



**HAL**  
open science

## La vérification et la validation de systèmes interactifs dans le modèle de maturité et d'aptitude CMMI-DEV

Taisa Guidini Gonçalves, Káthia Marçal de Oliveira, Christophe Kolski

### ► To cite this version:

Taisa Guidini Gonçalves, Káthia Marçal de Oliveira, Christophe Kolski. La vérification et la validation de systèmes interactifs dans le modèle de maturité et d'aptitude CMMI-DEV. Actes de la 28ième conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine, Oct 2016, Fribourg, Suisse. pp.48-58, 10.1145/3004107.3004124 . hal-01383755

**HAL Id: hal-01383755**

**<https://hal.science/hal-01383755>**

Submitted on 19 Oct 2016

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# La vérification et la validation de systèmes interactifs dans le modèle de maturité et d'aptitude CMMI-DEV

Taisa Guidini Gonçalves, Káthia Marçal de Oliveira, Christophe Kolski

UVHC, LAMIH CNRS UMR 8201, Le Mont Houy cedex 9

59313, Valenciennes, France

{Taisa.GuidiniGoncalves, Kathia.Oliveira, Christophe.Kolski}@univ-valenciennes.fr

## RÉSUMÉ

La vérification et la validation sont deux domaines de grande importance pour l'ingénierie de l'Interaction Homme-Machine (IHM). Plusieurs études portent sur l'application de méthodes, techniques, normes et patrons de vérification et de validation pour assurer l'utilisabilité des systèmes interactifs. En parallèle, les modèles de maturité et d'aptitude de processus logiciel (MAPL) font l'objet d'une large adoption par l'industrie. Dans ce contexte, nous défendons l'idée qu'il est nécessaire d'identifier les approches d'IHM pouvant être intégrées à ces modèles, de sorte qu'elles puissent être utilisées par les professionnels du développement des systèmes interactifs. Pour répondre à ce besoin, nous avons effectué une revue de la littérature et procédé à des entretiens avec vingt experts en IHM, pour identifier quelles approches peuvent aider les utilisateurs du modèle de MAPL le plus connu : CMMI-DEV (*Capability Maturity Model Integration*), dans sa version destinée aux développeurs.

## Mots Clés

Modèles de maturité et d'aptitude ; Interaction Homme-Machine ; Vérification ; Validation.

## ABSTRACT

Verification and validation are areas of great importance for Human-Computer Interaction (HCI) engineering. Several studies apply methods, techniques, standards and patterns of verification and validation to ensure the usability of interactive systems. In parallel, software process capability maturity (SPCM) models gained broad adoption in the industry. Considering this context, we conducted a study to identify approaches from HCI verification and validation to be used by professionals in the development of interactive systems while using these models. This study was based on a literature review and interviews with twenty experts in HCI, considering the most known SPCM model: CMMI-DEV (*Capability Maturity Model Integration*) for developers.

## Author Keywords

Capability maturity models; Human-Computer Interaction; Verification; Validation.

## ACM Classification Keywords

H.5.2 Information Interfaces and Presentation: User Interfaces.

## INTRODUCTION

Les activités de vérification et validation sont importantes dans le développement des systèmes interactifs afin d'assurer leur qualité. Selon Nielsen [14] la qualité des Interfaces Homme-Machine est généralement évaluée en focalisant sur deux dimensions : l'utilisabilité et l'utilité. Cependant, la plupart des travaux se concentre sur la dimension de l'utilisabilité et non sur l'utilité qui détermine si le produit répond aux besoins de l'utilisateur [16].

Le domaine de l'IHM a produit de larges connaissances par rapport aux méthodes, techniques, normes et patrons pour la vérification et la validation des systèmes interactifs. Certaines des méthodes les plus connues pour l'évaluation (vérification et validation), et souvent citées dans la littérature, peuvent être classées en trois grandes catégories :

- Les méthodes d'investigation (Courage et Baxter [3], Ozok [17], Roto et al. [20], Vermeeren et al. [27]) : elles permettent aux évaluateurs d'étudier les comportements (par des études de terrain), les opinions (questionnaires, entretiens et enquêtes) et les attentes des utilisateurs des systèmes interactifs ;
- Les méthodes d'inspection (Cockton et al. [2], Mahatody et al. [12], Reis et Prates [19], Roto et al. [20], Souza et al. [25], Vermeeren et al. [27]) : elles permettent aux évaluateurs d'identifier les problèmes potentiels que les utilisateurs peuvent avoir en interagissant avec le système ; elles n'impliquent pas directement les utilisateurs. Parmi les méthodes les plus connues, on retrouve : l'évaluation heuristique, *cognitive walkthrough*, l'inspection sémiotique ;
- Les méthodes d'observation (Dumas et Fox [4], Prates et al. [18]) : elles permettent aux évaluateurs d'identifier les problèmes réels auxquels sont confrontés les utilisateurs lors de leur expérience d'utilisation du système. Certaines de ces méthodes sont les suivantes : les tests d'utilisabilité, l'évaluation de la communicabilité [18].

En parallèle, dans le domaine du génie logiciel, des modèles de maturité et d'aptitude de processus logiciel (MAPL), comme le modèle *Capability Maturity Model*

*Integration for development* (CMMI-DEV) [1], ont été définis et sont largement utilisés dans l'industrie (<http://cmmiinstitute.com/resources/>). Ces modèles considèrent un ensemble de domaines de processus pour assurer la production d'un logiciel. Deux de ces domaines de processus concernent la vérification et la validation. En conséquence, pendant l'implémentation des modèles de MAPL, les développeurs des systèmes logiciels utilisent des techniques de vérification et validation pour assurer la qualité des systèmes.

Toutefois, le modèle CMMI-DEV définit quelles sont les pratiques qui doivent être implémentées, sans définir quelles techniques utiliser. L'objectif de cet article est de présenter les résultats d'une étude visant l'identification des approches à utiliser, pouvant être intégrées au modèle CMMI-DEV pour le développement de systèmes interactifs. Ce résultat fait partie d'une étude plus générale qui vise la définition d'un guide méthodologique pour les utilisateurs (développeurs) du modèle CMMI-DEV.

Dans les sections suivantes, nous introduisons les principales caractéristiques de modèles de MAPL. Ensuite nous présentons en détails notre proposition, ainsi que sa validation avec des experts du domaine de l'IHM. Enfin, nous concluons et présentons nos perspectives de recherche à court et moyen termes.

## MODELES DE MATURITE ET D'APTITUDE DE PROCESSUS LOGICIEL

Les modèles de maturité et d'aptitude de processus logiciel consistent en un ensemble de meilleures pratiques de génie logiciel, soutenant les organisations dans la définition et l'amélioration de leurs processus. Ces modèles fournissent un ensemble de lignes directrices intégrées et se voulant exhaustives pour le développement des produits et services. Au cours de ces vingt dernières années, plusieurs modèles de maturité et d'aptitude ont été développés et proposés. Von Wangenheim et al. [28] ont identifié 52 modèles, couvrant différents domaines (comme le génie logiciel, l'e-commerce, la sécurité), avec une utilisation internationale ou définis pour des pays spécifiques.

*Capability Maturity Model Integration for development* (CMMI-DEV) [1] est un modèle international pour le domaine du génie logiciel ; il est largement utilisé dans plusieurs pays. Parmi les modèles les plus connus, nous avons (outre CMMI-DEV) : *MoProSoft* (modèle mexicain) [15], *MR-MPS-SW* (modèle brésilien [24]). Von Wangenheim et al. [28] ont observé que 50 des 52 modèles trouvés sont basés sur le modèle CMMI-DEV ou une de ses versions précédentes. En plus, le CMMI (considéré ici de manière générale) est le modèle le plus utilisé dans la pratique, comptant plus de 10.000 évaluations officielles qui couvrent plus de 80 pays. En raison de son importance, nous avons choisi d'effectuer notre étude en nous basant sur le modèle CMMI-DEV.

L'élément central du modèle CMMI-DEV est le domaine de processus. Un domaine de processus est un ensemble de pratiques connexes dans un domaine. On considère que ce domaine, lorsque ces pratiques sont appliquées

collectivement, répond à un ensemble d'objectifs considérés comme importants pour son amélioration significative. Le CMMI-DEV [1] est composé de 22 domaines de processus organisés en quatre catégories : gestion de processus, gestion de projet, ingénierie, support. Un domaine de processus a un à trois objectifs spécifiques (appelés dans la suite SG pour *Specific Goals*). Un SG est composé de pratiques spécifiques (appelés dans la suite SP pour *Specific Practices*), qui décrivent les meilleures pratiques de génie logiciel qui sont spécifiques à un domaine de processus unique. Pour soutenir l'interprétation et la mise en œuvre de ces pratiques, des produits d'activité et des orientations, définies en tant que sous-pratiques sont fournis. La Figure 1 illustre les composants de modèle CMMI-DEV.

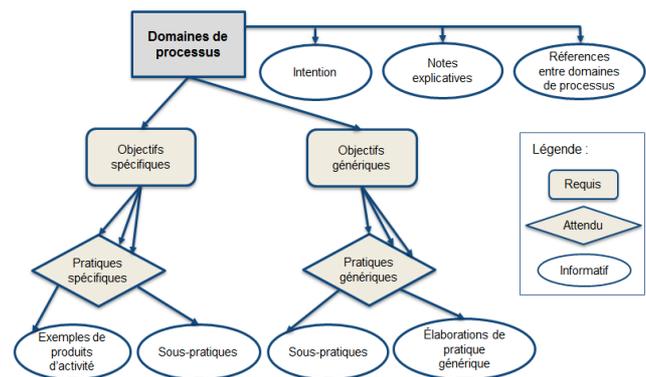


Figure 1. Composants du modèle CMMI-DEV [1]

Par ailleurs, le modèle CMMI-DEV utilise le concept de niveau pour décrire le chemin à suivre pour une organisation ayant pour objectif l'amélioration des processus logiciels. Deux types de niveaux sont définis : les niveaux de maturité et d'aptitude. Le niveau *de maturité* permet aux organisations d'améliorer les processus en abordant de manière incrémentale un ensemble de domaines de processus prédéfinis. Le niveau *d'aptitude* permet à l'organisation d'améliorer les processus progressivement dans un domaine de processus (ou un groupe de domaines de processus donnés).

Comme présenté précédemment, CMMI-DEV est composé de quatre catégories (gestion de processus, gestion de projet, ingénierie, support). Notre objectif dans cet article est de nous focaliser sur les activités de vérification et de validation. Elles consistent en deux domaines de processus de la catégorie ingénierie : vérification (VER) et validation (VAL). La Figure 2 présente les domaines de processus de la catégorie ingénierie, ainsi que la relation entre eux. Les composants de produit sont vérifiés et validés tout au long du développement du produit ; le produit final quant à lui doit être validé avant d'être livré au client. CMMI-DEV définit VER et VAL comme suit : (i) VER est « la confirmation que les produits d'activité correspondent à leurs exigences spécifiées ». En d'autres termes, elle assure que « vous avez bien construit le produit » ; (ii) VAL est « la confirmation que le produit ou le service, tel qu'il est fourni (ou qu'il sera fourni), correspondra à son usage attendu ». En d'autres termes, elle assure que « vous avez construit le bon produit ».

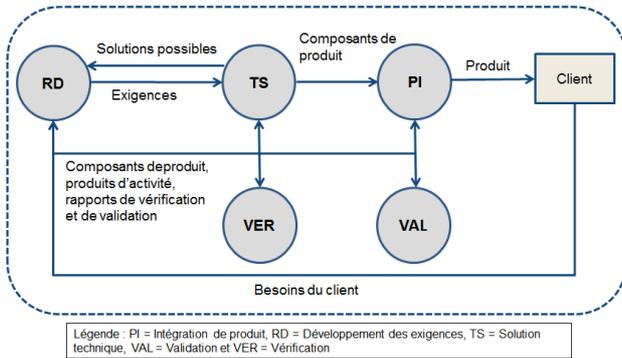


Figure 2. Domaine de processus d'Ingénierie [1]

Ces domaines de processus (VER et VAL) possèdent respectivement trois et deux objectifs spécifiques (SG). La Figure 3 présente chaque objectif avec les pratiques (SP) correspondantes.

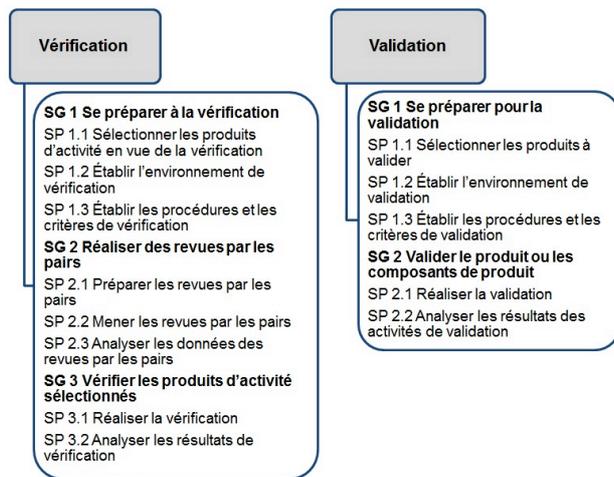


Figure 3. Domaine de processus de VER et de VAL [1]

**DEFINITION DES APPROCHES D'IHM POUR CMMI**

En se basant sur l'état de l'art, notre motivation est d'étudier comment soutenir les développeurs de systèmes interactifs qui utilisent des modèles de MAPL. Notre but est d'identifier des approches de vérification et validation utilisées par la communauté en IHM, qui pourraient soutenir la mise en œuvre des pratiques spécifiques des domaines de processus du modèle CMMI-DEV [6]. Ces approches peuvent être introduites comme sous-pratiques dans chaque pratique spécifique.

Notre étude a suivi trois étapes principales (cf. Figure 4). Dans la première étape, nous avons analysé les domaines de processus VER et VAL des modèles proposés. A partir de cette analyse et d'une revue de la littérature, nous avons proposé un ensemble d'approches d'IHM organisées en catégories pour les domaines de processus de VER et VAL. Puis, dans la deuxième étape, nous avons procédé à des interviews d'experts en IHM pour évaluer les propositions et identifier d'autres approches. La dernière étape a consisté en l'analyse des résultats, la synthèse de l'étude et la proposition d'un ensemble de catégories finales d'IHM.



Figure 4. Méthodologie de recherche

**Analyse des pratiques de VER et VAL**

L'analyse a démarré par l'étude des objectifs et pratiques spécifiques des domaines de processus VER et VAL des modèles proposés. On a cherché toutes les citations qui présentaient des questions liées à IHM. Une recherche a été faite des **citations explicites** à l'ingénierie de l'IHM, comme : des mots-clés utilisés en IHM (par exemple : interface externe, utilisateur final, prototype) ; des exemples de produits pouvant être validés (par ex. : interfaces utilisateurs) ; et des exemples de produits d'activités (par exemple : spécifications de conception d'interface, manuel de l'utilisateur final). Ensuite, nous avons cherché des citations, dites **citations implicites**, qui ne sont pas directement liées à l'ingénierie de l'IHM, mais que nous pourrions interpréter au bénéfice de l'utilisation de celle-ci. Toutes les citations ont été soulignées dans le texte et examinées conjointement par les trois auteurs de ce document. La Figure 5 montre un exemple de citation explicite pour VAL.

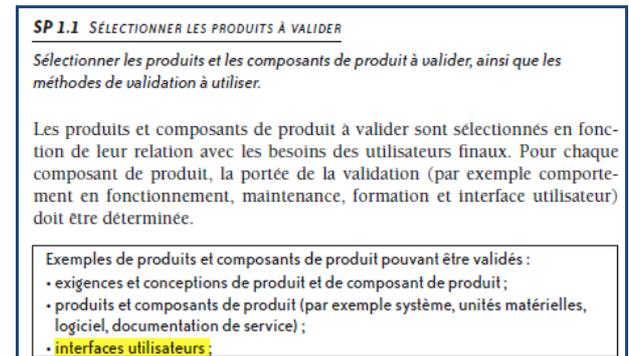


Figure 5. Analyse de domaine de processus de Validation (extrait de [1])

Le Tableau 1 et le Tableau 2 présentent nos résultats pour les domaines de processus de VER et VAL. Pour chaque pratique spécifique, il est montré la transcription exacte de la documentation où les citations **explicites** ou **implicites** ont été identifiées (informations soulignées).

Nous pouvons noter comme citation explicite d'IHM le prototypage (VER SP 1.1 et VAL SP 1.1), et comme citation implicite l'établissement des critères de vérification et / ou de validation (VER SP 1.3 et VAL SP 1.3) qui peuvent être trouvés dans les normes. En général, nous pouvons constater que toutes les pratiques abordent explicitement ou implicitement des approches d'IHM. Après l'identification de toutes les citations, nous les avons organisées séparément afin de mettre en évidence les principales approches liées à l'ingénierie de l'IHM. Nous avons identifié trois groupes d'approches, selon les informations visibles / soulignées dans les tableaux 1 et 2, que nous appelons de catégories : (i) **méthodes d'évaluation** (méthodes de vérification - inspections -

relectures formelles - équipements et outils de vérification - inspection formelle - type de revue - aux méthodes, aux procédures, aux critères et à l'environnement de vérification - méthodes d'évaluation - équipements et outils de test - méthodes, procédures et

critères établis - aux méthodes, aux critères ou à l'environnement); **(ii) prototypage** (démonstrations de prototypes - prototypage); **(iii) normes et lignes directrices pour le projet et la documentation d'IHM** (critères de validation - normes - critères de vérification).

Vérification (VER)		Type de citation
Pratique spécifique (SP)	Information d'IHM	
<b>SP 1.1</b> : Sélectionner les produits d'activité à vérifier et les méthodes de vérification à utiliser.	<b>Sous-pratique 4</b> : « Définir des <u>méthodes de vérification</u> à appliquer pour chaque produit d'activité sélectionné. » <b>Information additionnelle</b> : « Pour l'ingénierie de systèmes, la vérification comprend généralement <u>prototypage</u> , modélisation et simulations, pour vérifier l'exactitude de la conception d'un système (et son allocation). »	Implicite Explicite
<b>SP 1.2</b> : Établir et maintenir l'environnement nécessaire à la vérification.	<b>Sous-pratique 3</b> : « Identifier les <u>équipements et les outils de vérification</u> . »	Implicite
<b>SP 1.3</b> : Établir et maintenir les procédures et les critères de vérification pour les produits d'activité sélectionnés.	<b>Sous-pratique 2</b> : « Développer et affiner des <u>critères de vérification</u> si nécessaire. » <b>Exemple de sources de critères de vérification</b> : « <u>Normes</u> »	Implicite
<b>SP 2.1</b> : Préparer les revues par les pairs des produits d'activité sélectionnés.	<b>Sous-pratique 1</b> : « Déterminer le type de revue par les pairs à mener. » <b>Exemples de types de revues par les pairs</b> : « <u>Inspections, relectures formelles</u> . »	Implicite
<b>SP 2.2</b> : Mener des revues par les pairs sur les produits d'activité sélectionnés et identifier les problèmes détectés lors de ces revues.	<b>Information additionnelle</b> : « Les revues par les pairs doivent observer les lignes directrices suivantes : la préparation doit être suffisante, le déroulement doit être géré et contrôlé, des données cohérentes et suffisantes doivent être collectées (c'est le cas par exemple d'une <u>inspection formelle</u> ) et les éléments d'action doivent être consignés. »	Implicite
<b>SP 2.3</b> : Analyser les données portant sur la préparation, la conduite et les résultats des revues par les pairs.	<b>Sous-pratique 1</b> : « Enregistrez les données liées à la préparation, à la conduite et aux résultats des revues par les pairs. » <b>Information additionnelle</b> : « Les données comprennent généralement le nom du produit, sa taille, la composition de l'équipe de revue par les pairs, le type de revue, le temps de préparation par participant, la durée de la réunion, le nombre de défauts détectés, le type et l'origine des défauts, etc. »	Implicite
<b>SP 3.1</b> : Réaliser la vérification des produits d'activité sélectionnés.	<b>Sous-pratique 4</b> : « Documenter la <u>méthode de vérification</u> exécutée et les déviations des méthodes et procédures disponibles découvertes durant son exécution. »	Implicite
<b>SP 3.2</b> : Analyser les résultats de toutes les activités de vérification.	<b>Sous-pratique 2</b> : « Selon les critères de vérification établis, identifier les produits qui ne satisfont pas aux exigences ou les problèmes liés <u>aux méthodes, aux procédures, aux critères et à l'environnement de vérification</u> . »	Implicite

Tableau 1. Analyse du CMMI-DEV – SP de VER

Validation (VAL)		Type de citation
Pratique spécifique (SP)	Information d'IHM	
<b>SP 1.1</b> : Sélectionner les produits et les composants de produit à valider, ainsi que les méthodes de validation à utiliser.	<b>Sous-pratique 3</b> : « Sélectionner le produit et les composants de produit à valider. » <b>Exemples de produits et composants de produit pouvant être validés</b> : « <u>Interfaces utilisateurs, manuels utilisateurs</u> . » <b>Sous-pratique 4</b> : « Choisir les <u>méthodes d'évaluation</u> pour la validation du produit ou composant de produit. » <b>Exemples de méthodes de validation</b> : « Discussions avec les utilisateurs finaux, éventuellement dans le contexte d'une revue formelle, <u>démonstrations de prototypes</u> . »	Explicite Explicite
<b>SP 1.2</b> : Établir et maintenir l'environnement nécessaire à la validation.	<b>Sous-pratique 3</b> : « Identifier les <u>équipements et les outils de test</u> . »	Implicite
<b>SP 1.3</b> : Établir et maintenir les procédures et les critères de validation.	<b>Sous-pratique 2</b> : « Documenter l'environnement, le scénario d'emploi, les procédures, les entrées, les sorties et les <u>critères de validation</u> du produit ou du composant de produit sélectionné. » <b>Exemple de sources de critères de validation</b> : « <u>Normes</u> »	Implicite
<b>SP 2.1</b> : Valider les produits et composants de produit sélectionnés.	<b>Information additionnelle</b> : « Les activités de validation sont réalisées, et les données résultantes sont collectées selon <u>les méthodes, les procédures et les critères établis</u> . »	Implicite
<b>SP 2.2</b> : Analyser les résultats des activités de validation.	<b>Sous-pratique 2</b> : « En fonction des critères de validation établis, identifier les produits et composants de produit qui ne se comportent pas comme prévu dans leur environnement cible ou les problèmes liés <u>aux méthodes, aux critères ou à l'environnement</u> . »	Implicite

Tableau 2. Analyse du CMMI-DEV - SP de VAL

Après cette première analyse, nous avons affiné les catégories en prenant en compte la littérature, ainsi que notre propre expérience en IHM. Le Tableau 3 présente l'ensemble final des approches d'IHM indiquant quelles pratiques spécifiques devraient être utilisées lors de l'implémentation du CMMI-DEV pour la conception de systèmes interactifs.

### Interviews d'experts en IHM

Avec l'ensemble des approches identifiées, organisées en catégories et associées à chaque pratique spécifique de VER et VAL, nous avons organisé une validation de cette première proposition avec des experts en IHM. Dans cette section, nous présentons la planification et l'exécution des interviews.

#### Planification

Pour planifier les entrevues nous avons élaboré le protocole suivant :

- **Objet de l'étude :** Ensemble des approches d'IHM et des pratiques des domaines de processus de VER et de VAL du modèle CMMI-DEV ;
- **Objectif :** Valider si l'ensemble des approches d'IHM proposé peut soutenir les pratiques des domaines de processus de VER et de VAL du modèle CMMI-DEV ;
- **Sujets :** Experts en IHM de différents pays. Ils ont été sélectionnés en raison de leur réputation dans la communauté en IHM et par convenance des contacts de recherche des auteurs ;
- **Instrumentation :** Un questionnaire spécifique (voir une partie du questionnaire visible en Tableau 4) a été élaboré en trois langues : anglais, français et portugais. Pour chaque pratique spécifique, les experts devaient répondre s'ils sont d'accord, partiellement d'accord ou pas d'accord que l'approche d'IHM associée soutient la pratique ;
- **Validité des résultats :** Pour analyser les résultats nous avons examiné les risques de validité proposés par Wohlin et al. [28] : la validité de construction, la validité interne, la validité de conclusion et la validité externe. Nous avons analysé chacun d'entre eux, en essayant systématiquement de les atténuer ou éliminer (cf. ci-dessous).

Les risques par rapport à la *validité de construction* illustrent la relation entre la théorie et l'observation, et les questions de savoir : si le traitement reflète adéquatement la cause, et si le résultat reflète adéquatement les effets. Pour minimiser ce risque, nous avons construit le questionnaire en utilisant le texte original extrait de la documentation officielle du CMMI-DEV (dans les trois langues). Par ailleurs, nous avons à disposition la documentation officielle lors de l'entrevue, afin de pouvoir la consulter en cas de doute.

Les risques liés à la *validité interne* dessinent des influences qui peuvent affecter les variables indépendantes en ce qui concerne la relation causale entre le traitement et le résultat obtenu. Dans notre étude de cas ce risque est associé aux experts impliqués dans

l'évaluation. Les experts doivent estimer s'ils sont d'accord que les approches d'IHM pourraient soutenir les pratiques, et donc nous avons supposé que les experts connaissent les approches proposées. Pour minimiser ce risque, nous avons sélectionné uniquement des professionnels (pour la plupart professeurs d'université ou experts industriels) qui ont une expérience importante dans le domaine de l'IHM et qui ont le niveau doctorat. Nous avons décidé que la connaissance du CMMI n'était pas nécessaire, car les pratiques des domaines de processus de la catégorie ingénierie sont typiques dans le développement de logiciels. De plus, nous avons décidé d'obtenir les opinions par interviews, celles-ci permettant la clarification en cas de doute tout en répondant au questionnaire. Les auteurs qui ont procédé aux interviews connaissent le modèle et ont déjà participé à des évaluations officielles du modèle.

Pratique spécifique	Approches d'ingénierie de l'IHM pour soutenir CMMI-DEV
VAL SP 1.1 VAL SP 1.2 VAL SP 2.1 VAL SP 2.2	<b>Méthodes d'évaluation pour tests de vérification d'IHM</b> Exemples : • Tests d'utilisabilité ▪ Essais exploratoires ▪ Tests d'évaluation ▪ Tests de validation ou de vérification ▪ Tests de comparaison • Validation par un ou plusieurs experts en IHM
VAL SP 1.1 VER SP 1.1	<b>Prototype fonctionnel pour la validation d'IHM</b> Exemples : • Prototypes itératifs et évolutionnaires ▪ Kits d'outils pour l'interface utilisateur ▪ Constructeurs de l'interface utilisateur ▪ Environnements de développement d'interface utilisateur
VAL SP 1.3 VER SP 1.3	<b>Normes et lignes directrices pour le projet et la documentation d'IHM</b> Exemples: • Critères ergonomiques (Scapin and Bastien, 1997) • ISO/IEC 9126-1 (2001) • ISO 9241-11 (1998) • ISO/IEC 25000 (2014)
VER SP 2.1 VER SP 2.2 VER SP 2.3	<b>Méthodes d'évaluation pour la révision d'IHM</b> Exemples: • Évaluation heuristique • <i>Cognitive Walkthrough</i> • <i>Groupware Walkthrough</i>

Tableau 3. Ingénierie de l'IHM pour soutenir CMMI-DEV

Les risques par rapport à la *validité de conclusion* sont ceux qui affectent la capacité de tirer la bonne conclusion à propos de la relation entre le traitement et les résultats de notre étude (les approches d'IHM associées à chaque pratique). Pour réduire ce risque, nous avons décidé d'effectuer des entrevues individuellement et non une enquête. De cette façon, lorsque les experts étaient en désaccord ou partiellement d'accord avec les approches, ils étaient invités à justifier leur opinion et faire d'autres propositions.

Domaine de Processus et Objectif Spécifique (SG)	Pratique Spécifique (SP)	Méthodes, techniques, normes et patrons d'IHM	Réponse			Justification
			Je suis d'accord	Je suis partiellement d'accord	Je ne suis pas d'accord	
Validation <i>SG 1 Se préparer pour la validation</i> La préparation en vue de la validation est réalisée.	<b>SP 1.1 Sélectionner les produits à valider</b> Sélectionner les produits et les composants de produit à valider, ainsi que les méthodes de validation à utiliser.	<b>Méthodes d'évaluation pour tests de vérification d'IHM</b> Exemples: • Tests d'utilisabilité ▪ Essais exploratoires ▪ Tests d'évaluation ▪ Tests de validation ou de vérification ▪ Tests de comparaison • Validation par un ou plusieurs experts en IHM		x		« Je ne suis pas d'accord avec la validation par des experts. Tests avec l'utilisateur final. »
Vérification <i>SG 1 Se préparer à la vérification</i> La préparation en vue de la vérification est réalisée.	<b>SP 1.1 Sélectionner les produits d'activité à vérifier</b> Sélectionner les produits d'activité à vérifier et les méthodes de vérification à utiliser.	<b>Prototype fonctionnel pour la validation d'IHM</b> Exemples: • Itératif et évolutionnaires Prototypes ▪ Kits d'outils de l'interface utilisateur ▪ Constructeurs de l'interface utilisateur ▪ Environnements de développement de l'interface utilisateur			x	« Je considère que l'évaluation doit être effectuée avec le produit final. »

Tableau 4. Extrait du questionnaire

Nous avons décidé aussi de classer les experts selon deux catégories : **seniors** (avec une expérience supérieure ou égale à la moyenne d'âge des experts interrogés) et **juniors** (dans le cas contraire). Chaque suggestion de modification devait être confirmée par au moins un expert senior. Plus les experts seniors suggèrent un changement, plus est considérée comme précise la proposition de changement. Le choix d'experts par convenance pouvait également être un risque dans le sens où ils pouvaient ne pas se sentir à l'aise en exprimant des désaccords relativement à des propositions. Pour atténuer ce biais, l'auteur qui connaît certains des experts n'a participé à aucune entrevue.

De plus, les autres auteurs ayant effectué les entrevues ont clairement expliqué que les propositions étaient seulement un ensemble initial non validé qui devait être amélioré.

Enfin, les risques de *validité externe* sont des conditions qui limitent notre capacité de généraliser les résultats de notre expérience en dehors du champ de notre étude. Pour minimiser ce risque, nous avons décidé d'effectuer les entrevues avec des experts de différents pays. Cependant, étant donné que les sujets ont été choisis par convenance, nous avons eu plus d'experts des pays d'origine des auteurs. Nous avons accepté ce risque étant donné que les experts sont bien connus par la communauté en IHM.

#### Réalisation des interviews

Les experts en IHM ont répondu au questionnaire lors de réunions en face à face et individuelles (en présentiel ou par vidéoconférence). Chaque interview commençait par une présentation de l'objectif de l'étude, et des explications sur le modèle CMMI-DEV en général. Vingt experts ont été interrogés. Les entrevues n'ont pas

été enregistrées, ni par vidéo ni en audio : toutes les informations recueillies ont été enregistrées par écrit dans le questionnaire par l'expert (en cas d'interview en présentiel) ou par l'intervieweur et/ou l'expert (en cas de vidéoconférence).

Par rapport aux données démographiques des experts nous avons eu : 8 experts juniors et 12 experts seniors. Ils ont en moyenne 19 ans d'expérience (de 7 à 40 ans). Les experts sont de cinq nationalités différentes : 12 français, 5 brésiliens, 1 belge, 1 tunisien et 1 algérien. Chacun d'entre eux possède une expérience d'enseignement, dont 14 qui ont aussi une expérience de l'industrie (4 juniors, 10 seniors). Sept proviennent du domaine conjoint génie logiciel & IHM. Six connaissent le modèle CMMI-DEV (bien que cela n'ait pas été nécessaire pour répondre au questionnaire).

#### Analyse et synthèse

Après avoir terminé toutes les entrevues, nous avons effectué une analyse qualitative et quantitative des données. Tout d'abord, nous avons analysé les résultats généraux pour toutes les pratiques de VER et de VAL. Comme décrit précédemment 8 pratiques de VER et 5 de VAL ont fait l'objet de notre étude. Pour 7 pratiques de VER et 4 de VAL nous avons proposé une catégorie d'approches d'IHM, et pour la pratique SP 1.1 (soit VER ou VAL) nous en avons proposé deux. Nous devons analyser en théorie 180 réponses pour VER et 120 pour VAL (dans la mesure où nous avons effectué 20 entrevues). Cependant, pour la pratique SP 1.2 (soit VER ou VAL) un expert a préféré ne pas donner son avis car il ne connaissait pas certaines des techniques présentées. Par conséquent, nous avons obtenu 179 réponses pour VER et 119 pour VAL.

La Figure 6 présente les résultats généraux (Vérification – item (a) et Validation – item (b)) pour toutes les pratiques en prenant en compte les trois réponses possibles. Pour VER, 68% sont d'accord, 26% sont partiellement d'accord et 6% sont en désaccord avec les propositions. Pour VAL, 64% sont d'accord, 34% sont partiellement d'accord et 2% sont en désaccord avec les propositions.

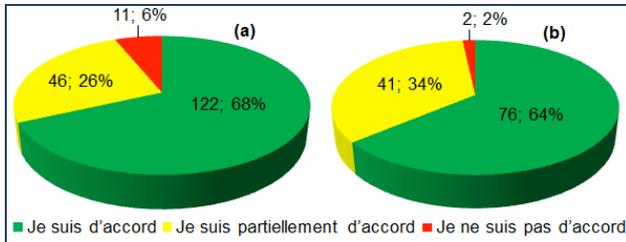


Figure 6. Résultats généraux

La Figure 7 présente les détails des résultats trouvés par pratique pour VER et prennent en compte le profil de l'expert. Une analyse du graphique permet de faire les remarques suivantes :

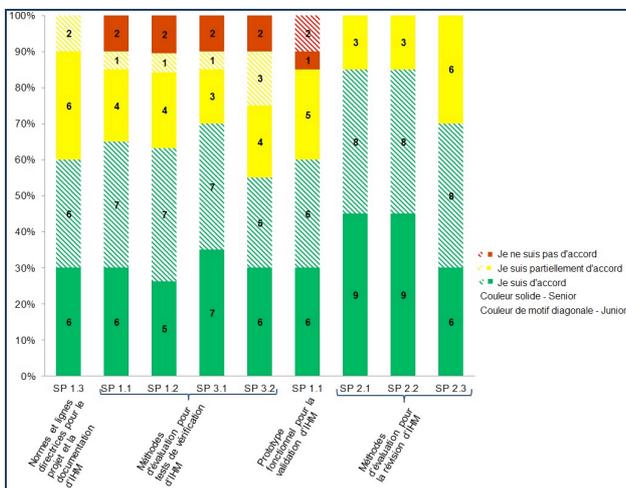


Figure 7. Résultats quantitatifs par pratique de VER

- les propositions « Normes et lignes directrices pour le projet et la documentation d'IHM » pour SP 1.3 et « Méthodes d'évaluation pour la révision d'IHM » pour SP 2.1, SP 2.2 et SP 2.3 n'avaient pas de désaccord, ce qui signifie qu'ils doivent être conservés ;
- « Méthodes d'évaluation pour tests de vérification d'IHM » et « Prototype fonctionnel pour la validation d'IHM » avaient quelques désaccords (respectivement 2 et 3) contre un grand nombre d'accords (respectivement 18 et 17 sont d'accord ou partiellement d'accord) dans toutes les propositions.

De façon similaire la Figure 8 présente les détails des résultats trouvés par pratique pour VAL. Une analyse du graphique permet de faire les remarques suivantes :

- les propositions « Normes et lignes directrices pour le projet et la documentation d'IHM » pour SP 1.3 et « Méthodes d'évaluation pour tests de vérification d'IHM » pour SP 1.1, SP 1.2, SP 2.1 et SP 2.2 n'avaient pas de désaccord, ce qui signifie qu'ils doivent être conservés ;

- « Prototype fonctionnel pour la validation d'IHM » avait 2 désaccords contre 18 qui sont d'accord ou partiellement d'accord).

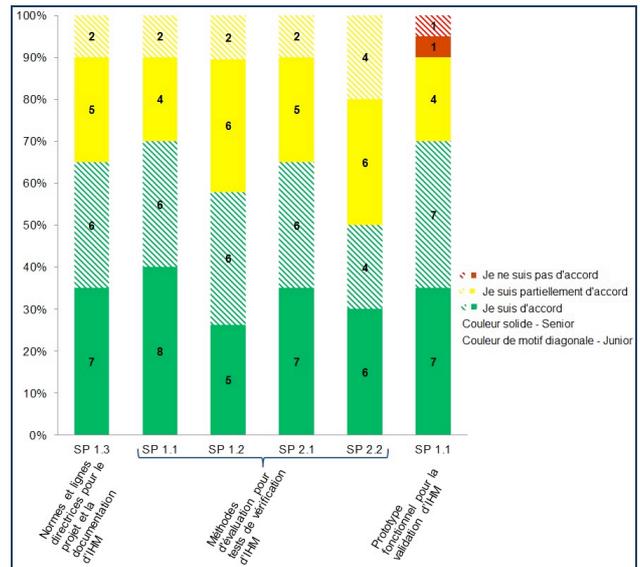


Figure 8. Résultats quantitatifs par pratique de VAL

Pour compléter notre analyse descriptive, nous avons calculé aussi le mode et la médiane, ce qui est généralement recommandé en cas d'utilisation d'échelles nominales et ordinales (voir par exemple, Fenton et Pfleeger [5], p. 57) ; ils sont présentés dans le Tableau 5 (première partie pour VER et deuxième partie pour VAL). Etant donné que presque toutes les pratiques avaient 20 réponses (sauf SP 1.3 de VER et VAL décrit précédemment) la valeur médiane a été définie avec les 10<sup>ème</sup> et 11<sup>ème</sup> éléments. Quand ils sont différents la décision a été considérée en fonction du mode. En analysant la colonne décision du Tableau 5 nous constatons que nous avons 14 « d'accord » et 1 « partiellement d'accord ». En outre, nous avons calculé aussi le W de Kendall [11] (coefficient de concordance de Kendall), dont la valeur de VER (Vérification) est 0,5 et celle de VAL (Validation) est 0,5. Rappelons que l'intervalle de W est compris entre 0 et 1, où 0 est interprété comme un désaccord et 1 comme un accord total, et que, selon Schmidt [22], 0,5 est considéré comme un accord modéré. Nous ne nous attendions pas à l'accord parce que l'étude présentait une proposition initiale que l'on cherche à améliorer. Par conséquent, nous considérons cette valeur satisfaisante pour l'analyse qualitative et l'amélioration de la proposition initiale. Nous avons également observé que ce résultat est en accord avec la décision obtenue par la médiane et le mode ayant pour la plupart « d'accord ».

Pour l'analyse qualitative, nous avons organisé dans un formulaire tous les commentaires écrits par chaque expert, pour chaque pratique et l'approche associée. Pour cette partie, nous avons analysé chaque commentaire pour chaque réponse selon les étapes suivantes : (i) en premier, tous les commentaires ont été analysés par un auteur afin d'identifier s'il y avait des propositions d'amélioration ou d'exclusion de catégories ou de nouvelles approches proposées ; (ii) deuxièmement, les commentaires ont été

organisés en groupes similaires de propositions ; (iii) troisièmement, les groupes de commentaires ont été examinés par deux auteurs; (iv) enfin, les propositions ont été examinées par tous les auteurs lors d'une réunion.

\* D = D'accord, PA = Partiellement d'accord

VER	Approches d'IHM	Mode*	Valeur médiane*	Décision*
SP1.1	Méthodes d'évaluation pour tests de vérification d'IHM	D	D	D
SP1.2		D	D	D
SP3.1		D	D	D
SP3.2		D	D	D
SP1.1	Prototype fonctionnel pour la validation d'IHM	D	D	D
SP1.3	Normes et lignes directrices pour le projet et la documentation d'IHM	D	D	D
SP2.1	Méthodes d'évaluation pour la révision d'IHM	D	D	D
SP2.2		D	D	D
SP2.3		D	D	D
VAL	Approches d'IHM	Mode*	Valeur médiane*	Décision*
SP1.1	Méthodes d'évaluation pour tests de vérification d'IHM	D	D	D
SP1.2		D	D	D
SP2.1		D	D	D
SP2.2		D et PA	D et PA	PA
SP1.1	Prototype fonctionnel pour la validation d'IHM	D	D	D
SP1.3	Normes et lignes directrices pour le projet et la documentation d'IHM	D	D	D

**Tableau 5. Mode et Valeur médiane**

Pour mieux expliquer ce processus, nous montrons un exemple de l'analyse pour la pratique VAL SP 1.1 (voir Tableau 6 qui présente une partie du formulaire). Les commentaires de chaque expert ont été retranscrits exactement comme ils étaient dans leur questionnaire, dans la colonne dans laquelle la réponse a été donnée (colonne « je suis d'accord », « je suis partiellement d'accord » ou « je ne suis pas d'accord »).

En Analysant toutes les justifications pour les propositions de « Méthodes d'évaluation pour tests de vérification d'IHM » pour les pratiques de VER, on constate que :

- les experts qui sont en désaccord (E6s, E16s - même commentaire pour toutes les pratiques) et celui qui est partiellement d'accord (E18s - même commentaire pour toutes les pratiques) suggèrent l'inclusion de tests de vérification classiques de génie logiciel ;
- les experts qui sont en désaccord (E6s, E16s) et celui qui est partiellement d'accord (E8s - même commentaire pour toutes les pratiques) suggèrent

l'utilisation de l'approche *vérification par des experts en IHM* et pas *validation par des experts* (comme proposé) ;

- certains experts (E14j, E17j et E10 pour SP3.2) suggèrent l'exploitation d'outils statistiques et de méthodes d'analyse ;
- un expert (E19j - même commentaire pour toutes les pratiques) suggère l'inclusion de test d'accessibilité. Bien que l'accessibilité est aujourd'hui une exigence non-fonctionnelle importante, nous décidons de ne pas mettre l'accent sur cet attribut de qualité par rapport aux autres, étant donné que chaque application a ses exigences spécifiques.

En nous basant sur les justifications, nous avons réalisé que la catégorie « Méthodes d'évaluation pour tests de vérification d'IHM » mélangeait des approches de vérification et de validation. Nous avons donc décidé de la scinder en deux catégories avec des exemples appropriés : « Méthodes d'évaluation pour la validation d'IHM » et « Méthodes d'évaluation pour la vérification d'IHM ». De cette façon, la catégorie « Méthodes d'évaluation pour la vérification d'IHM » a remplacé la précédente pour les quatre pratiques (SP1.1, SP1.2, SP3.1 et SP3.2 de VER).

En outre, pour le domaine de VER, concernant les propositions pour « Prototype fonctionnel pour la validation d'IHM », 3 experts en désaccord ont fait valoir que l'évaluation doit être effectuée avec le produit final à la place d'un prototype. Cependant, les experts qui acceptent partiellement la proposition, considèrent que le prototype à utiliser doit être la version zéro du système. En se basant sur ces commentaires, nous avons décidé de renommer la catégorie par « Prototypes itératifs et évolutifs (versions du système) ». La pratique SP1.3 a eu 8 réponses « partiellement d'accord » avec pour suggestions des exemples de normes et de lignes directrices. Nous avons inclus ces exemples dans la catégorie. Pour les pratiques SP2.1, SP2.2 et SP2.3 de VER, les réponses « partiellement d'accord » ont été également associées à des suggestions de nouvelles méthodes pour la catégorie proposée. Nous avons aussi inclus les nouveaux exemples dans la catégorie.

Les justifications des experts pour VAL, soit partiellement d'accord ou en désaccord, étaient assez semblables aux justifications faites pour VER, et donc impliquées dans des décisions similaires. En général, les experts indiquent que :

- ils ne sont pas d'accord avec l'approche validation par des experts (E8s et E16s) pour la catégorie « Méthodes d'évaluation pour tests de vérification d'IHM ». Ils ont fait valoir que la validation doit être faite avec les utilisateurs finaux et la vérification doit être effectuée plutôt avec des experts en IHM (tel que décrit dans la section précédente) ;
- de manière similaire à VER, E3j et E10j étaient en désaccord avec la proposition « Prototype fonctionnel

pour la validation d'IHM », où ils ont justifié que l'évaluation doit être effectuée avec le produit final ;

- deux experts (E15j et E18s) suggèrent notamment l'évaluation de la communicabilité et l'évaluation de l'expérience utilisateur dans la catégorie qui prend en charge SP1.2.

En se basant sur l'analyse et la synthèse présentées, notre ensemble final de catégories pour soutenir les pratiques de vérification et validation est présenté dans le Tableau 7.

## CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cet article a présenté une étude par rapport aux méthodes, techniques, normes et standards de vérification et de validation d'IHM, pouvant être intégrés au CMMI-DEV, pour assurer l'utilisabilité des systèmes interactifs. Ces deux domaines de processus sont très importants dans un but de qualité des systèmes interactifs. Ils font partie de la catégorie **ingénierie** du modèle CMMI-DEV.

\* E<sub>s</sub> = senior, E<sub>j</sub> = junior

Catégorie	Pratique	Réponse – Je suis d'accord*	Réponse – Je suis partiellement d'accord*	Réponse – Je ne suis pas d'accord	Conclusion
Méthodes d'évaluation pour tests de vérification d'IHM	VAL SP 1.1	<i>E1j, E2s, E3j, E4j, E5s, E6s, E9j, E10s, E11s, E12s, E13j, E14j, E17s, E20s</i>	<i>E7s-</i> Faire l'inclusion des méthodes d'évaluation qui prennent en compte l'utilisateur. <i>E8s-</i> Je ne suis pas d'accord avec l'approche « Validation par l'expert (s) en IHM ». Je suggère le changement de nom de la catégorie. La validation avec l'utilisateur final. <i>E15j-</i> Je suggère l'inclusion de l'approche « évaluation de la communicabilité », « évaluation de l'expérience de l'utilisateur ». <i>E16s-</i> Je ne suis pas d'accord avec l'approche « Validation par l'expert (s) en IHM ». La validation avec l'utilisateur final. <i>E18s-</i> Je suggère l'inclusion de l'approche « évaluation de la communicabilité ». <i>E19j-</i> Je suggère l'inclusion de l'approche « évaluation de la accessibilité » et « validation par les parties prenantes ».	-	1: Inclusion de la technique pour évaluer la communicabilité (proposé par 1 senior : E18 et 1 junior : E15)  2 : Exclusion de la technique « Validation par l'expert (s) en IHM » (proposé par 2 experts seniors : E8, E16)  3 : Inclusion de nouvelles méthodes prenant en compte l'utilisateur (proposé par 1 expert senior : E7, 2 experts juniors : E15, E19)

Tableau 6. Exemple d'analyse pour la pratique VAL SP 1.1

Pratique spécifique	Approches d'ingénierie d'IHM pour soutenir CMMI
VAL SP 1.1	<b>Méthodes d'évaluation pour la validation d'IHM</b>
VAL SP 1.2	Exemples : Tests d'utilisabilité (Essais exploratoires, Tests d'évaluation, Tests de validation ou de vérification, Tests de comparaison) ; Test de communicabilité ; Questionnaires d'utilisabilité standardisés ; Interviews post-expérience ; Evaluation de l'expérience utilisateur.
VAL SP 2.1	
VAL SP 2.2	
VAL SP 1.1	<b>Prototypes itératifs et évolutionnaires (versions du système)</b>
VER SP 1.1	Exemples : Kits d'outils de l'interface utilisateur ; Constructeurs de l'interface utilisateur ; Environnements de développement de l'interface utilisateur.
VAL SP 1.3	<b>Normes et lignes directrices pour le projet d'IHM</b>
VER SP 1.3	Exemples : Critères ergonomiques (Scapin and Bastien [21]; Vanderdonck [26]) ; ISO/IEC 9126-1 [9] ; ISO 9241-11 [8] ; ISO/IEC 25000 [10] ; Normes et les lignes directrices d'accessibilité (W3C) ; Heuristiques de Nielsen [13] ; Règles d'or de conception de l'interface [23].
VER SP 2.1	<b>Méthodes d'évaluation pour la révision d'IHM</b>
VER SP 2.2	Exemples : Évaluation heuristique ; <i>Cognitive Walkthrough</i> ; <i>Groupware Walkthrough</i> .
VER SP 2.3	
VER SP 1.1	<b>Méthodes d'évaluation pour la vérification d'IHM</b>
VER SP 1.2	Exemples : Test unitaire ; Test d'intégration ; Test du système ; Test d'acceptation ; Test d'installation.
VER SP 3.1	
VER SP 3.2	

Tableau 7. Ingénierie d'IHM pour soutenir CMMI après validation d'experts

Cet étude s'intègre dans une approche plus large qui vise à identifier des approches d'IHM pour toutes les catégories d'ingénierie du modèle CMMI-DEV (incluant en plus de la vérification et de la validation, les domaines de processus : développement d'exigences, solution technique et intégration de produit). Une première étude sur le domaine « Développement des Exigences » est disponible dans [7].

Au-delà de l'identification des approches d'IHM, à long terme cette étude vise la définition d'un guide méthodologique pour les développeurs des systèmes qui utilisent le modèle CMMI-DEV. Ce guide présentera pour chaque pratique d'ingénierie du CMMI-DEV quelles approches de l'IHM peuvent être utilisées, quand et comment les utiliser de façon intégrée aux approches classiques de génie logiciel dans le développement d'un système interactif qui suit un processus basé sur CMMI-DEV.

Ce guide va considérer les recommandations génériques définies par les experts et la littérature, dans le cas des systèmes interactifs ; par exemple : participation de l'utilisateur final (conception participative) dans la conception du système, utilisation d'approches de conception centrée utilisateur intégrant un ou des représentants de l'utilisateur final dans l'équipe de développement.

Nos perspectives à court terme sont de réaliser un travail sur le terrain avec des entreprises qui utilisent CMMI-DEV pour vérifier si leurs professionnels connaissent les approches d'IHM. Ce travail sera réalisé à travers une enquête, auprès d'utilisateurs de CMMI-DEV, visant à identifier s'ils connaissent et utilisent en pratique ces approches d'IHM dans l'industrie. Cette enquête permettra en outre aussi une première divulgation d'approches d'IHM normalement pas ou insuffisamment utilisées en industrie.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient chaleureusement les vingt experts qui ont participé à l'étude et à CAPES - Programme Science sans frontières pour le soutien financier à ce travail. Ils remercient aussi les relecteurs anonymes pour leurs remarques pertinentes.

## BIBLIOGRAPHIE

1. CMMI Product Team. 2010. CMMI® for Development (CMMI-DEV), V1.3, (CMU/SEI-2010th-TR-033 ed.). Pittsburgh, USA: Carnegie Mellon University.
2. Gilbert Cockton, Alan Woolrych, Darryn Lavery. 2009. Inspection-based evaluations. In *Human-Computer Interaction: Development Process*, Andrew Sears and Julie A. Jacko (Eds.), CRC Press, 273-292.
3. Catherine Courage and Kathy Baxter. 2005. *Understanding your users: a practical guide to user requirements, methods, tools, and techniques*. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann Publishers.
4. Joseph S. Dumas and Jean E. Fox. 2009. Usability testing: Current practice and future directions. In *Human-Computer Interaction: Development Process*, Andrew Sears and Julie A. Jacko (Eds.), CRC Press, 231-250.
5. Norman E. Fenton, Shari L. Pfleeger. 1997. *Software metrics: a rigorous and practical approach*. PWS Publishing Co. Boston, MA, USA.
6. Taisa G. Gonçalves, Kathia M. Oliveira, Christophe Kolski. 2015. HCI engineering integrated with capability and maturity models. In *Proceedings of IHM'15*.
7. Taisa G. Gonçalves, Kathia M. Oliveira, Christophe Kolski. 2016. HCI Engineering Integrated with Capability Maturity Models: A Study focused on Requirements Development. In *Proceedings of International Conference on Research Challenges in Information Science RCIS'16*, 633-644.
8. ISO. 1998. ISO 9241-11:1998 Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) - Part 11: Guidance on usability.
9. ISO/IEC. 2001. ISO/IEC 9126-1:2001 Software engineering -- Product quality -- Part 1: Quality model.
10. ISO/IEC. 2014. ISO/IEC 25000:2014 Systems and software engineering -- Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) -- Guide to SQuaRE.
11. Pierre Legendre. 2010. Coefficient of concordance. In *Encyclopedia of Research Design*, N. J. Salkind, (ed.), Los Angeles: SAGE Publications, Inc., 164-169.
12. Thomas Mahatody, Mouldi Sagar, Christophe Kolski. 2010. State of the Art on the Cognitive Walkthrough Method, Its Variants and Evolutions. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 26, 8, 741-785.
13. Jakob Nielsen. 1994. Heuristic evaluation. In *Usability inspection methods*, J. Nielsen & R.L. Mack (Eds.), New-York: John Wiley & Sons, 25-62.
14. Jakob Nielsen. 1993. *Usability Engineering*. Morgan Kaufmann, San Francisco.
15. Hanna Oktaba, Claudia A. Esquivel, Angélica S. Ramos, Alfonso M. Martínez, Gloria Q. Osorio, Mara R. López, Francisco L. L. Hinojo, María E. R. López, María J. O. Mendoza, Yolanda F. Ordóñez, and Miguel A. F. Lemus. 2005. Modelo de Procesos para la Industria del Software MoProSoft, Versión 1.3. (en Espagnol)
16. Kathia M. Oliveira. 2010. New Research Challenges for User Interface Quality Evaluation. In *Proceedings of IHM'10*.
17. A. Ant Ozok. 2009. Survey design and implementation. In *Human-Computer Interaction: Development Process*, Andrew Sears and Julie A. Jacko (Ed.), CRC Press, 253-271.
18. Raquel O. Prates, Clarisse S. Souza, Simone D. J. Barbosa. 2000. A method for Evaluating the Communicability of User Interfaces. *Interactions*, 7, 1, 31-38.
19. Soraia S. Reis, and Raquel O. Prates. 2012. Assessing the Semiotic Inspection Method – The Evaluators' Perspective. In *Proceedings of Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems*, 287-296.
20. Virpi Roto, Marianna Obrist, Kaisa Väänänen-Vainio-Mattila. 2009. User Experience Evaluation Methods in Academic and Industrial Contexts. In *Workshop on User Experience Evaluation Methods*, in conjunction with *Interact'09 conference*.
21. Dominique L. Scapin and J. M. C. Bastien. 1997. Ergonomic criteria for evaluating the ergonomic quality of interactive systems. *Behaviour & Information Technology*, 16, 4/5, 220-231.
22. Roy C. Schmidt. 1997. Managing Delphi Surveys Using Nonparametric Statistical Techniques. *Decision Sciences*, 28, 3, 763-774.
23. Ben Shneiderman and Catherine Plaisant. 2010. *Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction*. Addison-Wesley, Reading, MA, Fifth Edition.
24. Softex. 2016. MPS.BR - Brazilian Software Process Improvement, MR-MPS-SW - General Guide. Retrieved April, 2016 from <http://www.softex.br>. (en Portugais)
25. Clarisse S. Souza, Carla F. Leitão, Raquel O. Prates, Elton J. Silva. 2006. The Semiotic Inspection Method. In *Proceedings of Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems*, 148-157.
26. Jean Vanderdonckt. 1995. *Guide ergonomique des interfaces homme-machine*. Belgique: Presses Universitaires de Namur.

27. Arnold P.O.S. Vermeeren, Effie Lai-Chong Law, Virpi Roto, Marianna Obrist, Jettie Hoonhout, Kaisa Väänänen-Vainio-Mattila. 2010. User Experience Evaluation Methods: Current State and Development Needs. In *Proc. NordiCHI'10*, 521-530.
28. Christiane G. von Wangenheim, Jean C. R. Hauck, Clenio F. Salviano, Aldo von Wangenheim. 2010. Systematic Literature Review of Software Process Capability/Maturity Models. In *Proceedings of SPICE*.
29. Claes Wohlin, Per Runeson, Martin Höst, Magnus C. Ohlsson, Björn Regnell, Anders Wesslén. 2012. *Experimentation in Software Engineering*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.