

Les jeunes enfants peuvent-ils acquérir des connaissances sur le monde physique en utilisant un simulateur ?

François-Xavier BERNARD, université René-Descartes-Paris 5, laboratoire éducation et apprentissages ; bernardfx@vjf.cnrs.fr

Annick WEIL-BARAIS, université d'Angers, laboratoire de psychologie : processus de pensée ; annick.weil-barais@univ-angers.fr

Michel CAILLOT, université René-Descartes-Paris 5, laboratoire éducation et apprentissages ; caillot@paris5.sorbonne.fr

Dans le contexte d'une exposition pour jeunes enfants à la Cité des sciences et de l'industrie, deux études ont été réalisées avec l'objectif d'évaluer si l'utilisation d'un dispositif multimédia simulant des mélanges de couleurs leur permet ultérieurement de réaliser les mélanges appropriés pour obtenir des couleurs déterminées. La première étude a porté sur vingt enfants âgés de 2 ans et 6 mois à 5 ans et 6 mois observés dans un contexte expérimental de manipulation, sous la conduite d'un tuteur expert. Les analyses conduites, visant à cerner l'âge à partir duquel les enfants sont capables de mettre en œuvre des procédures acquises au moyen du simulateur dans des conditions favorables d'accompagnement, mettent en évidence que pour le domaine de connaissance considéré, l'âge de 4 ans semble constituer un palier. La seconde étude a donc concerné des enfants âgés d'au moins 4 ans (vingt-cinq au total) observés dans le contexte habituel d'utilisation, accompagnés soit d'un parent soit d'un animateur. La comparaison de leurs conduites à un prétest et à un posttest (tâche de coloriage avec des objets matériels) a permis d'évaluer l'apport de l'usage du simulateur. Les résultats montrent que celui-ci peut permettre l'acquisition de connaissances sur le monde physique, mais que le rôle de l'adulte qui exerce le tutorat reste déterminant pour les enfants de moins de 5 ans.

Aujourd'hui le recours à la simulation en situation d'apprentissage est très fréquent, aussi bien pour la formation professionnelle que pour l'enseignement général ou technologique aux niveaux secondaire et supérieur. Un contexte d'apprentissage rarement évoqué, où des situations de simulation sont également proposées, est celui des musées de sciences. Les institutions muséales à caractère scientifique et technique sont en effet considérées, par un certain nombre d'auteurs, comme des lieux d'apprentissage potentiels, compléments de l'éducation formelle dispensée par l'institution scolaire dont elles sont aujourd'hui un partenaire privilégié (Allard, 1993; Delacôte, 1997; Giordan, 1998; Guichard & Martinand, 2000; Girault, 2000, 2003; Fortin-Debart, 2004). Sans revenir en détail sur les bénéfices pour les élèves de la rencontre entre ces deux mondes, disons seulement que, lorsqu'elle est anticipée, cette rencontre a un effet largement positif aux plans cognitif, culturel, mais aussi affectif et social (Abrougui & Clément, 1996; Guichard & Guichard, 1997; Royon *et al.*, 1999; Cohen, 2001). Les élèves de tous âges sont concernés, y compris les plus jeunes, certaines structures proposant des expositions spécifiquement destinées aux enfants, accessibles parfois dès l'âge de 2-3 ans (Coquidé-Cantor & Giordan, 1997; Noé, 2003). Ces expositions, lieux d'investigation, s'appuient sur des environnements interactifs dans lesquels le plaisir est associé à la découverte active des sciences et des techniques. L'enfant, en interaction avec l'environnement matériel et humain, développe des attitudes faisant appel à la curiosité, au questionnement, à l'observation, au tâtonnement expérimental, démarches prescrites par les programmes scolaires pour les sciences et les techniques (Guichard, 1999). Or, la simulation peut être nécessaire dans les expositions, pour rendre compte de phénomènes naturels ou de systèmes techniques, impossibles à présenter sous forme réelle : soit que leur échelle de temps, trop rapide ou trop lente, ne coïncide pas avec le temps de la visite, soit que leurs dimensions les rendent impossibles à reconstituer dans l'espace d'exposition, soit, enfin, que leur nature n'est tout simplement pas compatible avec les contraintes inhérentes à de tels environnements. Dans le domaine des sciences naturelles, comme le rappelle Van-Praët (1988), peu de réactions biologiques s'accordent avec la durée de visite, « *si l'on excepte les réactions sensorielles, par définition compatibles avec une brève démonstration, les vitesses des réactions moléculaires sont trop rapides et à l'inverse celles des mécanismes écologiques et évolutifs trop lentes pour permettre de les présenter directement dans une exposition* ».

Les musées pour enfants font également appel à des dispositifs de simulation en sciences, comme substituts en lieu et place des expériences réelles, depuis déjà plusieurs années (Guichard, 1987). Or nous savons peu de choses sur l'impact de ce type de dispositifs en termes d'apprentissages, lorsqu'ils sont utilisés dans les conditions particulières d'une visite d'exposition par des jeunes enfants. C'est pourquoi nous avons effectué une recherche à partir d'un cas particulier de dispositif de simulation informatique, mettant en jeu un contenu de savoir déterminé. Nous avons tout d'abord tenté de cerner l'âge auquel les enfants sont capables de

mettre en relation les objets et les transformations simulées avec les objets matériels et les actions, le domaine de validité des résultats obtenus étant limité à ce contenu de savoir. Nous avons ensuite essayé d'évaluer l'incidence de la tutelle exercée par l'adulte. La recherche s'est déroulée dans le contexte de la *Cité des enfants* à la *Cité des sciences et de l'industrie* (Paris), dans une exposition pour enfants âgés de 3 à 5 ans. Deux séries d'observations ont été conduites à propos du dispositif muséologique *Dessine avec ton doigt* simulant des mélanges de couleurs, la première dans un contexte expérimental de manipulation sous la conduite d'un tuteur expert, appliquant un protocole d'aides graduées en fonction des conduites manifestées par les enfants, la seconde dans le contexte naturel où les enfants sont accompagnés d'un de leurs parents ou d'un animateur scientifique.

I. Mettre en relation des représentations et le monde des objets

En tant qu'outils de simulation, les ordinateurs confrontent les utilisateurs, non pas à des objets matériels comme le font les expériences réelles mais à des représentations symboliques censées rendre compte de ces objets. Ce constat soulève une question essentielle, pourtant peu traitée, qui est celle de la mise en relation par les utilisateurs de ces deux formes d'objets, symboliques et matériels. Perriault (2002) rappelle ainsi que le passage de l'écran à la réalité externe ne va pas de soi, y compris pour les adultes. La question est donc d'autant plus vive pour les jeunes enfants qui, d'une manière générale, comme le souligne Jamet (2002), font l'objet de peu de travaux dans le domaine de l'apprentissage à l'aide des outils informatiques, et dont on connaît mal les capacités à relier le monde des objets virtuels visualisés à l'écran de l'ordinateur et celui des objets réels représentés.

Deloache (1987, 1995) a travaillé sur la capacité des jeunes enfants à acquérir des informations à partir de représentations symboliques tels que les maquettes, les dessins ou les photographies. Elle a montré que les enfants, dès l'âge de 3 ans, sont capables de considérer ces représentations pour leur fonction symbolique et de les utiliser en tant qu'instruments pour résoudre des problèmes dans le monde physique. En revanche, lorsque les jeunes enfants sont face à un écran d'ordinateur, nous savons peu de choses.

Avec des sujets plus âgés, plusieurs recherches se sont intéressées à la question de la place du virtuel par rapport au réel dans une perspective d'apprentissage, en ayant recours à des logiciels de simulation (Nonnon, 1998 ; Vivet, 2000 ; Smyrniou, 2003 ; Smyrniou et al., 2003 ; Guichard et al., 2004). Ces recherches, réalisées dans différents contextes (scolaire, muséal, professionnel) avec des sujets d'âge varié (élèves du cycle 3 du primaire, du secondaire, adultes en formation), portent sur l'appréhension de différents phénomènes scientifiques ou technologiques. Les méthodologies retenues sont sensiblement identiques et consistent à faire réaliser aux sujets une même expérience, à l'aide d'un logiciel puis à l'aide d'objets matériels.

Sur la base de grilles d'observations et d'entretiens, il s'agit de déterminer le type de manipulation le plus favorable à la compréhension du phénomène cible. Certains critères, comme l'ordre des manipulations, l'origine socioculturelle des sujets, le logiciel employé, peuvent être retenus. Concernant la question initiale du rapport virtuel/réel, ces recherches aboutissent à une même conclusion et montrent que la réalisation d'expériences avec un logiciel est complémentaire à la réalisation d'expériences portant sur les objets matériels, mais ne saurait être suffisante : le tâtonnement sur le réel demeure le plus efficace du point de vue de la compréhension. L'animation virtuelle ne pouvant s'y substituer, elle permet au mieux de l'enrichir en tant qu'outil d'accompagnement.

Ce constat appelle plusieurs remarques compte tenu du contexte et du public cible retenus dans le cadre de notre recherche. Dans un espace d'exposition, les dispositifs interactifs multimédias, lorsqu'ils sont envisagés comme outils de simulation, le sont précisément pour médiatiser une réalité dont on ne peut rendre compte autrement, nulle manipulation matérielle ne venant accompagner et enrichir l'activité virtuelle. Or s'agissant du public cible, à savoir de très jeunes enfants, la nécessité de la confrontation aux objets matériels est considérée comme nécessaire à la compréhension de phénomènes scientifiques¹. Si l'on s'en tient strictement au modèle piagétien du développement intellectuel, les capacités cognitives de l'enfant demeurent dépendantes du concret avant d'accéder au niveau formel vers 12-14 ans.

Par ailleurs, la manipulation de ces dispositifs se fait dans des conditions qui sont celles d'une visite d'exposition, lieu d'apprentissage particulier différant du cadre scolaire à plus d'un titre. Contrairement à l'école, l'enfant visiteur n'est pas tenu de parvenir à des objectifs précis et il n'y a pas de validation des acquis. Comme le rappelle Guichard (1999, p. 95), « l'absence d'interaction entre le concepteur d'un média et son public diffère complètement de celle [l'interaction] entre l'enseignant et l'élève dans le cadre scolaire ». En outre, les adultes qui accompagnent ces enfants sont le plus souvent leurs parents qui ne sont pas *a priori* des professionnels de la médiation en sciences. Enfin, s'agissant des conditions matérielles de visite, dans des expositions comme celles de la *Cité des enfants*, elles sont *a priori* peu favorables à un apprentissage : l'ambiance sonore est élevée, les sollicitations tant humaines que matérielles sont importantes, et l'enfant évolue parmi un nombre de visiteurs souvent important ce qui limite généralement le temps de manipulation des dispositifs muséologiques à quelques minutes.

Compte tenu de ces remarques, il est donc légitime de s'interroger sur l'impact des dispositifs de simulation proposés dans les expositions scientifiques pour enfants : leur utilisation dans le cadre d'une visite permet-elle aux enfants

¹ Les propos tenus à cet égard dans l'ouvrage collectif *La main à la pâte* (Charpak et al., 1996, p. 32) sont sans ambiguïté : « Seule la confrontation au réel modifie en profondeur sa [l'enfant] perception des choses et lui permet de faire évoluer ses concepts. »

d'acquérir des connaissances sur le monde physique ? Telle est la question essentielle abordée dans le cadre de cet article.

2. Méthode générale

La recherche a été menée en deux temps, tout d'abord dans un contexte expérimental de manipulation, puis dans un contexte naturel de visite au musée. Dans les deux cas, le même environnement informatique a été utilisé.

2.1. L'environnement informatique

Le dispositif muséologique *Dessine avec ton doigt*, dans l'espace d'exposition destiné aux enfants de 3 à 5 ans de la *Cité des enfants*, a été utilisé comme support d'activité. Ce multimédia interactif propose un environnement logiciel évoquant un contexte familier : une feuille de dessin, des pots et tubes de peinture de différentes couleurs. Par le biais d'une interface tactile (figure 1), les enfants sont invités à dessiner avec leurs doigts en utilisant les différentes couleurs proposées dans les pots ou leurs propres couleurs qu'ils créent en effectuant des mélanges à partir des trois tubes de couleurs primaires : rouge magenta, bleu cyan et jaune. On notera que les couleurs proposées pour le mélange sont les couleurs primaires dans le système de la synthèse soustractive, c'est-à-dire celles qui sont utilisées dans le mélange des pigments, de la peinture, de l'imprimerie.



Figure 1 Capture d'écran du jeu *Dessine avec ton doigt*
Exposition 3 ans, *Cité des enfants*, *Cité des sciences et de l'industrie*

L'environnement logiciel place l'enfant face à un système de représentation figurative dynamique. L'intérêt du modèle simulé est qu'il rend compte de manière dynamique du mélange en tant que moteur d'une transformation physique. C'est ici la force des systèmes de simulation vis-à-vis des expérimentations sur les objets

réels. « L'outil multimédia offre la possibilité d'appréhender la dimension dynamique des phénomènes scientifiques. [...] Les interfaces peuvent souligner les caractéristiques importantes qui concourent aux phénomènes étudiés et de ce fait favoriser leur intégration dans la représentation du sujet » (Jamet, 2002, p. 167). Partant d'un état initial – deux peintures de couleurs différentes –, la transformation aboutit à un état final modifié – une peinture unique d'une couleur nouvelle. L'enfant, au fur et à mesure qu'il tapote sur les tubes de peintures, voit le mélange se réaliser dans le pot représenté en dessous. Les tubes se vident goutte à goutte à chaque nouvelle pression. Le lien de causalité entre l'action de l'enfant sur les tubes – par le choix des couleurs et des proportions – et la couleur finale obtenue apparaît de manière explicite. Le rôle de l'adulte sera d'attirer l'attention de l'enfant sur ce lien de cause à effet, à travers l'évolution d'un état initial vers un état final, matérialisé par le changement progressif de la couleur du mélange.

2.2. La situation-problème

Des scénarios identiques placent les enfants face à la même *situation-problème* : comment peindre avec une couleur donnée, alors que je n'ai pas cette couleur parmi les peintures dont je dispose ? Par exemple, comment puis-je peindre en vert, alors que je n'ai que du jaune, du cyan et du magenta ? Le recours à l'opération de mélange est donc nécessaire. Or, si les enfants ont tous fait l'expérience du mélange de peintures, en constatant plus ou moins fortuitement qu'une nouvelle couleur apparaît en mettant en contact des peintures de couleurs différentes, ils n'ont pas nécessairement appréhendé la transformation dans sa dimension relationnelle, autrement dit les deux états de cette transformation (initial et final), ne sont pas reliés de façon consciente. Il leur est donc difficile, en imaginant une couleur donnée (état final), d'envisager la possibilité de son obtention, par mélange de deux autres couleurs (état initial).

2.3. Population

Pour l'ensemble de la recherche, le public cible est constitué d'enfants en âge de visiter l'exposition des petits de la *Cité des enfants*, c'est-à-dire âgés d'au moins 2 ans et d'au plus 6 ans. Concernant leur statut de visiteur, nous nous sommes adressés à des enfants venus effectuer une visite dans un cadre de loisir familial et non pas de sortie scolaire. Ce choix a été motivé par deux raisons essentielles. L'intérêt de s'adresser à des enfants non issus de groupes scolaires est non seulement de pouvoir constituer des échantillons hétérogènes d'individus, aux plans social et culturel, mais aussi de travailler avec des sujets qui n'ont pas d'expérience collective commune, ce qui permet d'éviter les réponses stéréotypées. En outre, à la *Cité des sciences et de l'industrie*, les individuels représentent deux tiers des visiteurs fréquentant les expositions pour enfants (Département évaluation et prospective, 2005), contre un tiers constitué de visiteurs venus en groupes (scolaires ou autres). Il nous semblait donc plus pertinent de faire porter notre recherche sur ce type de public.

Les enfants et leurs parents ont été sollicités, soit une fois entrés dans l'exposition, soit durant leur attente avant l'entrée, sachant que les visites des expositions de la *Cité des enfants* s'effectuent selon des séances d'une heure trente, à raison de quatre ou cinq séances par jour. Le choix des enfants s'est fait selon des critères visuels d'appartenance à la tranche d'âge retenue.

3. Première étude : âge à partir duquel les enfants mettent en relation virtuel et réel

L'objectif de cette première étude est d'identifier les enfants susceptibles de mettre en œuvre les procédures de mélange acquises au moyen du simulateur, ce qui suppose de leur part la mise en relation des deux formes d'activités.

3.1. Activité dans l'exposition

L'activité de l'enfant face au dispositif multimédia est conduite par un tuteur expert, médiateur scientifique de la *Cité des enfants*. Son expertise est liée à sa connaissance préalable du dispositif, mais aussi à la nature de son interaction avec l'enfant, aussi bien en termes de discours que de conduite. Celle-ci répond aux critères énoncés par Bruner (2002) pour caractériser l'interaction de tutelle. Le tuteur a pour fonction de mobiliser l'attention de l'enfant sur des aspects spécifiques de l'activité : il pose des questions ouvertes, participe, relance, observe tout en lui laissant l'initiative. Par ailleurs, le tuteur, tout en s'adaptant aux besoins individuels des enfants, conserve une procédure similaire d'un enfant à l'autre, en respectant un enchaînement selon trois phases préalablement définies : une phase de découverte libre du dispositif, une phase portant spécifiquement sur la partie permettant les mélanges, et une troisième phase de renforcement par un jeu de questions. Préalablement, afin d'introduire l'activité mais aussi de collecter des informations sur ce qu'il sait des mélanges, le tuteur mène un bref entretien verbal avec l'enfant.

La dernière phase de l'activité a pour objet de faire appréhender aux enfants la transformation liée au mélange des peintures, en mettant l'accent sur la propriété modifiée à l'issue de cette transformation : la couleur. Les questions posées visent à faire saisir l'articulation entre les deux états de la transformation, en partant soit de l'état initial (« *si je mélange deux couleurs, que se passe-t-il ?* »), soit de l'état final (« *si je veux obtenir une nouvelle couleur, que faire ?* »). Lorsque l'enfant est capable, seul, d'envisager le recours au mélange en réponse à cette dernière question, et de produire ce mélange, l'activité prend fin.

3.2. Entretien postactivité

Au cours de l'entretien qui suit l'activité, l'enfant est confronté à des objets matériels : une feuille blanche et trois tubes de peinture jaune, cyan et magenta,

comme sur l'écran de l'ordinateur. Après un temps d'appropriation, l'enfant est invité à dessiner en vert. Le rôle de l'expérimentateur consiste à soutenir son activité par une suite d'aides d'intensité croissante, jusqu'à la résolution de la *situation-problème*. Cette suite d'aides est destinée à déterminer le degré de disponibilité de chaque enfant à effectuer la mise en relation entre l'activité sur simulateur et l'expérience avec des objets réels.

Nous avons distingué deux niveaux de relance, explicite et non explicite, selon leur pouvoir plus ou moins évocateur, pour l'enfant, de son activité sur l'ordinateur. Trois relances successives sont susceptibles d'être délivrées par l'expérimentateur, dans un même ordre, au fur et à mesure des difficultés rencontrées par l'enfant pour parvenir au résultat. Les relances étant d'intensité graduelle, elles permettent de quantifier l'aide apportée à chaque enfant dans la résolution du problème. L'hypothèse que nous faisons est qu'il y a un lien entre le nombre de relances nécessaires et la capacité de l'enfant à mettre en relation les deux formes d'activités.

La première relance est verbale et non explicite. Elle ne renvoie pas précisément à l'activité précédente, c'est-à-dire au vécu de l'enfant, mais évoque le concept de transformation en mettant l'accent sur l'état initial de la transformation : « *Est-ce que tu ne peux pas faire du vert avec ces couleurs ? (en référence aux tubes de peinture qui se trouvent devant l'enfant)* ». La seconde relance également verbale est explicite, autrement dit en lien direct avec la première activité : « *Tu te souviens de ce qu'on a fait tout à l'heure ? Comment as-tu fait pour obtenir du vert ?* ». La troisième et dernière relance est également explicite et s'appuie de plus sur un support visuel qui est la capture d'écran du jeu informatique (figure 1) : « *Regarde l'image de l'ordinateur sur lequel on a joué tout à l'heure. Qu'est-ce que tu as fait pour obtenir du vert ?* »

3.3. Recueil et traitement des données

De façon à pouvoir relier les verbalisations et les actions des sujets, toutes les activités ont été enregistrées au moyen d'un caméscope. Les enfants ont été filmés par une tierce personne, mobile, ce qui a permis de saisir leurs conduites au plus près. Les enregistrements ont été intégralement retranscrits. Au total, vingt enfants âgés de 2 ans et 6 mois à 5 ans et 6 mois ont été sollicités. Seuls quinze d'entre eux ont été retenus, certains enfants ayant eu une attitude (inhibition, manque d'intérêt pour l'activité) qui a rendu l'entretien non significatif en termes de résultats.

3.4. Résultats

À partir de l'examen de la suite des réponses de chaque enfant et des aides dont il a éventuellement bénéficié, cinq profils ont pu être caractérisés (tableau 1). Notre hypothèse est que les enfants n'ayant pas bénéficié de relances explicites pour parvenir au mélange (profils 1 et 2) sont susceptibles d'avoir mis en relation l'expérience réelle avec l'expérience virtuelle.

Tableau I. Répartition des enfants selon le nombre d'aides dont ils ont bénéficié pour effectuer le mélange

Profil	Tranches d'âge	2 a 6 m <	3 a 6 m <	4 a 6 m <
		≤ 3 a 6 m	≤ 4 a 6 m	≤ 5 a 6 m
(1) Mélange réalisé sans relance		0	2	3
(2) Mélange réalisé après une relance (non explicite)		0	1	1
(3) Mélange réalisé après deux relances (une non explicite et une explicite)		3	0	1
(4) Mélange réalisé après trois relances (une non explicite et deux explicite)		1	1	0
(5) Mélange non réalisé malgré les trois relances		1	1	0

Les résultats montrent que seuls les enfants appartenant aux deux groupes d'âges les plus élevés (3 ans et 6 mois à 5 ans et 6 mois) ont réussi à résoudre le problème posé sans bénéficier de relances explicites. Pour ces enfants qui ont apparemment su tirer parti de l'utilisation du simulateur, le lien entre l'expérience virtuelle et l'expérience réelle semble donc avoir été établi. Le relevé de l'âge de chacun des enfants indique qu'ils ont tous au moins 4 ans. En revanche aucun enfant du groupe d'âge inférieur (2 ans et 6 mois à 3 ans et 6 mois) n'a réussi à réaliser le mélange sans bénéficier d'au moins une aide explicite. Selon notre hypothèse, ce résultat indique qu'il n'y a pas eu, de leur part, de recours spontané à la procédure acquise au moyen du simulateur et donc de mise en relation entre l'expérience réelle et l'activité virtuelle.

3.4. Discussion des données de la première étude

Pour le domaine de connaissance considéré, et compte tenu du fait que les quinze enfants ont bénéficié de conditions favorables d'accompagnement, il apparaît que l'âge de 4 ans est approximativement l'âge à partir duquel ils sont susceptibles d'acquérir des connaissances au moyen du simulateur. Toutefois il convient d'être prudent avec ces résultats, car même si les enfants ont semblé découvrir le procédé du mélange de couleurs durant la manipulation du jeu informatique, cela ne nous permet pas d'affirmer qu'ils ne le connaissaient pas avant. Il n'est donc pas prouvé que l'activité menée dans l'exposition soit la seule cause de réussite des enfants dans la résolution du problème qui leur a été soumis avec les objets matériels. Seul un entretien initial basé sur une activité de peinture réelle permettrait de s'en assurer.

4. Seconde étude : comparaison de l'utilisation du dispositif de simulation par les enfants dans deux contextes, avec un parent et avec un animateur

Pour la seconde étude, nous n'avons retenu que des enfants de plus de 4 ans puisque les enfants plus jeunes ne sont apparemment pas en mesure de tirer profit de ce qu'ils ont fait avec le simulateur de mélange de couleurs. Afin de mettre à

jour les connaissances préalables des enfants dans le domaine considéré, un entretien initial a été réalisé avant l'utilisation du simulateur. Nous avons ensuite confié la conduite de l'activité aux parents, comme cela se produit d'ordinaire dans l'exposition lorsqu'ils accompagnent leur enfant. Enfin un entretien a été conduit auprès des enfants, à l'issue de l'activité, afin de déterminer si l'utilisation du simulateur leur a permis d'acquérir les connaissances visées. Un groupe contrôle a par ailleurs bénéficié du soutien d'un médiateur expert selon ce même déroulement.

4.1. Population et recueil des données

Pour cette seconde étape de la recherche, vingt-cinq enfants âgés de 3 ans et 10 mois à 5 ans et 10 mois ont été sollicités. Seuls les résultats de quinze d'entre eux ont été analysés. Les critères d'exclusion retenus sont la non participation de l'enfant aux activités proposées (cinq exclus) et la réussite au prétest (cinq exclus). Les activités ont été filmées, dans l'exposition pendant la manipulation du dispositif avec le parent, de même que les entretiens avec l'enfant, avant et après la manipulation avec le simulateur. Les enregistrements ont été intégralement retranscrits.

4.2. Entretien initial pour cerner les connaissances des enfants sur le mélange de couleurs

Cet entretien qui se déroule juste avant le début de la visite dans un atelier proche de l'exposition a pour objet de déterminer les capacités de l'enfant à prédire et à réaliser un mélange de couleurs. Afin de s'affranchir d'un éventuel problème de perception de la part de l'enfant, le but est également de vérifier ses capacités à nommer, montrer et associer des couleurs identiques présentées sur des supports différents. L'entretien, qui dure au total une dizaine de minutes, commence ainsi par une série de questions à propos de formes cartonnées de six couleurs différentes, jaune, cyan, magenta, bleu, rouge et vert, qui ne sont autres que les couleurs primaires et leurs complémentaires. L'ensemble est présenté comme un jeu à l'enfant. Pour l'ensemble des questions, les enfants interviewés n'ont pas rencontré de difficulté particulière, si ce n'est pour nommer les couleurs primaires en raison d'un déficit de vocabulaire. Les termes clair et foncé n'étant pas maîtrisés, le bleu cyan primaire et le bleu secondaire font l'objet de confusions, et le rouge magenta est assimilé à du rose. Par contre, nous n'avons observé aucune difficulté pour reconnaître visuellement les couleurs et les associer.

Les épreuves de reconnaissance et d'appariement des couleurs étant réalisées, l'entretien se termine par une activité de peinture, toujours présentée sous forme de jeu. L'enfant est invité à compléter un dessin, en peignant certaines parties colorées inachevées, en magenta, cyan, jaune, vert et noir². Il dispose de seulement

2 Rappelons que l'obtention du vert se fait pas mélange de cyan et de jaune, et que celle du noir se fait par celui des trois couleurs primaires, magenta, cyan et jaune.

trois tubes de peinture, qui sont les trois couleurs primaires cyan, magenta et jaune. Ce sont les couleurs qu'il retrouvera dans le jeu *Dessine avec ton doigt*.

Après la présentation du matériel et l'explicitation de la consigne, sous forme de questions, l'enfant débute l'activité. Les enfants ont commencé à peindre les parties du dessin ayant les mêmes couleurs que celles dont ils disposaient. Arrivés aux deux dernières parties à compléter en vert et en noir, ils se sont arrêtés puisqu'ils n'avaient pas ces couleurs devant eux. Le rôle de l'expérimentateur est alors de faire verbaliser l'enfant, par un jeu de questions/réponses, sur les difficultés qu'il rencontre et sur les solutions qu'il envisage pour les contourner. L'objectif final étant de vérifier s'il est capable de recourir à l'opération de mélange pour fabriquer de nouvelles couleurs, les dernières questions vont jusqu'à induire l'idée qu'il est possible d'utiliser plusieurs peintures. Malgré cela, seuls cinq enfants ont proposé un mélange pour faire du vert; en revanche aucun d'entre eux n'a trouvé comment obtenir du noir. L'expérimentateur stoppe alors l'activité et propose à l'enfant d'achever son dessin après la visite de la *Cité des enfants*.

4.3. Activité dans l'exposition

L'échantillon d'enfants a été divisé en deux groupes sensiblement équivalents du point de vue des classes d'âge représentées : les enfants du premier groupe sont avec un de leur parent, tandis que ceux du second groupe sont avec un médiateur expert comme dans la première étude. À l'issue de l'entretien préalable, il est rappelé aux parents qu'ils doivent faire découvrir le jeu *Dessine avec ton doigt* à leur enfant, notamment pour lui faire appréhender le procédé du mélange des couleurs. Un rendez-vous est fixé avec eux dans l'exposition à mi-parcours de visite, trois quarts d'heure après l'entrée. Avant de commencer l'activité, une aide écrite est apportée aux parents pour leur rappeler les différentes possibilités de mélanges réalisables avec les trois couleurs primaires. Selon les enfants, l'activité a duré entre moins de 3 minutes et plus de 8 minutes. Elle prend fin par abandon d'un des deux partenaires, les parents et leur enfant reprenant le cours de leur visite.

4.4. Entretien postactivité

À la fin de la visite, soit environ trois quarts d'heure après la manipulation du jeu, un entretien final a été proposé à l'enfant. Le dessin laissé inachevé est repris et la consigne rappelée à l'enfant. Il lui est tout simplement demandé de terminer son dessin commencé avant la visite. L'objet de cet entretien est d'identifier les enfants susceptibles de mettre en œuvre les procédures de mélange découvertes au moyen du simulateur. Nous faisons l'hypothèse que si un enfant recourt au mélange pour créer la couleur manquante alors qu'il n'en avait pas été capable avant la visite, la manipulation virtuelle a joué un rôle. La réussite dans la résolution de ce problème est donc l'expression d'une mise en relation entre les représentations symboliques manipulées et les objets réels.

4.5. Résultats

Les résultats des enfants au cours de l'entretien final sont récapitulés dans le tableau 2.

Tableau 2. Résultats selon l'âge des enfants et leur appartenance à l'un ou l'autre groupe

Tranche d'âge	Groupe expérimental Tutorat exercé par le parent		Groupe contrôle Tutorat exercé par le médiateur	
	Nombre d'enfants par tranche d'âge	Nombre d'enfants recourant au mélange	Nombre d'enfants par tranche d'âge	Nombre d'enfants recourant au mélange
3 a 10m ≤ âge < 4 a 10 m	6	0	2	1
4 a 10m ≤ âge < 5 a 10m	4	3	3	3

Nous observons une différence sensible des résultats selon la tranche d'âge à laquelle appartiennent les enfants, puisque les plus jeunes d'entre eux n'ont quasiment pas réussi à mettre en relation la manipulation virtuelle avec l'expérience réelle. Par ailleurs, lorsque le tutorat est exercé par le médiateur, le nombre d'enfants ayant réussi est supérieur pour l'ensemble des deux tranches d'âge. Ces résultats sont bien sûr à considérer avec prudence, compte tenu de l'effectif restreint de notre échantillon.

4.6. Discussion des données de la seconde étude

Nous pouvons nous interroger sur les écarts observés en ce qui concerne les enfants de la première tranche d'âge. En effet, si l'on s'en tient aux résultats de la première étude – sur lesquels nous nous sommes appuyés pour constituer ce second échantillon –, la majorité de ces enfants auraient dû réussir. Vraisemblablement, les stratégies tutorielles développées par les parents et celles développées par l'animateur ne sont pas les mêmes. L'impact des modes d'interactions parents/enfants sur l'appropriation des connaissances scientifiques, dans le contexte de visites à la *Cité des enfants*, a fait l'objet de plusieurs recherches (Piani & Weil-Barais, 1998; Ailincai et al., 2005). Ces travaux montrent que, majoritairement, lorsqu'ils accompagnent les enfants à la découverte de l'exposition, les parents interviennent auprès d'eux d'une manière qui n'est pas la plus adaptée à l'appropriation des connaissances en jeu dans les dispositifs explorés. Ils sont généralement assez directifs, agissant souvent à leur place, et sont plus préoccupés des actions des enfants et de leur réussite que de leur compréhension des mécanismes explorés.

Les dispositifs étudiés (mécaniques) pour ces recherches ne sont pas de même nature que celui (informatique) auquel nous nous intéressons, puisqu'ils sont basés sur la manipulation d'objets bien réels. Nous retrouvons néanmoins les mêmes conduites de la part des parents. L'analyse des transcriptions montre que la plupart

d'entre eux sont relativement directifs avec leur enfant et accordent peu de place à l'autonomie. Concernant la teneur des échanges verbaux, nous constatons que les parents tiennent des discours pauvres en contenus conceptuels. Leur intérêt porte le plus souvent sur les aspects formels de l'activité : le résultat à obtenir, la façon d'utiliser le dispositif. En outre, étant ici confrontés à un objet technique, ils peuvent également être accaparés par des difficultés liées à son utilisation. L'exemple suivant est un extrait de l'échange entre Paul (4 ans et 5 mois) et son père qui lui dit comment dessiner une pomme à l'écran. La question relative au mélange des couleurs n'est pas abordée.

Père (P) : D'accord ok, ça marche... (*lâche la main de son fils et essaie seul.*)
Tu vois si tu tapotes, t'as vu hop... Tapote encore un peu. (*prends à nouveau la main de son fils et lui fait appuyer du doigt sur le tube de jaune.*) Voilà... on va obtenir un peu de vert et avec ça tu vas dessiner une pomme.

Enfant (E) : (*Attend.*)

P : Donc, tu vas amener ton doigt là, je pense... (*prends le doigt de son fils pour appuyer sur le pot à mélanges.*) Et tu vas amener... voilà... (*lui fait tracer un trait sur la feuille.*) Maintenant tu peux dessiner une pomme.

E : (*Appuie avec son doigt sur le pot à mélanges*)

P : Vas-y le pot est renversé, dessines une pomme à l'écran.

E : (*Trace un trait*)

P : Une pomme comme celle-là ?

E : (*Appuie à nouveau sur le pot à mélanges*)

P : Non, non, mais tu prends ton doigt et maintenant t'as plus besoin de tremper ton doigt dans la peinture, il est plein de peinture alors vas-y dessine une pomme.

E : (*Trace des traits*)

P : Tu fais les contours, tu vas dessiner les contours et après tu vas la remplir (en montrant un point sur l'écran).

E : (*Trace des traits*)

P : Alors, tu la dessines comment ta pomme ?

E : **Comme ça...** (*Essaie de colorier avec son doigt*)

P : Comme ça... Mais elle est un peu ronde quand même non ?

E : (*Arrête et attend*)

P : Comment tu la fais ronde ?

E : (*Trace une forme à l'écran*)

P : Oui, on va dire que c'est un peu rond...

E : (*Attend*)

P : Et puis ensuite tu vas faire, euh... la petite queue ici.

E : (*Appuie sur le mélange*)

P : Voilà.

Afin d'avoir un aperçu de la nature des échanges entre le médiateur et les enfants, voici un extrait de dialogue avec Julien (âgé de 4 ans et 8 mois). Au cours de cet échange, le médiateur tente d'attirer l'attention de l'enfant sur le changement de couleur opéré par le mélange.

Médiateur (M) : Alors tiens, les roues de la voiture..., tu voudrais les faire de quelle couleur ?

Enfant (E) : **Euh, violet** (*l'enfant est en train de dessiner avec du cyan*) ?

M : Violet ?

E : (*Continue à colorier les roues avec la couleur initialement obtenue : cyan*)

M : Alors, si tu rajoutes un peu de violet... ? Regarde ce qu'il se passe... (*le médiateur utilise les mêmes termes que l'enfant pour désigner les couleurs, ici violet pour nommer le magenta*)

E : (*Appuie sur le tube de magenta*)

M : Tu as vu en dessous, de quelle couleur c'est devenu ?

E : (*Arrête d'appuyer et regarde*) **C'est du bleu.**

M : Pourquoi c'est devenu comme ça ?

E : **Parce que ça s'est mélangé avec du bleu...** (*en montrant le tube de cyan*)

M : Voilà, exactement, t'as vu ? Tu as mélangé du bleu et du violet et ça... ça donne un bleu différent (*en montrant les tubes de peinture correspondants*).

E : (*Appuie sur le pot à mélanges et continue son dessin... Appuie sur l'icône pour changer de feuille et commence à appuyer sur le tube de cyan*)

M : Si tu essayais de faire du vert maintenant..., là tu mets du bleu.

E : (*Vide le tube de cyan puis arrête d'appuyer*)

M : Et comment tu pourrais faire du vert ?

E : **Euh... avec du... jaune** (*en montrant le tube de jaune avec le doigt*) ?

M : Exact ! Avec du jaune, vas-y rajoute du jaune.

E : (*Appuie sur le tube de jaune*)

M : Super ! Regarde le pot, il est devenu de quelle couleur ?

E : **Vert** (*montre le pot à mélanges*).

M : Il est... un beau vert, vas-y tu peux l'utiliser

Pour revenir aux conduites déployées par la plupart des parents, celles-ci pourraient donc expliquer les résultats obtenus par les enfants les plus jeunes qui n'ont visiblement pas compris le mélange de couleurs en terme de transformation. La dimension relationnelle de cette transformation, la mise en relation des deux états du système, n'a semble-t-il pas été appréhendée au moment de l'activité sur le support informatique dans l'exposition.

Pour les enfants plus âgés, de la tranche 5/6 ans, les conduites des parents n'ont pas été différentes. À titre d'exemple, voici un extrait de l'échange ayant eu lieu entre Mathilde (5 ans) et son père. Celui-ci s'attache particulièrement à l'aspect du dessin que sa fille est en train de réaliser à l'écran de l'ordinateur.

Père (P) : Tu peux faire plusieurs... hein comme ça... plusieurs couleurs, elles seront pareilles, tu vas faire un bouquet de fleurs.

Enfant (E) : *(Reprend son dessin)*

P : Il faut la mettre un peu plus bas hein, la fleur... c'est pas grave.

E : *(Continue)*

P : Voilà, (inaudible)... trace bien les traits.

E : *(Reprend...)* J'arrive pas...

P : Mais... mais concentre-toi...

E : *(Continue)*

P : Voilà comme ça c'est bien, c'est mieux, alors maintenant tu vas faire les pétales, fais les... les petites fleurs.

E : *(S'arrête, regarde son doigt)*

P : Les petites, les petites fleurs avec...

E : ... Incompréhensible *(En montrant l'icône pour changer de feuille)*

P : Oui comme ça... non, pas du jaune, tu peux faire comme... avec le bleu vas-y continue avec les plantes.

E : *(Reprend son dessin)*

P : Non, non, non, c'est pas ça.

E : Eh il faut... *(s'arrête... Reprend, remplit l'intérieur des fleurs)*

P : Tu veux colorier ?

E : *(Ne répond pas, continue)*

P : Non, mais t'as pas besoin de colorier pour l'instant.

E : *(Arrête)*

P : Il faut faire le dessin, fais le dessin et après tu vas colorier.

E : *(Reprend)*

P : Voilà... faut soigner ça mieux que ça Mathilde...

Malgré tout, les enfants plus âgés ont majoritairement réussi à produire un mélange dans le contexte de l'expérience réelle. Notre hypothèse est que l'activité de simulation a réactivé chez ces enfants des connaissances acquises antérieurement et dont l'enfant n'avait pas nécessairement conscience.

5. Conclusion

Au cours de cette recherche nous sommes partis d'un cas particulier de simulateur dans une exposition scientifique pour jeunes enfants. Notre objectif était de déterminer si l'utilisation de ce simulateur, dans les conditions d'une visite, permettait à ces enfants d'acquérir des connaissances sur le monde physique. Les deux études menées successivement nous ont permis d'établir un certain nombre de faits. En dessous d'un âge palier, que nous avons identifié aux environs de 4 ans, les enfants observés ne mettent pas en relation la simulation avec le monde des

objets physiques. Au-delà, et jusqu'aux alentours de 5 ans, le rôle de l'adulte apparaît comme déterminant et le bénéfice au plan cognitif de l'utilisation du simulateur va se réaliser selon le discours plus ou moins conceptualisant associé à la manipulation. Après 5 ans, l'utilisation du simulateur semble bénéfique, quel que soit ce discours, notre hypothèse étant qu'elle ne fait que réactiver et formaliser des connaissances déjà acquises mais non nécessairement conscientisées par l'enfant. Bien sûr cette conclusion est à prendre avec toute la prudence qui convient.

Concernant le recours aux simulateurs dans les expositions scientifiques, il semble qu'il soit pertinent dans la mesure où leur prise en main est facilitée, tant au niveau de leur utilisation matérielle qu'au niveau des concepts scientifiques qu'ils véhiculent. Nous avons vu en effet que les parents visiteurs pouvaient rapidement consacrer leur énergie à gérer des aspects liés au fonctionnement de l'outil de simulation. Si dans une situation de classe l'enseignant connaît parfaitement le dispositif qu'il va mettre en place auprès des élèves, et se trouve donc en principe à l'abri d'éventuelles difficultés liées à son fonctionnement, ce n'est pas le cas dans une exposition où les parents découvrent le dispositif en même temps que les enfants. Par ailleurs, comme l'ont montré différents travaux déjà cités (Piani & Weil-Barais, 1998; Ailincai *et al.*, 2005), nous avons constaté que, dans le contexte d'une exposition scientifique, les parents ont des conduites peu favorables en terme de transmission des connaissances. Les enfants qui ont bénéficié de la médiation d'un professionnel s'avèrent plus performants que ceux qui ont été accompagnés par un parent. Cette différence plaide en faveur de la nécessité d'une aide explicite, visuelle ou sonore, accompagnant la manipulation du simulateur. On peut supposer que ce type d'aide pourrait permettre aux parents de se dégager des aspects matériels pour pouvoir tenir un discours davantage conceptualisant, plus propice à l'appropriation des connaissances. ■

BIBLIOGRAPHIE

- ABROUGUI M. & CLÉMENT P. (1996). Évolution des conceptions d'élèves de dix ans sur la génétique à la suite d'activités scolaires incluant une visite scolaire à la *Cité des enfants*. *Didaskalia*, n° 8, p. 33-60.
- AILINCAI R., CAILLOT M. & WEIL-BARAIS A. (2005). De l'étude des interactions parents/enfants dans un contexte muséal scientifique à une proposition d'intervention innovante auprès des parents. *Actes des quatrièmes rencontres de l'ARDIST*, Lyon, octobre 2005. Lyon : INRP, p. 5-12.
- ALLARD M. (1993). Le musée comme lieu d'apprentissage. *Vie pédagogique*, n° 84, p. 41-43.
- BRUNER J.S. (2002). *Le développement de l'enfant. Savoir faire, savoir dire*. Paris : PUF.

- CHARPAK G. (1998). *La main à la pâte : Les sciences à l'école primaire*. Paris : Flammarion.
- COHEN C. (2001). *Quand l'enfant devient visiteur : une nouvelle approche d'un partenariat école/musée*. Paris : L'Harmattan.
- COQUIDÉ-CANTOR M. & GIORDAN A. (1997). *L'enseignement scientifique à l'école maternelle*. Nice : Z'éditions.
- DELACÔTE G. (1997). *Savoir apprendre*. Paris : Odile Jacob.
- DELOACHE J.S. (1987). Rapid change in the symbolic functioning of very young children. *Science*, n° 238, p. 1556-1557.
- DELOACHE J.S. (1995). Early understanding and use of symbols. *Current Directions in Psychological Science*, n° 4, p. 109-113.
- FORTIN-DEBART C. (2004). *Le partenariat école musée pour une éducation relative à l'environnement*. Paris : L'Harmattan.
- FRANCE : MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE ET DE LA RECHERCHE : DÉPARTEMENT ÉVALUATION ET PROSPECTIVE (2005). *Les visiteurs de la Cité des sciences et de l'industrie. Synthèse des études réalisées de 1986 à 2004*. Paris : Cité des sciences et de l'industrie.
- GIORDAN A. (1998). *Apprendre !* Paris : Belin.
- GIRAULT Y. (Éd.) (2000). *Prise en compte des intérêts des élèves dans le cadre de l'appropriation des savoirs scientifiques dans les espaces muséaux*. Rapport de recherche. Comité national de coordination de la recherche en éducation, 316 pages.
- GIRAULT Y. (Éd.) (2003). *L'accueil des publics scolaires dans les muséums : aquariums, jardins botaniques, parcs zoologiques*. Paris : L'Harmattan.
- GUICHARD J. (1987). Modèles et simulation en situation muséologique pour les enfants. In A. Giordan & J.-L. Martinand (éd.). *Modèles et simulation*. Actes des neuvièmes journées internationales sur l'éducation scientifique, Chamonix, février 1987. Paris : université Denis-Diderot-Paris 7, p. 493-498.
- GUICHARD J. (1999). Fruits d'un partenariat école-musées, des expositions pour participer à la formation scientifique des élèves. *Aster*, n° 29, p. 131-145.
- GUICHARD J. & GUICHARD F. (1997). Des objets muséologiques pour aider à traiter des obstacles en sciences et techniques. *Aster*, n° 24, p. 113-139.
- GUICHARD J. & MARTINAND J.-L. (2000). *Médiatique des sciences*. Paris : PUF.
- GUICHARD J., LECHAUDEL A. & MANGEOT N. (2004). L'expérimentation directe à l'heure du multimédia. *La lettre de l'OCIM*, n° 91, p. 4-10.

- JAMET F. (2002). La construction des représentations des connaissances scientifiques. In D. Legros & J. Crinon (Éd.). *Psychologie des apprentissages et multimédias*. Paris : Armand Colin, p. 154-168.
- NOÉ F. (2003) La prise en compte du jeune public dans les musées de sciences naturelles. In Y. Girault (Éd.). *L'accueil des publics scolaires dans les muséums : aquariums, jardins botaniques, parcs zoologiques*. Paris : L'Harmattan, p. 227-256.
- NONNON P. (1998). Intégration du réel et du virtuel en sciences expérimentales. In F.-M. Blondel & M. Schwob (Éd.). *Actes des huitièmes journées informatique et pédagogie des sciences physiques*, Montpellier, mars 1998. Paris : INRP, p. 133-138.
- PERRIAULT J. (2002). *Éducation et nouvelles technologies*. Théorie et pratiques. Paris : Nathan.
- PIANI J. & WEIL-BARAIS A. (1998). Comment les parents accompagnent-ils leurs enfants dans la découverte des sciences et des techniques dans un musée ? In A. Dumas Carré & A. Weil-Barais (Éd.). *Tutelle et médiation dans l'éducation scientifique*. Berne : Peter Lang, p. 251-267.
- ROYON C., HARDY M. & CHRÉTIENNOT C. (1999). Quatre jeudis à la Villette : construire en partenariat une pédagogie de la réussite. *Aster*, n°29, p. 171-202.
- SMYRNAIOU Z. (2003). *Modélisation : l'apport des logiciels éducatifs*. Thèse de doctorat, université René-Descartes-Paris 5, Paris.
- SMYRNAIOU Z., FERRET S. & WEIL-BARAIS A. (2003). L'enseignement scientifique ne peut-il être que virtuel ? *Actes du colloque organisé par le CIRCUISEF « Les technologies de l'information et de la communication : mutations dans la formation scientifique universitaire »*, Dakar, mars 2003. Disponible sur Internet : <http://www.dmi.usherb.ca/ciruisef/Dakar2003> (consulté le 19 octobre 2006).
- VAN-PRAËT M. (1988). De la galerie de zoologie à la galerie de l'évolution, vers un musée du quatrième type. In A. Giordan & J.-L. Martinand (Éd.). *Communication, éducation et culture scientifiques et industrielle*. Actes des dixièmes journées internationales sur l'éducation scientifique, Chamonix, 1988. Paris : université Denis-Diderot-Paris 7, p. 395-399.
- VIVET M. (2000). Des robots pour apprendre. *Sciences et techniques éducatives*, vol. 7, n°1, p. 17-60.