



INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE EN INFORMATIQUE ET EN AUTOMATIQUE

**Critères Ergonomiques pour les
Interactions Homme-Environnements Virtuels :
définitions, justifications et exemples**

Cédric Bach
Dominique L. Scapin

N° 5531

Mars 2005

————— Thème COG —————

*R*apport
de recherche

Critères Ergonomiques pour les Interactions Homme-Environnements Virtuels : définitions, justifications et exemples.

Cédric Bach, Dominique L. Scapin

Thème cog C – **Données multi-media : interpretation et interaction homme-machine**
Projet MerLIn

Rapport de recherche n°5531 – Mars 2005 - 48 pages

Résumé: Ce rapport présente les définitions, justifications et exemples de recommandations associées aux Critères Ergonomiques adaptés aux Interactions Homme-Environnements Virtuels (IHEV). Les Critères Ergonomiques présentés sont fondés sur les Critères Ergonomiques décrits dans Bastien & Scapin (1993). On a procédé selon les mêmes étapes, lesquelles sont succinctement rappelées. Le recueil des résultats, leur décryptage et leur classification, sont présentées dans un premier temps. Une étape de validation de l'utilisabilité des critères sous la forme d'une tâche d'affectation est décrite et les principaux résultats sont fournis. Une seconde étape de validation concernant cette fois l'utilité des critères est également exposée à travers une comparaison des performances des critères, en situation d'inspection ergonomique d'Environnements Virtuels (EV), avec celles de deux autres méthodes : les Tests Utilisateurs et l'Inspection Libre. Enfin des perspectives d'autres expériences sont proposées, les limites du document et une mise en garde sur son utilisation précèdent la description complète des Critères Ergonomiques dédiés aux IHEV.

Mots-clés: Critères Ergonomiques, Interaction Homme-Environnements Virtuels, Méthodes d'inspection ergonomique, Expérimentation.



Ergonomic Criteria for Human-Virtual Environments Interactions : definitions, justifications, examples

Abstract: This report provides definitions, justifications, and examples of recommendations for the Ergonomic Criteria adapted to Human-Virtual Environments Interactions (HVEI). The current Ergonomic Criteria are based on the Ergonomic Criteria described in Bastien & Scapin (1993). They followed the same design steps. First, the data gathering, deciphering, and classification studies are described. Then the results of a first validation based on an assignment task are highlighted. A second validation step is also described : it consists of a comparison, in terms of performance, of the Ergonomics Criteria, in a context of ergonomic inspection of Virtual Environments (VE), with two other methods : free inspection and user testing. Finally, future experimental work is suggested, as well as the identification of limits for the approach, and warnings concerning the use of this document, before the full description of the Ergonomic Criteria dedicated to HVEI is provided.

Keywords: Ergonomic Criteria, Human-Virtual Environments Interactions, Ergonomic inspection methods, Experiment.

Unité de recherche INRIA Rocquencourt
Domaine de Voluceau, Rocquencourt, BP 105, 78153 Le Chesnay Cedex
(France)

Téléphone : +33 1 39 63 55 11 — Télécopie : +33 1 39 63 53 30

SOMMAIRE

A. Introduction.....	3
B. Le développement de Critères Ergonomiques pour les EVs.....	4
A. RECUEIL DES DONNEES.....	4
B. DECRYPTAGE DES RECOMMANDATIONS	4
C. CLASSIFICATION DES RECOMMANDATIONS	5
C. Validations expérimentales des C.E. adaptés aux IHEV	6
D. Perspectives et futures expériences.....	10
E. Limites du document.....	11
F. Références :	11
1 Compatibilité	13
2 Guidage.....	14
2.1 LISIBILITE	15
2.2 INCITATION	16
2.3 GROUPEMENT/DISTINCTION ENTRE ITEMS	17
2.3.1 <i>Groupement/Distinction par la localisation</i>	18
2.3.2 <i>Groupement/Distinction par le format</i>	19
2.3.3 <i>Groupement/Distinction par le comportement</i>	20
2.4 FEEDBACK IMMEDIAT	22
3 Contrôle explicite	23
3.1 ACTIONS EXPLICITES	24
3.2 CONTROLE UTILISATEUR	25
4 Signifiante des Codes, Dénominations et Comportements	26
5 Charge de travail.....	27
5.1 CHARGE PHYSIQUE	28
5.2 BRIEVETE	29
5.2.1 <i>Actions minimales</i>	30
5.2.2 <i>Concision</i>	31
5.3 DENSITE INFORMATIONNELLE	32
6 Adaptabilité.....	33
6.1 PRISE EN COMPTE DE L'EXPERIENCE DE L'UTILISATEUR	34
6.2 FLEXIBILITE	35
7 Homogénéité/Cohérence	36
8 Gestion des erreurs	38
8.1 PROTECTION CONTRE LES ERREURS	39
8.2 QUALITE DES MESSAGES D'ERREUR	40
8.3 CORRECTION DES ERREURS	41

A. Introduction

La conception initiale de critères ergonomiques est issue d'un programme de recherche visant à développer un ensemble de méthodes et d'outils pour l'évaluation ergonomique des Interactions Homme-Machine (Scapin, 1990a). Alors que d'autres parties du programme de recherche concernaient des questions liées aux tâches, à l'expertise, à la modélisation, etc, la mise en place de critères ergonomiques était envisagée comme une voie permettant de définir les dimensions de l'utilisabilité, notions utiles pour la conception, l'évaluation, mais aussi pour la diffusion et l'enseignement de l'ergonomie des IHM. Plus spécifiquement, l'objectif des critères est d'améliorer l'exhaustivité et le caractère explicite des diagnostics d'évaluation, et de standardiser le format de ces diagnostics.

D'autres caractéristiques sous-jacentes à cette approche sont :

- Basées sur l'analyse, au moins en ce qui concerne les problèmes connus, ceci pour des raisons de coût et de contraintes temporelles.
- Destinées à des non-spécialistes en ergonomie ; les utilisateurs potentiels de ces méthodes étant principalement des spécialistes de l'informatique (e.g., concepteur d'interface, d'EV) pour lesquels l'applicabilité directe des connaissances ergonomiques est importante.
- Autorisant explicitement la mesure (en termes de conformité avec les recommandations et normes), et suffisamment standardisée pour permettre la réplique.

Des dimensions normatives telles que des critères peuvent être basées sur différentes stratégies de conception. La stratégie choisie ici est une stratégie bottom-up ou inductive, basée sur les données expérimentales et recommandations disponibles qui sont transformées en recommandations unitaires, itérativement regroupées en ensembles caractérisés par des dimensions spécifiques. Ainsi, dans le domaine de l'évaluation, une approche empirique a été développée (Scapin, 1990b). Des recommandations issues de la littérature ont été organisées en groupes qui ont été caractérisés par critères décrivant au mieux le raisonnement pour utiliser telle ou telle recommandation (initialement comme une façon d'accéder à une base de données). Après plusieurs itérations, utilisant des décisions basées sur un accord inter-juges, les critères ont été définis et testés pour les interfaces graphiques (GUIs) (Bastien & Scapin, 1995 ; Scapin & Bastien, 1997), puis pour les applications Web (Leulier, Bastien, & Scapin, 1998 ; Scapin *et al.*, 2000 ; Farenc *et al.*, 2001).

Dans la présente recherche, l'objectif est de procéder de manière similaire, mais sur un type d'interactions particulières : les Interactions Homme-Environnement Virtuel (IHEV).

B. Le développement de Critères Ergonomiques pour les EVs.

La conception de Critères Ergonomiques pour les EVs est passée par trois étapes successives.

- Le recueil et la sélection de résultats ou de recommandations sur le sujet dans la littérature.
- Le décryptage de ces informations afin de parvenir à la formulation de recommandations applicables.
- La classification de ces recommandations à la fois au moyen d'une structure d'objets d'interaction et des C.E. classiques (e.g., GUIs).

a. Recueil des données.

Le recueil des données a été effectué à partir de l'examen approfondi de la littérature scientifique en matière d'ergonomie des Environnements Virtuels. Les sources examinées relèvent, d'une part de ressources en ligne : moteurs de recherche sur le Web et diverses bases de données comme HciBib, ACM Digital Library, Ergonomics Abstracts, Presence Connect ; d'autre part, de revues telles que Behaviour and Information Technology, Human Factors, Applied Ergonomics, Ergonomics, Presence Teleoperators and Virtual Environments.

Ces sources nous ont permis de regrouper une base conséquente d'articles scientifiques, d'actes de conférences, de thèses et d'ouvrages sur le thème de l'interaction avec les EVs ou les applications 3D en général.

b. Décryptage des recommandations

Pour parvenir à extraire les recommandations ergonomiques de la littérature il a été nécessaire de mettre en place une méthode d'extraction. A des fins d'identification, les recommandations ont été caractérisées par une série d'attributs inspirés de Scapin (1990c) pouvant caractériser une recommandation. Ces attributs s'attachent à :

- Situer le cadre d'application de la recommandation à travers la description de la tâche, des utilisateurs et de la configuration informatique.
- Situer la source bibliographique de la recommandation.
- Définir le type de la recommandation (pratique habituelle, guide ergonomique, expérimentation, opinion des auteurs, révision de résultats expérimentaux).

Ces attributs nous ont servi de base pour constituer des fiches de recommandations à partir des recommandations existantes. A travers ces fiches, nous avons pu remarquer que le cadre d'application des différentes recommandations reste souvent flou, du fait de la portée générale des recommandations extraites de la littérature (par exemple, de nombreuses recommandations sur le guidage peuvent s'appliquer à tout type de configuration informatique).

c. Classification des recommandations

La classification a été effectuée à partir de deux attributs :

- Une structure préliminaire d'objets d'interaction, définie dans le même esprit que celles effectuées par le passé pour les interfaces traditionnelles et le Web : pour chacune des recommandations, on a relevé l'objet d'interaction impliqué et on a tenté de les classer de manière logique, en termes d'appartenance à des classes hiérarchiques. Cette structure n'a pas été intégrée au document car elle n'a pas été soumise, pour le moment, à une série de validations. Le lecteur intéressé peut se référer à : Bach & Scapin, 2003a ; Bach 2004 ; Dubois *et al*, 2004.
- Les critères ergonomiques précédemment mis en évidence pour les interfaces traditionnelles (Scapin & Bastien, *op.cit*) et le Web (Leulier, Bastien & Scapin, *op.cit*).

Ces critères ont constitué la première base de classification. Itérativement et suite à un accord inter-juges, si un critère convenait en termes d'affectation aux recommandations et en termes de définitions, il demeurait inchangé ; si sa définition originelle était partiellement inadaptée, elle était complétée ; et si aucun critère originel ne convenait pour caractériser un groupe de recommandations, un nouveau critère était créé.

Les C.E. pour les IHEV sont actuellement au nombre de : 8 *critères principaux* et 20 *critères élémentaires* (certains C.E. principaux sont également élémentaires dans la mesure où ils n'ont pas donné lieu à une sous-classification particulière).

Par rapport aux C.E. précédents (Bastien & Scapin, 1993) quelques modifications ont été apportées dans l'organisation des C.E. adaptés aux EVs. Deux critères ont été ajoutés, il s'agit des critères *Charge Physique* et *Groupement/Distinction par le Comportement*, car certaines des recommandations relatives à l'interaction physique inhérente aux EVs, ainsi que d'autres relatives aux comportements d'objets 3D, ne pouvaient pas être affectées à des critères existants. Un seul critère a été modifié, *Signifiance des Codes et Dénominations* a été remplacé par *Signifiance des Codes, Dénominations et Comportements*, car cette appellation permet de mieux rendre compte des dimensions comportementales liées aux EVs. Quatre C.E. ont été maintenus bien qu'ils n'aient pas donné lieu au classement de recommandations¹ ; la raison en est (tout comme pour les extensions des C.E. au Web) que les recommandations classiques (e.g., GUIs) relatives à ces critères sont en partie directement transposables aux EVs ; il s'agit des critères : *Concision, Densité Informationnelle, Actions Explicites, Qualité des Messages d'Erreur*.

Enfin, l'ordre de présentation des C.E. pour les IHEV est différent de celui utilisé pour les C.E. dédiés aux GUIs et au Web. En effet, les 20 critères ont été ordonnés selon un ordre hypothétique basé sur une stratégie potentielle d'inspection (alors que les critères précédents étaient simplement ordonnés en fonction du nombre de recommandations qui leur étaient affectées).

¹ Rappelons que le recueil n'a concerné que les recommandations de la littérature qui faisaient explicitement référence au 3D ou aux EVs. Un travail ultérieur consistera d'ailleurs à examiner la possibilité d'application aux EVs de recommandations « classiques » issues de compilations et normes existantes.

La liste actuelle des critères² est la suivante :

1	Compatibilité *
2.	Guidage
	2.1 Lisibilité *
	2.2 Incitation *
	2.3 Groupement/Distinction entre items
	2.3.1 Groupement/Distinction par la localisation *
	2.3.2 Groupement/Distinction par le format *
	2.3.3 Groupement/Distinction par le comportement *
	2.4 Feedback immédiat *
3	Contrôle explicite
	3.1 Actions explicites *
	3.2 Contrôle utilisateur *
4	Signifiante des codes, dénominations et comportements *
5	Charge de travail
	5.1 Charge physique *
	5.2 Brièveté
	5.2.1 Actions minimales *
	5.2.2 Concision *
	5.3 Densité informationnelle *
6	Adaptabilité
	6.1 Prise en compte de l'expérience de l'utilisateur *
	6.2 Flexibilité *
7	Homogénéité/Cohérence *
8	Gestion des erreurs
	8.1 Protection contre les erreurs *
	8.2 Qualité des messages d'erreur *
	8.3 Correction des erreurs *

C. Validations expérimentales des C.E. adaptés aux IHEV

Les validations expérimentales ont été effectuées à travers 2 expérimentations (Bach, 2004). La première a pour objectif de mesurer la validité intrinsèque des 20 C.E. à travers une tâche d'affectation de problèmes ergonomiques réalisés par des spécialistes en ergonomie des logiciels. La seconde a pour objectif de mesurer l'apport des C.E. en situation d'inspection ergonomique en la comparant à deux autres situations d'évaluations, une inspection ergonomique basée sur les connaissances de l'évaluateur et un test utilisateur.

Une tâche d'affectation a donc été réalisée pour évaluer la compréhension des critères en étudiant la mise en correspondance entre des dimensions (les C.E.) et des « instances » de ces dimensions c'est-à-dire des problèmes d'utilisabilité des EVs (Bach et Scapin ; 2003bc). Si les C.E. sont suffisamment explicites et clairement définis, les participants devraient être en mesure, face à des exemples de lacunes ergonomiques, de les affecter correctement au critère correspondant. L'objectif est ainsi de mesurer cette adéquation, laquelle constituera, par critère, un indice de sa validité.

Dix personnes (6 hommes et 4 femmes) ont participé à l'étude. Toutes ont une formation supérieure en psychologie allant du DESS au Doctorat. Ces personnes ont toutes un niveau en

² Les C.E. élémentaires sont dotés d'un astérisque

ergonomie que l'on peut qualifier d'avancé. Les participants ont en moyenne 5,65 années d'expérience ($E.T. = 5,4$) en ergonomie des logiciels ou des environnements informatisés. Tous ont des connaissances théoriques sur les méthodes en ergonomie des logiciels. Ils ne sont pas initiés aux IHEV. Ils connaissent tous les C.E. dédiés aux GUIs et au Web, certains d'entre eux les utilisent dans le cadre de leurs activités professionnelles.

Il a donc été demandé à ces personnes d'affecter une série de 40 lacunes ergonomiques (présentées sous la forme d'énoncés ou de vidéos), 2 par *critère élémentaire*. Le choix de ces problèmes s'est fait sur leur adéquation vis-à-vis des *critères élémentaires*. On parle ici de *critères théoriques* comme étant les critères affectés initialement, « par construction », aux exemples.

L'expérience se déroule en trois phases.

Au cours de la première, les participants sont invités à lire en intégralité le document présentant les C.E. adaptés aux EVs (temps de lecture, $M = 25$ min, $E.T. = 5$). Les participants ont pu se référer en tout temps durant l'intégralité de l'expérience à ce document.

Puis, on procède à la phase d'affectation des problèmes ergonomiques aux critères. La présentation des problèmes s'effectue suivant un ordre aléatoire spécifique à chaque participant. L'expérimentateur a présenté un à un les problèmes et le cas échéant les vidéos illustratives aux participants. Ces derniers doivent alors choisir le *critère élémentaire* auquel se rapporte l'énoncé du problème.

Enfin, on procède à une phase de confirmation ou de modification de la première affectation. L'expérimentateur présente à nouveau un à un les problèmes, dans le même ordre que lors de la phase précédente. L'expérimentateur demande aux participants de confirmer ou de modifier l'affectation qu'ils ont précédemment effectuée. Les participants doivent alors confirmer leur affectation ou le cas échéant, indiquer un autre *critère élémentaire* qui se rapporte mieux à l'énoncé du problème. Aucune contrainte de temps n'est imposée pour réaliser la session expérimentale.

Les participants ont consacré $M = 72$ min, $E.T. = 14,1$ à la réalisation des deux phases de la tâche d'affectation. Leur performance d'affectation correcte (correspondance entre le *critère élémentaire* choisi et le *critère théorique*) est de 68% pour les *critères principaux* et de 59,5% pour les *critères élémentaires*. Un examen détaillé des résultats et l'analyse d'une matrice de confusion a permis de mettre en évidence des catégories de critères bien définis et des critères dont les définitions devaient être améliorées à travers l'ajout de commentaires, d'exemples, et de contre-exemples. Ces modifications, qui figurent dans la présente version des C.E., devant permettre une amélioration globale des performances d'affectations obtenues dans le cadre restrictif de cette expérimentation.

Une comparaison de méthodes a également été réalisée afin de mesurer l'apport des C.E. dans le cadre d'évaluations ergonomiques de deux EVs. Les méthodes comparées sont l'inspection ergonomique à l'aide des C.E., l'inspection ergonomique basée sur les connaissances de l'évaluateur, les Tests Utilisateurs. Toutes ces méthodes sont appliquées pour évaluer l'utilisabilité de deux EVs. Chaque EV est évalué sur une durée fixe de 30 minutes, comprenant la phase de découverte de l'application. Les EVs évalués sont respectivement un didacticiel de jeu vidéo 3D et une application touristique présentant la Vallée de Chamonix en 3D. Ces applications fonctionnent sur un ordinateur classique.

Pour l'inspection ergonomique à l'aide des C.E. il a été demandé à 10 participants étudiants (5 hommes et 5 femmes ; âge, $M = 24,5$; $E.T. = 2,5$) dans un *DESS de Psychologie du Travail* et ayant suivi une formation à l'ergonomie des logiciels, d'effectuer individuellement une

inspection ergonomique de 30 minutes par application sur 2 EVs. Les participants ont donc pris connaissance, par une lecture préliminaire (temps de lecture, $M = 27$ min, $E.T. = 6$) du document présentant les C.E. adaptés aux EVs (le même que celui utilisé dans la tâche d'affectation ; voir Bach, 2004). Les participants ont pu se référer en tout temps, durant l'intégralité de l'expérience, à ce document.

Pour réaliser l'inspection ergonomique basée sur les connaissances de l'évaluateur (groupe contrôle) 9 étudiants (3 hommes et 6 femmes ; âge, $M = 26$ ans ; $E.T. = 7$) issus du même DESS ont réalisé une inspection des mêmes EVs durant 30 minutes par application, mais cette fois en se basant uniquement sur leurs connaissances en ergonomie des logiciels.

Enfin, nous avons mis en place un Test Utilisateur classique en laboratoire d'utilisabilité avec un groupe de sujet ayant un profil homogène (5 hommes et 5 femmes ; âge, $M = 21,8$ ans, $E.T. = 1,5$) vis-à-vis de l'utilisation des ordinateurs (Bureautique, Internet). Afin de mettre en évidence des problèmes réels d'utilisabilité sur les deux EVs évalués.

Les résultats obtenus montrent que les performances individuelles du groupe qui a utilisé les C.E. pour effectuer les inspections sont significativement (t de Student, $p = 9E-08$) plus élevées que celles du groupe contrôle voir Figure 1. Par contre il n'y a pas de différence significative (t de Student, $p = 0,1096$) entre le nombre de problèmes trouvés en moyenne par sujet entre la méthode des Tests Utilisateurs et l'inspection à l'aide des C.E.

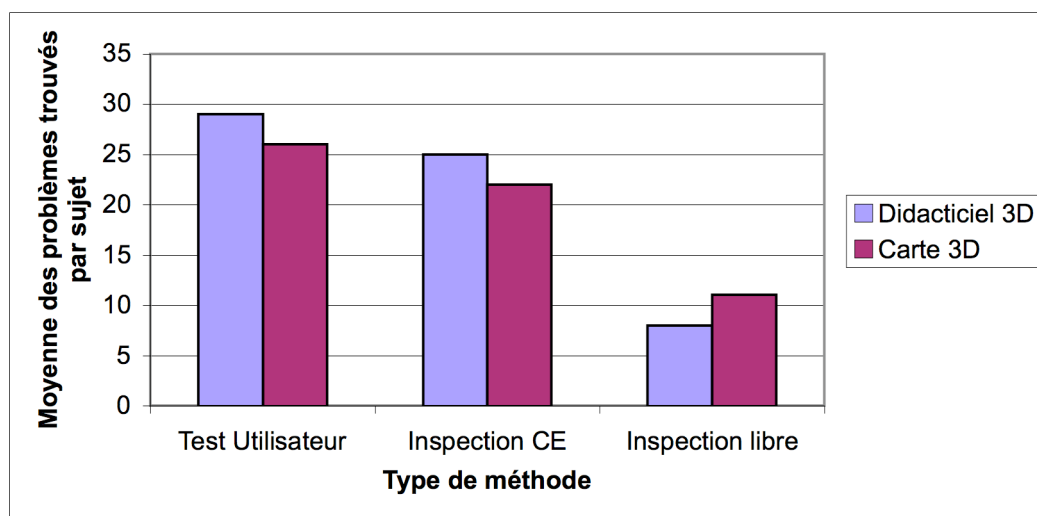


Figure 1: Moyenne des lacunes trouvées par les sujets suivant les différentes méthodes.

Nous avons également observé un effet des C.E. par rapport à l'homogénéité des problèmes trouvés par chaque inspecteur, par rapport au groupe contrôle, voir Figure 2. En effet, entre 61 et 68 % (suivant l'application) des problèmes sont communs à au moins deux évaluateurs dans le groupe des C.E., alors que ce score est de 30 à 45% (suivant l'application) dans le cas du groupe contrôle. Concernant la méthode des Tests Utilisateurs on observe une variabilité importante (18%) de la communauté de problème suivant les applications, le score obtenu varie de 57 à 75%. Ceci montre que la nature des applications peut avoir un effet sur l'homogénéisation des résultats obtenus lors de Tests Utilisateurs (18% d'écart) ou

d'inspections libres (15%), alors que cet effet semble être atténué par l'utilisation des C.E. (7%).

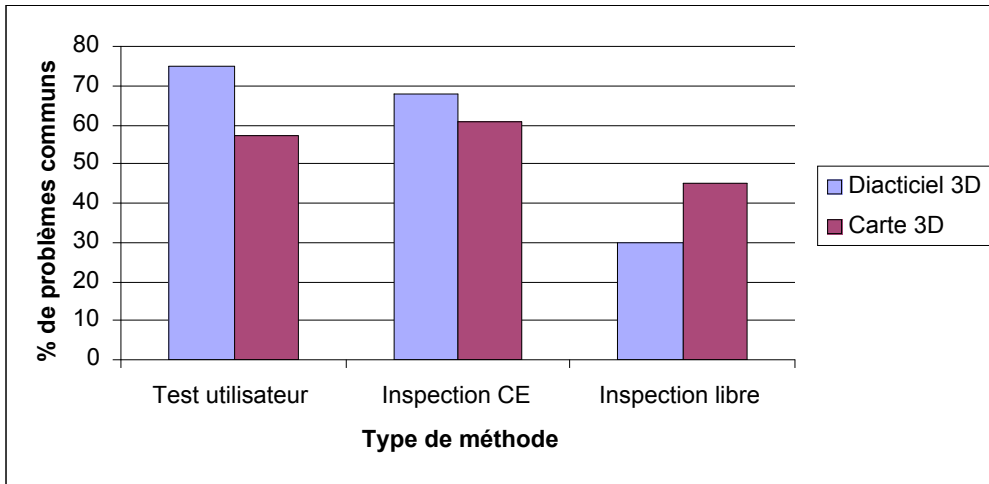


Figure 2: % de problèmes communs à au moins deux sujets en fonctions des méthodes utilisées.

Enfin, nous avons également observé à travers une analyse globale des problèmes trouvés à l'aide de l'ensemble des méthodes sur les deux applications évaluées, que les C.E. permettent de révéler 60% des problèmes trouvés pour les deux applications, alors que les Tests utilisateurs révèlent entre 56 et 58% des problèmes suivant l'application, quant au groupe contrôle, il ne permet de révéler qu'entre 34 et 38% des problèmes mis en évidence sur les applications, voir Figure 3. Ce résultat montre une équivalence du pouvoir d'identification des problèmes entre l'Inspection à l'aide des C.E. et les Tests utilisateurs, qui est bien supérieur à celui du groupe contrôle.

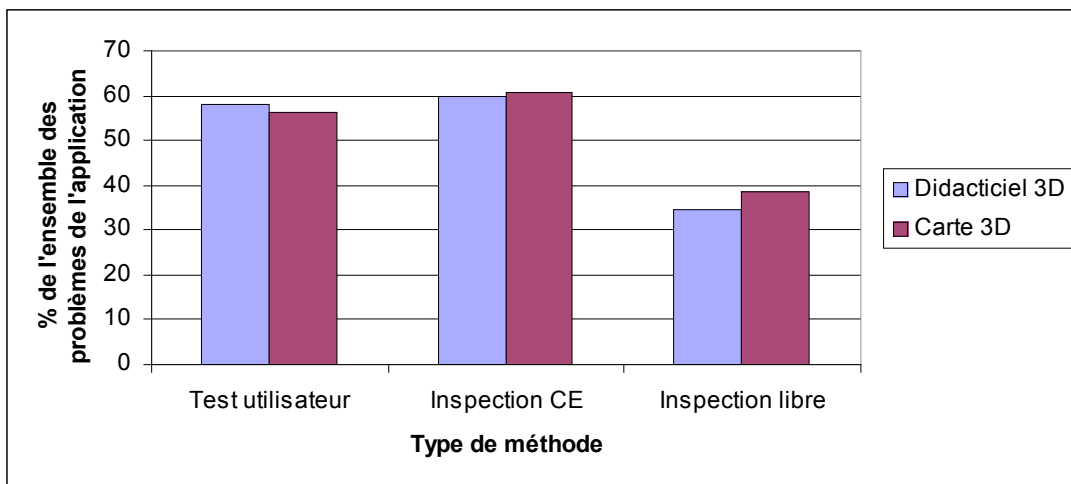


Figure 3: Proportion des problèmes trouvés à l'aide de chaque méthode par rapport à l'ensemble des problèmes identifiés sur les applications.

D'un point de vue qualitatif, les situations ayant conduit à l'identification de problèmes spécifiques à chaque méthode ont été catégorisées afin de cerner la nature de celles-ci. Ainsi, les Tests Utilisateurs conduisent à l'identification de deux catégories générales de situations liées à l'utilisation des scénarii de tâches :

- Premièrement, exécution d'opérations particulières (i.e., comme des essais de manipulation ou pour atteindre un objectif spécifique, chercher des informations particulières), dans le sens où les scénarii conduisent les utilisateurs à le faire ;
- Deuxièmement, exploration de différents contextes d'utilisation, dans le sens où les scénarii conduisent les utilisateurs à le faire. (en inspection, il faut que l'évaluateur se mette explicitement dans un contexte similaire, pour identifier des problèmes visibles uniquement dans ce contexte).

Dans le cadre d'inspections à l'aide des C.E., cinq catégories de situations menant à l'identification de problèmes spécifiques à la méthode ont été identifiées :

- Mise en cause par l'évaluateur de l'utilité d'un objet de l'EV ou d'une commande ;
- Jugement global orienté tâche du point de vue informationnel (simulation mentale d'une tâche) ;
- Diagnostic général par rapport à l'ensemble du système ;
- Essai d'opération particulière ;
- Absence d'information (élément de l'interface) requise + caractère inapproprié.

D. Perspectives et futures expériences

Les Critères Ergonomiques présentés dans ce rapport peuvent être considérés comme une étape préliminaire à la constitution d'une véritable méthode d'évaluation des EVs. Ils devront permettre, en effet et dans un premier temps, d'étoffer les connaissances ergonomiques dans le domaine des IHEV. Sur cet aspect du recueil et de la diffusion de recommandations ergonomiques, les C.E. pourront être un moteur à la diffusion de connaissances dans ce domaine, via des bases de données en ligne, et à la création de connaissances associées à des dimensions sous ou inexplorées, comme la *Qualité des messages d'erreurs*, la *Densité informationnelle*.

Un autre aspect, associé à de futures expériences concerne, la compréhension ou l'utilisabilité des C.E. présentés dans ce rapport. En effet, ces critères sont le fruit de l'amélioration d'une version expérimentale de ces mêmes critères (Bach, 2004). Il serait donc nécessaire de valider l'apport des modifications effectuées, notamment en répliquant la tâche d'affectation présentée succinctement dans ce rapport. L'hypothèse que l'on peut déjà formuler est que la version actuelle des C.E. devrait permettre de meilleures performances d'affectations que celles obtenues avec la version expérimentale des C.E. Mais d'autres études sont envisageables afin d'améliorer la compréhension des C.E. Notamment en faisant varier différents facteurs comme les formats de présentation (i.e., site Web ; logiciel ; papier augmenté...) ou les illustrations à y apporter via différents médias (i.e., vidéos, bandes dessinées, présentations en 3D, EVs), il est possible de mesurer l'effet de telles modifications sur différents aspects associés à l'utilisabilité des critères (i.e., satisfaction ; courbe d'apprentissage ; efficacité).

Une dernière catégorie d'expérience consisterait à définir des facteurs d'amélioration de l'efficacité des C.E. en situation d'inspection ergonomique d'EVs. Une série d'expérimentations consisterait ainsi à définir plus avant des stratégies d'inspections possibles dont l'une d'entre elles serait d'associer les C.E. à un modèle d'éléments constitutifs d'un EV (Dubois et al, 2004 ; Bach 2004). D'autres stratégies peuvent également être expérimentées, comme la co-inspection (i.e., inspection simultanée par deux experts), l'inspection en aveugle par plusieurs experts (i.e., chaque expert ignore ce que l'autre trouve), l'inspection cumulative par plusieurs experts (i.e., chaque inspection se fait en ayant connaissance des problèmes identifiés par d'autres experts)... Une autre série d'expérimentations pourrait s'attacher à faire

varier la complexité interactive des EVs évalués (i.e., différents degrés d'immersions sensorielles ; différents degrés de mixité réel/virtuel ; différents degrés de mobilité ; différents degrés de télé-opérations...) pour mesurer l'impact de ces différents aspects sur les performances d'évaluations à l'aide des C.E. Une dernière série d'expérimentations consisterait d'une part, à étudier la complémentarité des C.E. avec d'autres méthodes d'évaluations (i.e., l'inspection cognitive ; les tests utilisateurs ; les questionnaires) ou de mesures (i.e., mesure de la présence ; du mal des EVs ; anthropométrie ; oculométrie...) et d'autre part, d'identifier les synergies possibles entre ces différents outils ou techniques et notamment à travers la séquentialité de leur mise en œuvre (i.e. ; inspection libre, puis inspection cognitive, puis inspection à l'aide des C.E.,..., tests utilisateurs).

E. Limites du document

Actuellement, les Critères Ergonomiques présentés dans ce rapport peuvent être considérés comme utilisables, utiles à l'activité d'inspection ergonomique et efficaces dans la mesure de leurs validités mesurées dans le cadre restrictif des situations expérimentales (i.e., faible temps de familiarisation au document ; aux EVs à évaluer ; temps d'inspection limité).

Ils ne constituent pas, pour l'instant, une méthode d'évaluation complète et aboutie, par exemple le document n'indique pas comment opérationnaliser chaque critère. Une méthode d'inspection basée sur les critères est une approche analytique. De cette façon, elle ne peut se substituer à d'autres approches (e.g., basée sur des modèles ; questionnaires ; entretiens ;...) Les tests utilisateurs restent nécessaires notamment pour repérer des problèmes émergents de situations complexes ou pour des problèmes jamais observés jusqu'alors. Les critères doivent être vus avant tout comme un complément d'autres méthodes, par exemple comme un moyen d'effectuer une analyse de surface permettant de repérer des problèmes pouvant perturber l'efficacité d'un test utilisateur.

Deux *Mises en garde* peuvent être associées à l'utilisation des Critères Ergonomiques :

- Il est nécessaire de toujours distinguer les causes et les conséquences des problèmes ergonomiques lors d'une inspection. L'objectif de l'inspection est bien d'identifier les causes des problèmes. Le résultat d'une inspection se différenciant ainsi du résultat de tests utilisateurs, qui quant à eux, permettent de mettre en évidence les conséquences des problèmes.
- Les Critères Ergonomiques constituent des dimensions de l'utilisabilité des EVs qui se recoupent et s'articulent différemment suivant les situations interactives. Leur assimilation nécessite donc un entraînement régulier et particulièrement dans le cadre de tâches d'affectation de critères à des problèmes ergonomiques identifiés.

F. Références :

BACH, C. (2004). *Elaboration et validation de Critères Ergonomiques pour les Interactions Homme-Environnements Virtuels*. Thèse, Université de Metz.

BACH, C. & SCAPIN, D.L. (2003a). *Recommandations ergonomiques pour l'inspection d'environnements virtuels*. Rapport de contrat COMEDIA, INRIA Rocquencourt, janvier 2003.

BACH, C. & SCAPIN, D. L. (2003b). Adaptation of Ergonomic Criteria to Human-Virtual Environments Interactions. in *Interact'03*. IOS Press. 2003. pp. 880-883.

BACH, C., & SCAPIN, D. L. (2003c). Adaptation des critères ergonomiques aux interactions homme-environnements virtuels. *IHM'2003 – 15^{ème} Conférence Francophone sur l'Interaction Homme-Machine* (Université de Caen, 25-28 novembre) New York, NY, ACM.

BASTIEN, J. M. C. & SCAPIN, D. L. (1995). Evaluating a user interface with ergonomic criteria. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 7, pp. 105-121.

BASTIEN, J. M. C. & SCAPIN, D. L. (1993). *Ergonomic criteria for the evaluation of human-computer interfaces*. (Technical report N° 156). Rocquencourt, France : INRIA Rocquencourt.

DUBOIS, E., MANSOUX, B., BACH, C., SCAPIN, D. L., MOSSEREY, G., VIALA, J. (2004) Un domaine préliminaire du domaine des systèmes mixtes. *IHM'2004 – 16^{ème} Conférence Francophone sur l'Interaction Homme-Machine* (Institut d'Informatique de Namur, 30 août – 3 septembre) New York, NY, ACM.

FARENC, C., PALANQUE, P., BASTIEN, J.M.C., SCAPIN, D.L. and WINCKLER, M. (2001). Towards a General Guidance and Support Tool for Usability Optimisation. *HCI International*, NewOrleans, USA, August 5-10, 2001.

LEULIER, C., BASTIEN, J. M. C., & SCAPIN, D. L. (1998). *Compilation of ergonomic guidelines for the design and evaluation of Web sites*. Commerce & Interaction Report. INRIA Rocquencourt, France.

SCAPIN, D. L. (1990a). Organizing human factors knowledge for the evaluation and design of interfaces. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 2, (3) 203-229.

SCAPIN, D. L. (1990b). Des critères ergonomiques pour l'évaluation et la conception d'interfaces. *XXVI Congrès SELF*, Montréal, Canada.

SCAPIN, D.L. (1990c) Decyphering human factors recommendations. In *Ergonomics of hybrid automated systems II*, (eds) Karwowski W. & Rahimi M., Elsevier Science Publishers, Amsterdam, pp.27-34.

SCAPIN, D. L., & BASTIEN, J. M. C. (1997). Ergonomic criteria for evaluating the ergonomic quality of interactive systems. *Behaviour & Information Technology*, 16, pp. 220-231.

SCAPIN, D. L., LEULIER, C., BASTIEN, C., VANDERDONCKT, J., MARIAGE, C., FARENC, C., PALANQUE, P., BASTIDE, R. (2000) A Framework for Organizing Web Usability Guidelines. 6th. Conference on Human Factors and the Web. June 19, 2000, Austin, Texas.

1 Compatibilité *

Définition :

Le critère *Compatibilité* se réfère à l'accord pouvant exister entre les caractéristiques des utilisateurs (mémoire, perceptions, anatomie, habitudes, compétences, âge, attentes, etc.) et des tâches, d'une part, et l'organisation des sorties, des entrées et du dialogue d'une application donnée, d'autre part.

De plus, la *Compatibilité* concerne également le degré de similitude entre divers environnements ou applications.

Justification(s) :

Le transfert d'information d'un contexte à un autre est d'autant plus rapide et efficace que le volume d'information à recoder par l'utilisateur est réduit.

L'efficacité est accrue lorsque : les procédures nécessaires à l'accomplissement de la tâche sont compatibles avec les caractéristiques psychologiques et physiologiques des utilisateurs ; les procédures et les tâches sont organisées de manière à respecter les attentes, ou habitudes des utilisateurs ; les traductions, les transpositions, les interprétations, ou références à la documentation sont minimisées.

Les performances sont meilleures lorsque l'information est présentée sous une forme directement utilisable.

Exemples de recommandations :

- Un environnement virtuel doit comporter les fonctionnalités et les objets importants pour sa tâche.
- Il doit y avoir une compatibilité entre l'organisation spatiale de l'EV et la nature de la tâche.
- L'environnement virtuel doit être adapté à la taille de l'utilisateur, particulièrement lorsque l'interaction se fait via des dispositifs 3D.
- Si une tâche doit être effectuée à un endroit spécifique de l'environnement virtuel, il est nécessaire que les objets utiles à la réalisation de cette tâche se trouvent à cet endroit.
- Les gestes que doit effectuer l'utilisateur pour effectuer des actions dans l'EV doivent rester dans les habiletés usuelles des utilisateurs.

* Critère élémentaire

Guidage / ...

2 Guidage

Définition :

Le *Guidage* est l'ensemble des moyens mis en œuvre, avec les diverses modalités disponibles, pour conseiller, orienter, informer, et conduire l'utilisateur lors de ses interactions avec l'EV (points de repères, bornes d'informations, indices multimodaux, labels, etc.).

Quatre sous-critères participent au *Guidage* : *Incitation*, *Groupement/Distinction entre Items*, *Feedback Immédiat* et *Lisibilité*.

Justification(s) :

Un bon guidage facilite l'apprentissage et l'utilisation des EVs en permettant à l'utilisateur : de savoir, à tout moment, où il se trouve dans une séquence d'interactions, ou dans l'accomplissement d'une tâche ; de se positionner correctement dans l'espace, de connaître les actions permises ainsi que leurs conséquences ; et d'obtenir de l'information supplémentaire (éventuellement sur demande). La facilité d'apprentissage et d'utilisation qui s'ensuivent conduisent à de meilleures performances et occasionnent moins d'erreurs.

Guidage / Lisibilité*

2.1 Lisibilité *

Définition :

Le critère *Lisibilité* concerne les caractéristiques de présentation des informations (éventuellement multimodales) dans un EV pouvant entraver ou faciliter la lecture de ces informations (luminance, contraste, dimension des objets, espacement entre les objets, fréquence sonore, intensité, timbre, etc.)

Par convention, le critère *Lisibilité* ne concerne ni le feedback ni les messages d'erreurs.

Justification(s) :

La performance est accrue lorsque la présentation des informations dans l'EV tient compte des caractéristiques cognitives et perceptives des utilisateurs. Une bonne lisibilité facilite l'identification des objets présentés.

Exemples de recommandations :

- Les objets présents dans un EV doivent être clairement visibles et ceci depuis différents points de vue.
- Dans le cadre d'une tâche de navigation, les points de repères utilisés doivent toujours être visibles.
- Les comportements de l'EV (c'est-à-dire ses manifestations visuelles, sonores...) doivent être clairement identifiables par l'utilisateur.
- Les fenêtres 2D pouvant apparaître dans l'EV ne doivent pas occulter le champ de vision de l'utilisateur.
- L'avatar de l'utilisateur doit devenir semi-transparent lorsqu'il s'approche et risque de masquer des objets plus petits que lui.

Commentaire(s) :

Le critère *Lisibilité* ne s'applique ni au feedback, ni aux messages d'erreurs.

En effet, tous les aspects liés à des difficultés de perception par les utilisateurs, ou plus généralement à la qualité des informations de type feedback ou de type messages d'erreurs sont affectés respectivement au critère *Feedback Immédiat* et au critère *Qualité des Messages d'Erreurs*.

- ***Lisibilité vs Compatibilité***

Le critère *Lisibilité* ne concerne pas les aspects sémantiques des informations, leur pertinence, ou leur adéquation aux objectifs de l'utilisateur. Quand des aspects sont liés aux tâches, le critère à considérer est la *Compatibilité*.

* Critère élémentaire

Guidage / Incitation***2.2 Incitation ****Définition :*

Le terme *Incitation* a ici une définition plus large que celle qu'on lui confère généralement. Ce critère recouvre les moyens mis en œuvre pour amener les utilisateurs à effectuer des actions spécifiques, qu'il s'agisse de navigation, de manipulation d'objets 3D, d'entrée de données ou autre. Ce critère englobe aussi tous les mécanismes ou moyens faisant connaître aux utilisateurs les alternatives, lorsque plusieurs actions sont possibles, selon les états ou contextes dans lesquels ils se trouvent. L'*Incitation* concerne également les informations permettant aux utilisateurs de savoir où ils en sont, d'identifier l'état ou contexte dans lequel ils se trouvent, de même que les outils d'aide et leur accessibilité.

Justification(s) :

Une bonne incitation guide les utilisateurs et leur évite par exemple d'avoir à apprendre une série de commandes. Elle permet aussi aux utilisateurs de savoir quel est le mode ou l'état en cours, où ils se trouvent dans le dialogue et ce qu'ils ont fait pour s'y trouver. Une bonne incitation facilite donc la navigation dans un EV et permet d'éviter les erreurs.

Exemples de recommandations :

- Le système doit signaler les objets commandables qui sont nécessaires à la réalisation d'une action requise par la tâche.
- L'utilisateur doit être en mesure de se situer dans l'EV.
- L'environnement virtuel doit montrer à l'utilisateur les actions qui lui sont indisponibles, mais qui peuvent par ailleurs être disponibles soit ultérieurement soit pour d'autres utilisateurs.
- Lorsqu'un comportement (ex. opérations en cours) de l'EV est terminé, le système doit inciter l'utilisateur à poursuivre sa tâche.

Commentaire(s) :

- ***Incitation vs Lisibilité***

Dans les cas où des stimuli destinés à inciter l'utilisateur ne sont pas assez saillants, il faut vérifier qu'ils ne sont pas assez contrastés, visibles ou d'une couleur inadaptée, et dans ce cas il s'agit d'un problème de *Lisibilité*, ou bien si c'est parce que la nature de ces stimuli est inadéquate pour une incitation correcte, dans ce cas c'est un problème d'*Incitation*.

- ***Incitation vs Feedback Immédiat***

Lorsqu'un comportement automatique est terminé, il est nécessaire d'en informer l'utilisateur afin de l'inciter à reprendre le contrôle de l'interaction. Lorsque ce guidage est inadapté cela relève du critère *Incitation* et non du *Feedback Immédiat* car le *Feedback Immédiat* fait suite à un événement et ne le précède pas.

* Critère élémentaire

2.3 Groupement/Distinction entre items

Définition :

Le critère *Groupement/Distinction entre Items* concerne l'organisation visuelle, auditive, proprioceptive, etc. des items d'information les uns par rapport aux autres. Ce critère prend en compte la topologie (localisation) et certaines caractéristiques multimodales et multimédia afin d'illustrer les relations entre les divers items présentés, leur appartenance ou non appartenance à une même classe, ou encore dans le but de montrer la distinction entre différentes classes d'items. Ce critère concerne aussi l'organisation des items à l'intérieur d'une même classe.

Trois sous-critères participent au *Groupement/Distinction entre Items* : *Groupement/Distinction par la Localisation*, *Groupement/Distinction par le Format*, et *Groupement/Distinction par le Comportement*.

Justification(s) :

La compréhension d'une présentation 3D dépend, entre autres choses, de l'arrangement, du positionnement et de la distinction des objets (images, sons, textes, commandes, outils, etc.) présents. Les utilisateurs auront plus de facilité à repérer les items et/ou groupes d'items et à connaître leurs liens si ils sont présentés de façon organisée, d'une part, et si ces items ou groupes d'items sont présentés dans des formats ou codages qui permettent d'illustrer leurs similitudes ou leurs différences, d'autre part. De même, les utilisateurs pourront mieux les mémoriser et s'en rappeler. Le groupement/distinction entre items entraîne un meilleur guidage.

Guidage / Groupement/Distinction entre items / **Groupement/Distinction par la localisation***

2.3.1 Groupement/Distinction par la localisation *

Définition :

Le critère *Groupement/Distinction par la Localisation* concerne le positionnement des items les uns par rapport aux autres dans le but d'indiquer leur appartenance ou non appartenance à une même classe, ou encore dans le but de montrer la distinction entre différentes classes. Ce critère concerne aussi l'organisation des items dans une même classe.

Justification(s) :

La compréhension d'une présentation 3D dépend, entre autres choses, de l'arrangement des objets (images, sons, textes, commandes, outils, etc.) qui y sont présentés. Les utilisateurs auront plus de facilité à repérer les différents items s'ils sont présentés de façon organisée. De même, ils pourront mieux les mémoriser et s'en rappeler. *Le critère Groupement/Distinction par la Localisation* entraîne un meilleur guidage.

Exemples de recommandations :

- Il est préférable de regrouper les objets sélectionnables ayant des caractéristiques similaires au même endroit.
- La localisation des outils nécessaire à la réalisation d'une tâche doit permettre à l'utilisateur de les identifier facilement les uns par rapport aux autres.
- Les comportements (événements produits par) de l'EV, tel que des sons affectés à des lieux différents, doivent être aisément localisables par l'utilisateur.

* Critère élémentaire

Guidage / Groupement/Distinction entre items / **Groupement/Distinction par le format***

2.3.2 Groupement/Distinction par le format *

Définition :

Le critère *Groupement/Distinction par le Format* concerne plus particulièrement les caractéristiques de présentation (format, couleur, type de son, texture, etc.) permettant de faire apparaître l'appartenance ou la non appartenance d'items à une même classe, ou encore permettant d'indiquer des distinctions entre classes ou bien encore des distinctions entre items d'une même classe.

Justification(s) :

Les utilisateurs auront plus de facilité à connaître les liens entre items ou classes d'items si des formats, ou codages permettent d'illustrer leurs similitudes ou leurs différences. De tels liens seront ainsi mieux assimilés et mieux retenus. Un bon *Groupement/Distinction par le Format* entraîne un meilleur guidage.

Exemples de recommandations :

- Si un objet peut changer d'état, il est nécessaire que les différents états de cet objet soient clairement distincts.
- Il est préférable que les objets ayant des caractéristiques communes aient un format proche.
- Dans les EVs morcelés ou comportant beaucoup d'objets visuellement similaires mais différents vis-à-vis de la tâche, il est nécessaire de différencier les composantes de ces objets.
- Informer l'utilisateur s'il peut agir avec un objet de l'environnement, en le différenciant des objets non commandables et/ou sélectionnables.
- L'avatar de l'utilisateur doit être bien distinct du reste de l'environnement.

Commentaire(s) :

- ***Groupement/Distinction par le format vs Homogénéité/Cohérence***

L'homogénéité traite de la cohérence selon laquelle les mêmes formats sont utilisés dans les mêmes situations. Par exemple, deux interrupteurs similaires doivent être représentés de la même façon même s'ils sont dans des pièces différentes. La distinction par le format quant à elle, traite de l'utilisation de formats différents pour distinguer des éléments de l'interface. Par exemple, si l'interrupteur commande une lumière et l'autre une alarme, ils doivent être distingués par le format.

* Critère élémentaire

Guidage / Groupement/Distinction Entre Items / **Groupement/Distinction par le comportement***

2.3.3 Groupement/Distinction par le comportement *

Définition :

Le critère *Groupement/Distinction par le Comportement* concerne plus particulièrement les caractéristiques de l'EV en matière de comportement réactif (comportement des objets manipulés) ou autonome (comportement des avatars) permettant de faire apparaître l'appartenance ou la non appartenance de comportements à une même classe, à un même contexte, à un même avatar ou encore permettant de souligner des distinctions de comportement.

Justification(s) :

Les utilisateurs auront plus de facilité à connaître les liens entre les divers éléments de l'EV si leurs comportements illustrent leurs similitudes ou leurs différences. De tels liens seront ainsi mieux assimilés et mieux retenus. Un bon *Groupement/Distinction par le Comportement* entraîne un meilleur guidage.

Exemples de recommandations :

- Les différents comportements des avatars doivent représenter leurs différents états.
- Les différents comportements de l'environnement virtuel doivent être distincts les uns des autres.
- Les différents comportements doivent être en mesure de distinguer des points tels que l'urgence temporelle, la durée ou la répétition d'un événement.

Commentaire(s) :

- ***Groupement/Distinction par le comportement vs Signifiante des Codes, Dénominations et Comportements***

Il s'agit d'attribuer au critère *Groupement/Distinction par le Comportement* des problèmes liés à la distinction ou au regroupement de comportements. Par exemple, il s'agit de distinguer un avatar en bonne santé d'un avatar en mauvaise santé, qui boitera par exemple. Le critère *Signifiante des Codes, Dénominations et Comportements* s'attachera à vérifier qu'un comportement donné signifie bien ce qu'il est censé représenter. Par exemple, faire boiter un avatar alors qu'il est censé avoir un bras cassé est un problème de *Signifiante des Codes, Dénominations et Comportements*.

- ***Groupement/Distinction par le comportement vs Homogénéité/Cohérence***

L'homogénéité traite de la cohérence selon laquelle les mêmes comportements sont utilisés dans les mêmes situations. Par exemple, si deux voitures similaires roulent à la même vitesse sur une surface identique, elles doivent avoir le même comportement. La distinction par le comportement quant à elle traite de l'utilisation de comportements différents pour distinguer des éléments de l'EV. Par exemple, si une voiture roule sur une autoroute et une autre sur la planète Mars, elles doivent avoir des comportements distincts.

* Critère élémentaire

- ***Groupement/Distinction par le comportement vs Feedback immédiat***

Il faut veiller à ne pas confondre les problèmes liés à des distinctions entre les comportements d'objets virtuels, qui relèvent du critère *Groupement/Distinction par le Comportement*, et les problèmes de *Feedback Immédiat* qui constituent des réponses (pouvant parfois être comportementales) inadaptées ou absentes, à des actions utilisateurs.

Guidage / **Feedback immédiat*****2.4 Feedback immédiat ****Définition :*

Le *Feedback Immédiat* concerne les réponses de l'EV consécutives aux actions des utilisateurs, lesquelles peuvent être une simple action ou la réalisation d'une séquence d'actions complexe. Dans tous les cas, l'EV doit répondre, dans les plus brefs délais, avec un délai de réponse approprié et homogène selon les types de transactions. Dans tous les cas, une réponse aussi immédiate que possible doit être fournie à l'utilisateur le renseignant sur l'action accomplie et sur son résultat.

Justification(s) :

La qualité et la rapidité du feedback sont deux facteurs importants pour l'établissement de la confiance et de la satisfaction des utilisateurs ainsi que pour leur compréhension du dialogue. Ces facteurs permettent aux utilisateurs de se faire une bonne représentation du fonctionnement du système.

L'absence de feedback ou des délais trop importants entre les actions utilisateur et le feedback, peuvent déconcerter les utilisateurs, ce qui augmente les chances que les utilisateurs entreprennent des actions qui risquent d'entraver les transactions en cours. Dans certains cas, des délais trop importants entre l'action et le feedback peuvent avoir des conséquences physiologiques pour l'utilisateur (e.g., mal des environnements virtuels).

Exemples de recommandations :

- D'une manière générale, toute action de l'utilisateur doit entraîner un feedback perceptible par l'utilisateur.
- Il est nécessaire de pouvoir visualiser le déplacement des objets déplacés.
- Les objets commandables qui peuvent changer d'état doivent présenter leur nouvel état suite à une action utilisateur.
- Un pointeur doit fournir un feedback lorsqu'il est en mesure de sélectionner un objet.
- Un décalage entre un feedback visuel et l'action de l'utilisateur ne doit pas excéder 100 ms.

Commentaire(s) :

- ***Feedback immédiat vs Qualité des Messages d'Erreur***

Le critère *Feedback Immédiat* s'applique lors d'un retour d'information de la part de l'EV (y compris son absence). Le critère *Qualité des Messages d'Erreur* s'applique uniquement lorsqu'il y a un message d'erreur.

* Critère élémentaire

Contrôle explicite / ...

3 Contrôle explicite

Définition :

Le critère *Contrôle Explicite* concerne d'une part, la nécessité de prise en compte par le système des actions explicites des utilisateurs, et d'autre part, le contrôle dont disposent les utilisateurs sur le traitement de leurs actions.

Deux sous critères participent au *Contrôle Explicite* : *Actions Explicites* et *Contrôle Utilisateur*.

Justification(s) :

Quand les entrées des utilisateurs sont explicitement définies par eux-mêmes et sous leur contrôle, les ambiguïtés et les erreurs sont limitées. De plus, le contrôle dont disposent les utilisateurs sur le dialogue est un facteur d'acceptation du système.

Contrôle explicite / **Actions explicites***

3.1 Actions explicites *

Définition :

Le critère *Actions Explicites* concerne la relation entre les actions des utilisateurs et le fonctionnement de l'EV. Cette relation doit être explicite, c'est-à-dire que le système doit exécuter seulement les opérations demandées par l'utilisateur et pas d'autres et ce, au moment où il les demande.

Justification(s) :

Quand les opérations du système résultent des actions des utilisateurs, on observe moins d'erreurs et la compréhension du fonctionnement de l'application est facilitée.

Exemples de recommandations :

- Le système doit requérir une action explicite de validation de l'utilisateur (ex : appuyer sur un bouton ou commande vocale) suite à une opération ; aucun traitement (ex : sauvegarder une action) ne devrait être la conséquence d'une autre action (ex : imprimer une image).
- Lors d'une sélection d'objet par pointage, prévoir une action explicite de validation.
- Une séquence d'action doit se terminer par une indication de fin (ex : appuyer sur un bouton spécifique ; commande vocale) à laquelle des possibilités de modification doivent être préalables.

Commentaire(s) :

- ***Actions explicites vs Contrôle utilisateur***

Le critère *Actions Explicites* se distingue de critère *Contrôle Utilisateur* par le fait que le premier concerne les traitements explicitement requis par l'utilisateur, alors que le second concerne le contrôle que l'utilisateur doit pouvoir exercer sur les traitements en cours.

* Critère élémentaire

Contrôle explicite / **Contrôle utilisateur***

3.2 Contrôle utilisateur *

Définition :

Par *Contrôle Utilisateur* on entend ici le fait que l'utilisateur doit toujours avoir la main, il doit contrôler le déroulement (ex.: interrompre, reprendre) des traitements informatiques en cours.

Par convention, les aspects contrôles utilisation ne concernent pas les situations d'erreur, lesquelles concernent les critères *Protection contre les erreurs*, la *Qualité des messages d'erreurs* et la *Correction des erreurs*.

Justification(s) :

Quand l'utilisateur a le contrôle du dialogue, les réactions de ce dernier sont prévisibles. L'apprentissage s'en trouve facilité et le risque d'erreur diminué.

Exemples de recommandations :

- L'utilisateur doit avoir un contrôle sur le type et le niveau d'aide fournie par l'EV.
- L'utilisateur doit pouvoir contrôler sa vitesse de déplacement dans un cadre adapté à la nature de l'EV.
- L'utilisateur doit être en mesure de pouvoir ajuster le volume sonore.
- L'utilisateur doit toujours pouvoir interrompre un processus autonome et reprendre la main sur l'interaction.
- L'utilisateur doit pouvoir contrôler les différentes configurations de son avatar sur l'ensemble des modalités.

* Critère élémentaire

4 Signifiante des Codes, Dénominations et Comportements *

Définition :

Le critère *Signifiante des Codes, Dénominations et Comportements* concerne l'adéquation entre l'objet, le comportement ou l'information présentée ou entrée, et son référent. Des codes, dénominations et comportements "signifiants" disposent d'une relation sémantique forte avec leur référent.

Justification(s) :

Lorsque le codage est signifiant, le rappel et la reconnaissance sont meilleurs. De plus, des codes, dénominations et comportements non significatifs pour les utilisateurs peuvent leur suggérer des opérations inappropriées et ainsi conduire à des erreurs.

Exemples de recommandations :

- Les différents codages et formats des objets commandables doivent permettre de déduire l'état dans lequel ils se trouvent.
- Lorsqu'un EV utilise un pointeur, il est nécessaire que ce pointeur ou sa représentation fournisse des codes en rapport avec les différentes actions disponibles dans l'application.
- Un acteur virtuel présentant des actions à réaliser à l'utilisateur, doit les présenter avec des codes signifiants.
- L'identification des différentes parties d'un avatar ne doit comporter aucune ambiguïté.
- Un comportement dans l'EV doit signifier l'importance de l'événement qu'il représente par rapport à la tâche utilisateur.

Commentaire(s) :

- ***Signifiante des Codes, Dénominations et Comportements vs Flexibilité***

La *Flexibilité* est restreinte aux notions de personnalisation et de variabilité des interactions. Au contraire, le sens véhiculé par un comportement appartient au critère *Signifiante des codes, Dénominations et Comportements*. Par exemple, il est possible qu'un comportement de l'EV, comme un mouvement de caméra, puisse paraître plus ou moins « rigide » ou « linéaire », mais cela ne signifie pas pour autant qu'il manque de *Flexibilité*, dans ce cas le problème concerne bien le critère *Signifiante des Codes, Dénominations et Comportements*.

- ***Signifiante des Codes, Dénominations et Comportements vs Incitation***

Il est possible que des codes ou des comportements non signifiants soient incorporés dans le cadre de messages d'incitation. Dans de tels cas, ces problèmes doivent être attribués au critère *Signifiante des Codes, Dénominations et Comportements* et non au critère *Incitation*.

* Critère élémentaire

Charge de travail / ...

5 Charge de travail

Définition :

Le critère *Charge de Travail* concerne l'ensemble des éléments de l'interface qui ont un rôle dans la réduction de la charge perceptive, mnésique ou physique des utilisateurs et dans l'augmentation de l'efficacité du dialogue.

Trois sous critères participent au critère *Charge de Travail* : *Brièveté* (qui inclut les critères *Concision* et *Actions Minimales*), *Charge Physique* et *Densité Informationnelle*.

Justification(s) :

Plus la charge de travail est élevée, plus grands sont les risques d'erreurs et d'incidents. De même, moins l'utilisateur sera distrait par des informations non pertinentes, plus il pourra effectuer sa tâche efficacement. Moins l'utilisateur sera gêné par les dispositifs, plus il y aura de chance pour qu'il puisse interagir correctement avec l'EV. Par ailleurs, plus les actions requises seront courtes, plus rapides seront les interactions.

Charge de travail / **Charge physique***

5.1 Charge physique *

Définition :

Le critère *Charge physique* concerne l'ensemble des éléments de l'EV qui ont un rôle dans la réduction de la charge physique des utilisateurs et dans l'augmentation de la sécurité d'utilisation.

Justification :

Plus la charge de travail physique est élevée, plus grands sont les risques d'erreurs, d'incidents et de traumatismes. Moins l'utilisateur sera gêné par les dispositifs, plus il y aura de chances pour qu'il puisse interagir correctement avec l'EV.

Exemples de recommandations :

- Les dispositifs d'interaction et leur lieu d'utilisation doivent prévenir les chutes et/ou les chocs.
- L'utilisation prolongée de certains dispositifs d'interaction nécessite des moments de récupération qui doivent être pris en compte dans le déroulement de la tâche.
- Les dispositifs portés par l'utilisateur doivent être les plus légers possibles.
- Les dispositifs de visualisation doivent permettre de régler la luminosité, le contraste et la distance de travail.
- Il est préférable de favoriser l'utilisation d'un champ de vision large. Les champs de vision larges permettent de limiter les rotations, qui peuvent être synonymes de maux de tête et de nausée.

* Critère élémentaire

5.2 Brièveté

Définition :

Le critère *Brièveté* concerne la charge de travail au niveau perceptif, mnésique et physique à la fois pour les éléments individuels d'entrée ou de sortie et les séquences d'entrée (i.e., les suites d'actions nécessaires à l'atteinte d'un but, à l'accomplissement d'une tâche). Il s'agit ici de limiter autant que possible le travail de lecture, d'entrée et le nombre d'étapes par lesquelles doivent passer les utilisateurs.

Deux sous critères participent au critère *Brièveté* : *Actions Minimales* et *Concision*.

Justification(s) :

Les capacités de la mémoire à court terme sont limitées. Par conséquent, plus courtes sont les entrées, plus limités sont les risques d'erreurs.

Aussi, plus les actions nécessaires à l'atteinte d'un but sont nombreuses et compliquées, plus la charge de travail augmente et par conséquent plus les risques d'erreurs sont élevés.

Charge de travail / Brièveté / **Actions minimales***

5.2.1 Actions minimales *

Définition :

Le critère *Actions Minimales* concerne la charge de travail quant aux actions nécessaires à l'atteinte d'un but, à l'accomplissement d'une tâche. Il s'agit ici de limiter autant que possible les étapes par lesquelles doivent passer les utilisateurs.

Justification(s) :

Plus les actions nécessaires à l'atteinte d'un but sont nombreuses et compliquées, plus la charge de travail augmente et par conséquent plus les risques d'erreurs sont élevés.

Exemples de recommandations :

- Il est nécessaire de toujours réduire au maximum les séquences d'actions.
- L'organisation des voies et des routes de l'environnement virtuel, doit être systématiquement la plus simple possible. Exception faite pour les maquettes numériques qui de par leur nature peuvent être complexes.
- Les passages et chemins permis à l'utilisateur doivent être sans obstacle (sauf si la tâche le requiert, e.g. dans les jeux vidéos).
- Les objets doivent être accessibles en un minimum d'actions.
- Lorsque la tâche le requiert, il est utile de permettre la sélection de plusieurs objets simultanément.

* Critère élémentaire

5.2.2 *Concision* *

Définition :

Le critère *Concision* concerne la charge de travail au niveau perceptif et mnésique pour ce qui est des éléments individuels d'entrée ou de sortie.

Par convention, la *Concision* ne concerne pas le feedback ni les messages d'erreurs³.

Justification(s) :

Les capacités de la mémoire à court terme sont limitées. Par conséquent, plus courtes sont les entrées, plus limités sont les risques d'erreurs.

Exemples de recommandations :

- Les messages fournis par le système doivent être succincts.
- Permettre aux utilisateurs des entrées courtes.
- Si des codes sont supérieurs à 4 ou 5 caractères, utiliser des mnémotechniques ou abréviations.
- Lorsqu'une unité de mesure est associée à un champ de donnée, celle-ci doit faire partie du label du champ plutôt qu'être saisie par des utilisateurs.
- Les labels associés aux objets doivent être succincts.

Commentaire(s) :

- ***Concision vs Actions minimales***

Les problèmes ergonomiques liés au fait que la réalisation d'une tâche donnée nécessite plus d'actions que nécessaire, de la part des utilisateurs, relèvent du critère *Actions Minimales*. Les problèmes ergonomiques liés à des codes trop longs en entrée et/ou en sortie relèvent du critère *Concision*. Il est à noter, que des *codes gestuels* sont des *codes* et non des *actions*, c'est le résultat de la codification qui est une *action* vis-à-vis de la *tâche*. Par exemple, l'action *couper* peut être codifiée par le *code gestuel* : « écarter puis joindre l'index et le majeur en ayant le pouce, l'annulaire et l'auriculaire repliés dans la paume de la main ».

* Critère élémentaire

³ Il convient de bien distinguer les différents types de messages (e.g., incitatifs, explicatifs, ..., de feedback, d'erreurs).

Charge de travail / **Densité informationnelle***

5.3 Densité informationnelle *

Définition :

Le critère *Densité Informationnelle* concerne la charge de travail du point de vue perceptif et mnésique, pour des ensembles d'éléments et non pour des items.

Par convention, la *Densité informationnelle* ne concerne pas le feedback ni les messages d'erreurs.

Justification(s) :

Dans la plupart des tâches, la performance des utilisateurs est influencée négativement quand la charge informationnelle est trop élevée ou trop faible. La probabilité d'erreur augmente. Il faut donc supprimer les éléments sans lien avec le contenu de la tâche en cours.

Il faut aussi éviter d'imposer à l'utilisateur la mémorisation de longues et nombreuses informations ou procédures (la mémoire à court terme est limitée), ou toute activité nécessitant de sa part la mise en œuvre d'activités cognitives complexes lorsque la tâche ne le requiert pas.

Exemples de recommandations :

- Lorsque le système doit fournir des informations différentes à l'utilisateur il ne doit pas les communiquer toutes en même temps.
- Limiter la densité informationnelle de l'EV en présentant uniquement les informations nécessaires à la tâche en cours.
- Eviter à l'utilisateur d'avoir à se rappeler des informations d'un endroit à l'autre de l'EV.
- L'information présentée ne doit pas nécessiter des traductions d'unités.

* Critère élémentaire

Adaptabilité / ...

6 Adaptabilité

Définition :

L'adaptabilité d'un système concerne sa capacité à réagir selon le contexte, et selon les besoins et préférences des utilisateurs.

Deux sous critères participent au critère *Adaptabilité* : *Flexibilité* et *Prise en Compte de l'Expérience de l'Utilisateur*.

Justification(s) :

Plus les façons d'effectuer une même tâche sont diverses, plus les chances que l'utilisateur puisse choisir et maîtriser l'une d'entre elles, au cours de ses apprentissages, sont importantes. Il faut donc fournir à l'utilisateur des procédures, options, et commandes différentes leur permettant d'atteindre un même objectif. Par ailleurs, une interface ne peut convenir à la fois à tous ses utilisateurs potentiels. Pour qu'elle n'ait pas d'effet négatif sur l'utilisateur, cette interface doit, selon les contextes, s'adapter à l'utilisateur.

Adaptabilité / **Prise en compte de l'expérience de l'utilisateur***

6.1 **Prise en compte de l'expérience de l'utilisateur ***

Définition :

Le critère *Prise en Compte de l'Expérience de l'Utilisateur* concerne les moyens mis en œuvre pour respecter le niveau d'expérience de l'utilisateur.

Justification(s) :

Des utilisateurs expérimentés n'ont pas toujours les mêmes besoins informationnels que les novices. Il peut être souhaitable de fournir aux utilisateurs inexpérimentés des transactions très guidées, au pas à pas. Pour des utilisateurs expérimentés, des dialogues à la seule initiative de l'EV peuvent les ennuyer et ralentir leurs interactions; par contre, des raccourcis peuvent leur permettre d'accéder plus rapidement aux fonctions du système. Des moyens différenciés doivent donc être prévus pour tenir compte de ces différences d'expérience.

Cependant, l'expérience des utilisateurs peut varier. Elle augmente à force d'utilisation, elle diminue après de longues périodes de non-utilisation. L'EV doit aussi être conçu afin de tenir compte de ces variations du niveau d'expérience.

Exemples de recommandations :

- Le système doit pouvoir gérer les différents profils utilisateurs, plus particulièrement dans les EVs d'apprentissage.
- Le système doit pouvoir identifier facilement l'utilisateur et son évolution.
- Lorsque l'utilisateur est expert de l'EV et de la tâche à réaliser, l'incitation devient superflue.
- Autoriser différents modes de dialogue correspondant aux différents groupes d'utilisateurs (ex : permettre une incitation adaptée au niveau d'expérience des utilisateurs).
- Les utilisateurs devraient pouvoir demander des informations sur des objets qui soient en fonction de leur niveau de connaissance.

* Critère élémentaire

Adaptabilité / Flexibilité*

6.2 Flexibilité *

Définition :

Le critère *Flexibilité* concerne les moyens mis à la disposition des utilisateurs pour personnaliser l'interface afin de rendre compte de leurs stratégies ou habitudes de travail et des exigences de la tâche. Le critère *Flexibilité* correspond aussi au nombre de façons différentes mises à la disposition des utilisateurs pour atteindre un objectif donné. Il s'agit en d'autres termes de la capacité de l'interface à s'adapter à des actions variées des utilisateurs.

Justification(s) :

Plus les façons d'effectuer une même tâche sont diverses, plus les chances que l'utilisateur puisse choisir et maîtriser l'une d'entre elles, au cours de ses apprentissages, sont importantes.

Exemples de recommandations :

- Quand certains affichages sont inutiles, les utilisateurs doivent pouvoir les désactiver temporairement.
- Les EVs multi-utilisateurs doivent proposer des dispositifs d'interaction pour les gauchers et les droitiers et/ou des dispositifs interchangeables pouvant être paramétrés pour les gauchers ou les droitiers.
- Le système de commande vocale doit être capable de s'adapter le plus rapidement possible à la façon de parler de l'utilisateur.
- Il est nécessaire de fournir à l'utilisateur différents points (e.g., exocentrique et égocentrique) de vue sur son avatar.

Commentaire(s) :

- ***Flexibilité vs Compatibilité***

La flexibilité peut être un moyen d'assurer une certaine compatibilité. Cependant la flexibilité peut être satisfaite sans que la compatibilité le soit. Ainsi, si un EV présente un volant pour piloter un avion, il y a un problème de *Compatibilité*. Mais, si cet EV est flexible il doit permettre de remplacer facilement le volant par un joystick.

* Critère élémentaire

7 Homogénéité/Cohérence *

Définition :

Le critère *Homogénéité/Cohérence* se réfère à la façon selon laquelle les choix de conception de l'interface (dispositifs, modalités, codes, dénominations, formats, procédures, comportements, etc.) sont conservés pour des contextes identiques, et sont différents pour des contextes différents.

Justification(s) :

Les procédures, labels, commandes, etc., sont d'autant mieux reconnus, localisés et utilisés, que leur format, localisation, ou syntaxe sont stables d'un endroit à l'autre de l'EV, d'une session à l'autre, d'une carte à l'autre. Dans ces conditions le système est davantage prévisible et les apprentissages plus généralisables; les erreurs sont réduites. Le manque d'homogénéité peut augmenter considérablement les temps d'interaction. Le manque d'homogénéité est aussi une raison importante du refus d'utilisation.

Exemples de recommandations :

- Il doit y avoir une cohérence entre la représentation visuelle d'un objet et sa représentation haptique et/ou sonore (e.g., si l'on voit une explosion virtuelle se produire à un endroit, on doit l'entendre au même endroit.)
- Les formats associés aux différents états d'objets commandables doivent être homogènes.
- Les cartes ou les plans mis à la disposition de l'utilisateur pour l'aider durant ses différentes tâches de navigation doivent être cohérents avec la géographie de l'EV.
- Dans les environnements collaboratifs, les avatars des différents utilisateurs doivent avoir un comportement qui reflète le point de vue et l'activité en cours des utilisateurs.
- Lorsqu'un environnement peut servir à plusieurs applications, il est nécessaire que les commandes et séquences d'actions nécessaires à la réalisation d'une tâche soient cohérentes à travers l'ensemble de ces applications.

Commentaire(s) :

- ***Homogénéité/Cohérence vs Groupement/Distinction par le format***

L'homogénéité traite de la cohérence selon laquelle les mêmes formats sont utilisés dans les mêmes situations. Par exemple, deux interrupteurs similaires doivent être représentés de la même façon même s'ils sont dans des pièces différentes. La distinction par le format quant à elle traite de l'utilisation de formats différents pour distinguer des éléments de l'interface. Par exemple, si l'interrupteur commande une lumière et l'autre une alarme, ils doivent être distingués par le format.

- ***Homogénéité/Cohérence vs Groupement/Distinction par la localisation***

L'homogénéité traite de la cohérence selon laquelle les mêmes objets sont placés à des endroits identiques dans des contextes similaires. Par exemple, en passant d'une pièce à l'autre les interrupteurs qui commandent la lumière sont systématiquement au même endroit. La distinction par la localisation, quant à elle, traite l'utilisation de localisations différentes

* Critère élémentaire

pour distinguer des éléments de l'interface. Par exemple, l'interrupteur qui commande la lumière n'est pas au même endroit que celui qui commande l'alarme.

- ***Homogénéité/Cohérence vs Groupement/Distinction par le comportement***

L'homogénéité traite de la cohérence selon laquelle les mêmes comportements sont utilisés dans les mêmes situations. Par exemple, si deux voitures similaires roulent à la même vitesse sur une surface identique, elles doivent avoir le même comportement. La distinction par le comportement quant à elle traite de l'utilisation de comportements différents pour distinguer des éléments de l'EV. Par exemple, si une voiture roule sur une autoroute et une autre sur la planète Mars, elles doivent avoir des comportements distincts.

- ***Homogénéité/Cohérence vs Signifiante des Codes, Dénominations et Comportements***

Le critère *Signifiante des Codes, Dénominations et Comportements* a trait au sens véhiculé par un élément individuel de l'EV, alors que le critère *Homogénéité/Cohérence* a trait au caractère identique de la représentation de plusieurs éléments similaires de l'EV. Par exemple, si l'une des modalités ne reflète pas une action en cours (par exemple, un avatar marche et l'utilisateur entend un bruit de moteur), alors il s'agit d'un problème relevant du critère *Signifiante des Codes, Dénominations et Comportements*. Par contre, si l'une des modalités n'est pas toujours associée au même contexte (par exemple, lorsqu'un avatar marche sur du béton ou de l'herbe les bruits de ses pas sont différents et de temps en temps ils s'inversent), alors il s'agit d'un problème relevant du critère *Homogénéité/Cohérence*.

8 Gestion des erreurs

Définition :

Le critère *Gestion des Erreurs* concerne tous les moyens permettant d'une part d'éviter ou de réduire les erreurs⁴, et d'autre part de les corriger lorsqu'elles surviennent. Les erreurs sont ici considérées comme des actions incorrectes, des saisies de commandes avec une syntaxe incorrecte, etc.

Trois sous critères participent à la *Gestion des Erreurs* : *Protection Contre les Erreurs*, *Qualité des Messages d'Erreurs* et *Correction des Erreurs*.

Justification(s) :

Les interruptions provoquées par les erreurs ont des conséquences négatives sur l'activité des utilisateurs. De manière générale, elles rallongent les transactions et perturbent la planification. Plus les erreurs sont limitées, moins il y a d'interruptions au cours de la réalisation d'une tâche et meilleure est la performance.

⁴ On considère bien ici les erreurs issues de l'interaction utilisateur/système et pas les erreurs système.

Gestion des erreurs / **Protection contre les erreurs***

8.1 Protection contre les erreurs *

Définition :

Le critère *Protection Contre les Erreurs* concerne les moyens mis en place pour détecter et prévenir les erreurs d'actions ou de commandes ou les actions aux conséquences néfastes.

Justification(s) :

Il est préférable de détecter les erreurs lors de la saisie plutôt que lors de la validation : ceci évite de perturber la planification.

Exemples de recommandations :

- Il est nécessaire d'interdire l'utilisation de certaines commandes pouvant être dangereuses à une étape donnée du déroulement d'une séquence d'actions.
- Tous les objets d'un EV qui ne sont pas destinés à des modifications doivent être protégés.
- Toutes les actions possibles sur un EV doivent être envisagées et plus particulièrement des actions accidentelles afin que les entrées non attendues soient détectées.
- Quand les utilisateurs terminent une session et qu'il y a risque de perte de données, il doit y avoir un message le signalant en demandant confirmation de fin de session.
- Le système doit signaler à l'utilisateur s'il va être exposé à un environnement sonore nocif.

Commentaire(s) :

- ***Protection contre les erreurs vs Incitation***

L'existence d'un message (d'erreur ou de confirmation) suite à la vérification automatique par le système, des entrées où seules certaines actions sont souhaitables, tient compte du critère *Protection Contre les Erreurs*.

Par contre, quand il ne s'agit pas de situation potentielle d'erreur, comme consistant par exemple à fournir une information renseignant les utilisateurs sur le type d'actions attendues ou leur nature, il s'agit alors du critère *Incitation*.

* Critère élémentaire

8.2 Qualité des messages d'erreur *

Définition :

Le critère *Qualité des Messages d'Erreur* concerne la pertinence, la facilité de lecture ou d'écoute et l'exactitude de l'information donnée aux utilisateurs sur la nature des erreurs commises (syntaxe, format, etc.) et sur les actions à entreprendre pour les corriger.

Justification(s) :

La qualité des messages favorise l'apprentissage du système en indiquant aux utilisateurs les raisons ou la nature de leurs erreurs et en leur indiquant ce qu'il faut ou ce qu'ils auraient dû faire.

Exemples de recommandations :

- Si un utilisateur sélectionne une fonction non valide, aucune action ne doit résulter, si ce n'est un message indiquant les fonctions appropriées à la tâche en cours.
- Fournir des messages d'erreurs orientés tâches.
- Utiliser des termes aussi spécifiques que possible pour les messages d'erreurs.
- Utiliser des messages d'erreurs aussi brefs que possible.
- Adapter un vocabulaire neutre, non personnalisé, non réprobateur dans les messages d'erreurs ; éviter l'humour excepté dans les EVs ludiques.

* Critère élémentaire

8.3 Correction des erreurs *

Définition :

Le critère *Correction des Erreurs* concerne les moyens mis à la disposition des utilisateurs pour leur permettre de corriger leurs erreurs.

Justification(s) :

Les erreurs sont d'autant moins perturbatrices qu'elles sont faciles à corriger.

Exemples de recommandations :

- Il est important de faciliter ou de permettre l'annulation de la dernière opération.
- Suite à une erreur de saisie de commande (e.g., enregistrement d'une séquence de gestes), donner la possibilité de corriger seulement la portion de commande qui est erronée.
- Si les utilisateurs se rendent compte qu'ils ont commis une erreur d'entrée de commandes, leur donner la possibilité d'effectuer, au moment de leur détection d'erreur, les corrections souhaitées.

* Critère élémentaire

