. *J Clin Exp Neuropsychol.* 2009;31(5):513-522. doi:10.1080/13803390802287042.
199. Kerfoot BP, Kearney MC, Connelly D, Ritchey ML. Interactive spaced education to assess and improve knowledge of clinical practice guidelines: a randomized controlled trial. *Ann Surg.* 2009;249(5):744-749. doi:10.1097/SLA.0b013e31819f6db8.
200. Naqib F, Sossin WS, Farah CA. Molecular Determinants of the Spacing Effect. *Neural Plast.* 2012;2012:e581291. doi:10.1155/2012/581291.
201. Kato PM, Cole SW, Bradlyn AS, Pollock BH. A Video Game Improves Behavioral Outcomes in Adolescents and Young Adults With Cancer: A Randomized Trial. *Pediatrics.* 2008;122(2):e305-e317. doi:10.1542/peds.2007-3134.
202. Prince KJAH, Van De Wiel M, Scherpbier AJJA, Can Der Vleuten CPM, Boshuizen HPA. A Qualitative Analysis of the Transition from Theory to Practice in Undergraduate Training in a PBL-Medical School. *Adv Health Sci Educ Theory Pract.* 2000;5(2):105-116. doi:10.1023/A:1009873003677.
203. Cheng A, Hunt EA, Donoghue A, et al. Examining pediatric resuscitation education using simulation and scripted debriefing: a multicenter randomized trial. *JAMA Pediatr.* 2013;167(6):528-536. doi:10.1001/jamapediatrics.2013.1389.
204. Kolb DA. *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development.* FT press; 2014.
205. Cook DA, Hatala R, Brydges R, et al. Technology-enhanced simulation for health professions education: a systematic review and meta-analysis. *JAMA.* 2011;306(9):978-988. doi:10.1001/jama.2011.1234.
206. Hamstra SJ, Brydges R, Hatala R, Zendejas B, Cook DA. Reconsidering fidelity in simulation-based training. *Acad Med J Assoc Am Med Coll.* 2014;89(3):387-392. doi:10.1097/ACM.000000000000130.
207. Choi W, Dyens O, Chan T, et al. Engagement and learning in simulation: recommendations of the Simnovate Engaged Learning Domain Group. *BMJ Simul Technol Enhanc Learn.* 2017;3(Suppl 1):S23-S32. doi:10.1136/bmjstel-2016-000177.
208. Ericsson KA. Deliberate practice and the acquisition and maintenance of expert performance in medicine and related domains. *Acad Med J Assoc Am Med Coll.* 2004;79(10 Suppl):S70-81.

209. Haute Autorité de Santé. Etat de l'art (national et international) en matière de pratiques de simulation dans le domaine de la santé.[http://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2012-01/simulation\\_en\\_sante\\_-\\_rapport.pdf](http://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2012-01/simulation_en_sante_-_rapport.pdf). Published 2012.
210. Block JH, Airasian PW. *Mastery Learning: Theory and Practice*. Holt, Rinehart and Winston; 1971.
211. Wayne DB, Butter J, Siddall VJ, et al. Mastery learning of advanced cardiac life support skills by internal medicine residents using simulation technology and deliberate practice. *J Gen Intern Med*. 2006;21(3):251-256. doi:10.1111/j.1525-1497.2006.00341.x.
212. Cook DA, Brydges R, Zendejas B, Hamstra SJ, Hatala R. Mastery learning for health professionals using technology-enhanced simulation: a systematic review and meta-analysis. *Acad Med J Assoc Am Med Coll*. 2013;88(8):1178-1186. doi:10.1097/ACM.0b013e31829a365d.
213. Girard C, Ecalle J, Magnan A. Serious games as new educational tools: how effective are they? A meta-analysis of recent studies. *J Comput Assist Learn*. 2013;29(3):207-219. doi:10.1111/j.1365-2729.2012.00489.x.
214. DeShazo J, Harris L, Pratt W. Effective intervention or child's play? A review of video games for diabetes education. *Diabetes Technol Ther*. 2010;12(10):815-822. doi:10.1089/dia.2010.0030.
215. Brown SJ, Lieberman DA, Germeny BA, Fan YC, Wilson DM, Pasta DJ. Educational video game for juvenile diabetes: results of a controlled trial. *Med Inform Med Inform*. 1997;22(1):77-89.
216. Kumar VS, Wentzell KJ, Mikkelsen T, Pentland A, Laffel LM. The DAILY (Daily Automated Intensive Log for Youth) trial: a wireless, portable system to improve adherence and glycemic control in youth with diabetes. *Diabetes Technol Ther*. 2004;6(4):445-453. doi:10.1089/1520915041705893.
217. Duke DC, Barry S, Wagner DV, Speight J, Choudhary P, Harris MA. Distal technologies and type 1 diabetes management. *Lancet Diabetes Endocrinol*. 2017;0(0). doi:10.1016/S2213-8587(17)30260-7.
218. Dragone MA, Bush PJ, Jones JK, Bearison DJ, Kamani S. Development and evaluation of an interactive CD-ROM for children with leukemia and their families. *Patient Educ Couns*. 2002;46(4):297-307.
219. Lu AS, Kharrazi H, Gharghabi F, Thompson D. A Systematic Review of Health Videogames on Childhood Obesity Prevention and Intervention. *Games Health J*. 2013;2(3):131-141. doi:10.1089/g4h.2013.0025.
220. Baranowski T, Baranowski J, Thompson D, et al. Video game play, child diet, and physical activity behavior change a randomized clinical trial. *Am J Prev Med*. 2011;40(1):33-38. doi:10.1016/j.amepre.2010.09.029.
221. Lohse KR, Hilderman CGE, Cheung KL, Tatla S, Van der Loos HFM. Virtual reality therapy for adults post-stroke: a systematic review and meta-analysis exploring virtual environments and commercial games in therapy. *PloS One*. 2014;9(3):e93318. doi:10.1371/journal.pone.0093318.
222. Burke JW, McNeill MDJ, Charles DK, Morrow PJ, Crosbie JH, McDonough SM. Optimising engagement for stroke rehabilitation using serious games. *Vis Comput*. 2009;25(12):1085. doi:10.1007/s00371-009-0387-4.
223. McCallum S, Boletis C. *Dementia Games: A Literature Review of Dementia-Related Serious Games*. In: *Serious Games Development and Applications*. Lecture Notes in Computer Science. Springer, Berlin, Heidelberg; 2013:15-27. doi:10.1007/978-3-642-40790-1\_2.
224. Lewis D. Computer-based Approaches to Patient Education A Review of the Literature. *J Am Med Inform Assoc*. 1999;6(4):272-282. doi:10.1136/jamia.1999.0060272.
225. Dayer L, Heldenbrand S, Anderson P, Gubbins PO, Martin BC. Smartphone medication adherence apps: Potential benefits to patients and providers. *J Am Pharm Assoc JAPhA*. 2013;53(2):172-181. doi:10.1331/JAPhA.2013.12202.

226. Hickman RL, Clochesy JM, Pinto MD, Burant C, Pignatiello G. IMPACT OF A SERIOUS GAME FOR HEALTH ON CHRONIC DISEASE SELF-MANAGEMENT: PRELIMINARY EFFICACY AMONG COMMUNITY DWELLING ADULTS WITH HYPERTENSION. *J Health Hum Serv Adm.* 2015;38(2):253-275.
227. Annaim A, Lassiter M, Viera AJ, Ferris M. Interactive media for parental education on managing children chronic condition: a systematic review of the literature. *BMC Pediatr.* 2015;15:201. doi:10.1186/s12887-015-0517-2.
228. Fall AJ, Henry RL, Hazell T. The use of an interactive computer program for the education of parents of asthmatic children. *J Paediatr Child Health.* 1998;34(2):127-130.
229. Bayley JE, Brown KE. Translating group programmes into online formats: establishing the acceptability of a parents' sex and relationships communication serious game. *BMC Public Health.* 2015;15:1225. doi:10.1186/s12889-015-2545-0.
230. Bartholomew LK, Gold RS, Parcel GS, et al. Watch, Discover, Think, and Act: evaluation of computer-assisted instruction to improve asthma self-management in inner-city children. *Patient Educ Couns.* 2000;39(2-3):269-280.
231. Schroeder, Susan; Swartz, Lynne; Gau, Jeff; Ary, Dennis V. A randomized, controlled trial of Lungropolis™: An internet asthma game for children and companion website for parents. Unpublished manuscript.
232. Rubin DH, Leventhal JM, Sadock RT, et al. Educational intervention by computer in childhood asthma: a randomized clinical trial testing the use of a new teaching intervention in childhood asthma. *Pediatrics.* 1986;77(1):1-10.
233. Homer C, Susskind O, Alpert HR, et al. An evaluation of an innovative multimedia educational software program for asthma management: report of a randomized, controlled trial. *Pediatrics.* 2000;106(1 Pt 2):210-215.
234. Shames RS, Sharek P, Mayer M, et al. Effectiveness of a multicomponent self-management program in at-risk, school-aged children with asthma. *Ann Allergy Asthma Immunol Off Publ Am Coll Allergy Asthma Immunol.* 2004;92(6):611-618. doi:10.1016/S1081-1206(10)61426-3.
235. Tofil NM, Rutledge C, Zinkan JL, et al. Ventilator caregiver education through the use of high-fidelity pediatric simulators: a pilot study. *Clin Pediatr (Phila).* 2013;52(11):1038-1043. doi:10.1177/0009922813505901.
236. Sullivan-Bolyai S, Crawford S, Bova C, et al. PETS-D: Impact on Diabetes Management Outcomes. *Diabetes Educ.* 2015;41(5):537-549. doi:10.1177/0145721715598383.
237. Sigalet E, Cheng A, Donnon T, et al. A simulation-based intervention teaching seizure management to caregivers: A randomized controlled pilot study. *Paediatr Child Health.* 2014;19(7):373-378.
238. Evidence-Based Medicine Working Group. Evidence-based medicine. A new approach to teaching the practice of medicine. *JAMA.* 1992;268(17):2420-2425.
239. Sackett DL, Rosenberg WM, Gray JA, Haynes RB, Richardson WS. Evidence based medicine: what it is and what it isn't. *BMJ.* 1996;312(7023):71-72.
240. Davies P. What is Evidence-based Education? *Br J Educ Stud.* 1999;47(2):108-121. doi:10.1111/1467-8527.00106.
241. Dehaene S. Origins of Mathematical Intuitions. *Ann N Y Acad Sci.* 2009;1156(1):232-259. doi:10.1111/j.1749-6632.2009.04469.x.
242. Pashler H, McDaniel M, Rohrer D, Bjork R. Learning Styles Concepts and Evidence. *Psychol Sci Public Interest.* 2008;9(3):105-119. doi:10.1111/j.1539-6053.2009.01038.x.

243. Alfieri L, Brooks PJ, Aldrich NJ, Tenenbaum HR. Does Discovery-Based Instruction Enhance Learning? *J Educ Psychol*. 2011;103(1):1-18. doi:10.1037/a0021017.
244. Rivers RH, Vockell E. Computer simulations to stimulate scientific problem solving. *J Res Sci Teach*. 1987;24(5):403-415. doi:10.1002/tea.3660240504.
245. Leutner D. Guided discovery learning with computer-based simulation games: Effects of adaptive and non-adaptive instructional support. *Learn Instr*. 1993;3(2):113-132. doi:10.1016/0959-4752(93)90011-N.
246. Taylor PJ, Russ-Eft DF, Chan DWL. A meta-analytic review of behavior modeling training. *J Appl Psychol*. 2005;90(4):692-709. doi:10.1037/0021-9010.90.4.692.
247. Alam F, Boet S, Piquette D, Lai A, Perkes CP, LeBlanc VR. E-learning optimization: the relative and combined effects of mental practice and modeling on enhanced podcast-based learning-a randomized controlled trial. *Adv Health Sci Educ Theory Pract*. February 2016. doi:10.1007/s10459-016-9666-9.
248. Salas E, Rosen MA, Pavlas D, et al. Understanding Demonstration-Based Training: A Definition, Conceptual Framework, and Some Initial Guidelines. STOTTLER HENKE ASSOCIATES INC SAN MATEO CA, STOTTLER HENKE ASSOCIATES INC SAN MATEO CA; 2009. <http://www.dtic.mil/docs/citations/ADA509390>. Accessed September 6, 2017.
249. Shute VJ. Focus on Formative Feedback. *Rev Educ Res*. 2008;78(1):153-189. doi:10.3102/0034654307313795.
250. Johnson CI, Bailey SKT, Buskirk WLV. Designing Effective Feedback Messages in Serious Games and Simulations: A Research Review. In: *Instructional Techniques to Facilitate Learning and Motivation of Serious Games*. Advances in Game-Based Learning. Springer, Cham; 2017:119-140. doi:10.1007/978-3-319-39298-1\_7.
251. Ginns P. Meta-analysis of the modality effect. *Learn Instr*. 2005;15(4):313-331. doi:10.1016/j.learninstruc.2005.07.001.
252. Mayer RE. *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Cambridge University Press; 2005.
253. Fiorella L, Vogel-Walcutt JJ, Schatz S. Applying the modality principle to real-time feedback and the acquisition of higher-order cognitive skills. *Educ Technol Res Dev*. 2012;60(2):223-238. doi:10.1007/s11423-011-9218-1.
254. Moreno R, Mayer RE, Spires HA, Lester JC. The Case for Social Agency in Computer-Based Teaching: Do Students Learn More Deeply When They Interact With Animated Pedagogical Agents? *Cogn Instr*. 2001;19(2):177-213. doi:10.1207/S1532690XCI1902\_02.
255. Mayer RE, DaPra CS. An embodiment effect in computer-based learning with animated pedagogical agents. *J Exp Psychol Appl*. 2012;18(3):239-252. doi:10.1037/a0028616.
256. Atkinson RK, Mayer RE, Merrill MM. Fostering social agency in multimedia learning: Examining the impact of an animated agent's voice. *Contemp Educ Psychol*. 2005;30(1):117-139. doi:10.1016/j.cedpsych.2004.07.001.
257. Mayer RE. *Computer Games for Learning: An Evidence-Based Approach*. MIT Press; 2014.
258. Kulik JA, Kulik C-LC. Timing of Feedback and Verbal Learning. *Rev Educ Res*. 1988;58(1):79-97. doi:10.3102/00346543058001079.
259. Katz B, Jaeggi S, Buschkuhl M, Stegman A, Shah P. Differential effect of motivational features on training improvements in school-based cognitive training. *Front Hum Neurosci*. 2014;8:242. doi:10.3389/fnhum.2014.00242.
260. Wood D, Bruner JS, Ross G. The Role of Tutoring in Problem Solving\*. *J Child Psychol Psychiatry*. 1976;17(2):89-100. doi:10.1111/j.1469-7610.1976.tb00381.x.

261. Barzilai S, Blau I. Scaffolding game-based learning: Impact on learning achievements, perceived learning, and game experiences. *Comput Educ.* 2014;70:65-79. doi:10.1016/j.compedu.2013.08.003.
262. Chen C-H, Law V. Scaffolding individual and collaborative game-based learning in learning performance and intrinsic motivation. *Comput Hum Behav.* 2016;55:1201-1212. doi:10.1016/j.chb.2015.03.010.
263. Roediger HL, Karpicke JD. The Power of Testing Memory: Basic Research and Implications for Educational Practice. *Perspect Psychol Sci J Assoc Psychol Sci.* 2006;1(3):181-210. doi:10.1111/j.1745-6916.2006.00012.x.
264. Karpicke JD, Butler AC, Roediger HL. Metacognitive strategies in student learning: do students practise retrieval when they study on their own? *Mem Hove Engl.* 2009;17(4):471-479. doi:10.1080/09658210802647009.
265. Boyle EA, Hainey T, Connolly TM, et al. An update to the systematic literature review of empirical evidence of the impacts and outcomes of computer games and serious games. *Comput Educ.* 2016;94:178-192.
266. Göbel S, Wendel V, Ritter C, Steinmetz R. Personalized, Adaptive Digital Educational Games Using Narrative Game-Based Learning Objects. In: *Entertainment for Education. Digital Techniques and Systems. Lecture Notes in Computer Science.* Springer, Berlin, Heidelberg; 2010:438-445. doi:10.1007/978-3-642-14533-9\_45.
267. Walkington CA. Using adaptive learning technologies to personalize instruction to student interests: The impact of relevant contexts on performance and learning outcomes. *J Educ Psychol.* 2013;105(4):932-945. doi:10.1037/a0031882.
268. Cordova DI, Lepper MR. Intrinsic motivation and the process of learning: Beneficial effects of contextualization, personalization, and choice. *J Educ Psychol.* 1996;88(4):715-730. doi:10.1037/0022-0663.88.4.715.
269. *Simulation Fidelity in Training System Design - Bridging the | Robert T. Hays | Springer.* <http://www.springer.com/la/book/9780387968469>. Accessed September 8, 2017.
270. Norman G, Dore K, Grierson L. The minimal relationship between simulation fidelity and transfer of learning. *Med Educ.* 2012;46(7):636-647. doi:10.1111/j.1365-2923.2012.04243.x.
271. Chandra DB, Savoldelli GL, Joo HS, Weiss ID, Naik VN. Fiberoptic oral intubation: the effect of model fidelity on training for transfer to patient care. *Anesthesiology.* 2008;109(6):1007-1013. doi:10.1097/ALN.0b013e31818d6c3c.
272. Matsumoto ED, Hamstra SJ, Radomski SB, Cusimano MD. The effect of bench model fidelity on endourological skills: a randomized controlled study. *J Urol.* 2002;167(3):1243-1247.
273. Brydges R, Carnahan H, Rose D, Rose L, Dubrowski A. Coordinating progressive levels of simulation fidelity to maximize educational benefit. *Acad Med J Assoc Am Med Coll.* 2010;85(5):806-812. doi:10.1097/ACM.0b013e3181d7aabd.
274. Eichenbaum A, Bavelier D, Green CS. Video games: Play that can do serious good. *Am J Play.* 2014;7(1):50.
275. Dye MWG, Green CS, Bavelier D. The development of attention skills in action video game players. *Neuropsychologia.* 2009;47(8-9):1780-1789. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2009.02.002.
276. Korteling HJE, Helsdingen AS, Sluimer RR. An Empirical Evaluation of Transfer-of-Training of Two Flight Simulation Games. *Simul Gaming.* 2017;48(1):8-35. doi:10.1177/1046878116671057.
277. Ganier F, Hoareau C, Tisseau J. Evaluation of procedural learning transfer from a virtual environment to a real situation: a case study on tank maintenance training. *Ergonomics.* 2014;57(6):828-843. doi:10.1080/00140139.2014.899628.

278. Dawe SR, Pena GN, Windsor JA, et al. Systematic review of skills transfer after surgical simulation-based training. *Br J Surg*. 2014;101(9):1063-1076. doi:10.1002/bjs.9482.
279. Hochmitz I, Yuviler-Gavish N. Physical fidelity versus cognitive fidelity training in procedural skills acquisition. *Hum Factors*. 2011;53(5):489-501. doi:10.1177/0018720811412777.
280. McGaghie WC, Issenberg SB, Cohen ER, Barsuk JH, Wayne DB. Does Simulation-based Medical Education with Deliberate Practice Yield Better Results than Traditional Clinical Education? A Meta-Analytic Comparative Review of the Evidence. *Acad Med J Assoc Am Med Coll*. 2011;86(6):706-711. doi:10.1097/ACM.0b013e318217e119.
281. Wouters P, Van Nimwegen C, Van Oostendorp H, Van Der Spek ED. A meta-analysis of the cognitive and motivational effects of serious games. *J Educ Psychol*. 2013;105(2):249.
282. Cook DA, Hamstra SJ, Brydges R, et al. Comparative effectiveness of instructional design features in simulation-based education: systematic review and meta-analysis. *Med Teach*. 2013;35(1):e867-898. doi:10.3109/0142159X.2012.714886.
283. Bjork EL, Bjork RA. Making things hard on yourself, but in a good way: Creating desirable difficulties to enhance learning. *Psychol Real World Essays Illus Fundam Contrib Soc*. 2011;2:59-68.
284. *Instructional Techniques to Facilitate Learning and Motivation* | Pieter Wouters | Springer. <http://www.springer.com/us/book/9783319392967>. Accessed September 9, 2017.
285. DeSmet A, Thompson D, Baranowski T, Palmeira A, Verloigne M, De Bourdeaudhuij I. Is Participatory Design Associated with the Effectiveness of Serious Digital Games for Healthy Lifestyle Promotion? A Meta-Analysis. *J Med Internet Res*. 2016;18(4). doi:10.2196/jmir.4444.



## **ANNEXES**

### **1. Article « Les Jeux Vidéo Sérieux en Pédiatrie »**

#### **Les jeux vidéo sérieux en pédiatrie**

Drummond, D., Tesnière, A., & Hadchouel, A. (2017)

Archives de Pédiatrie, [Epub ahead of print]



Disponible en ligne sur

**ScienceDirect**  
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France

**EM|consulte**  
www.em-consulte.com/en

*Mise au point*

## Les jeux vidéo sérieux en pédiatrie



### *Serious video games in pediatrics*

D. Drummond<sup>a,\*,b</sup>, A. Tesnière<sup>a,c</sup>, A. Hadchouel<sup>a,b</sup><sup>a</sup> Département de simulation en santé iLumens, université Paris Descartes, 45, rue des Saint-Pères, 75006 Paris, France<sup>b</sup> Service de pneumologie pédiatrique, hôpital Necker-Enfants malades, AP-HP, 149, rue de Sèvres, 75015 Paris, France<sup>c</sup> Réanimation chirurgicale, hôpital Cochin, AP-HP, 27, rue du faubourg Saint-Jacques, 75014 Paris, France

#### INFO ARTICLE

Historique de l'article :

Reçu le 28 octobre 2016

Accepté le 26 octobre 2017

Disponible sur Internet le 19 décembre 2017

Mots clés :

Jeux vidéo sérieux

Jeux vidéo

Matière de santé publique

#### RÉSUMÉ

Les jeux vidéo ont été beaucoup étudiés pour leurs risques en pédiatrie. Cependant, associés à une intention sérieuse, ils peuvent représenter des outils efficaces et ne doivent pas être négligés par la communauté pédiatrique. En matière de santé publique, les jeux vidéo sérieux sont un moyen de réduire les consommations de drogue ou les comportements sexuels à risque chez les adolescents. Au sein des établissements scolaires, ils peuvent permettre de changer le regard d'une classe sur la maladie de l'un de ses élèves ou être utilisés pour former aux premiers secours. Ils trouvent également leur utilité auprès des patients, que ce soit pour distraire l'enfant pendant un soin anxiogène ou douloureux, renforcer la compliance aux traitements ou participer à une rééducation. Enfin les jeux vidéo sérieux à destination des professionnels de santé de la petite enfance sont amenés à se développer rapidement avec l'apparition de simulations virtuelles permettant de s'entraîner à prendre en charge des situations urgentes ou graves sans aucun risque pour le patient. Cette revue présente pour chacun de ces domaines d'application le rationnel ayant conduit à choisir les jeux vidéo comme outil, suivi d'exemples concrets et des résultats de leurs évaluations scientifiques.

© 2017 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

#### ABSTRACT

Playing video games has been associated with several negative effects in children. However, serious games, which are video games designed for a primary purpose other than pure entertainment, should not be neglected by pediatricians. In the field of public health, some serious games are a means to decrease drug consumption and improve sexual health behavior in adolescents. In schools, serious games can be used to change students' perception of the disease of one of their classmates, or to train students on basic life support. Serious games are also used with patients: they can distract them from a painful procedure, increase their compliance to treatments, or participate in their rehabilitation. Finally, serious games allow healthcare professionals to train on the management of various medical situations without risk. For every field of application, this review presents the rationale of the use of video games, followed by concrete examples of video games and the results of their scientific evaluation.

© 2017 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

Keywords:

Serious video games

Playing video games

Field of public health

## 1. Introduction

Les jeux vidéo constituent un loisir de masse qui continue de s'expandre. L'industrie du jeu vidéo est devenue la deuxième

industrie culturelle en France, derrière le livre, avec un chiffre d'affaires supérieur à celui du cinéma [1]. L'enquête menée par l'institut GfK en octobre 2015 sur un échantillon représentatif de 1002 personnes âgées de 10 à 65 ans a montré que la proportion de joueurs réguliers dans la population française (jouant au moins deux fois par semaine), est passée de 29 % en 2005 à 53 % en 2015 [2]. Soixante-quatorze pourcent des Français jouent au moins occasionnellement, c'est-à-dire plus de deux ou trois fois par an

\* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : david.drummond@ilumens.org (D. Drummond).

[2]. Chez les 10–14 ans, ce taux atteint désormais les 100 %, et rejoint celui déjà observé aux États-Unis [3]. Tous les enfants et adolescents français auront donc joué aux jeux vidéo dans leur vie.

Les risques des jeux vidéo pour ces tranches d'âge ont été largement étudiés. Troubles de l'attention, comportements violents, pratique excessive sont parmi les griefs les plus fréquemment exprimés. Les résultats des études scientifiques sont souvent plus nuancés. Le lien entre jeux vidéo et troubles de l'attention, encore débattu [4,5], semble en fait être à double sens : d'un côté les jeux vidéo pourraient effectivement entraîner des troubles de l'attention, mais de l'autre les enfants présentant des troubles de l'attention ont tendance à jouer aux jeux vidéo plus longtemps que leurs pairs, renforçant les corrélations observées [6]. Quant aux comportements violents, ils dépendent du contenu du jeu : si les jeux vidéo violents favorisent en effet les comportements violents, les jeux vidéo pro-sociaux induisent eux des comportements pro-sociaux [7]. Enfin, la pratique excessive des jeux chez les jeunes reste elle problématique, avec une prévalence entre 7 et 10 % selon les pays [8–10]. Elle peut entraîner des troubles anxieux ou dépressifs, et une chute des résultats scolaires [8].

À côté de ces risques, les jeux vidéo peuvent également être associés à de réels bénéfices. C'est notamment le cas lorsque le jeu vidéo est utilisé avec une intention « sérieuse », notamment éducative. Ces « jeux vidéo sérieux » sont « des applications développées à partir des technologies avancées du jeu vidéo, faisant appel aux mêmes approches de design et savoir-faire que le jeu classique (3D temps réel, simulation d'objets, d'individus, d'environnements...) mais qui dépassent la seule dimension du divertissement », selon la définition du centre de ressources et d'information sur les multimédias pour l'enseignement supérieur [11]. Dans le domaine de la santé, et plus particulièrement celui de la pédiatrie, les applications des jeux vidéo sérieux sont nombreuses et continuent de se développer.

L'objectif de cette revue était de donner au lecteur un aperçu des différentes applications des jeux vidéo sérieux en pédiatrie, qu'ils s'adressent au grand public, aux patients ou aux professionnels de santé (Fig. 1). Pour chaque domaine d'application, le rationnel de l'utilisation de jeux vidéo est présenté, suivi d'exemples de jeux (francophones autant que possibles) et des résultats de leurs évaluations scientifiques. N'ont été retenus dans les évaluations scientifiques que les seuls et rares essais randomisés contrôlés. Les études concernant les phases de développement, d'accueil par les utilisateurs, ou les études pré/post-tests sur de petits effectifs ne sont pas présentées.

## 2. Les jeux vidéo sérieux à destination du grand public

### 2.1. Rationnel

Dans le domaine de la santé, les jeux vidéo sérieux à destination du grand public peuvent avoir des objectifs divers : informer sur des problématiques de santé publique, changer le regard sur une maladie, modifier les comportements ou former à des prises en charge comme les premiers secours.

Les jeux vidéo dans ces cadres offrent deux grandes forces : immersion et interactivité. L'immersion est importante pour changer le regard sur une maladie ou induire des changements de comportement. Elle permet, via l'environnement graphique et sonore et l'histoire racontée, de réduire la distance psychologique entre le joueur et son personnage. Le joueur s'identifie à son personnage, se « met dans sa peau ». Cette identification permet de réaliser ce que l'autre vit, comme par exemple une personne en situation de handicap, et de changer ainsi son regard sur ce handicap.

L'identification est également un moyen efficace d'adopter progressivement les comportements du personnage que l'on joue. Les jeux vidéo s'appuient sur la théorie de l'apprentissage social, qui postule que l'on peut apprendre des comportements des autres, notamment des « modèles », et des conséquences de leurs comportements. Les jeux vidéo utilisent donc souvent des « modèles » sous la forme de personnages âgés de deux à trois ans de plus que les joueurs, afin de faciliter l'adoption des bons comportements par les joueurs [12].

L'interactivité est la seconde grande force des jeux vidéo. Elle participe à l'immersion : plus l'interactivité est importante, plus le joueur a le sentiment d'être présent dans le jeu, d'être absorbé par lui. Mais l'interactivité est surtout intéressante pour l'apprentissage, en contraignant l'enfant ou l'adolescent à un apprentissage actif : à la différence d'un cours en classe ou de la projection d'une vidéo, un jeu vidéo ne peut progresser sans la participation de l'apprenant. Or il est désormais acté qu'un apprentissage actif est plus efficace qu'un apprentissage passif, que ce soit pour la réussite aux examens scientifiques ou pour la compréhension des concepts [13].

Enfin, les jeux vidéo, même sérieux, ont un pouvoir motivationnel chez les enfants plus important que les livres ou vidéos présentant le même contenu [12]. En plus de l'immersion et de l'interactivité proposées, les enfants sont particulièrement sensibles à la présence d'objectifs clairs et explicites qui soutiennent leur motivation [12].

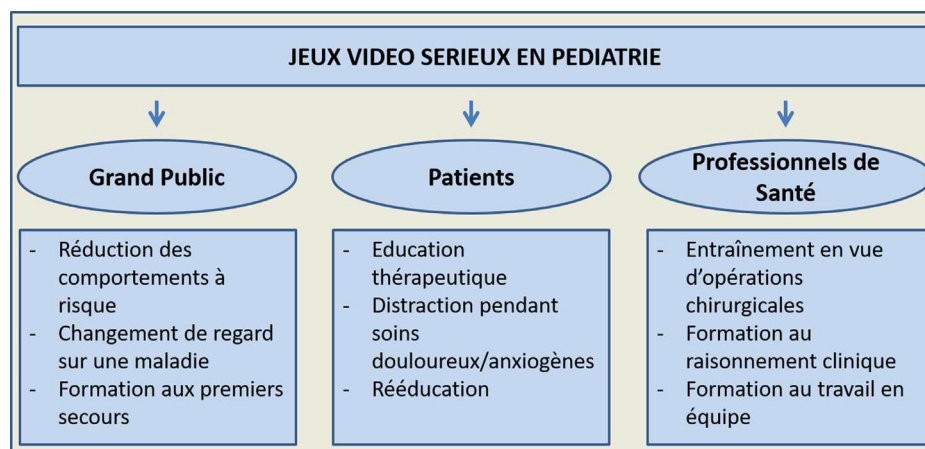
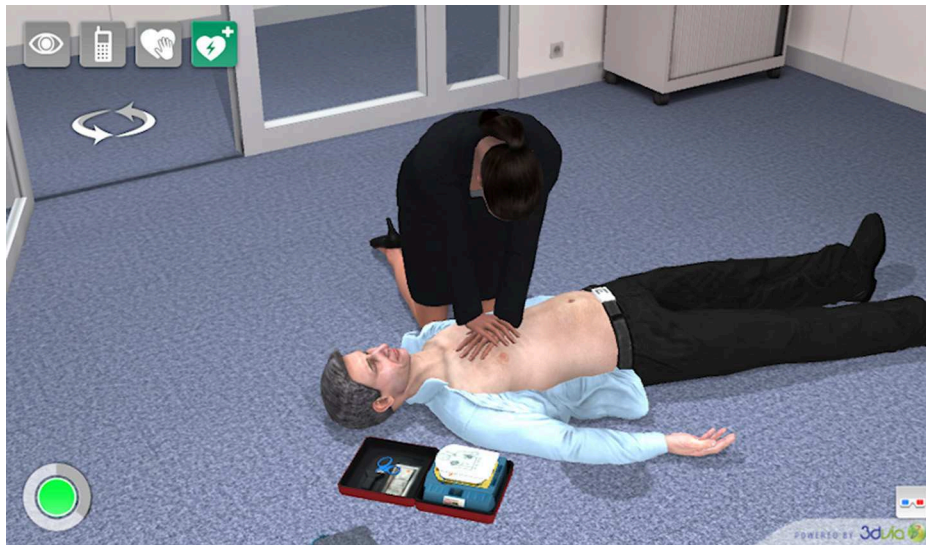


Fig. 1. Champs d'application des jeux vidéo sérieux en pédiatrie.



**Fig. 2.** Le jeu vidéo sérieux *Staying Alive* pour l'enseignement des premiers secours en cas d'arrêt cardiorespiratoire au grand public, et notamment aux collégiens de région parisienne.

## 2.2. Exemples

Dans les catégories « informer sur une problématique de santé » et « changer les comportements », le jeu *Secret Happy Night* (<http://www.secrethappynight.com/>), développé en collaboration avec la ville de Nantes, a pour objectif de sensibiliser les jeunes à la consommation excessive d'alcool. Le joueur incarne un agent secret devant obtenir des renseignements sur un dangereux trafiquant d'animaux synthétiques. Afin de parvenir à collecter ces renseignements, il a la possibilité de proposer à boire à différents intervenants, mais avec les conséquences que cela implique. *Ce soir il conclut* (<http://www.cesoirilconclut.com/>) est un autre jeu sur le même thème.

Le jeu *Vis ma Vue* (<https://www.reseau-canope.fr/vis-ma-vue/>) permet de mettre les joueurs dans la peau d'un personnage présentant un handicap visuel, afin de changer le regard des enfants sur leurs camarades malvoyants.

Enfin, le jeu vidéo sérieux *Staying Alive* (<http://www.stayingalive.fr/>), développé à destination du grand public, est utilisé dans des collèges de région parisienne pour enseigner les premiers gestes lors d'un arrêt cardiaque de l'adulte (Fig. 2).

## 2.3. Évaluation scientifique

À notre connaissance, aucune étude scientifique n'a été réalisée par des équipes françaises dans ces domaines. Concernant les jeux visant à sensibiliser et changer les comportements, une revue systématique de la littérature sur les jeux visant à prévenir la consommation d'alcool et de drogues pour les adolescents n'a identifié que deux essais randomisés contrôlés [14]. Ces deux essais ont montré une progression des connaissances des joueurs sur ces sujets, et l'un d'eux une diminution de la fréquence de consommation de stupéfiants [15,16]. Quant à la prévention des conduites sexuelles à risque, une autre revue systématique a retenu cinq essais randomisés contrôlés [17]. Les cinq jeux étudiés permettaient une amélioration des connaissances et pour quatre d'entre eux un changement de regard sur les conduites à risque. Un seul jeu a été évalué au niveau du changement des comportements. Il a permis, au sein d'un programme plus large d'éducation, de retarder l'initiation d'une activité sexuelle chez des adolescentes de 14–15 ans, ce qui était son objectif [18].

Aucune étude à notre connaissance n'a évalué l'intérêt d'un jeu vidéo sérieux pour changer le regard d'enfants ou d'adolescents sur

une maladie. Une étude est en cours pour évaluer l'intérêt du jeu *Staying Alive* dans la formation des collégiens aux premiers secours.

## 3. Les jeux vidéo sérieux à destination des patients

### 3.1. Les jeux vidéo pour l'éducation thérapeutique

#### 3.1.1. Rationnel

En pédiatrie, la plupart des jeux vidéo sérieux ont été développés pour l'éducation thérapeutique des patients. Ce phénomène a débuté dès 1984 avec un premier jeu à destination des enfants asthmatiques, *Asthma Command* [19].

Les forces des jeux vidéo sérieux pour l'éducation thérapeutique des enfants rejoignent celles des jeux à destination du grand public : un pouvoir attractif important, une immersion et une réduction de la distance psychologique favorisant l'acquisition de nouveaux comportements, et une interactivité permettant un apprentissage actif, plus efficace.

Les jeux vidéo sérieux permettent également aux enfants d'augmenter leur sentiment d'auto-efficacité (*self-efficacy*), de contrôle sur leur maladie. Le but d'un jeu vidéo d'éducation thérapeutique est de montrer à l'enfant qu'au fur et à mesure qu'il acquiert des connaissances et adopte les bons comportements, sa maladie est de mieux en mieux contrôlée. L'enfant réalise ainsi qu'il peut être acteur de sa prise en charge, tout comme il est acteur du jeu vidéo. Cette prise de conscience est une première étape vers l'autogestion de sa maladie, qui est associée à une meilleure confiance en soi et une diminution des recours aux soins [20].

#### 3.1.2. Exemples

Les jeux vidéo sérieux d'éducation thérapeutique concernent au premier plan les maladies chroniques de l'enfant, et notamment le diabète de type 1. *GlucoZor* (<http://www.glucozor.fr/>), en alliant le concept d'un jeu *tamagotchi* où le joueur doit prendre soin d'un petit animal (*pet game*) à une éducation sur les aliments glucidiques et l'insulinothérapie, est particulièrement réussi. Pour les adolescents et les jeunes adultes, *l'affaire Birman* (<http://www.glucifer.net/birman.html>), développé en partenariat avec le service d'endocrinologie-diabétologie du centre hospitalier universitaire (CHU) de Caen, permet de s'entraîner à l'insulinothérapie fonctionnelle.

Les enfants atteints de psoriasis peuvent également apprendre à grandir et vivre avec leur maladie grâce au jeu *Théo et les*



Fig. 3. Le jeu vidéo Théo et les Psorianautes.

*Psorianautes* (<http://theoetlespsorianautes.fr/>) (Fig. 3). Plus rare, la fièvre méditerranéenne familiale est abordée au cours du jeu *B.O.N.D.* (<http://www.affmf-lejeu.com/affmf/>) qui enseigne la reconnaissance d'une crise et ses traitements grâce à plusieurs mini-jeux et quiz.

Enfin, le jeu *Re-Mission* (<http://www.re-mission.net/get-the-game/>), dans sa première version, est le plus grand succès des jeux vidéo sérieux. En 2012, 200 000 copies de ce jeu à destination des adolescents atteints de cancer avaient été distribuées dans 81 pays. Il reste téléchargeable gratuitement et est disponible en français.

### 3.1.3. Évaluation scientifique

Une revue systématique de la littérature s'est intéressée à l'efficacité des jeux vidéo sérieux à destination des enfants et adolescents atteints de maladies chroniques [21]. Neuf jeux vidéo sérieux ont été évalués par des essais randomisés contrôlés : six concernaient l'asthme de l'enfant, deux le diabète de type 1, et le dernier était *Re-Mission* à destination des adolescents atteint de cancer. Sur les huit études pour lesquels les connaissances acquises étaient un critère de jugement, quatre ont rapporté un meilleur niveau de connaissances après éducation par jeu vidéo sérieux en comparaison au groupe contrôle (souvent une éducation traditionnelle associée à un jeu vidéo commercial). Quant aux six études pour lesquelles l'autogestion de la maladie était évaluée, deux ont montré que le jeu vidéo sérieux faisait mieux que le contrôle.

La pertinence de telles revues pour conclure définitivement à l'efficacité ou non des jeux vidéo sérieux pour l'éducation thérapeutique des enfants est limitée, dans la mesure où les jeux sont de factures très différentes (entre le curseur à déplacer sur l'écran de *Asthma Command* développé en 1984, et *Re-Mission*, un jeu en trois dimensions d'action développé en 2004), une exposition au jeu très variable selon les études, et un choix des groupes contrôles très hétérogène. Concernant le jeu le plus abouti, *Re-Mission*, une amélioration des connaissances sur le cancer et une meilleure compliance aux chimiothérapies orales attestée par des prélèvements sanguins itératifs ont été montrées lors d'un

essai contrôlé randomisé impliquant 375 adolescents, par rapport à un groupe contrôle qui jouait à un jeu commercial [22].

Cependant, comme en témoigne une récente revue systématique de la littérature sur les jeux vidéo sérieux comme outil d'éducation thérapeutique dans l'asthme de l'enfant, en règle générale, l'utilisation de jeux vidéo sérieux permet souvent une amélioration des connaissances de leurs utilisateurs, mais rarement un changement de leurs comportements, et quasiment jamais une amélioration objective de leur santé [23]. Pour être réellement efficaces, ils doivent être intégrés dans des programmes d'éducation thérapeutique plus large et dépasser le stade des simples questions/réponses retrouvées trop fréquemment dans la plupart des jeux vidéo sérieux.

## 3.2. Les jeux vidéo pour distraire pendant un soin anxiogène ou douloureux

### 3.2.1. Rationnel

La distraction des enfants est une méthode reconnue de réduction de la douleur et de l'anxiété induite par les soins médicaux [24]. Cette distraction peut utiliser différents moyens : chanter une chanson, souffler des bulles, donner à l'enfant un jouet, lui proposer un dessin animé, etc. [25,26]. Les jeux vidéo, du fait de leur fort pouvoir immersif rappelé dans la section précédente, sont tout à fait appropriés pour détourner l'attention de l'enfant d'un soin angoissant ou douloureux. Dès quatre ans, il semble préférable d'utiliser un jeu vidéo ou une application interactive, pendant lesquels l'enfant est actif plutôt qu'un dessin animé qui laisse l'enfant passif [27].

Les jeux vidéo commerciaux peuvent tout à fait remplir cet objectif. Ils deviennent « sérieux » du fait du détournement de leur fonction initiale (un loisir sur un temps libre) pour un objectif sérieux : réduire l'anxiété ou la douleur d'un enfant.

Une autre méthode prometteuse pour diminuer l'anxiété des enfants au sein des hôpitaux est d'utiliser des jeux vidéo leur permettant de se familiariser avec l'univers hospitalier, notamment ses différents acteurs, les gestes et les examens qui y sont

associés. La peur de l'inconnu s'efface derrière une interface à la fois ludique et pédagogique.

### 3.2.2. Exemples

Différentes applications interactives sur tablette sont utilisées par le service des urgences pédiatriques de l'hôpital Trousseau pour les soins douloureux. Les applications commerciales utilisées ont été présentées au sein d'un article à destination des professionnels de santé [27].

Le jeu *le Héros c'est Toi*, développé par l'association d'infirmiers et médecins anesthésistes « Les p'tits doudous de l'hôpital sud » de Rennes, permet aux enfants qui vont subir une intervention chirurgicale de se familiariser au sein d'un univers ludique à toutes les étapes de son parcours au sein du centre hospitalier (<https://itunes.apple.com/fr/app/le-heros-cest-toi/id1011875539?mt=8>). *LudoMedic* (<http://www.ludomedic.com/>) est une autre plateforme permettant, grâce à divers mini-jeux à destination des enfants et de leurs parents, de se familiariser avec le déroulement d'une imagerie par résonance magnétique, d'une intervention chirurgicale ou d'une chimiothérapie.

### 3.2.3. Évaluation scientifique

Une seule étude à notre connaissance a évalué scientifiquement l'intérêt d'un jeu vidéo pour réduire l'anxiété chez des patients pédiatriques [28]. Cette étude américaine a comparé trois stratégies pour réduire l'anxiété préopératoire de 112 patients de 4 à 12 ans devant subir une intervention chirurgicale : la présence d'un parent, la présence d'un parent + un jeu vidéo portable, et la présence d'un parent + 0,5 mg/kg de midazolam oral administré plus de 20 minutes avant l'entrée au bloc opératoire. L'anxiété de l'enfant était mesurée au moment de l'induction par l'échelle d'anxiété préopératoire de Yale modifiée. Les enfants du groupe « jeu vidéo » avaient un niveau d'anxiété comparable à ceux du groupe « midazolam », et significativement inférieur à celui du groupe « présence parentale seule ».

## 3.3. Les jeux vidéo comme méthode de rééducation

### 3.3.1. Rationnel

Les jeux vidéo peuvent enfin être utilisés à des fins de rééducation. Ils sont alors « prescrits », au même titre que d'autres traitements. Deux grandes applications des jeux vidéo existent déjà dans le cadre de la rééducation. La première a pour objectif d'augmenter l'activité physique des enfants, soit dans le cadre d'un programme de prise en charge d'un surpoids ou d'une obésité, soit dans le cadre d'un programme de rééducation physique. Les capteurs de mouvements associés aux nouvelles consoles de jeux vidéo (Wii, Nintendo ; Kinect, Microsoft), permettent d'associer un exercice physique au jeu virtuel. Ici encore, le pouvoir motivationnel des jeux vidéo a pour objectif de maintenir l'effort sur une période plus grande que lors d'une séance classique.

La seconde application des jeux vidéo thérapeutique concerne les pathologies neurologiques. De la même manière que l'utilisation répétée d'un muscle au cours d'exercices physiques entraîne son développement, l'utilisation répétée de circuits neuronaux au cours d'exercices intellectuels entraîne le renforcement de ces circuits. Un tel entraînement intellectuel s'opère chez le joueur régulier de jeux vidéo. Ainsi, comparés à leurs pairs, les jeunes adultes qui jouent à des jeux vidéo d'action ont de meilleures capacités sur certains aspects de la vision, de la représentation spatiale et de l'attention, avec un lien causal objectivé [29]. Ces modifications cérébrales non intentionnelles chez l'individu sain ont ouvert la voie au jeu vidéo comme vecteur de modifications cérébrales intentionnelles chez l'individu malade. L'amblyopie de l'enfant, par exemple, est associée à des circuits neuronaux anormaux au sein du cortex visuel. Les jeux vidéo sérieux

pourraient être une nouvelle méthode de correction de ces anomalies neuronales [30]. Le champ est évidemment beaucoup plus large et l'intérêt des jeux vidéo est également étudié dans des pathologies comme les troubles du spectre autistique [31,32] ou en adjonction de certaines psychothérapies [33].

### 3.3.2. Exemples

De nombreux jeux vidéo commerciaux demandent une participation physique à l'enfant. Associé à la console Wii (Nintendo), on peut citer *Wii Fit Plus*, *Wii Sports*, *Dance Revolution*, *EA Sports Active*. Avec la console Xbox et son capteur de mouvement Kinect (Microsoft), *Kinect Adventures* ou *Kinect Sports* sont d'autres exemples.

Dans le cadre de l'amblyopie, les jeux vidéo utilisés étaient jusqu'ici développés par les laboratoires de recherche dans le cadre spécifique de cette pathologie [30,34,35]. En mars 2015, la société Ubisoft a annoncé son intention de développer en collaboration avec l'université Montréalaise McGill un jeu vidéo pour ces enfants, appelé *Dig Rush* dont la date de sortie n'est pas encore connue [36]. Dans le cadre des troubles du spectre autistique, le jeu *JeStiMule* (<http://www.jestimule.com/>) a été développé par une équipe de chercheur Niçois afin d'enseigner à ces enfants la reconnaissance des émotions humaines.

### 3.3.3. Évaluation scientifique

Les jeux vidéo commerciaux demandant une participation physique aux enfants permettent une augmentation de leur dépense énergétique pendant le jeu [37–39], avec une efficacité majorée lorsqu'ils sont incorporés dans un programme de contrôle pondéral plus large [39]. Cependant, de tels jeux ne semblent pas conduire enfants et adolescents à changer leurs comportements et à faire plus d'activité physique en dehors des périodes spécifiques de jeu [38,40].

Ces mêmes jeux vidéo, utilisés dans le cadre de la rééducation motrice d'enfants présentant une infirmité motrice cérébrale, ont montré une efficacité limitée : une revue systématique de la littérature a retrouvé quatre essais randomisés contrôlés concernant la rééducation des membres supérieurs et trois concernant la rééducation des membres inférieurs [41]. Étonnamment, alors que l'efficacité des jeux vidéo était démontrée constamment pour la rééducation des membres inférieurs, ce n'était pas le cas pour la rééducation des membres supérieurs.

Concernant le traitement de l'amblyopie, une étude contrôlée a montré l'efficacité de la pratique de jeux vidéo sur iPad associés à des lunettes anaglyphes (qui ont un verre rouge et un verre bleu). L'acuité visuelle était améliorée en quelques semaines dans le groupe bénéficiant de ce système, et restait stable lors du suivi à 12 mois, alors que les traitements habituels de l'amblyopie nécessitent souvent plusieurs mois ou années [42,43].

À notre connaissance, il n'existe pas d'essai contrôlé randomisé concernant les jeux vidéo à destination des enfants avec troubles du spectre autistique.

## 4. Les jeux vidéo sérieux à destination des professionnels de santé en pédiatrie

### 4.1. Rationnel

L'utilisation de jeux vidéo sérieux pour la formation des professionnels de santé est encore balbutiante, mais se développe à grande vitesse.

De façon surprenante, les jeux vidéo commerciaux d'action se sont révélés être utiles à la formation des futurs chirurgiens. Il a en effet été montré que les meilleurs joueurs de jeux vidéo dans cette population avaient également les meilleures compétences en

laparoscopie [44]. À la suite de ce constat, une étude a comparé trois méthodes de pré-entraînement à une formation sur simulateur de chirurgie endoscopique : des sessions de jeu au jeu vidéo d'action *Half-Life*, des sessions de jeu au jeu vidéo de réflexion *Chessmaster* ou aucun pré-entraînement. Du fait des ressources cognitives mobilisées en matière de représentation spatiale lors des sessions de jeu à *Half-Life*, les internes ayant bénéficié de ce pré-entraînement avaient de meilleures compétences que les deux autres groupes sur les simulateurs de chirurgie endoscopique utilisés pour l'évaluation [45].

En médecine, des jeux vidéo sérieux développés spécifiquement pour les professionnels de santé devraient trouver leur place dans les cursus d'ici quelques années. Ces jeux vidéo ne seront probablement pas très utiles pour la mémorisation des connaissances qui peut s'effectuer de façon plus rapide et moins onéreuse à l'occasion d'un cours classique couplé à du travail personnel. En revanche, la simulation virtuelle peut être très intéressante pour permettre aux étudiants d'appliquer leurs connaissances théoriques dans des contextes réalistes tels un hôpital ou un cabinet libéral virtuel [46]. On y retrouve les avantages de la pédagogie par simulation, qui offre la possibilité de s'entraîner sur des événements rares ou nécessitant une prise en charge urgente (comme l'arrêt cardiaque de l'enfant) et sans risque pour le patient (et l'apprenant), de façon active et expérientielle [13]. Pour plus d'efficacité, la simulation virtuelle bénéficiera de l'association à la pédagogie de la maîtrise qui demande que l'exercice soit répété jusqu'à ce qu'un niveau minimal de compétence soit acquis, un principe souvent retrouvé dans les jeux vidéo [47]. Par ailleurs, des modes multi-joueurs de simulation virtuelle peuvent être envisagés, comme c'est le cas pour le jeu vidéo sérieux *3D Virtual Operating Room* (<http://3dvor.univ-jfc.fr/>) développé à Toulouse qui vise à former ensemble les différents acteurs d'un bloc opératoire à la prévention des événements indésirables graves.

#### 4.2. Exemples

À notre connaissance, aucun jeu vidéo sérieux à destination des professionnels de santé n'a encore été développé dans le domaine de la pédiatrie en France.

Aux États-Unis, un jeu de l'oie en ligne, avec des questions relatives à la pédiatrie, est accessible gratuitement sur Internet (<http://www.medgame.org/>). Au Brésil, un jeu vidéo pour enseigner aux personnels paramédicaux les soins de base d'un nouveau-né prématuré est également disponible en ligne, mais en Portugais uniquement (<http://www2.eerp.usp.br/site/grupos/gpecca/objetos/ebaby/>).

En matière de simulation virtuelle, le projet le plus important a été développé aux États-Unis en collaboration avec la Marine Nationale (US Navy). Ce projet nommé *Pulse!!* a permis de reconstituer une plateforme représentant un hôpital entier pour un prix excédant 10 millions de dollars [48]. Déployé dans plusieurs universités américaines, il n'a encore fait l'objet d'aucune évaluation scientifique.

#### 4.3. Évaluation scientifique

Aucun jeu vidéo sérieux à destination des professionnels de santé en pédiatrie n'a été testé au cours d'un essai contrôlé randomisé.

### 5. Discussion

Les applications des jeux vidéo en pédiatrie sont très diverses et continuent de se développer. Au fil des années, l'approche des pédagogues et des développeurs a dû évoluer pour utiliser au mieux le potentiel de ces outils.

Initialement, l'idée était de profiter de l'appétence des jeunes pour les jeux vidéo pour y intégrer des informations éducatives. L'objectif était de permettre aux jeunes, qu'ils soient des enfants bien portants dans le cadre d'une campagne de santé publique, des patients atteints d'une maladie chronique, ou des étudiants en médecine, de s'amuser tout en assimilant des informations « sérieuses ». Cette approche a été à la source de nombreuses désillusions car les joueurs reconnaissaient rapidement l'aspect éducatif derrière l'environnement ludique et se détournaient de l'outil. La motivation extrinsèque que représentait le jeu avec son environnement ludique était rapidement réduite à néant par l'absence de motivation intrinsèque pour l'apprentissage.

L'approche des développeurs et des pédagogues a donc évolué. L'objectif est désormais de partir de la motivation intrinsèque des individus et d'en tirer profit pour délivrer un enseignement. Ainsi, la motivation intrinsèque d'un adolescent atteint de cancer est la guérison. Le jeu *Re-Mission* part de cette motivation en armant le joueur d'un laser lui permettant de tirer sur des cellules cancéreuses en division. Pour arriver à détruire le cancer, le joueur doit « recharger » en chimiothérapie très régulièrement ou en antibiothérapie lorsqu'il s'agit d'une infection opportuniste. Progressivement le joueur intègre qu'il est acteur de sa guérison, notamment par la prise quotidienne de sa chimiothérapie orale. Cette approche qui part de la motivation intrinsèque du joueur a fait la preuve de son efficacité comme méthode d'apprentissage et de changement des comportements.

De même, la motivation intrinsèque d'un étudiant en médecine est de devenir un professionnel de santé exemplaire offrant les meilleurs soins aux patients. Partant de cette motivation intrinsèque, les simulateurs virtuels devront permettre à l'étudiant d'utiliser ses connaissances pour prendre les meilleures décisions pour son patient. L'apprentissage ne se situera pas au niveau des connaissances, mais au niveau supérieur des raisonnements. Le jeu vidéo prend alors tout son intérêt, entre la liberté offerte de choisir entre différentes actions, et la contrainte de suivre un raisonnement préétabli pour être récompensé.

Les jeux vidéo sérieux conservent certaines limites. En plus des risques déjà décrits dans l'introduction, liés aux troubles de l'attention et addictions qu'ils peuvent entraîner, ils restent des logiciels, qui respectent des algorithmes. Leur force, induire chez les joueurs le respect de ces algorithmes, est également leur faiblesse. Ces jeux vidéo sérieux ne peuvent s'appliquer qu'à des situations standardisées avec des prises en charge standardisées. Or d'une part la médecine en général est bien plus complexe que ces quelques algorithmes ; elle est d'autre part bien plus humaine qu'une série de chiffres binaires. Les jeux vidéo sérieux ne sont donc pas adaptés à toutes les pathologies ni à l'apprentissage du savoir-être. Certainement très prometteurs, ils ne remplaceront jamais l'apprentissage au lit du malade.

### 6. Conclusion

Les jeux vidéo ont souvent mauvaise presse en pédiatrie. Néanmoins, assortis d'une intention « sérieuse », ils ont fait la preuve de leur intérêt dans des indications très variées, de la campagne de santé publique à la formation des professionnels de l'enfance. De la même manière que les nouveaux traitements médicamenteux, ces jeux vidéo sérieux doivent être rigoureusement évalués et faire la preuve de leur « Service Pédagogique Rendu » avant d'être implantés à large échelle. Ils acquerront ainsi toute leur légitimité.

### Financement

Ce travail a été réalisé au cours de l'année médaille AP-HP de David Drummond.

## Déclaration de liens d'intérêts

David Drummond, Antoine Tesnière, Alice Hadchouel travaillent au sein du département de simulation en santé iLumens qui participe au développement de jeux vidéo sérieux, dont le jeu *Staying Alive* présenté dans cet article.

## Références

- [1] Caillon J, Bouju G, Grall-Bronnec M. Jeux vidéo : les motivations et l'intensité de la pratique évoluent-elles avec l'âge ? Comparaison entre une population de joueurs adolescents et adultes. *Arch Pediatr* 2014;21:251–7.
- [2] GfK. L'essentiel du jeu vidéo. In: *Marché consommation et usages*; 2015. [http://www.sell.fr/sites/default/files/EJV\\_10\\_2015\\_FR.pdf](http://www.sell.fr/sites/default/files/EJV_10_2015_FR.pdf).
- [3] Lenhart A, Kahne J, Middaugh E, et al. Teens, video games and civics; 2008. <http://www.pewinternet.org/2008/09/16/teens-video-games-and-civics/>.
- [4] Swing EL, Gentile DA, Anderson CA, et al. Television and video game exposure and the development of attention problems. *Pediatrics* 2010;126:214–21.
- [5] Ferguson CJ. The influence of television and video game use on attention and school problems: a multivariate analysis with other risk factors controlled. *J Psychiatr Res* 2011;45:808–13.
- [6] Gentile DA, Swing EL, Lim CG, et al. Video game playing, attention problems, and impulsiveness: evidence of bidirectional causality. *Psychol Pop Media Cult* 2012;1:62–70.
- [7] Greitemeyer T, Mügge DO. Video games do affect social outcomes: a meta-analytic review of the effects of violent and prosocial video game play. *Pers Soc Psychol Bull* 2014;40:578–89.
- [8] Gentile DA, Choo H, Liau A, et al. Pathological video game use among youths: a two-year longitudinal study. *Pediatrics* 2011;127:e319–29.
- [9] Ko CH, Yen JY, Yen CF, et al. Factors predictive for incidence and remission of internet addiction in young adolescents: a prospective study. *Cyberpsychol Behav* 2007;10:545–51.
- [10] Porter G, Starcevic V, Berle D, et al. Recognizing problem video game use. *Aust N Z J Psychiatry* 2010;44:120–8.
- [11] Jeu sérieux. Eduscol Site Prof Léducation n.d. [Consulté : août 4, 2017 ; disponible sur : <http://eduscol.education.fr/numerique/dossier/apprendre/jeuxserieux/notion/definitions/jeu-serieux>].
- [12] Lieberman DA. Interactive video games for health promotion: Effects on knowledge, self-efficacy, social support, and health. In: Street Jr RL, Gold WR, Manning T, editors. *Health promotion and interactive technology. Theoretical applications and future directions*. Mahwah New Jersey and London: Lawrence Erlbaum Associates; 1997. p. 103–20.
- [13] Freeman S, Eddy SL, McDonough M, et al. Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proc Natl Acad Sci* 2014;111:8410–5.
- [14] Rodriguez DM, Teesson M, Newton NC. A systematic review of computerized serious educational games about alcohol and other drugs for adolescents. *Drug Alcohol Rev* 2014;33:129–35.
- [15] Schinke SP, Schwinn TM, Ozanian AJ. Alcohol abuse prevention among high-risk youth: computer-based intervention. *J Prev Interv Community* 2005;29:117–30.
- [16] Marsch LA, Bickel WK, Grabinski MJ. Application of interactive, computer technology to adolescent substance abuse prevention and treatment. *Adolesc Med State Art Rev* 2007;18:342–56.
- [17] DeSmet A, Shegog R, Van Ryckeghem D, et al. A Systematic Review and Meta-analysis of Interventions for Sexual Health Promotion Involving Serious Digital Games. *Games Health J* 2015;4:78–90.
- [18] Tortolero SR, Markham CM, Peskin MF, et al. It's your game. Keep it real: delaying sexual behavior with an effective Middle School Program. *J Adolesc Health* 2010;46:169–79.
- [19] Rubin DH, Leventhal JM, Sadock RT, et al. Educational intervention by computer in childhood asthma: a randomized clinical trial testing the use of a new teaching intervention in childhood asthma. *Pediatrics* 1986;77:1–10.
- [20] Guevara JP, Wolf FM, Grum CM, et al. Effects of educational interventions for self-management of asthma in children and adolescents: systematic review and meta-analysis. *BMJ* 2003;326:1308–9.
- [21] Charlier N, Zupancic N, Fieus S, et al. Serious Games for improving knowledge and self-management in young people with chronic conditions: A systematic review and meta-analysis. *J Am Med Inform Assoc* 2016;23:230–9.
- [22] Kato PM, Cole SW, Bradlyn AS, et al. A video game improves behavioral outcomes in adolescents and young adults with cancer: a randomized trial. *Pediatrics* 2008;122:e305–17.
- [23] Drummond D, Monnier D, Tesnière A, et al. A systematic review of serious games in asthma education. *Pediatr Allergy Immunol* 2017;28:257–65.
- [24] Kleiber C, Harper DC. Effects of distraction on children's pain and distress during medical procedures: a meta-analysis. *Nurs Res* 1999;48:44–9.
- [25] Lee J, Lee J, Lim H, et al. Cartoon distraction alleviates anxiety in children during induction of anesthesia. *Anesth Analg* 2012;115:1168–73.
- [26] Miiflin KA, Hackmann T, Chorney JM. Streamed video clips to reduce anxiety in children during inhaled induction of anesthesia. *Anesth Analg* 2012;115:1162–7.
- [27] Armengaud JB, Laffaille C, Arnaud C. Utilisation de l'iPad aux urgences lors de gestes douloureux. *Real Pediatr* 2013;176:1–5.
- [28] Patel A, Schieble T, Davidson M, et al. Distraction with a hand-held video game reduces pediatric preoperative anxiety. *Paediatr Anaesth* 2006;16:1019–27.
- [29] Green CS, Bavelier D. Action video game modifies visual selective attention. *Nature* 2003;423:534–7.
- [30] Li RW, Ngo C, Nguyen J, Levi DM. Video-game play induces plasticity in the visual system of adults with amblyopia. *PLOS Biol* 2011;9:e1001135.
- [31] Serret S, Hun S, Iakimova G, Lozada J, Anastassova M, Santos A, et al. Facing the challenge of teaching emotions to individuals with low- and high-functioning autism using a new serious game: a pilot study. *Mol Autism* 2014;5:37.
- [32] Noor HAM, Shahbodini F, Pee NC. Serious game for autism children: review of literature. *World Acad Sci Eng Technol Int J Soc Behav Educ Econ Bus Ind Eng* 2012;6:554–9.
- [33] Atilla T. Video games in psychotherapy. *Rev Gen Psychol* 2010;14:141–6.
- [34] To L, Thompson B, Blum JR, et al. A game platform for treatment of amblyopia. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng* 2011;19:280–9.
- [35] Birch EE, Li SL, Jost RM, et al. Binocular iPad treatment for amblyopia in preschool children. *J AAPOS* 2015;19:6–11.
- [36] Ubisoft. *Ubisoft et Amblyotech dévoilent Dig Rush*; 2015. <https://montreal.ubisoft.com/fr/dig-rush-2015-2/>.
- [37] Biddiss E, Irwin J. Active video games to promote physical activity in children and youth: a systematic review. *Arch Pediatr Adolesc Med* 2010;164:664–72.
- [38] LeBlanc AG, Chaput JP, McFarlane A, et al. Active video games and health indicators in children and youth: a systematic review. *PLOS ONE* 2013;8:e65351.
- [39] Trost SG, Sundal D, Foster GD, et al. effects of a pediatric weight management program with and without active video games: a randomized trial. *JAMA Pediatr* 2014;168:407–13.
- [40] Baranowski T, Abdelsamad D, Baranowski J, et al. Impact of an active video game on healthy children's physical activity. *Pediatrics* 2012;129:e636–42.
- [41] Fehlings D, Switzer L, Findlay B, et al. Interactive computer play as "Motor Therapy" for individuals with cerebral palsy. *Semin Pediatr Neurol* 2013;20:127–38.
- [42] Li SL, Jost RM, Morale SE, et al. A binocular iPad treatment for amblyopic children. *Eye* 2014;28:1246–53.
- [43] Li SL, Jost RM, Morale SE, et al. Binocular iPad treatment of amblyopia for lasting improvement of visual acuity. *JAMA Ophthalmol* 2015;133:479–80.
- [44] Rosser Jr JC, Lynch PJ, Cuddihy L, et al. The impact of video games on training surgeons in the 21st century. *Arch Surg* 2007;142:181–6.
- [45] Schlickum MK, Hedman L, Enochsson L, et al. Systematic video game training in surgical novices improves performance in virtual reality endoscopic surgical simulators: a prospective randomized study. *World J Surg* 2009;33:2360–7.
- [46] Prince KJAH, Van De Wiel M, Scherpier AJJA, et al. A qualitative analysis of the transition from theory to practice in undergraduate training in a PBL-Medical School. *Adv Health Sci Educ Theory Pract* 2000;5:105–16.
- [47] Cook DA, Brydges R, Zendejas B, et al. Mastery learning for health professionals using technology-enhanced simulation: a systematic review and meta-analysis. *Acad Med J Assoc Am Med Coll* 2013;88:1178–86.
- [48] Dunne JR, McDonald CL. Pulse!: a model for research and development of virtual-reality learning in military medical education and training. *Mil Med* 2010;175:25–7.



## 2. Protocole d'évaluation d'Effic'Asthme

### 1. Background

Asthma is the most common disease in childhood<sup>286</sup>. In developed countries, its prevalence in children increased between 1980 and 2010, to reach 8% in the United States (US)<sup>34</sup> and 9% in France<sup>35</sup>. Asthma represents a major burden on healthcare systems: asthma exacerbation in children leads to 600,000 emergency department (ED) visits and 55,000 hospital admissions annually in the US<sup>27</sup>, and 35,000 hospital admissions in France<sup>287</sup>.

The highest rates of asthma exacerbations are found among preschool children, i.e. children aged 5 years and younger. In Canada and the US, 48% and 60,6% of preschool children experienced an asthma exacerbation during the year 2001 and 2015, respectively<sup>33,39</sup>. These high rates of exacerbation lead to rates of ED visits which are twice the rate of older children, with 20.8 ED visits for 100 preschool children with asthma per year in the US<sup>33</sup>. Finally, the rate of hospital admission is three folds higher than in older children, with a rate of 6.5 hospital admissions per 100 preschool children with asthma per year in the US<sup>27,42</sup>.

Asthma education has been shown to be effective for decreasing the number of ED visits and hospital admissions by up to 30% in children<sup>133,134,288</sup>. Among six studies which focused on asthma education interventions aimed at preschool children and their families, only one demonstrated a reduction in healthcare use in the intervention group<sup>136-141</sup>. It has been suggested that asthma education programs developed for older children are not appropriate for preschool children whose presentation of asthma is different, with viral-induced exacerbations and without inter-current symptoms<sup>138</sup>. Nevertheless, asthma education is recommended by national and international guidelines for all patients including preschool a children and their families<sup>135,289</sup>. A major limit to asthma education programs is their low attendance rates<sup>159</sup>. Barriers to attendance include difficulty getting time off work, travel costs, psychological factors, and resistance to this approach on the part of the physician<sup>156,158,159</sup>. New approaches are required to overcome these barriers.

Serious games (SGs) may constitute one such approach. Bergeron defined SGs as interactive computer applications, with or without a hardware component, that (i) have challenging goals, (ii) are fun to play and/or engaging, (iii) incorporate concepts of scoring, and (iv) impart skills, knowledge, or attitudes that the user can apply in real-life situations<sup>290</sup>. These games are accessible anywhere at any time, and therefore can reach many more patients than traditional asthma education programs.

Serious games have been used for the education of children with cancer, children with diabetes mellitus, and children with obesity. Randomized controlled trials showed that these interventions could increase knowledge and skills of children and their families, as well as changing their behavior (increasing compliance to chemotherapies in children with cancer, improving diabetes self-care in children with diabetes mellitus, and increasing the consumption of fruits and vegetables in children with obesity)<sup>201,215,216,218,220</sup>. A recent systematic review of

SGs in asthma education identified 10 SGs whose evaluation revealed mixed results<sup>291</sup>. SGs were found to improve children's knowledge about asthma, but failed to change behavior or affect clinical outcomes<sup>291</sup>. Interestingly, no SG was aimed at parents, whereas educating parents could be more interesting to decrease health care use in preschool children with asthma. Indeed, parents report a lack of knowledge and education regarding the management of their child's disease<sup>127,129,292</sup>. Most parents fail to recognize the first symptoms of asthma exacerbation in their child, to use the drugs required to treat the exacerbation incorrectly, and delay seeking medical advice<sup>117</sup>. A SG for parents may be an effective approach to teach them how to manage asthma exacerbations at home, leading to possible improvements in the asthma-related use of healthcare facilities by children.

We used an evidence-based approach to design and develop a serious game to teach parents of children with asthma the first steps of an asthma exacerbation at home<sup>293</sup>. As in evidence-based medicine which combines patients' preferences, clinicians' expertise and best scientific evidence, the development of this serious game relied on the combination of end-users' (parents') preference, clinicians' and developers' expertise, and best scientific evidence related to the management of exacerbations in preschool children with asthma, and to the pedagogical principles associated with learning effectiveness.

## **2. Study protocol**

### **Study objective**

The objective of the study is to evaluate the efficacy of the serious game "Effic'Asthme" in improving parents' knowledge, self-efficacy and skills and decreasing acute care visits for asthma in preschool children.

### **Research question**

Among preschool-aged children with severe asthma requiring more than 3 acute care visits per year, is Effic'Asthme added to standard of care more effective than the sole standard of care for improving parents' knowledge, self-efficacy and skills and decreasing acute care visits?

### **Hypothesis to be tested by this trial**

#### **Primary Hypothesis**

Our hypothesis is that using the serious game "Effic'Asthme" will train parents on the management of asthma exacerbations, resulting in less acute care visits for asthma compared to the control group who receives standard of care.

#### **Secondary and exploratory hypothesis**

1- Compared to standard of care, the adjunction of Effic'Asthme will:

- Improve parents' knowledge of the management of an asthma exacerbation at home
- Improve parents' self-efficacy related to the management of an asthma exacerbation at home
- Improve parents' compliance with the written asthma action plan when managing an asthma exacerbation at home.

2- The longer parents will use Effic'Asthme, the higher will be the magnitude of effects on outcomes.

3- Parents' compliance with the written asthma action plan is negatively correlated with acute care visits for asthma.

### **Participants**

Participants are recruited by staff contact at five hospitals in France. Recruitment and enrollment will be performed over 12 months.

### **Criteria for inclusion**

The following inclusion criteria pertain to Effic'Asthme. Participants who meet all the following criteria are eligible for entry into Effic'Asthme.

- The child:

- Aged 6 to 60 months
- Had had three or more wheezing episodes in his lifetime
- Had a history of at least three episodes within the previous 12 months requiring either a hospital admission, an emergency department visit plus two general practitioner (GP) visits during asthma exacerbations, or three or more GP visits during asthma exacerbations.

- The parent:

- Aged 18 years or older
- Owns a smartphone or a tablet computer compatible with the serious game.
- Are fluent in French or English.
- Willingness to provide informed consent by the child's parent or guardian

### **Criteria for exclusion at screening visit (V-1)**

Participants who meet any of the following criteria are not eligible for enrollment.

- The child:

- Prior intubation for a respiratory illness
- Associated chronic disease: cystic fibrosis, hemodynamically significant congenital heart disease, any condition associated with impaired swallowing. Bronchopulmonary dysplasia is not considered as a criterion for exclusion if the child is no more on oxygen and/or taking diuretics.

- The parent:

- Cannot communicate with study personnel in French or English.
- Refuses to participate.
- Has contraindication to the use of videogames (uncontrolled epilepsy, addiction to video games).

- There is evidence that the parent may be unreliable or nonadherent, or may move from the clinical center area before trial completion.

### **Criteria for exclusion at randomization visit (V-0)**

- The parent is unable to complete the several questionnaires used for the study on the website dedicated.

### **Study design and procedures**

This is a prospective, open-label, randomized and multicenter controlled trial. Two hundred forty participants are followed for 12 months.

### **Run-in period**

All parent-child dyads start by a run-in period of fifteen days. The objective of this run-in period is to allow parents families time to consider their participation in the study before the randomization visit.

### **Randomization**

At the end of this run-in period, dyads are randomized in two groups. Computer allocation is randomized within sites as blocks of 2. Therefore, examinations between study groups are sequent. This reduces the risk of a season effect between the 2 study groups

After randomization, participants are included in the “Serious game group” or “Standard of care group”.

### **Intervention and control groups**

Participants in the intervention group are asked to download the mobile app “Effic’Asthme” on their smartphone and/or tablet computer on the day of their next medical visit.

During the medical visit, the physician presents the mobile app and helps the parent to navigate in the serious game and to use it, for approximately 15 minutes. The doctor records the ability of the parent to use it by the end of these 15 minutes, and the motivation of the parent to use the serious game during the study period.

Parents are asked to use the serious game at least 10 minutes every 15 days during the 12 months of the study period. Reminders under the form of pop-up screen on their smartphone/tablet computer, and emails and phone calls are also used for this purpose.

The serious game corresponds to “Effic’Asthme”, which was developed to teach parents of preschool children with asthma the management of an asthma exacerbation occurring at home. This serious game is available on smartphones and tablet computers using iOS and Android. It includes a standardized written asthma action plan adapted on the weight and the treatments of the child, and six scenarios of asthma exacerbations of different severity. These six scenarios involve virtual simulation, and in line with the pedagogical objectives of the serious game, require the parents to (1) diagnose the asthma exacerbation and evaluate its severity on the basis

of the symptoms presented on the virtual child, (2) manage the exacerbation depending on its severity using the correct treatment (salbutamol), the correct dose (according to child's weight), the correct inhalation technique, and the correct sequence (3) decide whether an emergency visit is required depending on symptoms severity and response to treatment. All the scenarios take place in the bedroom of a virtual child, and begins with a short briefing on the context of the exacerbation. Then, the child and his symptoms are presented on the left part of the screen, and the different actions that the parent can perform on the right. When using an inhaled treatment, parents are required to decide if a spacer is necessary and to show the way they use it. When parents need to wait, such as when they need to assess the response to SABA, they can accelerate time using a clock on the upper left corner of the screen. Finally, when parents think that the virtual child does not require any further action and/or need an emergency medical visit, they can leave the room and choose one of the two options, ending the scenario. Once the scenario completed, a short debriefing is displayed to discuss the major points that parents should improve.

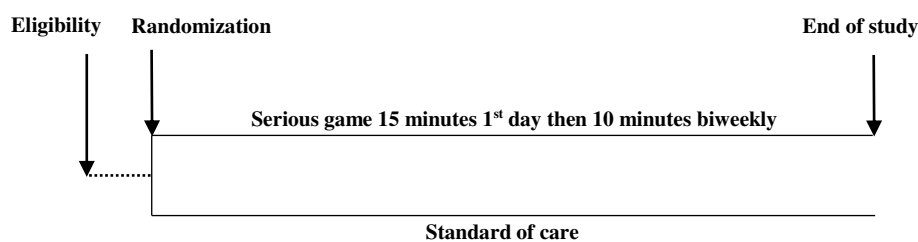
Participants in both groups visit their doctor every four months during the study period (W0, W4, W8 and W12). At each visit, the doctor evaluates the asthma control of the child and adapts the level of treatment, and checks that parents master the inhalation technique and the management of an asthma exacerbation, as recommended by international guidelines<sup>1</sup>. In the intervention group, the doctor is also helped by the synthesis proposed by the serious game on the main educational points that should be discussed according to the performance of the parents in the game.

Participants in the control group are provided the “standard of care” management, which corresponds in France to visits with their doctors every four months as described above.

All participants are called every month by a clinical research assistant (Technicien d'étude clinique) to check that parents:

- Record all asthma exacerbations and linked information into the website dedicated to.
- Do not experience issues with the mobile app and use of the serious game (for those in the intervention group).

## Visit Specific Procedures



Months	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Phone contacts</b>													
AE and related events	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Adverse and other health events	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Medical visits</b>													
Symptoms	✓				✓				✓				✓
Adverse and other health events	✓				✓				✓				✓
Height and weight	✓				✓				✓				✓
Inhalation technique and WAP reviewed	✓				✓				✓				✓
Medication dispensed	✓				✓				✓				✓
<b>Questionnaires</b>													
Demographic & asthma characteristics	✓												
Knowledge	✓												✓
Self-efficacy	✓												✓
Satisfaction													✓
<b>In case of asthma exacerbation</b>	- Questionnaires ECAP, ADYC. - Compliance to WAP - Unscheduled physician visits, urgent care visits, ED visits, and hospital admissions												

AE: Asthma events. ECAP: Effects of a young Child's Asthma flare-upon the Parents. ADYC: Asthma flare-up Diary for Young Children. WAP: written action plan. ED: Emergency Department.

Overall, there are 5 types of scheduled visits or contacts as follows:

0. First contact.
1. Enrollment – Phone contact (PC0)
2. Randomization visit (V0) – 15 days following V-1
3. Medical consultation (V4, 8,12) that will occur every 4 months after V0.
4. Telephone calls (TC) every 4 weeks.
5. Study close-out visit (V12) 12 months after V0.

### 0. First contact

Participating centers will screen their patients for eligibility (children aged 12-71 months with recurrent wheezing (at least 3 episodes) and a history of at least 3 episodes within the previous

12 months requiring either a hospital admission, an emergency department visit plus two general practitioner (GP) visits during asthma exacerbations, or three or more GP visits during asthma exacerbations). Eligible families will be sent a letter (written and/or email) informing them about the study, and about a subsequent phone call by a research assistant to present the details of the study and to check their eligibility.

1. Eligibility – Telephone contact (PC0). Week - 2.

a. Presentation of study details

b. Eligibility determined

c. Informed consent sent by email. Then, families willing to participate will have 15 days to consider their decision before the randomization visit.

2. Randomization visit (M0), Week 0.

a. Inclusion and exclusion criteria reviewed.

b. Informed consent obtained.

c. Medical history obtained.

d. Physical examination including weight and height performed.

e. Inhalation technique explained.

f. Asthma action plan provided and explained.

g. Rescue medications (salbutamol), spacer/nebulizer, electronic inhaler, and controller medication if needed, all dispensed.

h. Questionnaires on demographic characteristics, asthma characteristics completed.

i. Questionnaires on knowledge and self-efficacy completed.

j. Link to the website (sent by email) for recording outcomes.

k. Explanation on the way to record asthma exacerbations severity (ADYC) and caregiver's functional status (ECAP).

l. Download of the serious game "Effic'Asthme" and first use by parents accompanied by the doctor for 15 minutes.

m. Completion of the questionnaire on patient engagement with the serious game.

3. Follow-up visits (M4-M8), week 16 and 32.

a. Digital record of asthma exacerbations reviewed.

b. Brief history and physical exam including weight and height performed.

c. Inhalation technique and asthma action plan reviewed.

d. Medications dispensed.

4. Follow-up Phone Calls (PC), every month from week 1 to week 52.

Parents will be called every month by a nurse to assess:

- Compliance with Effic'Asthme in the intervention group.

- Asthma exacerbations and related events.

- Adverse and other health events.

5. Study close-out visit (M12).

a. Digital record of asthma exacerbations reviewed.

- b. Brief history and physical exam including weight and height performed.
- c. Inhalation technique and asthma action plan reviewed.
- d. Medications dispensed.
- e. Questionnaires on parents' knowledge and self-efficacy regarding the management of asthma exacerbations at home.
- f. Questionnaire on parents' satisfaction with Effic'Asthme in the intervention group.
- g. Exit interview performed (critique of study experience; permission to be contacted for future studies).

### **Data collection and outcome measures**

The main outcome of the study is the number of acute care visits for asthma, corresponding to the sum of unscheduled physician visits, urgent care visits, ED visits, and hospital admissions, divided by the number of asthma exacerbations.

Our hypothesis is that using the serious game "Effic'Asthme" will train parents on the management of asthma exacerbations, improving their knowledge and self-efficacy, resulting in less healthcare use and an overall decrease in acute care visits for asthma compared to the control group who receives standard of care.

The secondary outcomes of the study are:

- Parents' knowledge on the management of an asthma exacerbation of their child.
- Parents' self-efficacy regarding the management of an asthma exacerbation of their child.
- Parents' functional status during an asthma exacerbation of their child.
- Parents' compliance to the written asthma action plan during an asthma exacerbation of their child.
- Number of unscheduled physician visits, urgent care visits, ED visits, and hospitalizations.
- The mean ADYC score (Asthma Flare-up Diary for Young Children), reflecting the severity of asthma exacerbation.
- Determine if the duration of use of Effic'Asthme is negatively correlated with unscheduled healthcare use, and positively correlated with parental knowledge, self-efficacy, and compliance to the written asthma action plan.
- Determine if compliance with the asthma action plan is associated with decreased unscheduled healthcare use.

Emergency department visits and hospital admissions will be recorded through hospital records, children health records (carnet de santé) and parents' interview during medical visits.

Characteristics of participants will be collected during the enrollment visit using questionnaires and interviews (Table 1).

Parents' knowledge and self-efficacy regarding the management of an asthma exacerbation are assessed using a multiple-choice questionnaire validated in a previous study and the validated "Parent Asthma Management Self-Efficacy questionnaire, respectively, which are both



validated questionnaires<sup>294,295</sup> (Tables 2 & 3). Parents fill these two questionnaires at visit 0 randomization (M0) and at the end of the study (M12).

Parents' functional status during an asthma exacerbation of their child are assessed through the validated questionnaire developed for this purpose, "Effects of a Young Child's Asthma Flare-up on the Parents (ECAP)".

Parents' compliance to the written asthma action plan is evaluated using parents' self-reports during phone interviews dedicated to and electronic records of inhaler use.

The mean ADYC score is a recently validated instrument which corresponds to a diary completed by parents during upper respiratory tract infections (URTI) and asthma exacerbations of their children. The cumulative ADYC score (ie, the sum of each daily score [each item on a scale of 1-7]) throughout the duration of the episode) was shown to be significantly higher during an exacerbation compared with scores in those with no exacerbation and was higher in those requiring an acute-care visit versus no visit, rescue oral corticosteroids versus none. The ADYC is completed by parents every day during each URTI and asthma exacerbations of their children, on the website dedicated to. The other data collected are:

- Parents' interaction with the serious game (ease of use, motivation) evaluated on a likert-scale of 7 points by the investigator.
- Doctors' presentation of the serious game (clarity of explanations, support provided to parents) evaluated on a likert-scale of 7 points by the investigator.
- Parents satisfaction with the game evaluated on a likert-scale of 7 points.
- Amount of time the parents use the serious game, automatically recorded by the game.

All the data which will be collected are presented as below:

#### Primary outcome

- No. of asthma exacerbations
- Acute care visits for asthma (unscheduled physician visits, urgent care visits, ED visits, and hospital admissions) – no. (%)
- Children with  $\geq 1$  acute care visit for asthma – no. (%)

#### Secondary outcomes

- Use of health care services
  - No. of unscheduled physician visits
  - No. of urgent care visits
  - No. of emergency departments visits
  - No. of hospital admissions for asthma
  - Children with  $\geq 1$  acute care visit for asthma – no. (%)
  - Children with  $\geq 1$  emergency department visit for asthma – no. (%)
  - Children with  $\geq 1$  hospital admission for asthma – no. (%)
  - Children with  $\geq 1$  course of systemic corticosteroids – no. (%)
- Severity of asthma exacerbations

- No. of asthma exacerbations
- Mean ADYC score (SD) per exacerbation
- Mean ADYC score (SD) per child
- Children with at least one exacerbation with ADYC score  $\geq 20$  - no. (%)
- Parental compliance with WAP
  - No. of asthma exacerbations
    - Overall percentage of compliance per exacerbation
  - No. of parents
    - Overall percentage of compliance per parent
  - Salbutamol administration
    - Number
    - Dose of salbutamol
    - Administration technique
      - Remove cap
      - Shake inhaler
      - Wait between puffs
    - Appropriate timing
  - Oral steroids administration
    - Number
    - Dose of oral steroids
  - Seek for help
    - Appropriate level of care
    - Appropriate timing
- Parental knowledge of the management of asthma exacerbations
  - Mean score (SD) on questionnaire
- Parental self-efficacy regarding the management of asthma exacerbations
  - Mean score (SD) on questionnaire
- Effect on parents during asthma exacerbations
  - Mean score (SD) on ECAP questionnaire per exacerbation
  - Mean score (SD) on ECAP questionnaire per parent
- Height
  - No. of children
  - Measurement – cm
  - Z score
  - Z score less than  $-2$  – no. (%)
- Weight
  - No. of children
  - Measurement – cm
  - Z score
  - Z score less than  $-2$  – no. (%)
- The game
  - Mean duration (SD) of use per parent (min)
  - Perceived ease of use by parent (evaluated by investigator)

- Perceived motivation of the parent (evaluated by investigator)
- Clarity of explanations provided by the instructor (evaluated by investigator)
- Support provided by the instructor (evaluated by investigator)
- Satisfaction of parents with the game (likert scale/7)

## **Statistics**

### **Sample size**

The main outcome is the total number of acute care visits (GP visits, ED visits, hospital admissions) divided by the total number of upper respiratory tract infections (URTIs) with asthma symptoms. In the study from Ducharme et al., which included children aged 1-5 year with at least one course of rescue systemic corticosteroids in the previous 6 months (or two in the preceding 12 months), this percentage was 30% in the control group.

We expect a percentage of 22% in the intervention group (Absolute risk reduction: 8%, number needed to treat: 8).

Based on this numbers, we would need 938 events, 469 per group, to demonstrate a difference with a two-sided alpha level of 5%, and a power of 80%.

In the study from Ducharme et al., children included had a mean of 8 URTI/year/child, with 90% of URTI with asthma symptoms, resulting in 7-8 URTI with asthma symptoms/year/child.

With the hypothesis of 7 URTI with asthma symptoms/year/child, and assuming an intraclass correlation of 10% for clustering of asthma exacerbations within individual children, the calculation can be detailed as follows:

- Number of child to include per group: 67.

- Following the method of Donner, Birkett and Buck, the sample size was inflated by a Design Effect of  $1 + (e-1) \times p$ ; e being the number of events per cluster (7) and p the intraclass correlation (0.1).

- The calculation led to a sample size of 214 children, 107 per group.

Assuming a 20% drop-out rate, we estimated the final number of children to include to be 256, 128 per arm.

Baseline characteristics of groups are compared with parametric (t-test) and non-parametric (Mann-Whitney) tests for continuous measures and  $\chi^2$  and Fisher's exact tests for categorical measures.

All outcomes (number of acute care visits divided by the total number of exacerbations; parental knowledge of asthma; parental self-efficacy regarding the management of an asthma exacerbation; parental compliance to written asthma action plan) are compared separately by an analysis of covariance (ANCOVA) in which the comparison between groups is made after adjustment for the respective outcome during the observation period, child's age at randomization, parents' graduation level, experience of previous asthma exacerbations, and study site. A prespecified analysis will seek for a dose-effect between the amount of time the serious game is played and all the other outcomes using an ANCOVA.

All statistical tests will be performed using SPSS v.18.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA).

### **Expected benefit for patients and public health**

If this study demonstrates that a simulation game such as “Effic’Asthme” can decrease acute care visits for asthma exacerbations, this result will be of major importance for both patients and public health. For patients, this will mean that parents can manage appropriately and autonomously asthma exacerbations. Parents will be more confident and less distressed when facing this situation. This will avoid unnecessary acute care visits which result in disruption in family activities, and/or on the contrary, lead parents to come to EDs when they face a severe asthma exacerbation, potentially saving their child.

From a public health perspective, decreasing acute care visits due to asthma exacerbations is a high priority because asthma is a leading cause of ED visits. This will also be associated with reduced costs linked to asthma exacerbations.

If this study fails to demonstrate the effectiveness of the simulation game “Effic’Asthme”, its result will remain of major importance. More and more serious games are designed for various medical purposes but very few have been rigorously evaluated. A negative result despite a rigorous study design would lead institutions to reallocate their investments in other strategies of asthma control. Such a result would also be important regarding the management of asthma exacerbations in children 5 years or younger. If parents in the simulation game group are more compliant to their written action plan, but without any associated decrease in acute care visits, this would mean that following the written action plan used in this study is of no value. This would be very important because the action plan used follows the French recommendations on the management of asthma exacerbations.

**Table 1: Demographic characteristics and Asthma characteristics to be recorded**

Demographic characteristics of the child:

- Age at enrollment, mean (SD)
- Sex
- Birth before 37 wk of post-menstrual age
- Birth weight < 2500 g
- Entered study on controller medication
- Height, mean (SD)
- Weight, mean (SD)
- Season at enrollment:
  - Sept-Nov
  - Dec-Feb
  - Mar-May
  - June-Aug

Demographic characteristics of the parent:

- Age at enrollment, mean (SD)
- Sex
- Graduation level
  - Less than High School
  - French High-School degree
  - French High-School degree + 2y (eg : two-year technical degree)
  - French High-School degree + 3/4y (eg : bachelor)
  - French High-School degree + 5y (eg : master)
  - French High-School degree + 7y or more (eg : PhD)
- Ownership of a WAP
- Oral explanations of the WAP by physician
- Parent with asthma
- Experience with home management of asthma exacerbation:
  - > 10 asthma exacerbations managed autonomously
  - 5-10 asthma exacerbations managed autonomously
  - 1-5 asthma exacerbations managed autonomously
  - No previous asthma exacerbation managed autonomously.
- Smartphone type

Child's asthma characteristics:

- Exposures, No. (%)
  - Day-care attendance
  - Tobacco smoke exposure
    - In utero
    - In household

- Duration of asthma
- Food or drug allergy
- Administration modality
  - Spacer
  - Nebulizer
- Feature of Previous Wheezing
  - Age at first wheezing episode (mo)
  - No. of wheezing episodes in the past year, mean (SD)
  - No. of urgent and/or ED visits in the past year, mean (SD)
  - $\geq 1$  hospital admission for wheezing ever, No. (%)
  - $\geq 1$  hospital admission in previous year, No. (%)
  - No. of hospitalizations in the past year, median (IQR)
  - At least 1 course of OCS in past year, No. (%)
  - No. of OCS courses in the past year, median (range)
  - ICS use in past year, No./total (%)
  - Montelukast use in the past year, No. (%)
- API: major criteria
  - Wheeze  $\geq 4$  times in prior year (%)
  - Parental asthma (%)
  - Ever had eczema (%)
  - Positive aeroallergen skin test (%)
- Asthma control evaluated on the previous month
  - Daytime asthma symptoms  $> 1$ /week
  - Activity limitation due to asthma  $> 1$ /month
  - Reliever medication use  $> 1$ / week
  - Night symptoms  $> 1$ /month

**Table 2: Knowledge questionnaire on asthma exacerbations (in French).**

**TEST DE CONNAISSANCE – PRISE EN CHARGE DE LA CRISE D’ASTHME DE L’ENFANT**

**Ce questionnaire est composé de 10 questions sur la crise d’asthme de l’enfant. Pour chaque question, vous devez cocher les 1 à 5 propositions qui sont justes.**

1/ Parmi les propositions suivantes, quel(s) est (sont) le(s) signe(s) d’une crise d’asthme ?

- Toux
- Sifflement dans la poitrine
- Gêne pour respirer
- Fièvre
- Migraine, maux de tête

2/ Parmi les propositions suivantes, quel(s) est (sont) le(s) médicament(s) qui fonctionnent le mieux pour atténuer les symptômes d’une crise d’asthme ?

- Un corticoïde à avaler (Exemple : céléstène, solupred, prednisone)
- Un médicament d’urgence (Exemple : ventoline, salbutamol, terbutaline, bricanyl)
- Un médicament de fond (Exemple : flixotide, sérétide, sérévent, Qvar, pulmicort)
- Un anti-douleur (Exemple : paracétamol, ibuprofène)
- Aucun médicament ne doit être donné par le parent

3/ Quelle(s) est (sont) la ou les possibilité(s) recommandée(s) pour donner le médicament d’urgence (Exemple : ventoline, salbutamol, terbutaline, bricanyl) lors d’une crise d’asthme de votre enfant spécifiquement ?

- Administrer le médicament directement dans la bouche
- Administrer le médicament d’urgence à l’aide de la chambre d’inhalation avec un embout qui s’adapte à la bouche de l’enfant
- Administrer le médicament d’urgence à l’aide de la chambre d’inhalation avec un masque facial qui recouvre le nez et la bouche de l’enfant
- Administrer le médicament d’urgence avec un verre d’eau
- Administrer le médicament dans un nébuliseur

4/ Quelle(s) est (sont) la ou les conséquence(s) possible(s) si un parent donne deux fois trop du médicament d’urgence (Exemple : ventoline, salbutamol, terbutaline, bricanyl) à son enfant à la maison lors d’une crise d’asthme ?

- Tremblement des mains sans gravité
- Infarctus du cœur
- Accélération des battements du cœur sans gravité
- Aucune conséquence
- Aggravation de la difficulté à respirer

5/ Que faut-il faire si après la première administration du médicament d’urgence (Ventoline, Salbutamol, Terbutaline, Bricanyl), l’état de l’enfant est toujours identique avec une difficulté à respirer qui ne l’empêche pas de parler normalement ?

- Il faut laisser attendre vingt minutes et redonner le médicament d’urgence
- Il faut donner un corticoïde à avaler (Exemple : céléstène, solupred, prednisone)

- Il faut redonner le médicament d'urgence (Exemple : ventoline, salbutamol, terbutaline, bricanyl)
- Il faut appeler ou consulter un médecin
- Il faut appeler le SAMU

6/ Que faut-il faire si après trois administrations du médicament d'urgence (Ventoline, Salbutamol, Terbutaline, Bricanyl) à 20 minutes d'intervalle, l'état de l'enfant est toujours identique avec des difficultés à respirer ?

- Il faut faire une pause d'une heure et redonner le médicament d'urgence
- Il faut donner un corticoïde à avaler (Exemple : célestène, betaméthasone, solupred, prednisone)
- Il faut redonner le médicament d'urgence (Exemple : ventoline, salbutamol, terbutaline, bricanyl)
- Il faut appeler ou consulter un médecin
- Il faut appeler le SAMU

7/ Si votre enfant a une crise d'asthme, quel(s) est (sont) le(s) signe(s) qui doit(vent) vous amener à consulter rapidement aux urgences ?

- Une toux de l'enfant
- Des sifflements dans la poitrine de l'enfant
- Une aggravation de la gêne à respirer malgré le traitement commencé à domicile
- Une crise inhabituelle, qui ne ressemble pas aux crises précédentes
- Une difficulté de l'enfant à parler tellement sa respiration est difficile

8/ Si votre enfant a une crise d'asthme, dans quelle(s) situation(s) devez-vous appeler le 15 (SAMU) ?

- Si mon enfant a les lèvres ou le visage bleu ou violet
- Si la difficulté à respirer s'aggrave vite et que le traitement commencé à domicile ne fonctionne pas
- Si j'ai un doute sur ce que je dois faire
- Si mon enfant tousse depuis plusieurs nuits
- Si je peux entendre des sifflements dans la poitrine de l'enfant

9/ Comment pouvez-vous aider à éviter les crises d'asthme de votre enfant ?

- En évitant d'aller en montagne
- En reconnaissant les petits signes qui peuvent précéder une crise d'asthme
- En connaissant les facteurs qui déclenchent les crises d'asthme de mon enfant
- En donnant tous les jours le traitement de fond à mon enfant (Exemple : flixotide, bécotide, pulmicort, beclospin), ou en veillant à ce qu'il le prenne
- En évitant d'aller sur les rivages de l'océan ou de la mer

10/ Que se passe-t-il dans les poumons de votre enfant lors d'une crise d'asthme ?

- Les bronches qui emmènent l'air aux poumons se resserrent et laissent passer moins d'air
- Les parois des bronches sont épaissies par l'inflammation et laissent passer moins d'air
- Les poumons ont du mal à se vider et sont plutôt trop pleins que trop vides.
- Les poumons sont détruits temporairement
- Les poumons sont remplis de pus



**Table 3: Self-efficacy questionnaire (\* Items in relation with the management of asthma exacerbation).**

- 1- How sure are you that you can get your child to take his / her medications?
- 2- How sure are you that you can use the medication correctly? \*
- 3- How sure are you that you can get your child to a doctor's appointment?
- 4- How sure are you that you can follow the directions for giving medication to your child?
- 5- How sure are you that you can help your child avoiding things he /she is allergic to?
- 6- How sure are you that you can help your child prevent a serious breathing problem? \*
- 7- How sure are you that you can have inhalers with you if your child has a serious breathing problem?
- 8- How sure are you that you can control a serious breathing problem at home rather than take your child to the ER? \*
- 9- How sure are you that you can keep the asthma from getting worse if your child starts to wheeze or cough? \*
- 10- How sure are you that you can help your child stay calm during a serious breathing problem? \*
- 11- How sure are you that you would know which medications to use when your child is having a serious breathing problem? \*
- 12- How sure are you that you know when your child's breathing problem can be controlled at home? \*
- 13- How sure are you that you know when to take your child to the emergency room during a serious breathing problem? \*

**Table 3 bis: Questionnaire de self-efficacy traduit en français.**

- 1- A quel point vous sentez-vous capable de faire en sorte que votre enfant prenne son traitement de fond tous les jours ?
- 2- A quel point vous sentez-vous capable d'administrer les traitements de votre enfant avec la bonne technique ? \*
- 3- A quel point vous sentez-vous capable de faire en sorte que votre enfant et vous-même soyez présents à la prochaine consultation avec votre docteur ?
- 4- A quel point vous sentez-vous capable de suivre les prescriptions de traitements de votre enfant ?
- 5- A quel point vous sentez-vous capable d'aider votre enfant à éviter les choses auxquelles il/elle serait allergique ?
- 6- A quel point vous sentez-vous capable d'aider à éviter une crise d'asthme sérieuse chez votre enfant ? \*
- 7- A quel point vous sentez-vous capable d'avoir sur vous les traitements nécessaires en cas de crise d'asthme sérieuse de votre enfant ?
- 8- A quel point vous sentez-vous capable de gérer les premières étapes d'une crise d'asthme sérieuse de votre enfant à domicile plutôt que de l'emmener aux urgences directement ? \*
- 9- A quel point vous sentez-vous capable d'éviter que la crise d'asthme s'aggrave si votre enfant commence à tousser ou à avoir des sifflements dans la poitrine ? \*
- 10- A quel point vous sentez-vous capable d'aider votre enfant à garder son calme pendant une crise d'asthme sérieuse à domicile ? \*
- 11- A quel point vous sentez-vous capable d'avoir en tête les traitements qu'il faut utiliser si votre enfant a une crise d'asthme sérieuse ? \*
- 12- A quel point vous sentez-vous capable de savoir si la crise d'asthme de votre enfant peut être contrôlée à domicile ? \*
- 13- A quel point vous sentez-vous capable de savoir quand est-ce qu'il faut emmener votre enfant aux urgences pédiatriques en cas de crise d'asthme sérieuse ? \*

## Références

1. WHO | Asthma. WHO. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs307/en/>. Accessed February 6, 2016.
2. Akinbami LJ, Simon AE, Rossen LM. Changing Trends in Asthma Prevalence Among Children. *Pediatrics*. 2016;137(1). doi:10.1542/peds.2015-2354.
3. Delmas M-C, Guignon N, Leynaert B, et al. [Prevalence of asthma among children in France]. *Arch Pediatr*. 2009;16(9):1261-1269. doi:10.1016/j.arcped.2009.06.009.
4. Akinbami LJ, Moonman JE, Garbe PL, Sondik EJ. Status of childhood asthma in the United States, 1980-2007. *Pediatrics*. 2009;123 Suppl 3:S131-145. doi:10.1542/peds.2008-2233C.
5. Delmas M-C, Marguet C, Raheison C, Nicolau J, Fuhrman C. [Admissions for pediatric asthma in France]. *Arch Pediatr*. 2013;20(7):739-747. doi:10.1016/j.arcped.2013.04.017.
6. Garner R, Kohen D. Changes in the prevalence of asthma among Canadian children. *Health Rep*. 2008;19(2):45-50.
7. Division of Health Interview Statistics. 2015 National Health Interview Survey (NHIS) Public Use Data Release. <https://www.cdc.gov/asthma/nhis/default.htm>.
8. Valovirta E, Kocevar VS, Kaila M, et al. Inpatient resource utilisation in younger (2-5 yrs) and older (6-14 yrs) asthmatic children in Finland. *Eur Respir J*. 2002;20(2):397-402.
9. Coffman JM, Cabana MD, Halpin HA, Yelin EH. Effects of asthma education on children's use of acute care services: a meta-analysis. *Pediatrics*. 2008;121(3):575-586. doi:10.1542/peds.2007-0113.
10. Guevara JP, Wolf FM, Grum CM, Clark NM. Effects of educational interventions for self management of asthma in children and adolescents: systematic review and meta-analysis. *BMJ*. 2003;326(7402):1308-1309. doi:10.1136/bmj.326.7402.1308.
11. Boyd M, Lasserson TJ, McKean MC, Gibson PG, Ducharme FM, Haby M. Interventions for educating children who are at risk of asthma-related emergency department attendance. *Cochrane Database Syst Rev*. 2009;(2):CD001290. doi:10.1002/14651858.CD001290.pub2.
12. Wilson SR, Latini D, Starr NJ, et al. Education of parents of infants and very young children with asthma: a developmental evaluation of the Wee Wheezers program. *J Asthma*. 1996;33(4):239-254.
13. Brown JV, Bakeman R, Celano MP, Demi AS, Kobrynski L, Wilson SR. Home-based asthma education of young low-income children and their families. *J Pediatr Psychol*. 2002;27(8):677-688.
14. Stevens CA, Wesseldine LJ, Couriel JM, Dyer AJ, Osman LM, Silverman M. Parental education and guided self-management of asthma and wheezing in the pre-school child: a randomised controlled trial. *Thorax*. 2002;57(1):39-44.
15. Holzheimer L, Mohay H, Masters IB. Educating young children about asthma: comparing the effectiveness of a developmentally appropriate asthma education video tape and picture book. *Child Care Health Dev*. 1998;24(1):85-99.
16. Mesters I, Meertens R, Kok G, Parcel GS. Effectiveness of a multidisciplinary education protocol in children with asthma (0-4 years) in primary health care. *J Asthma*. 1994;31(5):347-359.
17. Szczepanski R, Jaeschke R, Spindler T, Ihorst G, Forster J, ASEV Study Group. Preschoolers' and parents' asthma education trial (P2AET)--a randomized controlled study. *Eur J Pediatr*. 2010;169(9):1051-1060. doi:10.1007/s00431-010-1173-z.
18. From the Global Strategy for Asthma Management and Prevention, Global Initiative for Asthma (GINA). GINA Report, Global Strategy for Asthma Management and Prevention. Avril 2015. <http://www.ginasthma.org/>. Accessed September 7, 2015.

19. Haute Autorité de Santé. Education thérapeutique de l'enfant asthmatique - Synthèse des recommandations.[http://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/education\\_asthmatique\\_enfant\\_version\\_finale\\_du\\_22\\_10\\_02\\_synthese.pdf](http://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/education_asthmatique_enfant_version_finale_du_22_10_02_synthese.pdf). Published 2002. Accessed September 9, 2015.
20. Direction générale de la santé. Etats des lieux des écoles de l'asthme.<http://www.sante.gouv.fr/pour-connaître-les-résultats-de-l'étude-sur-les-écoles-de-l-asthme.html>. Published June 2006. Accessed November 1, 2015.
21. FitzGerald JM. Psychosocial barriers to asthma education. *Chest*. 1994;106(4 Suppl):260S-263S.
22. Yoon R, McKenzie DK, Miles DA, Bauman A. Characteristics of attenders and non-attenders at an asthma education programme. *Thorax*. 1991;46(12):886-890.
23. Bergeron B. Developing serious games (game development series). 2006.
24. Brown SJ, Lieberman DA, Gerny BA, Fan YC, Wilson DM, Pasta DJ. Educational video game for juvenile diabetes: results of a controlled trial. *Med Inform (Lond)*. 1997;22(1):77-89.
25. Kumar VS, Wentzell KJ, Mikkelsen T, Pentland A, Laffel LM. The DAILY (Daily Automated Intensive Log for Youth) trial: a wireless, portable system to improve adherence and glycemic control in youth with diabetes. *Diabetes Technol Ther*. 2004;6(4):445-453. doi:10.1089/1520915041705893.
26. Dragone MA, Bush PJ, Jones JK, Bearison DJ, Kamani S. Development and evaluation of an interactive CD-ROM for children with leukemia and their families. *Patient Educ Couns*. 2002;46(4):297-307.
27. Kato PM, Cole SW, Bradlyn AS, Pollock BH. A Video Game Improves Behavioral Outcomes in Adolescents and Young Adults With Cancer: A Randomized Trial. *Pediatrics*. 2008;122(2):e305-e317. doi:10.1542/peds.2007-3134.
28. Baranowski T, Baranowski J, Thompson D, et al. Video game play, child diet, and physical activity behavior change a randomized clinical trial. *Am J Prev Med*. 2011;40(1):33-38. doi:10.1016/j.amepre.2010.09.029.
29. Drummond D, Monnier D, Tesnière A, Hadchouel, Alice. A Systematic Review of Serious Games in Asthma Education. *Pediatric Allergy and Immunology*. Accepted.
30. Berg J, Anderson NLR, Tichacek MJ, Tomizh AC, Rachelefsky G. One gets so afraid: Latino families and asthma management--an exploratory study. *J Pediatr Health Care*. 2007;21(6):361-371. doi:10.1016/j.pedhc.2006.08.004.
31. Peterson-Sweeney K, McMullen A, Yoos HL, Kitzman H. Parental perceptions of their child's asthma: management and medication use. *J Pediatr Health Care*. 2003;17(3):118-125. doi:10.1067/mpH.2003.31.
32. Mansour ME, Lanphear BP, DeWitt TG. Barriers to asthma care in urban children: parent perspectives. *Pediatrics*. 2000;106(3):512-519.
33. Julian V, Pereira B, Labbé A, Amat F. [Characteristics of admissions to pediatric emergency departments for exacerbations of asthma. Assessment and prospects for improving prehospital care]. *Rev Mal Respir*. 2014;31(1):13-20. doi:10.1016/j.rmr.2013.04.021.
34. Drummond D, Fabbro E, Tesnière A, Hadchouel A. Toward virtual simulation for parents of children with asthma. *J Allergy Clin Immunol Pract*. May 2017. doi:10.1016/j.jaip.2017.04.017.
35. Global Initiative for Asthma. Global Strategy for Asthma Management and Prevention.[www.ginasthma.org](http://www.ginasthma.org). Published 2017. Accessed November 7, 2017.
36. Drummond, David. Evaluation d'un programme d'enseignement innovant associant film pédagogique et ateliers de simulation pour la formation à l'arrêt cardiaque de l'enfant des étudiants hospitaliers. HAL-Archives Ouvertes. <http://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01190204/document>. Published 2014.

37. Bursch B, Schwankovsky L, Gilbert J, Zeiger R. Construction and validation of four childhood asthma self-management scales: parent barriers, child and parent self-efficacy, and parent belief in treatment efficacy. *J Asthma*. 1999;36(1):115-128.

### **3. Articles complémentaires**

## **Serious games for health: three steps forwards**

Drummond, D., Hadchouel, A., & Tesnière, A. (2017)

*Advances in Simulation*, 2(1), 3.

COMMENTARY

Open Access



# Serious games for health: three steps forwards

David Drummond<sup>1,2\*</sup>, Alice Hadchouel<sup>1,2</sup> and Antoine Tesnière<sup>1,3</sup>

## Abstract

Serious games are educational tools which are more and more used in patient and health professional education. In this article, we discuss three main points that developers and educators need to address during the development of a serious game for health. We first explain how to develop motivating serious games by finding a point where the intrinsic and extrinsic motivations of end users can converge. Then, we propose to identify the features of serious games which enhance their learning effectiveness on the basis of a framework derived from cognitive science and called “the four pillars of learning.” Finally, we discuss issues and solutions related to the evaluation of serious games.

**Keywords:** Video game, Health education, Patient education, Medical education

## Background

New technologies have invaded our world, and while they can impair learning [1], they should also be considered as important tools to enhance learning in the context of the major shift occurring in education. For thousands of years, the limiting resource in education was the learning content: during the Middle Age in Western Europe, knowledge was contained in rare and precious books which were copied in monasteries, one at a time. Learning content began to be disseminated after the invention of the printing press by Gutenberg around 1450, but this access vastly increased by the World Wide Web and its search engines such as Google (1998). Today, when anyone can find any information on the Internet, learning content is no longer rare and precious, whereas the educational methods, i.e. the process of how knowledge is acquired, draw increasing attention. Information corresponds to facts provided about something or someone. By contrast, knowledge acquisition is the process of extracting, structuring, and organizing information. It requires time and corresponds to the theoretical or practical understanding of a subject, through education, experience, or reflection.

Serious games are potentially interesting tools to acquire knowledge, both for their motivational effect

and the pedagogical principles they include such as a user-centred approach, interactivity, repetition, and continuous feedback [2]. They are attracting growing attention in the health area, with the development of large conferences dealing with games such as the “Games for Health” conferences in the USA (<https://gamesforhealth.org/>) and in Europe (<http://www.games-forhealtheurope.org/>). The development of serious games is complex because of their twofold objective, being both motivating and educational. In this article, we discuss three main points that developers and educators need to address during the development of a serious game. We first explain how to develop motivating serious games by finding a point where the intrinsic and extrinsic motivations of the end users can converge. Then, we propose to identify the features of serious games which enhance their learning effectiveness on the basis of a framework derived from cognitive science and called “the four pillars of learning.” Finally, we discuss issues and solutions related to the evaluation of serious games.

## The convergence of motivations

A major factor in education is the time allowed to the learning process, a longer time being associated with better learning outcomes [3, 4]. Because video game players spend many hours per week on their computer, video games were considered as an interesting educational method [5]. By incorporating some learning content into video games, it was thought that players using these

\* Correspondence: david.drummond@ilumens.org

<sup>1</sup>Ilumens Simulation Department, Paris Descartes University, 45 rue des Saint Pères, 75006 Paris, France

<sup>2</sup>Pediatric Pulmonology, Necker-Enfants Malades Hospital, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris, 149 rue de Sèvres, 75015 Paris, France  
Full list of author information is available at the end of the article

“serious” games would still enjoy the game while learning for hours [6]. This proposal led to important disappointments about both the enjoyment that serious games may provide and their learning effectiveness. *Arden: The World of Shakespeare* is a classical illustration of such a failure. This project was intended to be a massively multiplayer online learning game for teaching undergraduate learners the works of William Shakespeare. It was designed to be a plug-in for the off-the-shelf game *Neverwinter Nights*. When the game was launched, the virtual world turned out to be a great looking but players were dissatisfied with the gameplay and abandoned the game. This led the MacArthur Foundation which initially founded the game to pull out of this ambitious project [7].

Thus, developing a motivating serious game requires the developer to be interested in the motivation of the end users. Following the self-determination theory of Deci and Ryan, three types of learners can be defined: the amotivated, the extrinsically motivated, and the intrinsically motivated learners [8]. The amotivated learners do not value the activity of learning and do not believe that it will yield a desirable outcome. When asked to use a serious game, the only aspect they enjoy is the “sensory delight” related to the graphical environment and sound effects used in the game, known in the gaming business as “Eye Candy” [6]. Once this transient enjoyment fades, they quickly abandon the serious game. The extrinsically motivated learners do not value the activity of learning but do believe that it can yield a desirable outcome, for example obtaining a high examination score at the end of the training. Their difficulty is to find the energy to learn in order to achieve a future, desirable outcome. Finally, intrinsically motivated learners enjoy the activity of learning itself and/or are interested in the subject matter: from their perspective, the serious game represents one opportunity among many others (conferences, textbooks, etc.) to learn.

Therefore, in our opinion, for both amotivated and intrinsically motivated learners, serious games have little or no motivational value compared to conventional instruction methods, because these tools represent the same kind of constraint for the former and the same kind of opportunity to learn for the latter. This may explain why a meta-analysis of the motivating effect of serious games found that serious games were not more motivating than conventional instruction methods [9].

However, we think that serious games may be interesting for extrinsically motivated learners. These learners consider the learning process as a painful but necessary step to reach a desirable, enjoyable outcome. For this category of learners, serious games allow them to experiment this enjoyable outcome virtually, in advance, while they are learning. In other words, serious games combine the enjoyment of this future outcome made virtually present with the learning activity (Fig. 1).

This combination was present in a very successful serious game developed in the health area, the *Re-Mission* game. In this game developed for young cancer patients, players controlled a humanoid nanorobot which had the mission to destroy different types of cancer at a cellular level, while learning the importance of compliance to chemotherapy. Most of these young cancer patients were likely to be extrinsically motivated learners, with a profound hope to reach a very desirable outcome, being rid of their cancer, although not enjoying learning about the importance of being compliant with their chemotherapy. The strength of the game was to make this desirable outcome virtually present, by allowing players to destroy several cancers, while delivering important messages about compliance to chemotherapy. The serious game could preserve both its enjoyment, as attested by the more than 200,000 copies delivered, and its learning effectiveness, demonstrated in a randomized controlled trial involving 375 patients which revealed that playing this game was associated with better knowledge, self-efficacy, and adherence to oral chemotherapies [10].

By contrast, there are several examples of serious games that failed to be motivating because their developers thought that putting algebra problems in a 3D virtual world or placing the periodic table of the elements in a shooting arcade would motivate students to play while learning [7]. In these situations, which did not involve any desirable outcome, students considered serious games as poorly motivating as their traditional lectures.

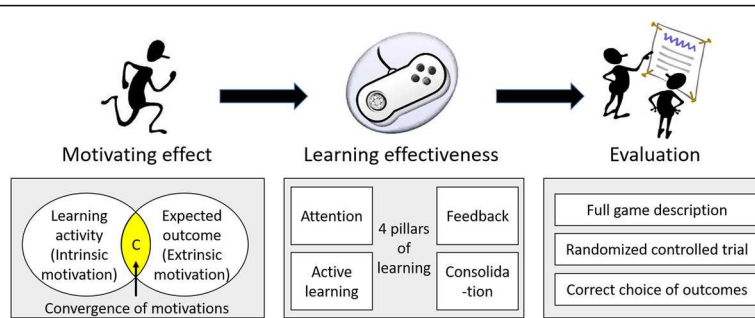
Combining the motivation for the activity of learning itself (intrinsic motivation) with the motivation for a future desirable outcome (extrinsic motivation) is thus essential to develop motivating serious games (Fig. 1). It may explain the enthusiasm of medical students for simulation games in which they play the role of medical doctors [11]. The association of their final objective—practicing as a doctor—made virtually present and possible, with a learning activity—making decisions to save the life of a virtual patient—is promising to motivate these students to learn.

Developers of games in the health area should consider this “convergence of motivations” if they want their product to be motivating from the perspective of their learners. However, even a serious game played for hours can fail to reach its educational purpose if developers neglect to consider the key instructional features which will allow the learning process and which are developed below.

### **Learning benefits expected from serious games: insights from neurosciences**

Cognitive science has identified four main pillars of learning: attention, active learning, feedback, and consolidation [12] (Figs. 1 and 2). These four pillars need to be carefully included in serious games (Table 1) and are addressed individually in the next four sections.





**Fig. 1** The three main points to discuss during the development of a serious game. Firstly, users need to be motivated to play the serious game in order to access the learning content. Motivating serious games integrate the extrinsic motivation of the player for a specific outcome (e.g. practicing as a medical doctor) into the learning activity (e.g. a simulation game on the management of cardiac arrest), making this learning activity desirable (apparition of intrinsic motivation for the learning activity). This phenomenon was called “the convergence of motivations.” Secondly, the learning potential of serious games should be maximized. The “four pillars of learning,” a framework derived from cognitive science finding [12], may be useful for developers and educators to enhance the learning effectiveness of their games. Finally, serious game should be evaluated in order to progress towards evidence-based education

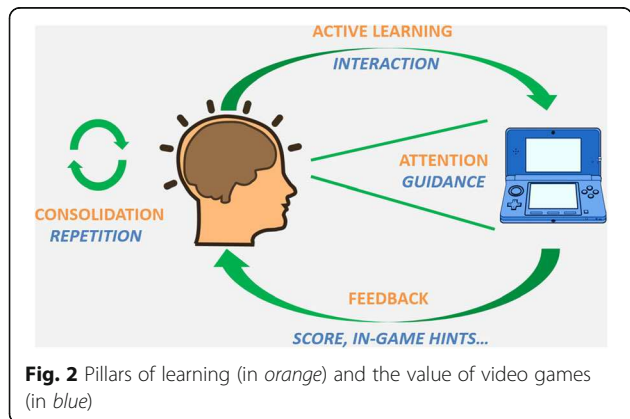
**Attention**

Neuroscientists consider that attention consists of three attentional networks: the alerting network, the orienting network, and the executive network [13, 14]. These three networks are essential in the learning process.

Firstly, learners should stay alert during the learning process. The effects of alertness on memory seem to follow an inverted U-shaped relationship, with medium level of arousal associated with the highest gains in knowledge [15]. In serious games, the level of alertness is the result of three components: the graphic and sound environment of the game, the challenge proposed, and the motivation of the player. Technological advancements on video games’ effects, including the progress in video game graphics and the increased structural complexity of sound effects, were shown to be associated with higher levels of arousal in action video games [16, 17]. The level of challenge proposed by the game was also shown to be a key feature of the engagement of the player, with positive effects of learning [18]. This challenge should be in line with the skills of the learner because a high challenge with low skills may lead

to frustration whereas a low challenge with high skills may lead to boredom [19]. Finally, the motivation of the player is also essential to reach sustained vigilance while playing, because motivation and arousal are closely linked [20].

The second network of attention (orienting network) can be described as a filter which selects some information from the environment at the expense of other information. There is evidence that guided instruction, which provides learners with direct instructional guidance on the concepts and procedures required by a particular discipline, leads to superior learning outcomes than unguided or minimally guided environment, in which learners must discover or construct essential information for themselves [21]. This highlights the importance for the instructor (or the educational tool) to help the learner to select the relevant information. A meta-analytic review of the role of instructional support in serious games confirmed that the use of instructional support was associated with better learning outcomes [22]. Among different categories of instructional support, facilitating learners in selecting relevant information was the most effective solution. Three types of support related to the selection of relevant information were studied: modelling (showing which information is important or how to solve a problem), modality (the use of the audio channel for verbal explanations to guide visual search), and feedback (which allows players to know if the information is relevant or not). All these types of instructional support were associated with improved learning outcomes. A fourth way to guide the player to select the relevant information is to integrate this information in the virtual tools that the player needs to use to reach the objective of the game. For example, in the Re-Mission game, players needed to search for chemotherapy to load their weapons in order to destroy the cancer cells. Players were orientated continuously towards chemotherapy during the game and thus learnt



**Fig. 2** Pillars of learning (in orange) and the value of video games (in blue)

**Table 1** The four pillars of learning, a new framework to enhance the learning effectiveness of serious games

Pillars of learning	Objective	Practical implications for serious games development	Practical implications for serious game implementation	Future directions of research
Attention - Alerting network	Reaching medium level of arousal	None	None	Links between serious game design, level of arousal, learning effectiveness
Attention - Orienting network	Selecting relevant information	Promote strategies that help to select relevant information (modelling/ examples, modality/use of the audio channel for verbal explanations to guide visual search, feedback, integration of relevant information in virtual tools)	Educators should discuss with learners at the end of the serious gaming session in order to ensure that they identified the relevant information	New strategies integrated in games for guiding the player towards relevant information
Attention - Executive network	Staying focused on the serious game	None	Because learners are not always immersed in the game although they do learn, the environment shall stay clear of distractions during the serious gaming session	Differences between immersion, engagement, and repercussions on learning effectiveness
Active learning	Being engaged during learning	Promote interactivity rather than convey the learning content via text or audio explanation	None	Description of game features that enhance interactivity
Feedback	Evaluating the gap between the objective and the actual performance	Promote the use of feedback which deals with the task completed, not with the self-esteem	Educators can debrief the performance of players at the end of the serious gaming session	Exploration of forms of feedback which are the most effective in serious gaming
Consolidation	Achieving long-term memory	Promote the repetition of interactions with important learning content inside the game	Promote spaced-education with multiple training sessions and various educational methods	Description of forgetting curves after different types of serious gaming and determination on how often refreshers should be proposed

implicitly that adherence to chemotherapy was the key to cure cancer [10]. Developers should consider such strategies to help their end users to learn efficiently.

Executive control is the third attentional network. It allows one to concentrate on the task without being distracted. The ability to maintain sustained attention on a task without being distracted by the environment or his own thoughts is essential for learning. In serious games, it was originally thought that the immersion experienced during the game would prevent users from being distracted. Indeed, immersion is defined as “the sensation of being surrounded by a completely other reality [...] that takes over all of our attention, our whole perceptual apparatus” [23]. Jennet et al. explained that “immersion involves a lack of awareness of time, a loss of awareness of the real world, involvement and a sense of being in the task environment” [24]. However, if immersion allows learners to stay focused on the game, emerging evidence suggests that high levels of immersion may allow them to master the game, but not to achieve the learning outcomes [25]. An explanation may be that high levels of immersion are associated with episodic memory, corresponding to the memory of the context (times, places, associated emotions, etc.) whereas low levels of immersion allow an appropriate distance for the creation of declarative memory, which is the memory of facts and abstract concepts [26]. Thus, when the learning objectives are more

complex than simple retention and require a deep understanding of concepts, lower levels of immersion should be preferred. This implies that the environment in which a serious game is played should be clear of other sources of distraction, because the users who are learning abstract concepts during serious gaming sessions are not necessarily immersed and need to use their inhibitory control to stay focused on the task.

**Active learning**

Active learning engages students in the process of learning through activities, as opposed to passively listening to an expert [27]. Active learning has been shown to be more effective than traditional didactic lecture, for both knowledge acquisition and behavioural change [27–29]. The strength of serious games is that they encourage active learning because they are interactive by essence. A serious game cannot be completed without the intervention of its user, as opposed to a lecture which will continue whether or not the learner is listening to it. A meta-analysis of the learning effectiveness of simulation games found that the games which actively engaged trainees in learning were more effective than those which passively conveyed the instructional material via text or audio explanation [30]. The game *Staying Alive* ([http://www.stayingalive.fr/index\\_us.html](http://www.stayingalive.fr/index_us.html)) which was designed to teach the management of a

cardiac arrest to the general public is a good illustration because it involves different levels of interactivity. In a first part, the explanations on the recognition of a cardiac arrest are limited to text boxes which require the player to click to the next one. By contrast, when the player has to provide virtual chest compressions, he is asked to choose his hand position between different proposals and to click repeatedly with the correct time interval to deliver compressions with the correct rate. In a study still ongoing in our simulation centre (ClinicalTrials.gov registry number 02758119), it appears that second year medical students who were pre-trained with the serious game and assessed on a physical manikin were more likely to provide chest compressions with a correct hand position and rate, whereas no progress was observed regarding the recognition of the cardiac arrest. Thus, future serious games should not be limited to a self-paced environment in which the player simply click to move to the next text box containing the relevant information but rather be fully interactive by integrating this information in actions that the player need to perform. In order to maximize the learning effectiveness of the serious game, these actions need to be similar to those performed in the “real world.”

### Feedback

According to the *temporal difference learning* theory, the brain can be seen as a machine that generates predictions and verifies them to improve its next prediction [31]. Learning occurs by minimizing the difference between the expected and actual outcome, through the feedback received [12]. Increasing evidence suggests that computations described by temporal difference learning theory are actually performed in the human brain [32, 33]. Feedback is therefore essential for learning, and it was believed that “the positive effects of feedback interventions on performance has become one of the most accepted principles in psychology” [34]. However, a comprehensive meta-analysis of laboratory experiments suggested that while feedback improved performance by 0.4 of a standard deviation on average, it reduced performance in over one third of the experiments [35]. In searching for the moderators, the authors found that feedback effectiveness decreased when the feedback dealt more with the learner than with the task. For example, feedback interventions in the form of a praise or a blame were less effective than feedback which focused on the task. This same meta-analysis found that computerized feedback interventions, which are likely to focus attention on the task, were associated with higher effectiveness compared to verbal feedback interventions.

In serious games, feedback can be integrated in different forms: progress bars, scoring, achievements, experience points, virtual currencies, etc. [36]. The player can

perceive the difference between the performance expected in the serious game and his actual performance through the feedback received. More research is needed to define the forms of feedback which are the most effective in serious gaming. In cognitive training games, there is emerging evidence that the different types of feedback are not equally effective. It was shown that the inclusion of real-time scoring during play negatively impacted training improvements of the participants [37]. The authors suggested that real-time scoring distracted the learners from the core cognitive training task, which may also happen in serious games. Therefore, while feedback is essential for learning, the way it should be integrated in serious games deserves further investigation.

### Consolidation

The memory consolidation hypothesis Müller and Pilzecker described 100 years ago continues to guide memory research [38]. Processes that allow memory to consolidate have become increasingly well understood [39]. The first stages of the acquisition of a skill, such as reading or driving, require the learner to stay very concentrated, because these processes are conscious. Repeated trainings allow the brain to shift to faster and unconscious networks [40]. Neuroimaging revealed that during acquisition of a motor skill, there is a shift from prefrontal regions of the cortex to the premotor, posterior parietal, and cerebellar cortex structures [41]. In the field of serious games, learners learn more when multiple training sessions are involved [9] to allow these shifts in neural network utilization to occur.

This repetition is even more effective if the learner alternates training sessions and rest periods. Reinforcement using “spaced training,” where training sessions alternate with rest periods, leads to longer lasting memories than massed training [42, 43] and better transfer to real situations [44]. On the basis of these findings, “spaced education” in the medical field has been shown in randomized trials to improve knowledge acquisition, boost learning retention for up to 2 years, and durably improve clinical behaviour [45–47]. Spaced education can be integrated in serious games: an online spaced-education game to teach and assess medical students was shown to be effective in improving and assessing students’ knowledge [48].

Finally, this repetition is more effective if it involves different educational methods. A meta-analysis on the learning effectiveness of simulation games, a subgroup of serious games, found that they should be used as a supplement to lecture, discussion, tutorials, or other instructional methods in order to maximize their learning potential [30].

In summary, the development of serious games may benefit from scientists’ growing understanding of the human brain and of the mechanisms involved in learning. Then, the learning effectiveness of serious games should

be evaluated rigorously through a scientific evaluation that we propose next.

### **Evaluating serious games: towards evidence-based education**

In medicine, the best evidence of the effectiveness of an intervention is the result of randomized controlled trials (RCTs) and of systematic reviews of these studies. It should be the same in the educational field [49, 50]. However, serious games on the market are so diverse in their content, objectives, and users and that they preclude high-quality meta-analyses [51]. Several authors have tried to propose a classification system for serious games to form more homogeneous groups, but a universal classification system has failed to be adopted [52–54], possibly because research in serious games involves authors with different backgrounds. Graafland and colleagues recently provided the first consensus-based framework for the assessment of specific medical serious games to address this problem [55]. Features linked to game description, rationale, functionality, validity, and data protection must be reported [55]. This framework allows educators and game designers to compare and validate new serious games in a consistent way.

Furthermore, the study designs of the articles evaluating serious games are very diverse. Less than 20% are RCTs [56]. Choosing an appropriate control group and a relevant outcome are the main difficulties encountered in RCTs by researchers.

Ideally, RCTs evaluating serious games should include two control groups, one group receiving no education and the other receiving another form of education [57]. The use of a control group who receives no education is essential to demonstrate the effectiveness of a serious game and still remains ethical because it happened that an intervention group playing a serious game failed to reach higher levels of knowledge and/or skills than a control group receiving no education [58]. The use of a second control group receiving another form of education is also important. Previous research in simulation-based education showed that simulation technology was more effective than no education, but the difference was less convincing relative to other forms of education [59, 60]. In academic settings, serious games should be compared to another form of education to promote their use. By using these two control groups, it also becomes possible to evaluate whether a serious game can be a pragmatic solution between no education and a form of education that is more effective but not readily accessible to learners, such as long and expensive trainings in simulation centres.

The choice of outcome is also complicated in the serious game field. Four levels of outcome can be used to evaluate medical education, following the model of

Kirkpatrick [61, 62]: satisfaction (level 1), acquisition of knowledge and skills (2b), retention of knowledge and skills over a period of time (2c), behavioural change (3), and patient outcomes (4).

All these outcomes are complementary and relevant for the evaluation of serious games but do not have the same value. Each step-up among these levels is associated with both (1) more convincing evidence on the value of the educational intervention and (2) increased difficulty to conduct the study and demonstrate a difference between the experimental and control groups. Although most studies assess users' satisfaction, research on serious games should at least address the acquisition of knowledge and skills (level 2), because there is no evidence that satisfaction alone leads to effective learning. Knowledge can be assessed simply by questionnaires, while physical simulation using manikins represents a new, safe, and appropriate material to evaluate the acquisition of skills after playing a serious game.

Besides RCTs which are essential but limited to a binary answer (yes/no) about the effectiveness of a serious game, other study designs can offer valuable information on how to develop effective serious games. A new approach is represented by neuroscientific studies evaluating the impact of playing a serious game on specific neural circuits. For example, the Re-Mission videogame for cancer patients was shown to activate the reward-related mesolimbic neural circuits which are involved in the motivation to play [63]. The authors demonstrated that this activation was primarily the consequence of the gameplay of the Re-Mission game which involved a lot of interactivity rather than the consequence of the effects of vivid and dynamic sensory stimulation. Such studies can improve our understanding of the mechanisms by which serious games can be motivating and enhance learning.

### **Conclusions**

Serious games are attracting growing attention in the health area. Developing a successful serious game is complex, and we proposed cues to avoid two classical pitfalls. First, in order to obtain a serious game played by its end users, we recommended to find a point where the intrinsic and extrinsic motivation of the players can converge, i.e. where the players can enjoy a future desirable outcome made virtually present in the game. Second, developers should consider the four pillars of learning described to avoid the development of a game which does not fulfil its educational objectives. Researchers in the field should continue to explore how these four pillars of learning can be used to enhance serious game engagement and effectiveness. Finally, evaluation of serious games using a standardized framework will help to legitimize the enthusiasm observed in the health area for these tools.

**Abbreviation**

RCT: Randomized controlled trial

**Acknowledgements**

Not applicable

**Funding**

David Drummond received a grant from Assistance Publique – Hôpitaux de Paris (AP-HP) during the first year of his PhD. AP-HP had no influence on the ideas developed in this review. No funding was secured for this study.

**Authors' contributions**

DD drafted the manuscript. AH and AT made substantial contributions. All authors approved the final manuscript.

**Competing interests**

The authors work in the department of Simulation in Healthcare "iLumens" which developed the serious game Staying Alive (stayingalive.fr) described in this review.

**Consent for publication**

Not applicable

**Ethics approval and consent to participate**

Not applicable

**Author details**

<sup>1</sup>Illumens Simulation Department, Paris Descartes University, 45 rue des Saint Pères, 75006 Paris, France. <sup>2</sup>Pediatric Pulmonology, Necker-Enfants Malades Hospital, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris, 149 rue de Sèvres, 75015 Paris, France. <sup>3</sup>Surgical Intensive Care Unit, Cochin Hospital, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris, 27, rue du Faubourg-Saint-Jacques, 75014 Paris, France.

Received: 6 September 2016 Accepted: 11 January 2017

Published online: 04 February 2017

**References**

- McCoy B. Digital distractions in the classroom: student classroom use of digital devices for non-class related purposes. *J Media Edu.* 2013;4(4):5e14.
- Murphy M. Why games work and the science of learning. Report [Internet]. 2012. Available [http://www.goodgamesbydesign.com/Files/WhyGamesWork\\_TheScienceOfLearning\\_CMurphy\\_2011.pdf](http://www.goodgamesbydesign.com/Files/WhyGamesWork_TheScienceOfLearning_CMurphy_2011.pdf). [Cited 12 Jan 2017]
- Cook DA, Hamstra SJ, Brydges R, Zendejas B, Szostek JH, Wang AT, et al. Comparative effectiveness of instructional design features in simulation-based education: systematic review and meta-analysis. *Med Teach.* 2013;35:e867–98.
- Greenwood CR, Horton BT, Utley CA. Academic engagement: current perspectives on research and practice. *Sch Psychol Rev.* 2002;31:328.
- Eichenbaum A, Bavelier D, Green CS. Video games: play that can do serious good. *Am J Play.* 2014;7:50.
- Prensky M. The motivation of gameplay: the real twenty-first century learning revolution. *Horiz.* 2002;10:5–11.
- Klopfer E, Osterweil S, Salen K. Moving learning games forward. 2009.
- Ryan RM, Deci EL. Intrinsic and extrinsic motivations: classic definitions and new directions. *Contemp Educ Psychol.* 2000;25:54–67.
- Wouters P, Van Nimwegen C, Van Oostendorp H, Van Der Spek ED. A meta-analysis of the cognitive and motivational effects of serious games. *J Educ Psychol.* 2013;105:249.
- Kato PM, Cole SW, Bradlyn AS, Pollock BH. A video game improves behavioral outcomes in adolescents and young adults with cancer: a randomized trial. *Pediatrics.* 2008;122:e305–17.
- Kron FW, Gjerde CL, Sen A, Fetters MD. Medical student attitudes toward video games and related new media technologies in medical education. *BMC Med Educ.* 2010;10:50.
- Did neuroscience find the secrets of learning? [Internet]. Available from: <http://www.paristechreview.com/2013/11/07/neuroscience-secret-learning/>. [cited 17 Jul 2015].
- Petersen SE, Posner MI. The attention system of the human brain: 20 years after. *Annu Rev Neurosci.* 2012;35:73–89.
- Posner MI, Rothbart MK, Tang Y-Y. Enhancing attention through training. *Curr Opin Behav Sci.* 2015;4:1–5.
- Baldi E, Bucherelli C. The inverted "u-shaped" dose-effect relationships in learning and memory: modulation of arousal and consolidation. *Nonlinearity Biol Toxicol Med.* 2005;3:9–21.
- Ivory JD, Kalyanaraman S. The effects of technological advancement and violent content in video games on players' feelings of presence, involvement, physiological arousal, and aggression. *J Commun.* 2007;57:532–55.
- Grimshaw M. Sound and immersion in the first-person shooter. *Int J Intell Games Simul.* 2008;5:119–24.
- Hamari J, Shernoff DJ, Rowe E, Coller B, Asbell-Clarke J, Edwards T. Challenging games help students learn: an empirical study on engagement, flow and immersion in game-based learning. *Comput Hum Behav.* 2016;54:170–9.
- Csikszentmihalyi M. *Flow: the psychology of optimal experience.* New York: Harper Perennial; 1991.
- Cowley B, Ravaja N. Learning in balance: using oscillatory EEG biomarkers of attention, motivation and vigilance to interpret game-based learning. *Cogent Educ.* 2014;1:962236.
- Kirschner PA, Sweller J, Clark RE. Why minimal guidance during instruction does not work: an analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educ Psychol.* 2006;41:75–86.
- Wouters P, Van Oostendorp H. A meta-analytic review of the role of instructional support in game-based learning. *Comput Educ.* 2013;60:412–25.
- Murray JH. *Hamlet on the holodeck: the future of narrative in cyberspace.* Simon and Schuster. New York: The Free Press; 1997.
- Jennett C, Cox AL, Cairns P, Dhoparee S, Epps A, Tijs T, et al. Measuring and defining the experience of immersion in games. *Int J Hum Comput Stud.* 2008;66:641–61.
- Cheng M-T, Lin Y-W, She H-C, Kuo P-C. Is immersion of any value? Whether, and to what extent, game immersion experience during serious gaming affects science learning. *Br J Educ Technol.* 2016. doi:10.1111/bjet.12386.
- Cheng M-T, She H-C, Annetta LA. Game immersion experience: its hierarchical structure and impact on game-based science learning. *J Comput Assist Learn.* 2015;31:232–53.
- Freeman S, Eddy SL, McDonough M, Smith MK, Okoroafor N, Jordt H, et al. Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proc Natl Acad Sci.* 2014;111:8410–5.
- Davis D, O'Brien M, Freemantle N, Wolf FM, Mazmanian P, Taylor-Vaisey A. Impact of formal continuing medical education: do conferences, workshops, rounds, and other traditional continuing education activities change physician behavior or health care outcomes? *JAMA.* 1999;282:867–74.
- Prince M. Does active learning work? A review of the research. *J Eng Educ Wash.* 2004;93:223–32.
- Sitzmann T. A meta-analytic examination of the instructional effectiveness of computer-based simulation games. *Pers Psychol.* 2011;64:489–528.
- Sutton RS. Learning to predict by the methods of temporal differences. *Mach Learn.* 1988;3:9–44.
- O'Doherty JP, Dayan P, Friston K, Critchley H, Dolan RJ. Temporal difference models and reward-related learning in the human brain. *Neuron.* 2003;38:329–37.
- Schultz W, Dayan P, Montague PR. A neural substrate of prediction and reward. *Science.* 1997;275:1593–9.
- Pritchard RD, Jones SD, Roth PL, Stuebing KK, Ekeberg SE. Effects of group feedback, goal setting, and incentives on organizational productivity. *J Appl Psychol.* 1988;73:337–58.
- Kluger AN, DeNisi A. The effects of feedback interventions on performance: a historical review, a meta-analysis, and a preliminary feedback intervention theory. *Psychol Bull.* 1996;119:254–84.
- Lameras P. Essential features of serious games design in higher education. *Learning.* 2015;4:5.
- Katz B, Jaeggi S, Buschkuhl M, Stegman A, Shah P. Differential effect of motivational features on training improvements in school-based cognitive training. *Front Hum Neurosci.* 2014;8:242.
- McGaugh JL. The perseveration-consolidation hypothesis: Mueller and Pilzecker, 1900. *Brain Res Bull.* 1999;50:445–6.
- McGaugh JL. Memory—a century of consolidation. *Science.* 2000;287:248–51.
- Froyen DJW, Bonte ML, van Atteveldt N, Blomert L. The long road to automation: neurocognitive development of letter–speech sound processing. *J Cogn Neurosci.* 2008;21:567–80.
- Shadmehr R, Holcomb HH. Neural correlates of motor memory consolidation. *Science.* 1997;277:821–5.

42. Vlach HA, Sandhofer CM, Kornell N. The spacing effect in children's memory and category induction. *Cognition*. 2008;109:163–7.
43. Goverover Y, Hillary FG, Chiaravalloti N, Arango-Lasprilla JC, DeLuca J. A functional application of the spacing effect to improve learning and memory in persons with multiple sclerosis. *J Clin Exp Neuropsychol*. 2009; 31:513–22.
44. Wang Z, Zhou R, Shah P. Spaced cognitive training promotes training transfer. *Front Hum Neurosci*. 2014;8:217.
45. Kerfoot BP. Learning benefits of on-line spaced education persist for 2 years. *J Urol*. 2009;181:2671–3.
46. Kerfoot BP, Armstrong EG, O'Sullivan PN. Interactive spaced-education to teach the physical examination: a randomized controlled trial. *J Gen Intern Med*. 2008;23:973–8.
47. Kerfoot BP, Kearney MC, Connelly D, Ritchey ML. Interactive spaced education to assess and improve knowledge of clinical practice guidelines: a randomized controlled trial. *Ann Surg*. 2009;249:744–9.
48. Kerfoot BP, Baker H, Pangaro L, Agarwal K, Taffet G, Mechaber AJ, et al. An online spaced-education game to teach and assess medical students: a multi-institutional prospective trial. *Acad Med J Assoc Am Med Coll*. 2012;87:1443–9.
49. Greenhalgh T. How to read a paper: the basics of evidence-based medicine. Chichester: John Wiley & Sons. 2014.
50. Harden RM, Grant J, Buckley G, Hart IR. BEME guide no. 1: best evidence medical education. *Med Teach*. 1999;21:553–62.
51. Graafland M, Schraagen JM, Schijven MP. Systematic review of serious games for medical education and surgical skills training. *Br J Surg*. 2012;99:1322–30.
52. de Freitas S, Oliver M. How can exploratory learning with games and simulations within the curriculum be most effectively evaluated? *Comput Educ*. 2006;46:249–64.
53. Sawyer B. From cells to cell processors: the integration of health and video games. *IEEE Comput Graph Appl*. 2008;28:83–5.
54. Wattanasoontorn V, Boada I, García R, Sbert M. Serious games for health. *Entertain Comput*. 2013;4:231–47.
55. Graafland M, Dankbaar M, Mert A, Lagro J, De Wit-Zuurendonk L, Schuit S, et al. How to systematically assess serious games applied to health care. *JMIR Serious Games* [Internet]. 2014;2. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4307812/>. [cited 23 Jul 2015].
56. Primack BA, Carroll MV, McNamara M, Klem ML, King B, Rich M, et al. Role of video games in improving health-related outcomes: a systematic review. *Am J Prev Med*. 2012;42:630–8.
57. Girard C, Ecalle J, Magnan A. Serious games as new educational tools: how effective are they? A meta-analysis of recent studies. *J Comput Assist Learn*. 2013;29:207–19.
58. Huss K, Winkelstein M, Nanda J, Naumann PL, Sloand ED, Huss RW. Computer game for inner-city children does not improve asthma outcomes. *J Pediatr Health Care*. 2003;17:72–8.
59. Mundell WC, Kennedy CC, Szostek JH, Cook DA. Simulation technology for resuscitation training: a systematic review and meta-analysis. *Resuscitation*. 2013;84:1174–83.
60. Ilgen JS, Sherbino J, Cook DA. Technology-enhanced simulation in emergency medicine: a systematic review and meta-analysis. *Acad Emerg Med Off J Soc Acad Emerg Med*. 2013;20:117–27.
61. Kirkpatrick DL. Evaluating training programs: the four levels. San Francisco; Emeryville: Berrett-Koehler; 1994.
62. Mosley C, Dewhurst C, Molloy S, Shaw BN. What is the impact of structured resuscitation training on healthcare practitioners, their clients and the wider service? A BEME systematic review: BEME guide no. 20. *Med Teach*. 2012;34:e349–85.
63. Cole SW, Yoo DJ, Knutson B. Interactivity and reward-related neural activation during a serious videogame. *PLoS ONE*. 2012;7:e33909.

Submit your next manuscript to BioMed Central and we will help you at every step:

- We accept pre-submission inquiries
- Our selector tool helps you to find the most relevant journal
- We provide round the clock customer support
- Convenient online submission
- Thorough peer review
- Inclusion in PubMed and all major indexing services
- Maximum visibility for your research

Submit your manuscript at  
[www.biomedcentral.com/submit](http://www.biomedcentral.com/submit)



**Serious game versus online course for pretraining medical students before a simulation-based mastery learning course on cardiopulmonary resuscitation:  
A randomised controlled study**

Drummond, D., Delval, P., Abdenouri, S., Truchot, J., Ceccaldi, P. F., Plaisance, P., Hadchouel A. & Tesnière, A. (2017)

European Journal of Anaesthesiology (EJA), 34(12), 836-844.

## ORIGINAL ARTICLE

# Serious game versus online course for pretraining medical students before a simulation-based mastery learning course on cardiopulmonary resuscitation

## *A randomised controlled study*

David Drummond, Paul Delval, Sonia Abdenouri, Jennifer Truchot, Pierre-François Ceccaldi, Patrick Plaisance, Alice Hadchouel and Antoine Tesnière

**BACKGROUND** Although both recorded lectures and serious games have been used to pretrain health professionals before simulation training on cardiopulmonary resuscitation, they have never been compared.

**OBJECTIVE** The aim of this study was to compare an online course and a serious game for pretraining medical students before simulation-based mastery learning on the management of sudden cardiac arrest.

**DESIGN** A randomised controlled trial. Participants were pretrained using the online course or the serious game on day 1 and day 7. On day 8, each participant was evaluated repeatedly on a scenario of cardiac arrest until reaching a minimum passing score.

**SETTING** Department of Simulation in Healthcare in a French medical faculty.

**PARTICIPANTS** Eighty-two volunteer second-year medical students participated between June and October 2016 and 79 were assessed for primary outcome.

**INTERVENTIONS** The serious game used was *Staying Alive*, which involved a 3D realistic environment, and the online course involved a PowerPoint lecture.

**MAIN OUTCOME MEASURES** The median total training time needed for students to reach the minimum passing score on day 8. This same outcome was also assessed 4 months later.

**RESULTS** The median training time (interquartile range) necessary for students to reach the minimum passing score was similar between the two groups: 20.5 (15.8 to 30.3) minutes in the serious game group versus 23 (15 to 32) minutes in the online course group,  $P=0.51$ . Achieving an appropriate degree of chest compression was the most difficult requirement to fulfil for students in both groups. Four months later, the median training time decreased significantly in both groups, but no correlation was found at an individual level with the training times observed on day 8.

**CONCLUSION** The serious game used in this study was not superior to an online course to pretrain medical students in the management of a cardiac arrest. The absence of any correlation between the performances of students evaluated during two training sessions separated by 4 months suggests that elements such as chest compression can only be learned by simulation-based training.

**TRIAL REGISTRATION** ClinicalTrials.gov-NCT02758119.

Published online xx month 2017

## Introduction

Sudden cardiac arrest (SCA) is one of the leading causes of death in Europe and United States, with more than 500 000 individuals affected every year in each of these regions.<sup>1–3</sup> Early cardiopulmonary resuscitation (CPR) is

associated with improved survival in both out-of-hospital and in-hospital cardiac arrests.<sup>4,5</sup> International guidelines recommend that CPR should be taught to all healthcare providers.<sup>6,7</sup>

From the Ilumens Simulation Department, Paris Descartes University (DD, PD, SA, JT, P-FC, PP, AH, AT); Paediatric Pulmonology, Necker-Enfants Malades Hospital (DD, AH); Emergency Department, Lariboisiere Hospital (JT, PP); Department of obstetrics and gynecology, Beaujon, AP-HP, Clichy and Paris Diderot University (P-FC); Risks in Pregnancy, University Hospital Department, Paris Descartes University (P-FC); and Surgical Intensive Care Unit, Cochin Hospital, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris, Paris, France (AT)

Correspondence to David Drummond, MD, Ilumens Simulation Department, Paris Descartes University, 45 rue des Saint Pères, 75006 Paris, France  
Tel: +33176530100; e-mail: david.drummond@ilumens.org



Simulation training is considered as an essential part of CPR training.<sup>6,7</sup> The most effective training involves deliberate practice and mastery learning, that is the possibility for learners to practice on manikins until mastery is achieved.<sup>8–10</sup> However, such training is difficult to implement because it requires increased learning times,<sup>10</sup> while faculty time is a scarce resource.<sup>11</sup> Adding a pretraining session, completed autonomously by learners before the mastery learning course, has been shown to decrease the learning times during subsequent simulation training sessions for laparoscopic surgery<sup>12,13</sup> and central venous catheterisation training,<sup>14</sup> as well as increasing post test performance in CPR training.<sup>15–17</sup>

Recorded lectures and serious games represent interesting ways to pretrain nursing and medical students. Recorded lectures were shown to be effective in teaching medical content.<sup>18–20</sup> They often consist of a PowerPoint presentation with voiceover narration, and have been used to pretrain healthcare providers before a simulation session on airway management.<sup>18</sup> Another modality for pretraining is represented by serious games. Serious games promote active learning, which is associated with better learning outcomes in scientific domains,<sup>21</sup> and experiential learning when they include a 3D realistic environment close to real life.<sup>22</sup> Several serious games have been designed and evaluated in the field of resuscitation.<sup>15–17,23,24</sup> Three studies used serious games as pretraining tools before a simulation session.<sup>15–17</sup> All were associated with at least small improvements in adherence to guidelines when participants were assessed during a simulated scenario of cardiac arrest.

To our knowledge, although both recorded lectures and serious games have been used to pretrain health professionals before simulation training, these have never been compared. The objective of this study was to compare the effectiveness of these two modalities for pretraining second-year medical students before a simulation training session on CPR. The main outcome was the median training time necessary for students to reach a minimum passing score.

## Materials and methods

A prospective, simulation-based, randomised controlled trial was conducted in the Department of Simulation in Healthcare 'iLumens' in Paris Descartes University (France). This research was not considered as biomedical research and qualified as exempt research by the Institutional Review Board of Saint Antoine Hospital (CPP Ile de France 5, Paris, France, Chairperson J.J. Boffa, no. 16148, on 7 June 2016). It was registered in ClinicalTrials.gov (Identifier NCT02758119).

### Participants and randomisation

Participants were second-year medical students from two French medical faculties (Paris Descartes and Paris Diderot) who participated voluntarily between 11 June

2016 and 29 October 2016. All students aged more than 18 years were eligible. Recruitment took place through E-mails and directly during their courses. Written consent was obtained and demographic data were collected from the participants. All participants had a 1-h course on the epidemiology of SCA and its management during their first year of studies: this did not include a hands-on session.

Participants were randomised in blocks of four and assigned into two groups: the 'online course' and the 'serious game' groups. The simulation clinical educator (D.D.) used online software (<http://www.randomization.com/>) to create the random list of numbers used for the allocation of participants, and E.F. assigned participants to interventions.

### Study design and interventions

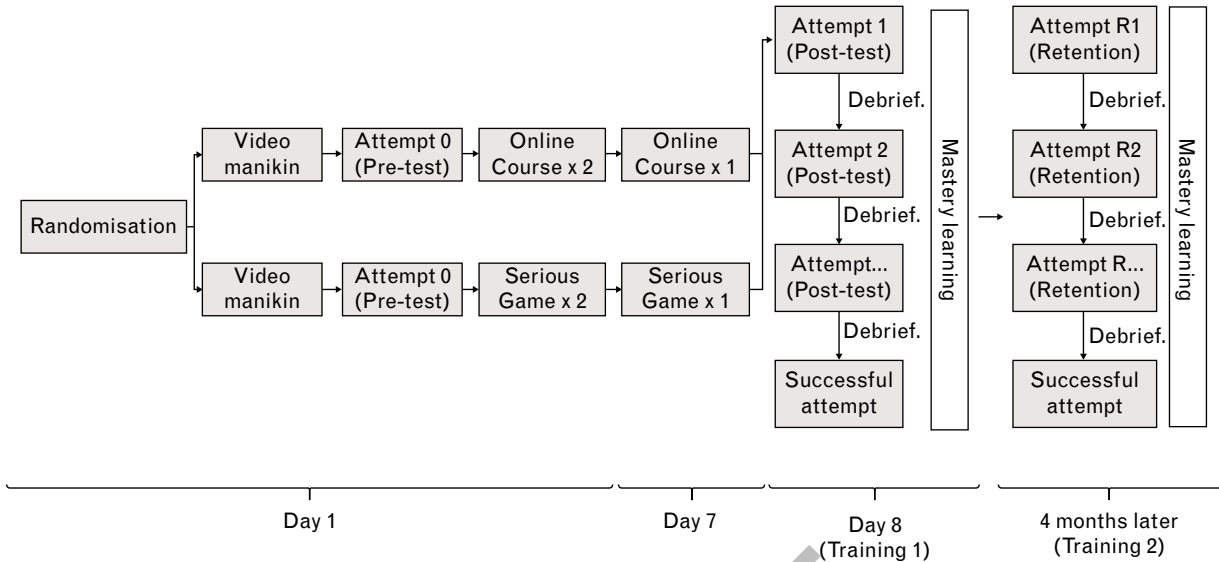
The study design is presented in Fig. 1. After randomisation (Day 1), participants started by watching a 5-min video on the features of the Resusci Anne Q CPR (Laerdal Medical, Stavanger, Norway) used for the study. Then, they were evaluated individually on a 5-min simulated scenario of cardiac arrest to assess their baseline level (Attempt 0, pretest). No debriefing was provided and participants were then asked to complete a questionnaire on their characteristics (Table S1, <http://links.lww.com/EJA/A124>). Then, the participants randomised to the online course group watched a video recorded lecture on the management of adult cardiac arrest, while the participants in the serious game group played level 1 of the serious game *Staying alive*.

The video-recorded lecture was a PowerPoint presentation with voiceover narration that was recorded 1 year before during a course on the management of SCA for third-year medical students. The video was edited to keep the same information as in the serious game. It did not include any demonstration of the management of a cardiac arrest, but only described how to diagnose a cardiac arrest and the actions to be performed (Fig. 2a). Its edited version lasted 4 min and 14 s.

The serious game used was a point and click game displayed on a computer and called 'Staying Alive' ([http://www.stayingalive.fr/index\\_us.html](http://www.stayingalive.fr/index_us.html)). This game was developed to teach the general public and health professionals how to manage SCA. The player, confronted by a man who has just experienced a cardiac arrest, learns the appropriate behaviour, movements and techniques that can contribute to saving his life. The actions of the players are guided throughout the game, and individuals who play it for the first time complete the first level in 4 to 5 min (Fig. 2b). Both the video and the serious game were watched/played twice, for a total time of approximately 8 min.

On day 7, participants were asked to return to watch or play the recorded lecture/the serious game once more, for approximately 4 min.

Fig. 1



Study design. Debrief, debriefing.

On day 8, corresponding to Training 1 (T1), participants were trained individually on the management of a cardiac arrest using a low-fidelity manikin (ResusciAnne Q CPR). Following the principles of mastery learning, they repeated their management on the same scenario of a simulated cardiac arrest until they reached a minimum passing score, see Table 1. A debriefing in the form of a terminal directive feedback was provided for approximately 5 min by the instructors after each attempt. The instructors reviewed with the participant all the actions performed in the light of their checklist, detailing both correct and incorrect actions. Participants alternated between simulation and debriefing phases until they reached the minimum passing score. If after two attempts, the passing score was not reached, participants had a 20-min break to recover from their efforts. If after the fourth attempt, the minimum passing score was still not obtained, participants were asked to come back

within 5 days for two additional attempts. A maximum of six attempts was allowed.

Four months later, students participated in a second training (T2) similar to T1.

#### Description of the simulated scenario

One unique simulated scenario of cardiac arrest was used throughout: for the first evaluation before the pretraining session (attempt 0), and all the subsequent attempts necessary to reach the minimum passing score. The complete description of the scenario is presented in Table S2 (e-methods, <http://links.lww.com/EJA/A124>). Briefly, medical students were required to manage a 45-year-old patient with SCA in a private medical office.

When the student entered the simulation room, the manikin was lying on the floor, unconscious, not responding to stimulation and with no respiratory effort or pulse.

Fig. 2



Representation of the pretraining recorded lecture. (a) Representative slide of the PowerPoint online course with voiceover narration. (b) Representative image of the serious game 'Staying Alive', which was played by participants.

**Table 1** Checklist used to determine a performance score for SCA management

Action	0 point	1 point	2 points
Recognizes SCA (Gently shake shoulders + Ask loudly 'are you all right' + Check breathing) within 30 s	Incompletely or not done	Done	
Calls emergency services within 60 s	Incompletely or not done	Done	
Calls for help and sends the facilitator to get AED within 60 s	Incompletely or not done	Done	
Chest compressions		Specific score	
Automated external defibrillator	- Not used - Incorrectly used (incorrect electrode placement, shock not delivered).	Correctly used	
Sequence score (out of 4)		Minimum = 4	
Chest compressions		Compression score	
Flow fraction	<50%	50 to 75%	>75%
Percentage of compressions with correct hands position	<50%	50 to 75%	>75%
Percentage of compressions with correct rate (100 to 120 min <sup>-1</sup> )	<50%	50 to 75%	>75%
Percentage of compressions with correct depth (5 to 6 cm)	<50%	50 to 75%	>75%
Compression score (out of 8)		Minimum = 7	
Total score (out of 12)		Minimum = 11	

The minimum score to pass was 11 out of 12, with the necessity to achieve the maximum score on the sequence score (4 out of 4). AED, automated external defibrillator; SCA, sudden cardiac arrest.

Participants were expected to recognise the cardiac arrest, call the medical emergency services, ask for the help of the secretary, ask for an automated external defibrillator (AED), provide chest compressions and deliver a shock. A facilitator played the role of the secretary and could call the emergency medical services or bring an AED if asked to, but could not perform chest compressions because of a broken arm. The facilitator entered the room with the AED only when the participant had performed 2 min of chest compressions. The scenario ended with the arrival of an emergency team just after the first shock or after 4 min if the shock had not been delivered.

### Data collection and outcomes

The main outcome was the median training time needed by students to reach the minimum passing score during the hands-on session on day 8. The total training time for each participant, calculated using a stopwatch, corresponded to the total amount of time dedicated to the different attempts and their debriefings. It excluded the time allowed for the students to recover from their efforts after the second and the fourth attempts.

Secondary outcomes included the median performance score of students on attempt 1, which occurred just after the pretraining, and the median performance score evaluated 4 months later. The median number of attempts to reach the minimum passing score was also recorded.

Three video cameras fixed on the ceiling recorded the simulated scenarios and the actions of the participants were later assessed using a custom-designed checklist (Table 1). This checklist was adapted from the 2015 resuscitation guidelines.<sup>25</sup> Points were given for the actions performed correctly in sequence and in time (sequence score, out of 4), and for the quality of the chest compressions (compression score, out of 8). The minimum passing score on this checklist was 11 out of 12,

with the absolute requirement to score the maximum 4 points on the sequence score.

Three instructors (D.D., P.D., S.A.) were involved in the rating of participant's actions. D.D. is a paediatrician who worked on the management of paediatric cardiopulmonary arrest,<sup>26</sup> P.D is a resident in anaesthesiology and S.A. is a nurse anaesthetist. All are qualified instructors in simulation. Any two instructors, blinded to the participant allocation, independently rated both the actions of the participants and the sequence of events in real time. When there was a disagreement on a specific action, the video was reviewed by the instructors in order to reach agreement. The compression score was calculated on the basis of the information provided by the Resusci Anne Skills Software (flow fraction, hands position, rate and depth of the compressions performed).

### Statistical analysis

#### Sample size

We performed a sample size calculation on the basis of the following assumptions: two-tailed alpha of 0.05, power of 80% and a median training time of 20 min (three to four attempts) in the online course group with a standard deviation of 7 min. These lengths of time were determined on the basis of the results of a pilot study involving 10 preclinical medical and nursing students. A difference of 5 min in the median training times would be of significance. The calculation suggested that at least 62 individuals (31 in each arm) should be enrolled. Because we expected that some students would be lost to follow-up due to the numerous appointments in the laboratory, we increased our sample to 80.

Data were collected in Microsoft Excel (Redmond, Washington, USA) and analysed with GraphPad prism software v5.03 (La Jolla, California, USA). The distribution of continuous data was assessed with the Shapiro–Wilk test. Median values and interquartile ranges (IQRs)

are reported, and cohorts were compared with Mann–Whitney  $U$  tests. Categorical data were compared using the Fisher exact test. Kaplan–Meier survival curves were used to present the percentage of students who reached the minimum passing score per attempt and compared with the log-rank test. The Cohen’s kappa coefficient was calculated to assess the inter-rater reliability of the items of the checklist developed for the study, and Spearman’s rank correlation coefficient was used to compare the median training time and the number of attempts, and the median training time at day 8 and 4 months.

## Results

A total of 82 participants were included in the study conducted between the 11 June 2016 and 29 October 2016 (77 from Paris Descartes and five from Paris Diderot University). The characteristics of the students are presented in supplementary table S3, <http://links.lww.com/EJA/A124>. Of the 82 participants, 41 were randomly assigned to each of the groups (Fig. 3). Two participants in the online course and one in the serious game group did not attend T1 on day 8, and four other participants (two in each group) did not attend T2 4 months later (Fig. 3).

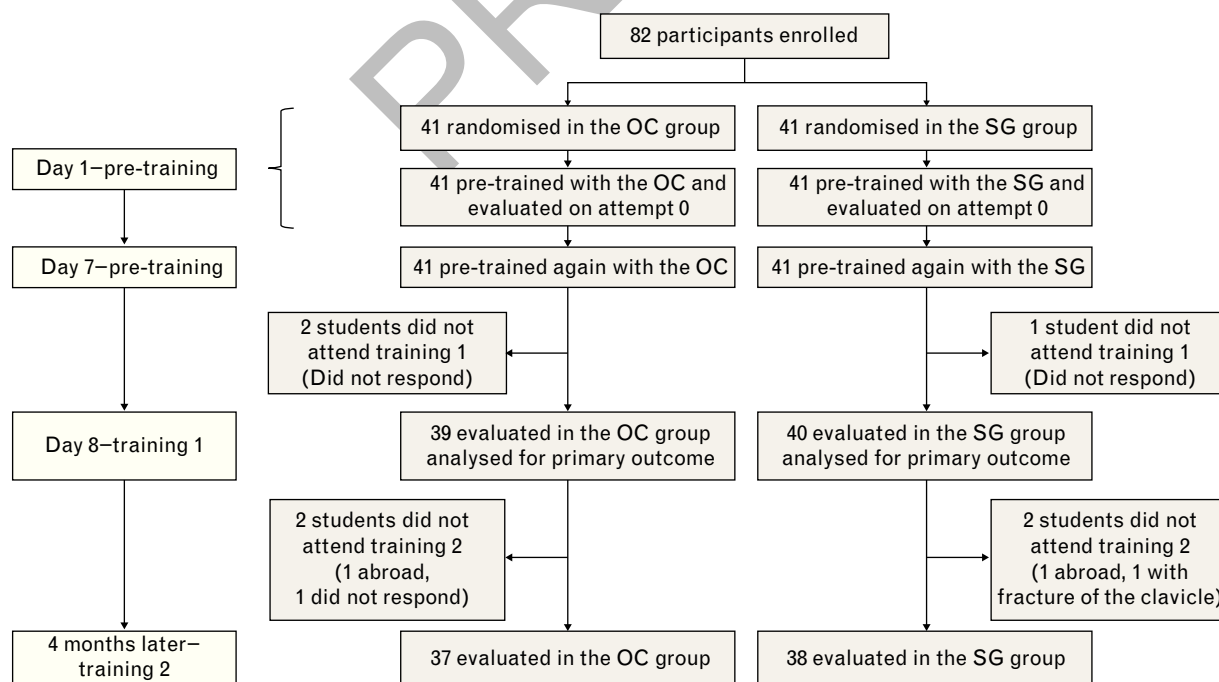
Median training times were correlated highly with the number of attempts [Spearman  $r=0.96$ , 95% confidence interval (CI), 0.94 to 0.97].

On T1, the median training time necessary for students to reach the minimum passing score was similar between the two groups: 20.5 (IQR, 15.8 to 30.3) min in the serious game group versus 23 (15 to 32) min in the online course group,  $P=0.51$  (Fig. 4a). These training times corresponded to a median number of attempts of 3 (2 to 5) and 4 (2 to 5) in the serious game and online course groups, respectively ( $P=0.52$ , Fig. 4b, c). Three students in each group failed to obtain the minimum passing score after six attempts. These six female students all failed to provide more than 50% of compressions with the appropriate depth. They all participated in T2.

On T2 4 months later, the median training time decreased significantly in both groups to 11.7 (10.7 to 17.0) min in the serious game group and 12.1 (10.2 to 21.5) min in the online course group ( $P=0.78$  between groups,  $P<0.001$  for comparison between training 1 and 2 for both groups, Fig. 4a). This corresponded with a median number of two (two to three) and two (two to four) attempts in the serious game and online course groups, respectively ( $P=0.60$ , Fig. 4b, c). One student in the online course group who failed to reach the minimum passing score during T1 because of inappropriate compression depth failed again during T2.

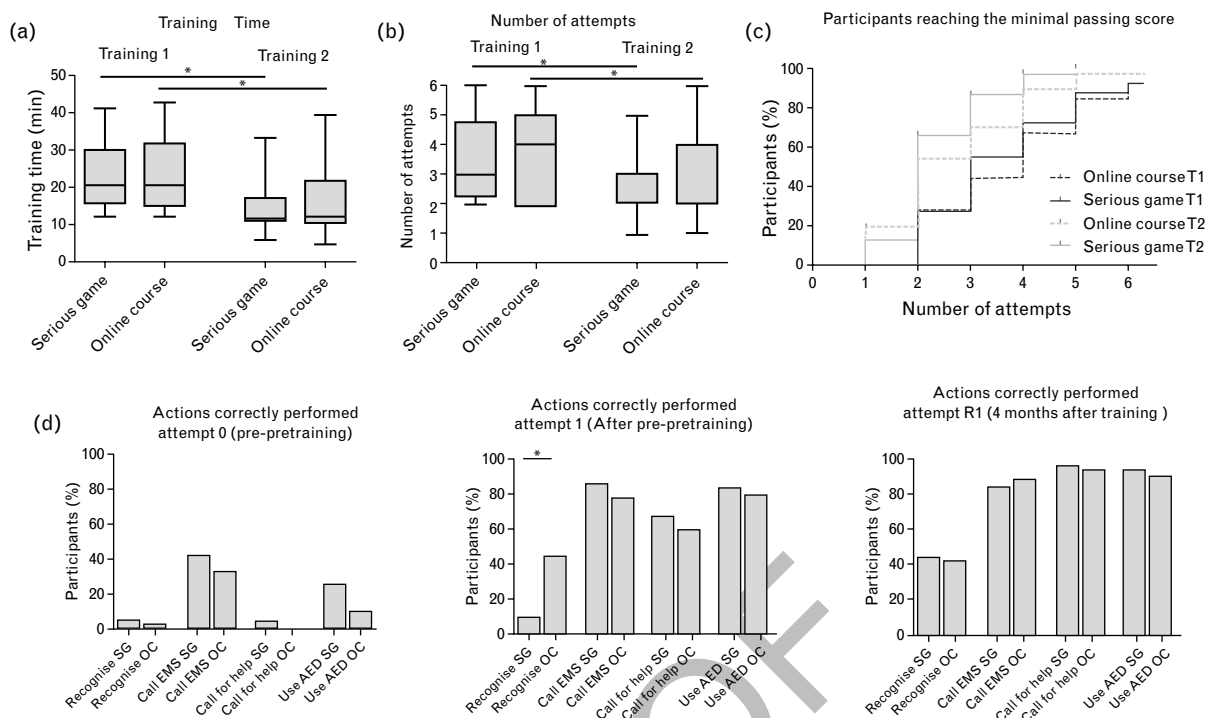
Achieving an appropriate compression depth was the most difficult requirement to fulfil for students in both groups and during both trainings (Fig. S1). Among all the participants, 22 students (28%) required more than

Fig. 3



Study flow: participant recruitment and dropouts. OC group, online course group; SG group, serious game group.

Fig. 4



Students' performances on the sudden cardiac arrest scenario, with training times and number of attempts needed to reach the minimum passing score. (a) Median training time necessary for students to reach the minimum passing score during training 1 (Day 8) and training 2 (4 months later). (b) Median number of attempts necessary for students to reach the minimum passing score during training 1 (Day 8) and training 2 (4 months later). For both (a) and (b), the thick horizontal lines represent the median values and the lower and upper boundaries of the boxes indicate the interquartile range. The error bars encompass data points lying between the 2.5th and 97.5th percentiles. \* $P < 0.01$ . (c) Survival curves for the number of attempts needed to reach the minimum passing score. T1, Training 1 (day 8); T2, Training 2 (4 months).  $P < 0.001$  for overall comparison between curves.  $P < 0.01$  for comparison between curves of the online course group at T1 and T2, and for comparison between curves of the serious game group at T1 and T2. Differences between the groups 'online course' and 'serious game' are not statistically significant at T1 and T2. (d) Percentage of participants who correctly performed each action recommended by the European Resuscitation Council guidelines, before any pretraining, just after pretraining and 4 months after the training session. AED, automated external defibrillator; EMS, emergency medical services; OC, Online Course group; SG, Serious Game group. \* $P < 0.001$  for recognition of cardiac arrest on T1.

three attempts to reach a correct compression depth (Fig. S1-B).

Mastery learning allowed students to reach a homogeneous high level of competence at the end of T1 (with all but six students reaching the minimum passing score), at the cost of a large heterogeneity in training times. The large heterogeneity in training times persisted among students during T2 [Median (IQR), (minimum to maximum): 12 (11 to 17), (5 to 39) min, even if lower than during T1 [22 min (15 to 32), (12 to 43)] min (Fig. 4a). Moreover, there was no correlation in individual training times between T1 and T2 [ $r = 0.08$ , 95% CI (-0.15 to 0.3),  $P = 0.47$ ]. This reflects the fact that some students who required several attempts during the first training session needed just one or two attempts 4 months later, and conversely, that some students who needed just two or three attempts during the first session required several more attempts 4 months later.

On attempt 0, before any pretraining, the median performance score of students (out of 12) was similar between

groups: 4 (3 to 5) in the serious game group and 3 (2 to 5) in the online course group,  $P = 0.33$ . Students did not differ on the items of the sequence score (Fig. 4d1), or in the quality of the compressions delivered (Table 2).

On attempt 1, just after the pretraining, the median performance score of students increased in both groups to 6 (4 to 8) in the serious game and 6 (5 to 7) in the online course groups,  $P = 0.75$ . Compared with the serious game group, more students in the online course group performed all the steps to diagnose the cardiac arrest [shaking the shoulders, asking the victim if he was all right and checking breathing], 18/39 versus 4/40,  $P < 0.001$ , Fig. 4d2].

On attempt R1, 4 months later, the median performance score of students reached 9 (8 to 10) in both groups ( $P = 0.61$ ).

The inter-rater reliability on the performance of students assessed by the items on the checklist was excellent, with an average Cohen's  $\kappa$  of 0.87 (Table S4, <http://links.lww.com/EJA/A124>).

**Table 2** Compression characteristics in the Serious Game and the Online Course groups

Evaluation group	Attempt 0 (prepretraining)		Attempt 1 (postpretraining)		<i>P</i> <sup>a</sup>	Attempt R1 (4 months)		<i>P</i> <sup>a</sup>
	Serious game <i>n</i> = 40	Online course <i>n</i> = 39	Serious game <i>n</i> = 40	Online course <i>n</i> = 39		Serious game <i>n</i> = 38	Online course <i>n</i> = 37	
Percentage of flow	77 [40 to 96]	71 [43 to 89]	98* [89 to 100]	97* [90 to 100]	0.73	100*** [100 to 100]	100*** [100 to 100]	0.55
Percentage of compression with correct hand position	100 [14 to 100]	100 [21 to 100]	100 [78 to 100]	95 [17 to 100]	0.07	100*** [100 to 100]	100*** [100 to 100]	0.52
Percentage of compressions with correct depth	0 [0 to 8]	0 [0 to 11]	15* [0 to 74]	9* [1 to 58]	0.77	59*** [28 to 70]	56*** [30 to 71]	0.89
Mean depth [mm]	36 [28 to 41]	32 [23 to 41]	40* [33 to 51]	43* [34 to 54]	0.60	51*** [47 to 55]	55*** [52 to 59]	0.01
Percentage of compression with correct rate	9 [0 to 44]	8 [0 to 48]	6 [0 to 39]	10 [0 to 49]	0.36	70*** [15 to 96]	80*** [33 to 96]	0.62
Mean rate (min <sup>-1</sup> )	97 [78 to 115]	96 [70 to 114]	102 [89 to 115]	113* [93 to 130]	0.10	102 [96 to 114]	104* [98 to 111]	0.94
Percentage of compressions adequate release	62 [8 to 96]	48 [14 to 93]	72 [28 to 99]	57 [7 to 99]	0.20	93 [30 to 99]	98** [83 to 100]	0.04

The compressions delivered during attempt R1 were of higher quality than during attempt 1 because attempt 1 was followed by the simulation training on CPR that required students to master chest compressions by the end of T1. Medians are presented with their interquartile range. <sup>a</sup>*P* values correspond to the values observed after comparison between the serious game and the online course during each attempt (1 and R1, respectively). \**P* < 0.05 for comparison between attempt 1 and attempt 0 within the same group (serious game or online course). \*\**P* < 0.05 for comparison between attempt R1 and attempt 0 within the same group (serious game or online course).

## Discussion

Despite a growing number of theoretical considerations advocating that serious games are more effective than lectures, our study failed to demonstrate a difference in terms of training time between the serious game 'Staying Alive' and a recorded video lecture when used as pre-training tools. Our study also revealed, using the records of the ResusciAnne Skills Software, that most of our students had difficulties in reaching an appropriate depth of chest compression, that is more than 50 mm as recommended by the 2015 international guidelines.<sup>25,27</sup> Because of this homogeneity in performance at the end of T1, we expected the training times required during T2 to be similar between students, but this study demonstrates that some elements of CPR can only be partially learned and retained: no correlation was found between the individual training times at 1 week (T1) and 4 months (T2) and the homogeneity in students' performance at the end of T1 did not result in homogeneity of training times 4 months later.

The other studies that used a serious game as an adjunct to CPR training found that compliance with guidelines was slightly better for students who were pretrained with a serious game.<sup>15–18</sup> However, these studies did not include a control group with another modality of pre-training, nor did they involve simulation-based mastery learning.<sup>15–17</sup>

We expected students in the serious game group to learn faster during the subsequent physical simulation session than their peers who were pretrained with the online course, because it has been suggested that serious games which actively engage students in learning activities are more effective than lectures.<sup>28</sup> Instead, we found that both groups improved their performance similarly. This may be explained by the limited gameplay of Staying Alive: the player need not be much engaged, as mostly all that was required of the player was a simple click of the

mouse to move on to the next step. The only real choices made by the player were the hand position and the chest compression rate. These actually improved more (but not significantly so) in the serious game group than in the online course group on attempt 1. These results are in line with those of a meta-analysis, which found that simulation games were more effective than passive instruction only when the majority of the instructions in the game were active.<sup>29</sup> Therefore, students' performances in the serious game group may have been better if they had been pretrained with a more interactive serious game.

More students in the online course group performed correctly the three actions required to recognise a cardiac arrest on attempt 1. These three actions were clearly stated on the first slide of the online course, whereas in the serious game, they were integrated during the call to the emergency medical services, with the dispatcher asking whether the victim was moving, responding and/or breathing. The lower performance of students in the serious game group may be a consequence of the fact that, during the simulation session, the dispatcher did not orientate the students to recognise the cardiac arrest. Overall, the item 'recognition of cardiac arrest' was difficult to master in both groups because many students forgot to perform at least one of the three actions required. We also observed that after the pretraining, many students began immediately by providing CPR and forgot the recognition step because they were already aware of the diagnosis.

This study also highlights the difficulty for future health-care providers to provide high-quality chest compression. Providing chest compressions with an accurate rate and depth were the most difficult items for students to complete during the study, as for health professionals in real situations.<sup>30,31</sup> We set high expectations regarding compression quality because compression rate and depth

are determinants of survival from cardiac arrest.<sup>32,33</sup> However, the lower threshold of 50 mm set for compression depth was hard to achieve for most of our students.

Finally, this study provides new information on the long-term performance that can be expected after simulation-based mastery learning. We expected that after the simulation-based mastery learning, our students would reach a homogeneous high level of performance at the end of T1, and that they would all reach the minimum passing score during T2 with similar training times.<sup>10</sup> However, in contrast to our expectations, a large heterogeneity in training times among students persisted during T2. This was the consequence of the heterogeneity observed for the items 'compression rate' and 'compression depth', because these two items were the main limiting factors for achieving the minimum passing score. Moreover, we found no correlation at the individual student level between the training times observed during T1 and T2, implying that high performers during T1 became poor performers during T2 and vice versa. This lack of a correlation between T1 and T2 performances was linked to the difficulty students had in delivering adequate chest compressions with the appropriate rate and depth. Several of them seemingly reached the minimum passing score 'by chance', in that they 'found' the appropriate rate and depth during T1 but were unable to reproduce this same performance during T2. This highlights how difficult it is for students to self-evaluate their compression rate and depth, and supports the use of CPR feedback devices, from simple metronomes to more complex audio-video systems.<sup>34–36</sup>

Our study has several limitations. First, the comparison of the two pretraining modalities would have benefited from a third control group without any pretraining in order to ensure the effectiveness of the pretraining proposed. However, it is unlikely that such a control group would have obtained similar results to those observed in the pretraining groups, because there is ample evidence that some time spent learning something (as during a pre-training) results in more learning than no time spent learning something.<sup>37</sup> All the studies that compared serious games as pretraining tools compared with no intervention found improvements in adherence to guidelines.<sup>15–17</sup> Second, the results of our study may not be generalisable to other settings. We used a specific serious game, 'Staying Alive', and a specific recorded lecture from our faculty. Readers can gain a better understanding of the features of the serious game used, as it is freely available on the internet ([http://www.stayingalive.fr/index\\_us.html](http://www.stayingalive.fr/index_us.html)), and can be used in English, Russian and Hebrew. Third, a limit to the generalisation of our results was the monocentric nature of our study. Fourth, this was a simulation study and, as such, its results may not be generalisable to real-life conditions. Finally, our checklist may be improved by changing the 'flow fraction' item to 'flow  $\leq 75\%$  = 0 point; flow  $>75\%$  = 2 points'

in order to avoid students from obtaining the minimum passing score with a flow fraction of only 50 to 75%, even if we did not observe such a situation during this study.

Future studies should continue to question whether serious games are the most cost-effective approach for teaching CPR. Developing and updating serious games involves much higher costs than using an online course or distributing leaflets to participants. We observed that the sequence of actions to be performed when managing cardiac arrest was not taught better by a serious game than by an online course. Serious games may be more interesting in situations wherein the decision algorithms are more complex and require the learner to explore different options, such as during the management of chest pain.

The two pretraining modalities tested in this study, a serious game and a recorded lecture, resulted in similar learning times during the subsequent hands-on simulation-based mastery training of CPR. The homogeneous level of performance obtained among students by the end of the first session of simulation-based mastery learning was not reflected in training times 4 months later. This suggests that some elements in the management of cardiac arrest such as compression depth can only be partially learned by simulation-based mastery learning, and supports the use of CPR feedback devices.

### Acknowledgements relating to this article

Assistance with the article: volunteers who participated in this study are thanked for their time and enthusiasm. The authors also thank Guillaume Escouboué for his technical assistance throughout the study, and Sylviane Frédéric, Valérie Floch and Emeline d'Angelo for their help in the management of the simulation rooms.

Financial support and sponsorship: none.

Conflict of Interest: all the authors work at the Ilumens Simulation Department, Paris Descartes University, where the serious game 'Staying Alive' evaluated in the study was developed.

Presentation: the study was conducted between 11 June 2016 and the 29 October 2016.

### References

- 1 Writing Group Members Mozaffarian D, Benjamin EJ, Go AS, *et al.* Heart disease and stroke statistics: 2016 update: a report from the American Heart Association. *Circulation* 2016; **133**:e38–e360.
- 2 Berdowski J, Berg RA, Tijssen JGP, *et al.* Global incidences of out-of-hospital cardiac arrest and survival rates: systematic review of 67 prospective studies. *Resuscitation* 2010; **81**:1479–1487.
- 3 Gräsner JT, Herlitz J, Koster RW, *et al.* Quality management in resuscitation: towards a European cardiac arrest registry (EuReCa). *Resuscitation* 2011; **82**:989–994.
- 4 Hasselqvist-Ax I, Riva G, Herlitz J, *et al.* Early cardiopulmonary resuscitation in out-of-hospital cardiac arrest. *N Engl J Med* 2015; **372**:2307–2315.
- 5 Ornato JP, Peberdy MA, Reid RD, *et al.* Impact of resuscitation system errors on survival from in-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 2012; **83**:63–69.
- 6 Greif R, Lockey AS, Conaghan P, *et al.* European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015: Section 10. Education and implementation of resuscitation. *Resuscitation* 2015; **95**:288–301.
- 7 Bhanji F, Donoghue AJ, Wolff MS, *et al.* Part 14: Education. *Circulation* 2015; **132**:S561–S573.

- 8 Ericsson KA. Deliberate practice and the acquisition and maintenance of expert performance in medicine and related domains. *Acad Med J Assoc Am Med Coll* 2004; **79**:S70–S81.
- 9 Wayne DB, Butter J, Siddall VJ, *et al*. Mastery learning of advanced cardiac life support skills by internal medicine residents using simulation technology and deliberate practice. *J Gen Intern Med* 2006; **21**:251–256.
- 10 Cook DA, Brydges R, Zendejas B, *et al*. Mastery learning for health professionals using technology-enhanced simulation: a systematic review and meta-analysis. *Acad Med* 2013; **88**:1178–1186.
- 11 Doughty CB, Kessler DO, Zuckerbraun NS, *et al*. Simulation in pediatric emergency medicine fellowships. *Pediatrics* 2015; **136**:e152–e158.
- 12 Rosenthal ME, Castellvi AO, Goova MT, *et al*. Pretraining on Southwestern stations decreases training time and cost for proficiency-based fundamentals of laparoscopic surgery training. *J Am Coll Surg* 2009; **209**:626–631.
- 13 Stefanidis D, Hope WW, Korndorffer JR, *et al*. Initial laparoscopic basic skills training shortens the learning curve of laparoscopic suturing and is cost-effective. *J Am Coll Surg* 2010; **210**:436–440.
- 14 Cheung JJH, Koh J, Brett C, *et al*. Preparation with web-based observational practice improves efficiency of simulation-based mastery learning. *Simul Healthc* 2016; **11**:316–322.
- 15 Creutzfeldt J, Hedman L, Felländer-Tsai L. Effects of pretraining using serious game technology on CPR performance: an exploratory quasi-experimental transfer study. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 2012; **20**:79.
- 16 Cook NF, McAloon T, O'Neill P, *et al*. Impact of a web based interactive simulation game (PULSE) on nursing students' experience and performance in life support training—a pilot study. *Nurse Educ Today* 2012; **32**:714–720.
- 17 Boada I, Rodriguez-Benitez A, Garcia-Gonzalez JM, *et al*. Using a serious game to complement CPR instruction in a nurse faculty. *Comput Methods Programs Biomed* 2015; **122**:282–291.
- 18 Alam F, Boet S, Piquette D, *et al*. E-learning optimization: the relative and combined effects of mental practice and modeling on enhanced podcast-based learning—a randomized controlled trial. *Adv Health Sci Educ Theory Pract* 2016; **21**:789–802.
- 19 Bhatti I, Jones K, Richardson L, *et al*. E-learning vs lecture: which is the best approach to surgical teaching? *Colorectal Dis* 2011; **13**:459–462.
- 20 Ruiz JG, Mintzer MJ, Leipzig RM. The impact of E-learning in medical education. *Acad Med J Assoc Am Med Coll* 2006; **81**:207–212.
- 21 Freeman S, Eddy SL, McDonough M, *et al*. Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proc Natl Acad Sci* 2014; **111**:8410–8415.
- 22 Kolb AY, Kolb DA. Learning styles and learning spaces: enhancing experiential learning in higher education. *Acad Manag Learn Educ* 2005; **4**:193–212.
- 23 Wattanasoontorn V, Boada I, Sbert M, *et al*. AP133: LISSA a serious game to teach CPR and use of AED. *Resuscitation* 2014; **85**:S72.
- 24 Buttussi F, Pellis T, Cabas Vidani A, *et al*. Evaluation of a 3D serious game for advanced life support retraining. *Int J Med Inf* 2013; **82**:798–809.
- 25 Perkins GD, Handley AJ, Koster RW, *et al*. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015: Section 2. Adult basic life support and automated external defibrillation. *Resuscitation* 2015; **95**:81–99.
- 26 Drummond D, Arnaud C, Thouvenin G, *et al*. An innovative pedagogic course combining video and simulation to teach medical students about pediatric cardiopulmonary arrest: a prospective controlled study. *Eur J Pediatr* 2016; **175**:767–774.
- 27 Kleinman ME, Brennan EE, Goldberger ZD, *et al*. Part 5: adult basic life support and cardiopulmonary resuscitation quality. *Circulation* 2015; **132**:S414–S435.
- 28 Garris R, Ahlers R, Driskell JE. Games, motivation, and learning: a research and practice model. *Simul Gaming* 2002; **33**:441–467.
- 29 Sitzmann T. A meta-analytic examination of the instructional effectiveness of computer-based simulation games. *Pers Psychol* 2011; **64**:489–528.
- 30 Abella BS, Alvarado JP, Myklebust H, *et al*. Quality of cardiopulmonary resuscitation during in-hospital cardiac arrest. *JAMA* 2005; **293**:305–310.
- 31 Abella BS, Sandbo N, Vassilatos P, *et al*. Chest compression rates during cardiopulmonary resuscitation are suboptimal: a prospective study during in-hospital cardiac arrest. *Circulation* 2005; **111**:428–434.
- 32 Idris AH, Guffey D, Pepe PE, *et al*. Chest compression rates and survival following out-of-hospital cardiac arrest. *Crit Care Med* 2015; **43**:840–848.
- 33 Vadeboncoeur T, Stolz U, Panchal A, *et al*. Chest compression depth and survival in out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 2014; **85**:182–188.
- 34 Yeung J, Meeks R, Edelson D, *et al*. The use of CPR feedback/prompt devices during training and CPR performance: a systematic review. *Resuscitation* 2009; **80**:743–751.
- 35 Kern KB, Stickney RE, Gallison L, *et al*. Metronome improves compression and ventilation rates during CPR on a manikin in a randomized trial. *Resuscitation* 2010; **81**:206–210.
- 36 Cheng A, Brown LL, Duff JP, *et al*. Improving cardiopulmonary resuscitation with a CPR feedback device and refresher simulations (cpr cares study): a randomized clinical trial. *JAMA Pediatr* 2015; **169**:137–144.
- 37 Cook DA. If you teach them, they will learn: why medical education needs comparative effectiveness research. *Adv Health Sci Educ Theory Pract* 2012; **17**:305–310.



## Supplemental Material

David Drummond<sup>a,b</sup>, MD ; Paul Delval<sup>a</sup>, MD; Sonia Abdenouri<sup>a</sup>, RN; Jennifer Truchot<sup>a,c</sup>, MD; Pierre-François Ceccaldi<sup>a,d,e</sup> MD, PhD; Patrick Plaisance<sup>a,c</sup>, MD, PhD; Alice Hadchouel<sup>a,b</sup>, MD, PhD; Antoine Tesnière<sup>a,f</sup>, MD, PhD

### e-Methods

Table S1: Questionnaire on residents' characteristics.

Table S2: Simulation scenario

Table S3: Baseline characteristics of participants

Table S4: Inter-rater reliability of the items of the checklist used to assess students' performance

Figure S1: Survival curves of individual items measured on the checklist.

## eMethods

### Supplemental information on the simulation

**Participant orientation:** all participants watched a five-minute video which presented the features of the Resusci Anne manikin used during the study and the environment of the simulation room. They were not presented the physical manikin before they entered the room for the first attempt.

**Simulator type:** Resusci Anne QCPR, Laerdal, Norway. Because it was a simulated cardiac arrest, all the functionalities of the manikin were turned off except the record of compressions quality.

**Simulation environment:** The study took place in the simulation center called the department of simulation in healthcare “iLumens”, in the university Paris Descartes (Paris, France). The room where the simulations took place was equipped with a stretcher and a table. A hand sanitizer and a phone were on the table. The emergency number was displayed on a wall. There were no external stimuli.

**Simulation scenario:** see table S2. The learning objectives were the achievement of a minimum passing score of 11 out of 12 on the checklist presented in table 1. Participants were trained and evaluated individually. A facilitator played the role of the secretary who brought the automated external defibrillator and could call the emergency medical services if asked to. A pilot testing was done with 5 pre-clinical medical and nursing students.

**Instructional design:** The teaching occurred during the pre-training through the serious game and the online course, and between two attempts during the mastery learning phase through a structured debriefing. This debriefing lasted approximately 5 minutes. The participant reviewed with the instructor all the steps on the checklist to see if his/her actions and compressions were performed correctly or not, and if not, why. Thus, the debriefing was personalized for each learner. There was neither clinical variation nor variation in difficulty since the scenario was the same for each attempt. The scenario used in this study was not part of the curriculum of the students.

**Debriefing:** the debriefing type was “directive feedback”, and was provided by the instructor on the basis of both what he has noticed during the simulation and the parameters of quality compressions given by the Resusci Anne Skills software. It lasted approximately 5 minutes, depending on the number of correct actions performed by the student. The debriefing was terminal and structured, following the items of the checklist presented in table 1. It did not use video and was limited to clinical and technical skills. The three facilitators who were enrolled for the study are all qualified as simulation instructors, and have already participated in studies which involved live assessment using checklist.

**Table S1: Questionnaire on residents' characteristics**

French version filled by residents	Translated version in English
Quel est votre prénom?	What is your first name?
Quel est votre numéro d'étudiant?	What is your student number?
Etes-vous... - Un homme - Une femme	Are you... A male A female
Quel est votre âge	How old are you?
Avez-vous passé une formation aux premiers secours ? - Oui, il y a moins de 12 mois - Oui, il y a plus de 12 mois - Non	Did you attend a basic life support course? - Yes, within 12 months - Yes, but more than 12 months ago - No
Aviez-vous déjà fait de la simulation sur mannequin basse-fidélité ? - Oui - Non	Were you already familiar with low-fidelity manikins? Yes No
Aviez-vous déjà fait de la simulation sur mannequin haute-fidélité ? - Oui - Non	Were you already familiar with high-fidelity manikins? Yes No
Avez-vous déjà participé à la prise en charge d'un arrêt cardio-respiratoire? - Oui - Non	Have you ever participated in the management of a cardiac arrest? Yes No

**Table S2 : Simulation scenario**

Stem

- “You are a medical student who assists a general practitioner in private practice. The doctor has not yet arrived but the secretary asks you to see a first patient who has just been installed in the examination room. The secretary has told you that the patient was a 45 years old male who consults for the first time because of “palpitations”.  
Once you enter the room, you will be alone with the patient. Your secretary is in the room next to yours.

Scenario Stage	Patient Condition	Simulator Parameters	Expected intervention
Ventricular fibrillation 4 min  (5 min for the 1 <sup>st</sup> attempt)	<p>History</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• See above</li> </ul> <p>Weight : 70kg</p> <p>Condition :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Unconscious, unresponsive, apneic</li> </ul> <p>Physical Exam :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• T 36.5, HR 0, RR 0, Sat n/a</li> <li>• CNS : unconsiouseyes closed</li> <li>• CVS: no pulses palpable</li> <li>• Resp: no air entry bilaterally with no chest rise</li> </ul>	<p>Vitals</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• T 36.5</li> <li>• HR 0</li> <li>• RR 0</li> <li>• Sat n/a</li> <li>• BP n/a</li> </ul> <p>Condition</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• No palpable pulses</li> <li>• No breathing movement</li> <li>• No sound</li> </ul>	<p>- As presented on the checklist on Table 1.</p> <p>The scenario ends after 4 minutes or after a shock is delivered, with the limitation that the AED is brought only after 2 minutes of compression.</p>

**Table S3: Baseline characteristics of participants**

Characteristics	Serious Game <i>n</i> =41	Online Course <i>n</i> = 41	p
<i>Sex</i>			
Male, <i>n</i> (%)	14 (34)	12 (29)	0.81
Female, <i>n</i> (%)	27 (66)	29 (61)	
<i>Age<sup>a</sup></i>			
	21 (20-21)	21 (21-21)	0.85
<i>Last basic life support course taken,</i>			
Never, <i>n</i> (%)	12 (29)	20 (49)	
< 12 months, <i>n</i> (%)	4 (10)	5 (12)	0.13
> 12 months, <i>n</i> (%)	25 (61)	16 (39)	
<i>Simulation experience</i>			
Familiar with low-fidelity simulation, <i>n</i> (%)	11(27)	12 (29)	1.00
Familiar with high-fidelity simulation, <i>n</i> (%)	1 (2)	0 (0)	1.00
<i>Medical experience</i>			
Previous participation in CPA management, <i>n</i> (%)	2 (5)	0 (0)	0.49

CPA: cardiopulmonary arrest. a: Median (interquartile range).

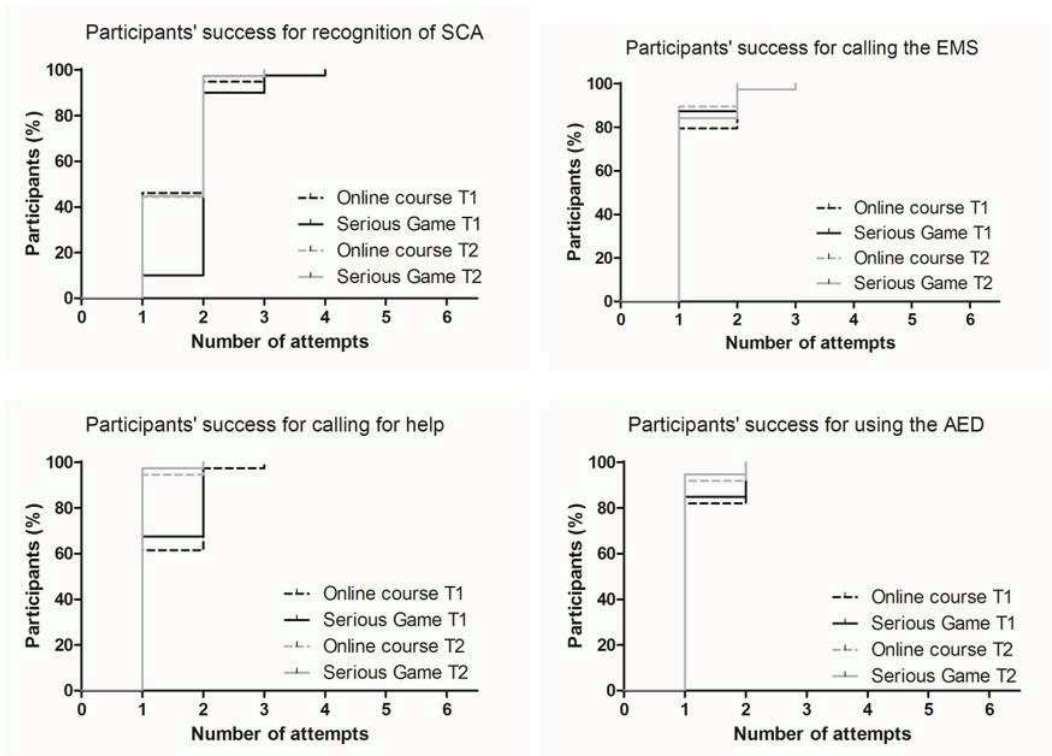
**Table S4: Inter-rater reliability of the items of the checklist used to assess students' performance**

a: Among 87 seven pairs, there was 3 disagreements, 83 agreements on a score of “1” on this item, and 1 agreement on a score of “0” on this item.

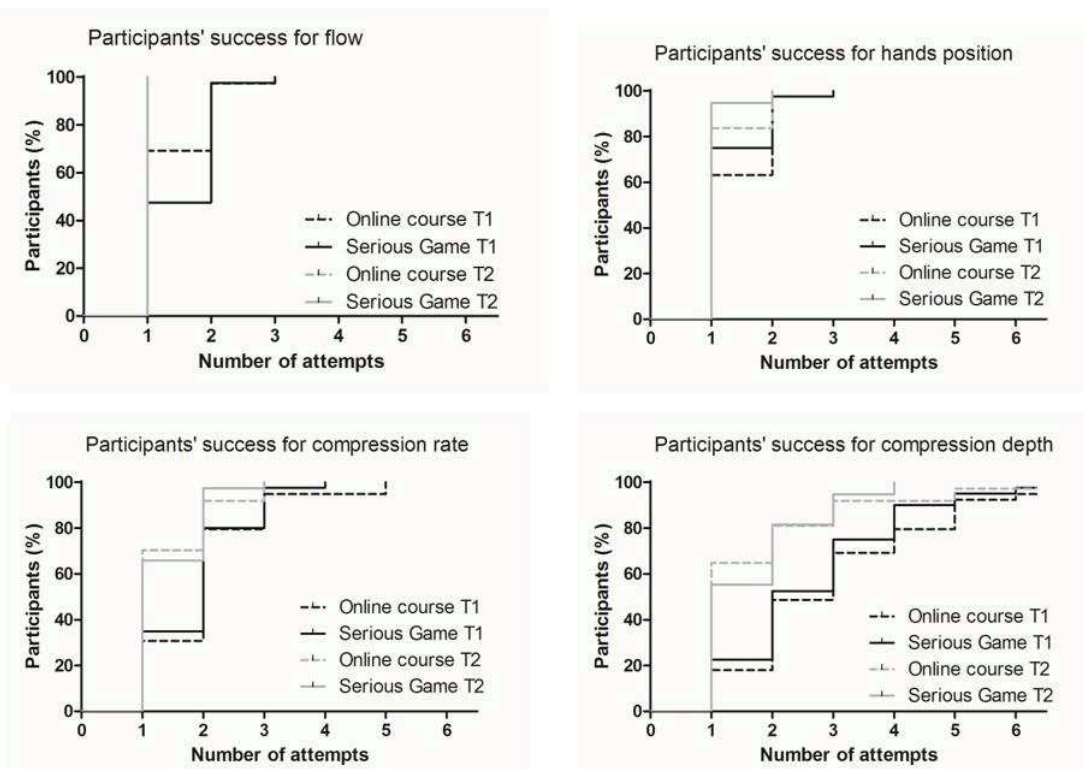
Action	P.D. vs S.A. (n=201 pairs)	S.A. vs D.D. (n=121 pairs)	D.D. vs P.D. (n=87 pairs)	Average Kappa coefficient
Recognizes SCA (Gently shake shoulders + Ask loudly «are you all right » + Check breathing) within 30 seconds	0.97	0.64	0.80	0.84
Calls emergency services within 60 seconds	0.82	0.94	0.66	0.82
Calls for help and sends the facilitator to get AED within 60 seconds	0.89	0.98	1.00	0.94
Automated external defibrillator	0.69	0.97	0.39 <sup>a</sup>	0.71
<b>Chest compressions</b>				
Flow fraction	0.98	0.82	0.79	0.89
Percentage of compressions with correct hands position	0.90	0.94	0.88	0.91
Percentage of compressions with correct rate (100-120/min)	0.95	0.94	0.95	0.95
Percentage of compressions with correct depth (5-6 cm)	0.96	0.88	0.86	0.92
Average kappa coefficient	0.90	0.89	0.79	0.87

**Figure S1: Survival curves of individual items measured on the checklist.**

**A. Participants' success on items of the sequence score**



**B. Participants' success on items of the compression score**



This figures presents the percentage of participants who succeeded on each item of the checklist used for the study (Table 1) at each attempt, during training 1 (T1, day 8, in black) and training 2 (T2, 4 months, in grey). There was no difference statistically significant between the Serious Game and Online course groups for any of the items, both for training 1 and training 2.



## **Conception et développement d'un simulation game pour les parents d'enfants de moins de 6 ans avec asthme : Une approche evidence-based**

Les enfants de moins de 6 ans avec asthme présentent des exacerbations fréquentes et sévères conduisant à de nombreuses consultations aux urgences et hospitalisations. Eduquer les parents à prendre en charge précocement les exacerbations d'asthme de leurs enfants pourrait permettre de réduire ces recours aux soins. Les serious games représentent un outil intéressant dans ce cadre du fait de l'apprentissage actif et expérientiel qu'ils promeuvent.

L'objectif de cette thèse était de concevoir et développer un serious game permettant aux parents d'enfants de moins de 6 ans avec asthme de s'entraîner à prendre en charge une exacerbation d'asthme débutant à domicile.

La revue systématique de la littérature que nous avons menée n'a identifié aucun serious game à destination des parents d'enfants avec asthme. Pourtant nous avons montré que ces parents étaient prêts à utiliser de tels outils. Les comportements des parents au cours d'une exacerbation d'asthme de leur enfant ont été observés au cours d'une étude de simulation, et analysés afin de définir les objectifs pédagogiques et le contenu du serious game. La meilleure manière d'utiliser le futur serious game en temps limité a également fait l'objet d'une étude comparant deux stratégies (répéter trois fois le même scénario d'exacerbation versus utiliser trois scénarios différents).

L'ensemble de ces résultats, alliés à ceux de la littérature déjà existante, ont permis de développer le simulation game « Effic'Asthme » selon une approche fondée sur les preuves. La dernière étape correspondra à l'évaluation d'Effic'Asthme via une étude randomisée contrôlée multicentrique.

Mots clés : asthme ; enfant d'âge préscolaire; serious game; simulation ; éducation thérapeutique.

## **Design and development of a simulation game for parents of preschool children with asthma an evidence-based approach.**

Asthma in preschool children (5 years or younger) is characterized by severe and frequent exacerbations, leading to high rates of emergency department visits and hospital admissions. Teaching parents the early management of asthma exacerbations at home might reduce healthcare use. Serious games, because they allow active and experiential learning, represent an interesting way to train parents on the management of asthma exacerbations.

The objective of this PhD thesis was to design and develop a serious game to teach parents of preschool children the management of asthma exacerbations starting at home.

We conducted a systematic review of serious games for asthma education which revealed that no serious game had been developed for parents. Yet, we showed using questionnaires that parents were ready to use serious games for their education. Parents' behavior during asthma exacerbations of their children were observed during a simulation study using a pediatric high-fidelity manikin, and analyzed to establish the educational objectives and the content of the serious game. Another study compared two different strategies (repeating the same scenario three times or using three different scenarios of asthma exacerbations) to teach the management of asthma exacerbations in a short, 30-minutes training.

Altogether, these results combined with those of the literature allowed the development of the simulation game "Effic'Asthme" following an evidence-based approach. The usefulness of "Effic'Asthme" will be evaluated through a multicentric randomized controlled study.

Key words: asthma; preschool children; serious game; simulation; patient education.