

Conception de systèmes interactifs mixtes : articulation d'une méthode informelle et d'un modèle d'interaction

*Christophe Bortolaso,
Emmanuel Dubois*

IRIT-IHCS
118, route de Narbonne
31 062, Toulouse Cedex 4
prenom.nom@irit.fr

Cédric Bach

Metapages
12, grande rue Nazareth
31000, Toulouse, France
cedric@metapages.com

*Laurence Nigay,
Céline Coutrix*

IHM-LIG
385, rue de la Bibliothèque,
BP 53 38041 Grenoble Cedex 9
prenom.nom@imag.fr

RESUME

Pour palier les difficultés que rencontrent les concepteurs des systèmes interactifs mixtes (SIM) durant l'étape de conception, nous proposons une nouvelle approche de conception. Nous motivons dans cet article l'articulation d'une méthode informelle qu'est le focus-group avec un modèle de conception de l'interaction mixte. Cette articulation a pour but de renforcer l'ancrage de l'étape de conception au sein d'un processus de développement, et de favoriser une exploration plus systématique du domaine des systèmes interactifs mixtes. Nous illustrons la mise en œuvre de cette articulation via deux modèles d'interaction pour les SIM : ASUR et le Modèle d'Interaction Mixte. Au travers de ces deux mises en œuvre nous avons procédé à un comparatif visant à identifier les points forts et faibles de cette approche.

MOTS CLES : Systèmes interactifs mixtes, conception centrée utilisateur, modèles d'interaction, créativité.

ABSTRACT

To face the difficulties encountered by the mixed interactive systems designers during the design step, we propose a new approach for the design phase. This article introduces the articulation of an informal method, which is the focus-group, with a formal mixed interaction model. The articulation allows a better integration of the design step into the process and a more systematic exploration of the mixed interactive system domain. We illustrate this articulation by considering two mixed interaction models: ASUR and Mixed Interaction Model. Based on these two implementations of our approach, we carry out a comparative analysis in order to identify the strengths and weaknesses of our approach.

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

IHM 2009, 13-16 Octobre 2009, Grenoble, France

Copyright 2009 ACM 978-1-60558-461-4/09/10 ...\$5.00.

CATEGORIES AND SUBJECT DESCRIPTORS: H5.m.

Information interfaces and presentation (e.g., HCI): Miscellaneous.

GENERAL TERMS: Design.

KEYWORDS: Mixed interactive systems, user centered design, interaction models, creativity.

INTRODUCTION

De nombreuses évolutions matérielles et logicielles ont menées à l'apparition de multiples capteurs, périphériques d'interaction et autres moyens de communication. L'impact sur les systèmes interactifs se traduit désormais par de nombreuses nouvelles possibilités : déploiement dans des contextes variés, utilisation d'artefacts physiques, capture d'information de différentes formes, etc. Désormais, une relative appropriation de ces technologies émergentes ouvre des perspectives à de nombreux domaines d'applications. Or, l'un des enjeux actuels de l'Interaction Homme-Machine (IHM), est de parvenir à tirer profit d'artefacts et de ressources physiques présents dans l'environnement d'interaction pour coupler les actions de l'utilisateur dans son environnement physique avec la puissance de traitement des ordinateurs. Ces systèmes interactifs sont appelés Systèmes Interactifs Mixtes (SIM). Ils constituent un moyen permettant de réduire le gouffre de l'interaction qui sépare les mondes physiques (tangible) et numériques (informatique) [17].

Il n'existe cependant aujourd'hui aucune définition consensuelle délimitant le domaine des SIM. Les principales raisons sont que ces systèmes sont récents et sujets à une grande variabilité. Par exemple, la place qu'occupe le monde physique varie quasi-systématiquement entre deux SIM. Les modalités d'interaction sont elles aussi très changeantes. De même, le contexte d'usage introduit des variations au sein de la cohérence entre les artefacts physiques et numériques. Enfin, les technologies étant en évolution permanente, celles-ci introduisent également une part importante de diversité. Ces aspects sont autant de sources de variabilité des SIM, qui les rendent complexes à concevoir. Pour y parvenir, nous avons exploré les supports de conception permettant la prise en consi-

dération des différents axes constituant la variabilité des SIM. Nous étudions ensuite leur orchestration au sein d'un processus de conception et développement et identifions les difficultés que peuvent rencontrer les concepteurs durant l'étape de conception. Nous proposons enfin une nouvelle ressource de conception et nous l'étudions au travers de deux mises en œuvre et leur comparaison.

SUPPORTS A LA CONCEPTION DES SIM

Ressources supportant la conception des SIM

Les SIM étant avant tout des systèmes interactifs, leur conception est régie par les dimensions classiquement identifiées en IHM. Nous présentons ces ressources au travers de cinq grandes catégories :

Modèles de l'utilisateur. Ils permettent l'identification des aspects ayant trait au comportement humain face à un système physique comme numérique, ainsi que les étapes de son comportement lors de l'accomplissement d'une tâche (modèle du processeur humain [6], théorie de l'action [17], ICS [8]).

Modèles de tâche. Grâce à ces modèles, il est possible de formaliser les données extraites de l'analyse de la tâche d'une activité existante ou bien encore de modéliser le déroulement d'une interaction à concevoir. La modélisation de la tâche facilite en outre l'identification d'incohérences et/ou problèmes d'utilisabilité émergents (KMAD [21], CTT [18], Diane + [2], Scénarios [19]).

Méthodes informelles. Leur caractère informel permet non seulement la participation des utilisateurs mais induit également des mécanismes projectifs qui permettent de susciter ou révéler les désirs ou les besoins des participants impliqués. De ce fait, elles permettent l'insertion d'une part de créativité dans le processus de développement. (Brainstorming [27], Focus-Group [14, 16], Make Tools [26], PICTIVE [15]).

Modèles d'interaction. Leur utilisation facilite la prise en compte des dimensions pertinentes pour concevoir l'interaction avec un SIM. L'apport majeur de l'utilisation de tels modèles est qu'ils constituent une assistance notable à la prise en compte de toutes les spécificités des SIM (i.e. des différents aspects induisant la variabilité des SIM et donc leur complexité). De plus, leur caractère formel (basée sur un modèle donc reproductible) facilite le transfert d'information entre concepteurs et développeurs. (ASUR [12], MIM [10], TAC [5]).

Modèles d'architecture logicielle et plateformes à composants. Ces outils permettent de concevoir la dimension logicielle du système et d'implémenter de manière systématique des applications logicielles robustes, évolutives et réutilisables (Flownets [25], Studierstube [22], DWARF [20], WComp [9], OpenInterface [24]).

Cependant, l'utilisation isolée de ces ressources de conception ne suffit pas à produire une réponse satisfaisante et complète au développement de SIM. La puissance de leur utilisation repose sur leur articulation. La section suivante traite donc de l'orchestration de ces ressources au sein d'un processus englobant.

Orchestration des ressources de conception

Chacune des ressources présentées ci-dessus a la faculté d'assister une des étapes du processus de développement centré utilisateur d'un système interactif. En nous appuyant sur [23], un tel processus peut être décrit au travers de trois étapes majeures : 1) analyse des besoins, 2) conception de l'interaction, 3) conception logicielle/évaluation de l'utilisabilité (Figure 1). Les spécificités des SIM (i.e. au regard des systèmes interactifs plus classiques) se révélant être situées au niveau de l'interaction, nous portons notre attention sur l'étape du processus dite de conception de l'interaction, ainsi que sur la manière dont celle-ci est orchestrée au sein du processus.

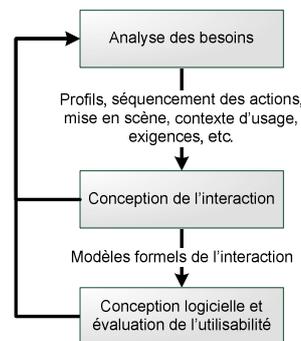


Figure 1 : Intégration de l'étape de conception de l'interaction au sein du processus de développement.

Conformément à la définition des étapes constitutives de ce processus, et à leur ordonnancement, l'étape de conception de l'interaction fait suite à l'analyse des besoins et précède l'étape de prototypage. Il convient donc d'étudier les relations en amont et en aval de l'étape de conception de l'interaction au sein de ce processus.

Analyse des besoins. La mise en œuvre des modèles de l'utilisateur et de tâches est particulièrement pertinente durant l'étape d'analyse des besoins. Cette étape produit un ensemble d'artefacts définissant entre autres les profils des utilisateurs finaux, le séquençage des actions, la mise en scène, le contexte d'usage, les exigences fonctionnelles et non fonctionnelles, etc.

Conception de l'interaction. Dans cette étape, l'emploi de méthodes informelles de créativité permet aux concepteurs d'explorer l'espace de conception pour produire/générer des solutions d'interaction. Quant aux modèles d'interaction, ils assisteront la description des solutions retenues de façon structurée et non ambiguë et décriront notamment les spécificités propres aux SIM.

Conception logicielle et évaluation de l'utilisabilité.

L'étape de prototypage exploitera la spécification des solutions interactives (modèles d'interaction) conçues pour produire les modèles d'architecture logicielle, procéder au développement et aux tests du système.

Concevoir pour la variabilité des SIM

Outre le rôle central que jouent les aspects physiques dans les SIM, leur particularité principale par rapport aux autres systèmes interactifs se trouve dans la grande variabilité des éléments composant l'interaction. Pour tirer profit de cette propriété il s'avère qu'il est capital de satisfaire en conception trois objectifs :

- Tirer profit de la variabilité intrinsèque aux SIM
- Assister la transition avec l'analyse des besoins
- Assister la transition avec la conception logicielle

Pour passer de l'étape d'analyse des besoins à la conception logicielle, les modèles d'interaction et les techniques informelles de créativité jouent un rôle complémentaire lors de l'étape de conception. Examinons donc comment ces dernières peuvent satisfaire nos trois objectifs.

Modèles d'interaction mixte. Selon [3], les modèles d'interaction sont dotés de trois pouvoirs : 1) descriptif, 2) comparatif et 3) génératif. L'exploitation du pouvoir génératif de ces modèles permet aux concepteurs d'explorer des nouvelles solutions interactives et donc d'élargir plus systématiquement l'espace de conception.

Cependant, compte tenu de la variabilité des aspects constituant un SIM, les modèles d'interaction mixte ont tendance à être extrêmement riches et complets. Leur mise en œuvre nécessite une expertise et un focus attentionnel important qui risquent d'entraîner chez leurs utilisateurs l'omission d'aspects issus de l'analyse des besoins. Ces aspects peuvent traiter du séquençage des actions, de la mise en scène, des exigences fonctionnelles ou d'autres dimensions recensées dans l'analyse. Sans expertise des modèles, l'ancrage de l'étape de conception de l'interaction avec l'étape précédente du processus de développement n'est donc pas assuré.

A l'inverse, le caractère formel des modèles simplifie les échanges entre concepteurs, développeurs et les autres parties prenantes d'une équipe de développement. Cet aspect facilite donc l'ancrage de l'étape de conception avec l'étape aval du processus de développement.

Méthodes informelles pour la créativité. L'emploi des méthodes informelles en conception a montré son intérêt, et sont désormais largement utilisées par la communauté IHM. Leurs mécanismes projectifs facilitent la révélation des besoins ou desirs des utilisateurs. Toutefois, leur bonne mise en œuvre repose entièrement sur les capacités créatives des participants. La créativité est fortement

conditionnée par ce que les participants ont pu rencontrer, percevoir, ou utiliser [4]. Or le domaine des SIM est relativement jeune et encore peu connu du grand public. Les participants aux séances de conception sont donc peu familiarisés avec ce domaine et ont une représentation limitée et/ou onirique du champ des possibles en matière de SIM. Leur créativité est donc potentiellement bridée et/ou inopérante et ce au détriment de l'exploitation de la variabilité des SIM. L'emploi de technique de créativité classique (brainstorming [27], focus-group [14, 16]) sont donc difficilement applicables dans le cas de la conception d'un SIM.

Cependant, ces techniques de créativité ont l'avantage de ne pas nécessiter la maîtrise d'un outil, et/ou d'un langage de modélisation spécifique. Elles présentent donc l'avantage, contrairement aux modèles d'interaction, d'être rapides dans leur mise en œuvre et de mobiliser le focus attentionnel des participants sur les aspects issus de l'analyse. Ces méthodes informelles constituent donc une bonne transition de l'étape de recueil des besoins vers l'étape de conception.

Le point faible de ces méthodes réside dans le type des données qu'elles produisent. Les résultats d'une séance de génération d'idées sont habituellement exploitables sous forme de listing d'idées, dessins, maquettes, vidéos de la séance, etc. Or de telles productions sont fortement sujettes à interprétation. Cela complexifie le travail des concepteurs qui doivent spécifier/formaliser ces données pour les rendre exploitables par les développeurs. L'ancrage de ces méthodes avec les étapes aval du processus de développement n'est alors pas assuré.

Proposition d'articulation

Une voie prometteuse, déjà approchée dans [11], se trouve donc dans l'articulation de ces deux types de méthodes. Une telle articulation peut assister une situation de conception centrée utilisateur et l'exploration des possibilités de SIM dans un contexte identifié. L'utilisation de cette approche en conception permet donc :

- La prise en compte, par les participants, de la richesse interactive des SIM grâce à l'emploi d'un modèle formel.
- Une meilleure considération des besoins et attentes des utilisateurs au travers de l'aspect informel.
- L'encodage dans le modèle des données produites par la génération d'idées. L'utilisation d'un modèle minimise l'effort d'interprétation de ces données à posteriori.
- L'accroissement du potentiel produit : le pouvoir génératif des modèles contribue à la créativité des participants en leur suggérant des dimensions qui leur sont peu communes voir inconnues.

Nous avons donc affiné cette approche articulatoire, et proposons dans cet article ses principes de mise en œuvre et ses éléments constitutifs. De plus, pour montrer l'aspect générique et reproductible de cette approche nous l'avons mise en œuvre avec deux modèles d'interaction que nous illustrons dans cet article au travers de deux expériences et de leur comparaison.

LE FOCUS-GROUP INSTRUMENTÉ

Articulation d'une méthode informelle et d'un modèle d'interaction

L'articulation d'un modèle d'interaction et d'une méthode informelle que nous présentons s'appuie sur l'utilisation d'un focus-group [14, 16] comme méthode informelle et d'un modèle de l'interaction avec un SIM tel que ASUR [12] ou MIM [10]. Nous baptisons cette approche Focus-Group Instrumenté (FGI). Les principes de mise en œuvre et les éléments constitutifs de la méthode sont présentés ci-après.

Principes de Mise en œuvre

L'approche adoptée ici est basée sur les principes fondamentaux du focus-group, et s'appuie donc sur la présence d'un médiateur. Ce dernier a pour rôle d'animer la séance de FGI et d'assister l'utilisation du modèle par les participants. La réalisation d'un FGI est agencée autour de cinq étapes majeures, décrites ci-dessous :

Etape 1 : Décrire le contexte instrumenté de la séance. Le but est d'introduire aux participants les aspects fournis par le modèle de l'interaction utilisé afin de rendre le modèle appréciable par des non experts. Cette première étape de la séance consiste alors en la présentation simplifiée des concepts exprimés par le modèle et des éléments essentiels qui le composent. La granularité de la présentation du modèle faite aux participants est laissée à la discrétion du médiateur et peut dépendre de la familiarisation des participants avec le modèle. Il convient par exemple de présenter les éléments clefs du modèle et d'illustrer sa mise en œuvre sur des exemples simples et concrets. Selon le degré de familiarisation des participants avec le modèle, il est envisageable de fournir un guide de mise en œuvre du modèle utilisé, visant à structurer par exemple un ordre de mise en œuvre des éléments constitutifs du modèle.

Etape 2 : Décrire le contexte applicatif de la séance.

Le but est de présenter et expliquer la décomposition de la tâche ainsi que les éléments issus de l'analyse des besoins qui font l'objet de cette séance de conception avec les participants. Il s'agit donc de présenter la problématique de la séance on pourrait dire plus communément « l'ordre du jour » :

- Les exigences fonctionnelles et non fonctionnelles de l'application. Ceci peut se faire simplement par le biais d'une liste de points.

- Une décomposition claire de la tâche de l'utilisateur final. Cette décomposition peut se faire via l'emploi d'un modèle de tâche par exemple.
- Une maquette intermédiaire concrétisant toutes les exigences non exprimables par les deux points précédents. La forme de cette maquette non interactive peut être diverse. Il peut s'agir de photos, vidéos, story-boards, prototype papier, etc.

Lors de cette étape, le médiateur doit veiller à ce que la granularité des éléments présentés soit adaptée à l'utilisation du modèle utilisé. Cette présentation des exigences, de la tâche et de la maquette intermédiaire constitue les données en entrée du FGI.

Etape 3 : Génération des solutions de conception.

Cette étape est le moteur du FGI. C'est lors de celle-ci que les idées sont générées. Le modèle fournit la structure et le champ d'action autour duquel la génération d'idées est focalisée. Dans l'état actuel de cette articulation, cette troisième étape suit les pratiques d'un focus-group [14, 16]. La séance est donc structurée autour d'un nombre de problèmes à aborder. Cette liste de problèmes est constituée par les éléments extraits de l'analyse des besoins présentés lors de l'étape 2. De cette manière, cette liste constitue un support à la créativité des participants. De plus, lors de la séance nous invitons les participants s'exprimer le plus possible et à rebondir sur les idées générées. Nous veillons également à ce que tout le monde participe. Le médiateur a en charge la stimulation des participants par l'introduction de stimuli liés au résultats de l'analyse des besoins et/ou liés au modèle : il peut par exemple signaler l'existence d'un attribut d'un élément du modèle, insister sur l'incomplétude fonctionnelle du modèle, etc.

De plus, la séance étant instrumentée via le modèle, les idées générées sont directement encodées via la notation du modèle par le médiateur. Pour permettre à tous les participants de s'appuyer sur le modèle et donc d'exploiter son pouvoir génératif, il est nécessaire de favoriser le partage des modèles élaborés. Nous proposons donc d'utiliser un espace, visible par tous les participants, dédié à l'affichage des modèles générés. De cette manière il est possible de visualiser un modèle en grande taille, ou de pouvoir afficher plusieurs modèles simultanément. Plusieurs solutions sont envisageables. Un tableau blanc peut s'avérer suffisant mais ne permet toutefois pas simplement de passer d'un modèle à un autre. L'utilisation d'un rétroprojecteur et de feuilles transparentes sur lesquelles écrit le médiateur est potentiellement plus adapté. Enfin, un environnement graphique de manipulation du modèle constitue a priori une solution optimale, sous réserve d'une flexibilité suffisante de l'outil. L'avantage d'utiliser un éditeur informatisé plutôt qu'un tableau ou qu'un « paper board » est de pouvoir effectuer rapidement des remaniements de modèle, et de

faciliter l'édition. De plus, l'éditeur permet d'adopter automatiquement une représentation graphique unifiée (icônes, flèches, etc.) du modèle, ce qui facilite sa compréhension par les participants. A l'issue de cette étape, on obtient donc un ensemble de modèles représentant les idées générées par les participants. Les deux étapes suivantes constituent des techniques de post-traitement de ces résultats. Ces étapes de post-traitements sont menées par le médiateur sans la présence des participants.

Etape 4 : Extraction, fusion, réarrangement de modèles. Nous avons vu dans l'étape 2 que le contexte applicatif était introduit aux participants. C'est à ce moment que la décomposition de la tâche et les exigences fonctionnelles sont présentées aux participants. Ces dernières ont pour objectif de guider la génération d'idées pour modéliser des solutions interactives répondant aux besoins présentés. Toutefois, il est probable que la majorité des modèles générés ne répondent que partiellement à ces besoins. Le rôle de cette étape est donc d'extraire les solutions sujettes à prototypage et de lier les résultats de la séance avec les phases avalées du processus.

Le post-traitement des résultats consiste à caractériser chacun des modèles générés en fonction des fonctionnalités requises du système. En effet, l'objectif final de ces séances est d'obtenir un ou plusieurs modèles complets en termes de fonctionnalités et répondant, par conséquent le mieux possible aux problématiques posées. Les modèles répondant à toutes les fonctionnalités sont conservés et inchangés pour conserver leur cohérence. Si cela est possible, les modèles répondant partiellement aux exigences du système sont fusionnés dans le but d'obtenir des solutions qui traitent tous les besoins du système. Une fois cela effectué, on obtient un ensemble de modèles complets constituant des solutions potentielles de mise en œuvre de l'interaction.

Etape 5 : Identification de problématiques de conception. Pour ne pas limiter la séance à une simple génération d'idées et de modèles, nous proposons également une technique d'identification d'optimisations potentielles des solutions produites. Il s'agit donc ici d'une deuxième technique de post-traitement des résultats. Pour la mettre en œuvre, il faut identifier pour chaque pré-requis de l'analyse des besoins, la sous-partie de chaque modèle dans laquelle il devrait prendre forme. Ainsi si le pré-requis n'est pas ou est incomplètement exprimé, un point d'optimisation du système est dégagé. De cette manière, on peut identifier facilement des questions d'optimisation du système. De tels besoins d'optimisation peuvent émerger lorsque le modèle n'a pas été suffisamment approfondi lors de la séance ou bien encore lorsque le modèle ne permet pas de représenter le concept sous-jacent. Par exemple, un modèle peut matérialiser le fait qu'un utilisateur doit observer un concept numérique clef pour le système considéré. Toutefois, la représentation de ce concept peut ne pas avoir été

entièrement décrite : doit-il s'agir d'une représentation textuelle, graphique, mobile, 3D, etc. ? Toutes ces questions sont autant de points potentiels pour une optimisation à venir, et donc des itérations complémentaires de l'étape de conception.

MISE EN ŒUVRE DU FOCUS-GROUP INSTRUMENTE

Contexte

Dans le cadre du projet ANR CARE, nous avons mis en œuvre le FGI au travers de deux séances. Ces deux mises en œuvre ont été conjointement réalisées avec des participants de profils similaires, une durée fixée, un cas d'étude fixé et les mêmes résultats d'analyse des besoins. La seule variation entre ces deux séances se trouvait donc dans l'emploi du modèle utilisé : ASUR [12] pour l'une et MIM [10] pour l'autre. Deux aspects motivent cette double mise en œuvre. Elle permet de s'assurer de l'aspect générique du principe de mise en œuvre d'un FGI. De plus cela introduit un paramètre supplémentaire dans le FGI, permettant d'approfondir l'étude des conditions de mise en œuvre nécessaires et des paramètres ayant une influence sur son déroulement. En ce qui concerne les modèles MIM et ASUR, ils permettent tous deux de décrire un SIM. La différence entre ces deux modèles réside principalement dans l'approche adoptée. MIM décrit un SIM comme une composition d'objets mixtes, dans lesquels sont mises en lumière les modalités requises pour relier propriétés physiques et numériques. Tout autrement, ASUR décrit un SIM en identifiant et caractérisant les artefacts interactifs requis (physiques, numériques, dispositifs, utilisateur) ainsi que les flux d'information entre eux. Le premier décrit donc un SIM comme étant d'une composition de services tandis que le deuxième le décrit comme étant un ensemble de facettes formant l'interaction.

Participants

Nous avons identifié des profils types de participants. Ces profils ont été définis en tenant compte de l'aspect pluridisciplinaire intrinsèque au domaine des SIM. Nous avons identifié cinq profils de participants :

- Médiateur : Il est l'expert du modèle d'interaction utilisé pendant la séance. Il est capable de construire un modèle complet et d'animer un travail de groupe.
- Designer : Designer d'objet, ou éventuellement un spécialiste en arts appliqués.
- Expert des SIM : Non expert du modèle, il est spécialiste du domaine des techniques d'interaction.
- Ergonome : Spécialiste en usage dans le domaine général des systèmes interactifs.
- Expert IHM : Spécialiste interaction, dans un domaine différent des SIM.

De plus, dans le cadre de cette expérimentation et pour une meilleure analyse des résultats, plusieurs observateurs passifs ont également participé à chacune des deux séances. Ces derniers étaient en charge de collecter les

divers éléments nécessaires à l'analyse du FGI. Les séances ont été également entièrement filmées.

Cas d'étude

L'application sélectionnée pour ces séances était un prototype destiné au Muséum d'Histoire Naturelle de Toulouse. Ce système devait permettre aux visiteurs du musée de parcourir l'intérieur d'un arbre de classification phylogénétique du vivant, ou cladogramme.

Résultats d'analyse des besoins

L'analyse des besoins de ce cas d'étude était présentée aux participants selon cinq axes :

Domaine applicatif. Il s'agit ici du contexte du Muséum et de toutes les contraintes sous-jacentes aux environnements publics et à la médiation culturelle.

Scénario. Son rôle est d'illustrer une situation d'usage type. Afin de faciliter sa compréhension, nous avons présenté un arbre de classification de véhicules, plutôt que d'espèces vivantes.

Arbre de tâche. Un modèle de tâche KMAD [21] de haut niveau a été présenté aux participants. De cette manière, les principales tâches que l'utilisateur doit pouvoir réaliser sont identifiées.

Principe de fonctionnement. L'application support à la séance suit un principe de fonctionnement global qui est « il faut faire parcourir un chemin dans un environnement depuis un point de départ vers un objectif fixé, par étapes successives ».

Prototype initial. Une maquette carton/diaporama, issue des résultats de l'analyse des besoins a été exposée aux participants (Figure 2). Il s'agit de la maquette initiale sur laquelle doit s'appuyer la conception de l'interaction. Pour notre cas d'étude celle-ci mettait en évidence 2 points : 1) la mise en œuvre d'un environnement virtuel représentant l'arbre de classification du vivant de l'intérieur, 2) l'existence d'une vue « carte » de l'arbre pour assister l'utilisateur dans ses déplacements au sein de l'environnement virtuel.

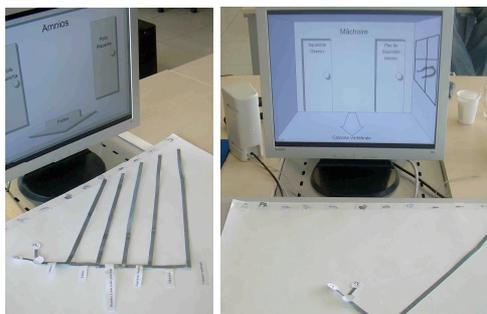


Figure 2 : Maquette initiale issue de l'analyse des besoins présentée aux participants lors de l'étape 2.

Dans ce contexte les deux séances de FGI ont été conduites avec les deux modèles d'interaction différents : ASUR et MIM. Chacune des deux expérimentations a produit cinq instanciations du modèle d'interaction utilisé. Ces modèles ont été extraits et soumis à une analyse comparative présentée ci-après. Le contexte, les résultats et les comparaisons sont détaillées dans [7].

ANALYSE COMPARATIVE DES DEUX FGI Critères d'analyse et de comparaison

Les deux séances ont produites chacune cinq instanciations du modèle utilisé. Nous proposons ci-dessous une analyse comparative organisée autour de quatre critères d'analyse. Pour chacun de ces critères nous justifions leur intérêt et présentons les mesures correspondantes. Afin de pouvoir distinguer les deux mises en œuvre et les modèles générés pour chacune d'elles, nous nommerons dans la suite de l'article les modèles par une lettre (A pour ASUR et M pour MIM) et un numéro de modèle.

Variabilité des éléments. Le premier de ces cinq critères consiste en l'étude de la variété des éléments constitutifs d'un SIM présents au sein des modèles générés. Cette étude traduit la variabilité inhérente aux SIM. Nous avons donc comptabilisé les éléments de différents types et mis en confrontation ce décompte pour les deux mises en œuvre. Pour y parvenir un référentiel commun entre les deux modèles (ASUR et MIM) est nécessaire. Indépendamment de toute représentation de l'interaction mixte, un SIM est composé de quatre types d'éléments : ceux appartenant au monde physique (Eléments physiques dans le Tableau 1), ceux appartenant au monde numérique (Eléments numériques dans le Tableau 1), et ceux appartenant à la frontière entre ces deux mondes (i.e. capteurs, effecteurs, ou divers dispositifs permettant la communication physique/ numérique) (Dispositifs dans le Tableau 1). Le franchissement de cette frontière s'appuie sur l'emploi de langages/modes de communication des données échangées et constitue le quatrième type d'éléments constitutifs d'un SIM (Mode de communication/usage dans le Tableau 1).

Afin de mettre en évidence la variabilité des idées générées nous présentons donc dans le Tableau 1 une comptabilisation de ces quatre types d'éléments. Nous avons comptabilisé ici la totalité des éléments générés pour chacune des deux séances.

Modèle utilisé	ASUR	MIM
Types d'éléments		
Eléments physiques	12	8
Eléments numériques	9	1
Dispositifs	7	10
Mode de communication / langage	4	12

Tableau 1 : Nombre de types d'éléments générés lors des deux mises en œuvre de FGI.

Le *Tableau 1* nous permet de constater que la génération d'idées s'articule autour d'éléments de différents types en fonction du modèle utilisé. En effet, les deux modèles utilisés sont centrés sur des éléments différents de l'interaction mixte. ASUR est centré sur les composants participant à l'interaction (éléments physiques et numériques), et MIM est articulé autour des constituants des modalités d'interaction (dispositifs et langages/modes de communication). Cette première d'analyse montre que le choix du modèle employé impacte la génération des idées et par conséquent que les éléments générés sont fonctions du modèle utilisé. La réitération d'expérimentation avec ces deux modèles permettra de confirmer l'impact du modèle sur les idées produites.

Variabilité des entrées/sortie. Le deuxième critère compare la comptabilisation des éléments, mais cette fois-ci en les caractérisant comme éléments d'interaction en entrée (i.e. manipulation d'un objet) ou en sortie (i.e. perception d'un feedback) du système modélisé. En l'occurrence comme les entrées et les sorties sont propres à chaque modèle, il est nécessaire ici de comptabiliser les éléments par modèle généré et non pas globalement. Le *Tableau 2* présente cette comptabilisation.

	Solutions	Entrées	Sorties
MIM	Modèle M1	1	6
	Modèle M2	0	6
	Modèle M3	8	4
	Modèle M4	3	0
	Modèle M5	6	0
	Total	18	16
ASUR	Modèle A1	8	6
	Modèle A2	4	0
	Modèle A3	3	3
	Modèle A4	2	6
	Modèle A5	2	0
	Total	19	15

Tableau 2 : Comptabilisation des éléments correspondants aux entrées et aux sorties des modèles générés.

Le *Tableau 2* met en évidence qu'il n'y a pas de différence probante en termes de nombre d'entrée/sorties (18 et 16 contre 19 et 15) entre les deux mises en œuvre. Pour ces deux modèles, nous concluons que le modèle n'a pas d'impact sur la production des idées sur les interactions en entrée ou sortie. D'autres expérimentations avec d'autres modèles permettraient peut-être de généraliser ce point. Cependant, il est important de remarquer dans les deux expérimentations que certains modèles générés ne présentent des solutions que pour les entrées ou pour les sorties. Ce sont donc des cas de modèles générés inachevés. Les valeurs mettant en évidence ces cas sont surlignées dans le *Tableau 2*. Or afin de rendre exploitables ces solutions en aval de la conception, il est nécessaire de les compléter pour répondre exhaustivement aux

exigences fonctionnelles posées. Ce qui nous a conduits à analyser les résultats du FGI sous un troisième critère : la compatibilité avec la tâche.

Compatibilité avec la tâche. Le troisième critère nous permet d'évaluer le caractère d'efficacité des modèles générés. Pour cela, nous avons mesuré le recouvrement des modèles générés avec la tâche présentée au début du FGI. Afin de mesurer ce caractère d'efficacité des modèles générés, il est nécessaire d'identifier dans l'arbre de tâche les fonctionnalités à concevoir. Dans notre cas d'étude, ces exigences fonctionnelles sont au nombre de cinq. Nous ne rentrerons pas dans le détail de ces fonctionnalités et nous les avons nommées Fct1, Fct2, Fct3, Fct4, Fct5. Le *Tableau 3* présente cette analyse.

	Solutions	Fct1	Fct2	Fct3	Fct4	Fct5	%
MIM	Modèle M1	✓	✗	✗	✗	✗	20
	Modèle M2	✗	✗	✗	✗	✓	20
	Modèle M3	✓	✓	✓	✓	✗	80
	Modèle M4	✗	✓	✗	✓	✗	40
	Modèle M5	✓	✓	✗	✗	✓	60
ASUR	Modèle A1	✓	✓	✓	✗	✓	80
	Modèle A2	✓	✓	✗	✓	✗	60
	Modèle A3	✗	✗	✓	✗	✗	20
	Modèle A4	✓	✓	✓	✗	✓	80
	Modèle A5	✓	✓	✓	✗	✗	60

Tableau 3 : Recouvrement tâche vs. Modèles générés.

On constate tout d'abord que l'emploi d'un modèle ou d'un autre n'a pas permis d'obtenir des modèles totalement compatibles avec la tâche. On peut donc dans un premier temps conclure que le choix de modèle utilisé ne semble pas avoir d'impact sur la compatibilité avec la tâche des modèles générés. Il ressort donc qu'en l'état actuel, le FGI ne facilite pas la production de solutions satisfaisant entièrement le modèle de tâche et donc prêtes à l'emploi pour le prototypage. Inversement, aucun modèle ne s'est avéré totalement hors champs. Tout modèle avait au moins un lien avec une des fonctionnalités du cas d'étude et 6 modèles générés sur 10 couvrent plus de la moitié des exigences fonctionnelles. Ceci tend donc à montrer que le FGI permet aux participants de se focaliser leur attention sur les différents éléments fournis par l'analyse d'activité et des besoins.

Adéquation sémantique. Le quatrième critère s'attache à des aspects sémantiques des modèles générés. Pour comparer la sémantique la classification proposée par [13] fournit un cadre intéressant. Cette dernière propose de caractériser les métaphores comme étant de « nom » ou de « verbe ». Cependant, notre objectif étant de stimuler les participants autour des éléments en entrée du FGI, il n'apparaît pas raisonnable d'évaluer la sémantique de leurs idées avec d'autres variables que celles introduites en amont de la séance. C'est pourquoi nous nous sommes

appuyés sur les critères ergonomiques de signifiante des codes et d'homogénéité des éléments [1]. Pour cela, nous avons procédé à deux analyses : 1) l'analyse de la cohérence sémantique externe (i.e. signifiante avec le cas d'étude), 2) l'analyse de la cohérence sémantique interne (i.e. homogénéité inter-éléments des modèles générés).

Pour la première analyse, nous avons étudié la signifiante des éléments avec le cas d'étude introduit en amont de la séance. Nous avons donc confronté les éléments présents au sein des modèles générés au domaine d'application, au scénario utilisé ainsi qu'au principe de fonctionnement général du système final. Une mesure globale de la cohérence sémantique externe est ainsi obtenue. Pour cela, nous avons caractérisé chacun des éléments constitutifs des modèles générés et nous les avons annotés -1 si aucun lien sémantique n'était identifié, 0 dans le cas d'un lien neutre (équivalent du "pourquoi pas") et 1 lorsqu'une bonne adéquation était identifiée. Par exemple, nous avons noté 1 le lien entre la manipulation d'un volant de voiture (élément physique) avec le scénario présenté (classification des véhicules). A contrario, dans un autre modèle, nous avons noté -1, le lien entre la manipulation d'une barre d'onglet et le principe de fonctionnement qui est l'exploration immersive. Il est important de remarquer que cette analyse s'attache uniquement à la sémantique des éléments présents au sein des modèles générés, elle est donc particulièrement subjective. Seul l'avis d'un expert du domaine métier (Musée) a permis une telle analyse. Cette dernière est présentée dans le *Tableau 4* ci-dessous :

Critères de comparaison sémantique	ASUR	MIM
Domaine d'application	5	-9
Scénario utilisé	-13	7
Principe de fonctionnement général	12	3
Nombre d'éléments traités	32	31
Total	12,5 %	3,23 %

Tableau 4 : Recouvrement sémantique entre les modèles générés et le cas d'étude.

Un premier constat est que l'expérimentation avec ASUR semble avoir donné de meilleurs résultats en termes d'adéquation sémantique avec les 3 critères utilisés ci-dessus. Cependant les résultats obtenus ne sont pas particulièrement élevés. Ceci implique que des améliorations du FGI sont à produire afin d'obtenir de meilleurs résultats de l'adéquation sémantique des modèles générés avec le contexte d'utilisation final des SIM.

Pour la deuxième analyse, nous avons étudié l'homogénéité des éléments au sein des modèles générés. Une mesure globale de la cohérence sémantique interne est ainsi obtenue. Pour ce faire, nous avons établi une grille de comparaison s'appuyant sur les quatre composantes des SIM (éléments numériques, physiques, dispositifs, langages). L'objectif est de vérifier que les éléments

constitutifs d'un modèle généré sont sémantiquement cohérents entre eux. Par exemple, si dans un modèle l'utilisateur manipule une lampe torche (élément physique) pour se déplacer dans un arbre de classification du vivant (élément numérique) l'adéquation sémantique est bonne (métaphore englobante de l'exploration).

Nous avons procédé pour chacun des modèles aux six comparaisons suivantes : 1) Eléments physiques / physiques, 2) Eléments physiques / numériques, 3) Eléments numériques / numériques, 4) Dispositifs / Dispositifs, 5) Dispositifs / Langages, 6) Langages / Langages. A titre d'exemple, nous avons comparé pour l'expérimentation via le modèle ASUR, tous les éléments numériques avec tous les éléments physiques. Chacune des comparaisons était annotée via la valeur 1 si un lien sémantique apparaissait ou via la valeur 0 si aucun lien sémantique n'était identifiable. Puis nous avons moyenné les résultats de ces six comparaisons pour chacun des modèles (*Tableau 5*).

	Solutions	Moy / Modèle	Moy Totale
MIM	Modèle M1	50,00 %	24,11 %
	Modèle M2	33,33 %	
	Modèle M3	15,00 %	
	Modèle M4	16,67 %	
	Modèle M5	5,56 %	
ASUR	Modèle A1	29,72 %	26,78 %
	Modèle A2	8,33 %	
	Modèle A3	19,44 %	
	Modèle A4	59,72 %	
	Modèle A5	16,67 %	

Tableau 5 : Comptabilisation de l'adéquation sémantique inter-élément pour chacun des modèles générés.

Si on observe le total moyenné de l'adéquation sémantique inter-éléments pour les deux expérimentations, on constate que le résultat n'est pas particulièrement probant. En effet que ce soit pour l'expérimentation via le modèle ASUR ou via le modèle MIM, les résultats sont de l'ordre de 25%. Cette comparaison sémantique interne des modèles générés nous amène donc à conclure, qu'à ce stade du développement de l'approche FGI, le choix du modèle (ASUR ou MIM) ne semble pas avoir d'impact sur la cohérence sémantique des idées générées.

Affinement de la mise en œuvre

Les mesures comparatives présentées ci-dessus nous ont permis d'identifier un certain nombre de points forts et faibles à ce stade de développement de l'approche FGI. Des mises en œuvre itératives nous amèneront à envisager des perspectives d'amélioration de cette approche et de tendre vers un ensemble de recommandations méthodologiques. Pour l'expérimentation et l'analyse présentée en amont nous identifions un ensemble de perspectives d'évolution.

Une première constatation issue de l'analyse comparative de la variabilité des éléments générés est que le choix du modèle semble avoir un impact sur la variabilité des résultats obtenus. En effet, les résultats nous montrent que l'attention des participants s'appuie sur les concepts centraux du modèle utilisé. Il serait intéressant de proposer une solution permettant de relancer la génération d'idées autour des éléments n'étant pas mis en avant par le modèle. Par exemple, le médiateur pourrait stimuler les participants autour de certains types d'éléments, afin de recentrer la génération sur ces derniers. Pour cela nous envisageons la création de patrons de stimuli en guise de boîte à outil générative pour le médiateur. Ces derniers pourront par exemple être caractérisés par la/les conditions entraînant son déclenchement et par le type de résultats attendu. Une autre solution, moins dépendante du médiateur serait d'afficher collectivement l'état d'avancement de la génération d'idées d'éléments qui sont peu exploités par les participants. Cela permettrait aux participants d'identifier leur progression dans l'exploration des possibilités offertes par le modèle.

Pour la comparaison en termes d'entrées/sorties, elle nous permet de constater que les modèles générés ne représentent pas systématiquement des solutions directement exploitables post-séance. L'exploitation à posteriori, des modèles générés, est donc complexifiée. L'expert chargé d'extraire les résultats de la séance et de recombinaison les modèles incomplets (cf. Etape 4) doit réassocier les éléments dispersés au travers des divers modèles partiels tels que cela a été évoqué lors de la génération d'idées. Pour faciliter cette phase de post traitement des résultats, il serait intéressant de permettre aux participants et/ou au médiateur de rattacher les solutions partielles générées entre elles pendant ou à l'issue de la séance pour ne pas brider la créativité des participants.

Pour ce qui est de la compatibilité avec la tâche des modèles générés, on constate qu'aucun de ces derniers dans les deux FGI n'est complètement compatible avec les exigences fonctionnelles initiales. Il apparaît donc nécessaire de stimuler les participants autour de cet aspect. Par exemple, la visualisation de la liste des exigences fonctionnelles satisfaites et non satisfaites en parallèle de chacun des modèles créés au fur et à mesure de la séance pourrait constituer une solution d'amélioration.

En ce qui concerne l'adéquation sémantique avec le domaine applicatif, elle est peu satisfaisante pour les deux expérimentations. La diversité des résultats obtenus nous amène à nous interroger sur les connaissances des participants de chacune des deux mises en œuvre quant au domaine d'application. Dans le but d'affiner les profils et d'identifier les profils manquants ou superflus, nous pensons que la présence d'un expert du domaine apparaît désormais nécessaire. De plus pour faciliter l'exploration du contexte, les artefacts issus de l'analyse des besoins et

présentés en amont de la séance devront être plus présents, c'est-à-dire accessibles durant la séance. Pour l'adéquation sémantique inter-éléments des modèles générés, les résultats sont également faibles. Nous recommandons donc la stimulation par le médiateur au réemploi des métaphores utilisées. La nature de la mise en œuvre de ce stimulus est à déterminer. Cette dernière pourra prendre plusieurs formes comme la stimulation orale, la génération systématique d'éléments incitant à la poursuite de la métaphore en question, etc.

Discussion

L'analyse comparative présentée ci-dessus nous a permis d'identifier des pistes d'amélioration de l'approche FGI. En effet, cette analyse n'a pas pour objectif de mesurer la performance des mises en œuvre du FGI mais uniquement d'identifier des relations causales entre les paramètres de la séance (profils, cas d'étude, modèles utilisés, etc.) et les caractéristiques des instanciations de modèles résultants (variabilité, compatibilité, sémantique, etc.). Des limitations relatives aux mesures réalisées existent notamment en ce qui concerne l'analyse de l'adéquation sémantique, qui ne s'appuie que sur un avis d'expert. Toutefois, ces deux mises en œuvre nous ont montré qu'une telle approche permettait d'obtenir des résultats exploitables. En effet, après application du post-traitement présenté dans l'étape 4 sur la mise en œuvre via le modèle ASUR, une solution interactive répondant aux exigences posées a pu être extraite et prototypée.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Nous avons montré que l'instrumentation d'un focus-group par les modèles est une approche digne d'intérêt. Elle permet un meilleur ancrage au sein du processus de conception, assiste à la génération d'idées et permet aux participants d'explorer plus systématiquement le domaine des SIM. Les deux premières mises en œuvre nous ont permis de vérifier la faisabilité et la pertinence de l'approche. C'est désormais en itérant au travers de nouvelles mises en œuvre que nous serons capables de fortifier son efficacité. Pour y parvenir l'analyse comparative présentée dans cet article a permis l'identification des divers leviers et pistes d'amélioration. Ceci nous permettra d'approfondir l'étude de l'ancrage de l'approche au sein du processus de développement ainsi que son apport pour la conception des SIM. Nous identifions deux approches permettant le perfectionnement du FGI. Une première visant à identifier les paramètres permettant d'obtenir des résultats similaires quelque soit le modèle utilisé, et une deuxième visant à exploiter au mieux les forces du modèle utilisé et donc de s'appuyer sur ses caractéristiques pour la génération d'idées. Seules de nouvelles mises en œuvre mettront en lumière des éléments qui nous permettront d'effectuer un choix parmi ces deux approches. Ces nouvelles mises en œuvre permettront également d'affiner les principes du déroulement d'un FGI et l'analyse de leurs résultats.

REMERCIEMENTS

Ces travaux reposent sur une collaboration avec le Muséum d'Histoire Naturelle de Toulouse et en particulier F. Duranthon. Les résultats présentés dans cet article sont financés par l'ANR - projet CARE (Cultural Experience: Augmented Reality and Emotion) - www.careproject.fr

BIBLIOGRAPHIE

1. Bach, C. et Scapin, D.L. *Critères Ergonomiques pour les Interactions Homme-Environnements Virtuels : définitions, justifications et exemples*. 2005. <http://www.inria.fr/rrrt/fr-5531.html>.
2. Barthet, M. et Tarby, J. *The Diane+ method*. Presses Universitaires de Namur (1996), 95-120.
3. Beaudouin-Lafon, M. *Designing interaction, not interfaces*. AVI'04, ACM (2004), 15-22.
4. Bonnardel, N. *Créativité et conception : Approches cognitives et ergonomiques*. Solal Editeurs, 2006.
5. Calvillo-Gámez, E.H., Leland, N., Shaer, O., et Jacob, R.J.K. *The TAC paradigm: unified conceptual framework to represent Tangible User Interfaces*. Latin American conference on Human-computer interaction ACM (2003), 9-15.
6. Card, S.K., Newell, A., et Moran, T.P. *The Psychology of Human-Computer Interaction*. Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 1983.
7. CARE D311. *Illustrations de l'articulation entre méthodes d'analyse et modélisation*. Livrable du projet CARE Lot 3, 2009, www.careproject.fr.
8. Carroll, J.M., éd. *Interfacing thought: cognitive aspects of human-computer interaction*. MIT Press, 1987.
9. Cheung, D., Tigli, J., Lavirotte, S., et Riveill, M. *Wcomp: a Multi-Design Approach for Prototyping Applications using Heterogeneous Resources*. Seventeenth IEEE International Workshop on Rapid System Prototyping, 2006. , (2006), 119-125.
10. Coutrix, C. et Nigay, L. *Balancing Physical and Digital Properties in Mixed Objects*. AVI'08, ACM (2008), 305-308.
11. Dubois, E., Gauffre, G., Bach, C., Salembier, P. *Participatory Design Meets Mixed Reality Design Models*. CADUI'08, 71-84.
12. Dubois, E., Gray, P. *A Design-Oriented Information-Flow Refinement of the ASUR Interaction Model*. EIS'08, 465-482.
13. Fishkin, K.P. *A taxonomy for and analysis of tangible interfaces*. Personal Ubiquitous Comput. 8, 5 (2004), 347-358.
14. Kontio, J., Lehtola, L., et Bragge, J. *Using the focus group method in software engineering: obtaining practitioner and user experiences*. ISESE 2004, 271-280.
15. Muller, M.J. *PICTIVE - an exploration in participatory design*. Human factors in computing systems: Reaching through technology, ACM (1991), 225-231.
16. Nielsen, J. *The use and misuse of focus groups*. Software, IEEE 14, 1 (1997), 94-95.
17. Norman, D.A. et Draper, S.W. *User Centered System Design; New Perspectives on Human-Computer Interaction*. Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 1986.
18. Paternò, F., Santoro, C., et Tahmassebi, S. *Formal Models for Cooperative Tasks: Concepts and an Application for En-Route Air Traffic Control*. DSV-IS, (1998).
19. Renevier, P. et Nigay, L. *Notation de Conception pour les Systèmes Mixtes Collaboratifs et Mobiles*. UBIMOB'04, ACM (2004), 66-73.
20. Sandor, C. et Klinker, G. *A rapid prototyping software infrastructure for user interfaces in ubiquitous augmented reality*. Personal Ubiquitous Comput. 9, 3 (2005), 169-185.
21. Scapin, D. et Bastien, J. *Analyse des tâches et aide ergonomique à la conception : l'approche MAD**. Analyse et conception de l'IHM. 2001, 85-116.
22. Schmalstieg, D., Fuhrmann, A., Hesina, G., et coll. *The studierstube augmented reality project*. Presence: Teleoperators and Virtual Environments. 11, 1 (2002), 33-54.
23. Sears, A. et Jacko, J.A. *The Human-Computer Interaction Handbook: Fundamentals, Evolving Technologies, and Emerging Applications*. CRC Press Inc, 2007.
24. Serrano, M., Juras, D, Nigay, L. *A Three Dimensional Characterization Space of Software Components for Rapidly Developing Multimodal Interfaces*, ICMI'08, ACM (2008), 149-156.
25. Smith, S. *Exploring the Specification of Haptic Interaction*. Interactive Systems. Design, Specification, and Verification. 2007, 171-184.
26. Vaajakallio, K. et Mattelmäki, T. *Collaborative design exploration: envisioning future practices with make tools*. ACM (2007), 223-238.
27. Wilson, C.E. *Brainstorming pitfalls and best practices*. interactions 13, 5 (2006), 50-63.