



HAL
open science

Fuzzy4u : un moteur d'adaptation en logique floue pour l'accessibilité des interfaces

Tanguy Giuffrida, Eric Céret, Sophie Dupuy-Chessa

► To cite this version:

Tanguy Giuffrida, Eric Céret, Sophie Dupuy-Chessa. Fuzzy4u : un moteur d'adaptation en logique floue pour l'accessibilité des interfaces. 2019. hal-02170337

HAL Id: hal-02170337

<https://hal.science/hal-02170337>

Preprint submitted on 1 Jul 2019

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.

Fuzzy4u : un moteur d'adaptation en logique floue pour l'accessibilité des interfaces

Tanguy Giuffrida

Université Grenoble Alpes,
CNRS, Grenoble INP*, LIG
38000 Grenoble, France.

tanguy.giuffrida@univ-grenoble-alpes.fr

Eric Céret

Université Grenoble Alpes,
CNRS, Grenoble INP*, LIG
38000 Grenoble, France.

Sophie Dupuy-Chessa

Université Grenoble Alpes,
CNRS, Grenoble INP*, LIG
38000 Grenoble, France.

* Institute of Engineering Univ.
Grenoble Alpes

Fuzzy4U: A fuzzy logic adaptation engine for interfaces' accessibility

Abstract. With the massive spread of Internet use, the accessibility of interfaces is an ever more pressing need. Much work has been done on this subject in order to define generic or situational accessibility recommendations and propose tools for adapting interfaces. However, difficulties remain, particularly related to the complexity of possible contexts of use, such as the multiplicity of characteristics in the context of use, the imprecision of the values assigned to these characteristics and the combination of multiple adaptation rules. This article shows how a dynamic adaptation engine based on fuzzy logic can be used to implement accessibility recommendations. It shows how this approach makes it possible to overcome the difficulties through fuzzy logic and its management of the combinatorics of rules, making it possible to take into account a potentially complex context of use, which we illustrate with a concrete example.

Key words: HCI adaptation, fuzzy logic, accessibility, context of use, adaptation rules

Résumé. Avec la diffusion massive de l'utilisation d'Internet, l'accessibilité des interfaces est un besoin toujours plus prégnant. De nombreux travaux se sont penchés sur ce sujet afin de définir des recommandations d'accessibilité génériques ou situationnelles, et proposer des outils d'adaptation des interfaces. Cependant, des difficultés, notamment liées à la complexité des contextes d'usage possibles, demeurent, tels que la multiplicité des caractéristiques du contexte d'usage, l'imprécision des valeurs attribuées à ces caractéristiques et la combinaison de multiples règles d'adaptation. Cet article montre comment un moteur d'adaptation dynamique basé sur la logique floue peut être utilisé pour implanter les préconisations en accessibilité. Il montre comment cette approche permet de dépasser ces verrous grâce à la logique floue et sa gestion de la combinatoire des règles, permettant de prendre en compte un contexte d'usage potentiellement complexe, que nous illustrons avec un exemple concret.

Mots-clés : Adaptation d'IHM, logique floue, accessibilité, contexte d'usage, règles d'adaptation

Édité par Joëlle Coutaz, Université de Grenoble et Patrick Girard, Université de Poitiers
Soumis le 15 mars 2015 – Accepté le 30 juin 2015

(NE RIEN INSCRIRE DANS CES 3 LIGNES)

1 INTRODUCTION

L'utilisation de l'informatique s'impose de plus en plus dans la vie quotidienne, notamment à travers Internet : on peut penser par exemple à la diffusion massive des réseaux sociaux, à l'accès à ses comptes bancaires, aux déclarations d'impôts, aux prises de rendez-vous médicaux.

En France, le code de l'action sociale et des familles promeut l'utilisation des technologies numériques pour prévenir l'isolement, notamment dans l'article L233-1 de la loi 2015-1776 du 28 décembre 2015. Pourtant, le Haut Conseil de la famille, de l'enfance et de l'âge, dans son rapport du 16 mai 2019 [HCFEA, 2019], note l'existence d'une "fracture numérique" qui atteint "certains territoires [et] certains publics fragiles". Cette fracture retranscrit la difficulté d'une part importante de la population à utiliser l'outil informatique et constitue un facteur supplémentaire d'isolement. Ces personnes - notamment les personnes en difficulté neurocognitive ou les personnes âgées - montrent en effet une forte anxiété et un sentiment d'incompétence vis-à-vis de ces dispositifs [Quillion-Dupré, 2018]. Par rapport à la population générale, elles ont besoin de plus de temps pour s'approprier l'utilisation d'une nouvelle technologie et requièrent plus d'aide et d'entraînement [Quillion-Dupré, 2018].

Si l'accompagnement humain est un facteur important de succès pour permettre à ces personnes d'accéder à l'usage des outils informatiques [Berner, 2014], la facilité d'utilisation des dispositifs est un point critique pour en favoriser l'adoption [Alm, 2007] : les difficultés vécues par ces utilisateurs reposent de façon plus aiguë la question de l'accessibilité.

L'accessibilité est définie par le W3C comme les moyens à mettre en œuvre pour « permettre un accès égal et des opportunités égales à tous les utilisateurs », afin notamment de « rendre possible une égale participation des personnes handicapées » [WAI, 2005].

Cependant, la Classification Internationale pour le Fonctionnement, le Handicap et la Santé de l'OMS insiste fortement sur le fait que le handicap est une limite imposée à l'engagement de la personne dans des activités, révélée, accrue ou allégée par des facteurs socio-environnementaux persistants ou ponctuels. Ainsi une personne atteinte de dégradation neurocognitive pourrait confortablement préparer ses repas ou discuter avec un membre de sa famille (des routines acquises depuis des années), tandis qu'elle aurait le plus grand mal à acquérir les bases d'usage d'un dispositif informatique : il s'agit alors d'une situation persistante. Une autre personne pourrait avoir assimilé comment envoyer des mès, mais se trouver totalement impuissante lorsque le système lui afficherait un message urgent concernant une mise à jour, une difficulté ponctuelle ou handicap situationnel [Wobbrock, 2019].

Au regard de ces situations, le besoin d'accompagnement est double : les dispositifs informatiques doivent pouvoir prendre en compte non seulement les préférences de l'utilisateur, mais aussi ses limitations, qu'elles soient durables ou ponctuelles. En d'autres termes, l'adaptativité dynamique et situationnelle des interfaces devient un élément crucial des systèmes du futur.

Pourtant, les préconisations, comme nous le détaillerons dans la section 5, sont souvent des principes généraux ("le contenu doit être lisible par un enfant" d'environ 14 ans [Loranger, 2017]) et statiques ("le ratio de contraste recommandé est 4,5:1" [WCAG, 2009]), parfois complexes à combiner, voire contradictoires. Adapter une interface à la situation, au handicap ponctuel, ne peut pas se faire sur la base de principes statiques : l'interface doit réagir à la situation présente, avec toute sa complexité, pour maintenir le niveau de service offert et préserver l'utilisabilité [Thévenin et Coutaz, 1999].

De nombreux travaux ont déjà traité des IHM adaptatives [Sottet, et al., 2007 ; Blumendorf et al., 2008 ; Chessa et al., 2004 ; Florins, 2006 ; Nguyen et al., 2016]. Cependant, des verrous scientifiques demeurent, en particulier si l'adaptation prend en compte l'utilisateur et pas

seulement la plateforme et l'environnement [Miñón et al., 2016 ; Yigitbas et al., 2017 ; Abrahão et al., 2017]. Nous avons établi en particulier qu'il reste trois verrous :

(a) la multiplicité des caractéristiques du contexte d'usage, et en particulier du modèle de l'utilisateur : le cluster Virtual User Modelling and Simulation [VUMS, 2013] a identifié plus de 250 caractéristiques utiles pour simuler un utilisateur humain, en ne focalisant principalement que sur les caractéristiques physiques de l'utilisateur ;

(b) l'imprécision des valeurs attribuées à ces caractéristiques, que cette évaluation soit faite par capture (on peut par exemple inférer l'âge de l'utilisateur à partir d'une image prise par sa caméra, mais la précision est inférieure à 50% [Jung et al., 2018]) ou par déclaration (on peut demander à l'utilisateur de déclarer son acuité visuelle, mais l'incertitude sur la valeur collectée est ici aussi élevée [Jasberg, 2018]) ;

(c) la combinaison des règles d'adaptation : prendre en compte les multiples caractéristiques du contexte d'usage nécessite, sous une forme ou une autre (transformations de modèles, patrons de solutions, règles logiques...), de définir de multiples règles, puis de les combiner pour arriver une solution en résolvant à la fois le compromis entre les différentes règles et la gestion performante de cette combinatoire [Yang et Shao, 2007].

Ces trois verrous, ainsi que la complexité des approches [Whittle, 2014] (comme l'Ingénierie Dirigée par les Modèles (IDM) [Thevenin et al., 2003 ; Miñón et al., 2016 ; Partenò et al., 2012], ou le Machine Learning [Motti et al., 2012]) et le risque de déstabiliser l'utilisateur [Findlater, 2019] expliquent sans doute pourquoi ces approches n'ont pas encore trouvé d'application concrète réelle dans les produits diffusés auprès du public.

Nous avons proposé une nouvelle approche, une troisième voie entre le faible potentiel d'approches comme le Responsive Web Design (qui ne prend en compte que la taille de la surface d'affichage) et la complexité de mise en œuvre d'approches comme IDM. Notre objectif général est de proposer une solution suffisamment simple à mettre en œuvre pour qu'elle soit adoptée par les développeurs et ainsi mise au service des utilisateurs. Cette approche simplifiée n'est pas destinée à traiter toutes les formes imaginables d'adaptation, comme l'adaptation au processus cognitif de l'utilisateur ou l'adaptation du flux d'interaction : elles nécessitent des niveaux d'abstraction supérieurs à ce que notre proposition permet de prendre en charge.

Notre approche, qui repose sur la logique floue, a fait l'objet d'une première évaluation par des experts [Giuffrida et al., 2019]. Nous focalisons ici sur l'intérêt de notre approche pour l'accessibilité.

Nous commençons par présenter l'état de l'art en section 2, avant d'introduire en section 3 les concepts de la logique floue. La section 4 présente l'architecture de notre solution. Nous présentons ensuite, en section 5, comment nous prenons en compte les préconisations d'accessibilité et leur mise en œuvre dans notre approche, en section 6, avant de terminer par une discussion en section 7.

LES APPORTS DE CETTE RECHERCHE :

- ✓ Une prise en compte de l'incertitude des valeurs du contexte d'usage et de la combinatoire des règles via la logique floue
- ✓ La possibilité d'effectuer un passage à l'échelle afin de gérer des contextes d'usage complexes

2 ETAT DE L'ART

Notre état de l'art est composé de l'analyse de trois types de travaux : d'une part, ceux portant sur l'adaptation au service de l'accessibilité, puis les articles traitement des techniques d'adaptation sans puis avec l'utilisation de la logique floue. Nous analysons ces travaux au regard de quatre critères correspondant aux verrous présentés en introduction : la prise en charge de la multiplicité des caractéristiques (l'étendue du contexte d'usage), le traitement de l'incertitude des valeurs de ces caractéristiques, le niveau de complexité des règles et de la

combinaison des règles. Les travaux sur ces trois domaines étant très nombreux, seuls les plus représentatifs du domaine sont présentés ici.

2.1 Travaux centrés sur l'accessibilité

La notion d'accessibilité fait l'objet d'un travail de normalisation du World Wide Web Consortium (W3C) depuis la fin des années 1990, mais reste encore un domaine à explorer, du fait de la multiplicité des situations à prendre en compte [Schmutz et al., 2017]. Nous présentons ci-dessous quelques travaux que nous estimons représentatifs des différentes orientations pour l'amélioration de l'accessibilité à destination des personnes atteintes de troubles divers.

[Richards et al., 2004] présente un mécanisme d'adaptation des pages Web qui prend en compte plusieurs aspects de l'accessibilité, basées sur 13 possibilités de changement (taille de police, espacement entre les caractères, modalité vocale, suppression du multi-colonnage, effacement des images, des fonds et des animations...). Il y a donc peu de règles et peu d'indications sur le niveau de complexité qu'elles peuvent avoir. La combinaison de règles est envisagée (les utilisateurs multi-handicapés doivent pouvoir définir leurs règles et les combinaisons de règles adéquates), sans plus de précision. Le contexte d'usage est réduit à quelques caractéristiques de l'utilisateur (âge ; degré de handicap visuel ; limitation cognitive ; difficultés motrice des mains ; manque d'expérience avec l'informatique), sans qu'il soit question de leur validité ou de leur incertitude.

[Kurniawan et al., 2005] présente une liste de handicaps (visuels, moteurs, cognitifs, auditifs) liés à l'âge, déclinés en 21 caractéristiques (fatigue oculaire, réduction du champ visuel, ralentissement des réponses motrices, affaiblissement de la mémoire de travail...), avec leurs correspondances en termes d'adaptation (évitement des couleurs très soutenues, recentrage des informations critiques, remplacement des glisser-déplacer et des double-clics par d'autres interactions, ajout de rappels mémoriels...). Le contexte d'usage est donc centré sur l'utilisateur, et les règles sont à la fois simples et deux à deux exclusives : il n'y a pas de combinaison. L'incertitude n'est pas évoquée.

[Yang et Shao, 2007] propose un système basé sur des règles d'adaptation pour prendre en compte le contexte de l'utilisateur et ses besoins. Le contexte comporte la situation de l'utilisateur (au bureau, en réunion, en train de conduire), les besoins d'accessibilité (classique, aveugle, malvoyant, sourd, malentendant) et les ressources disponibles (réseau, dispositif). Le contexte d'usage couvre donc les trois dimensions, mais de façon très partielle. L'adaptation reste relativement sommaire : les exemples fournis proposent de couper ou d'augmenter le son, d'afficher ou de supprimer les images, d'augmenter la taille de police et d'adapter la qualité audio/vidéo à la performance du réseau et à la taille de l'écran. Les règles sont donc simples et ne nécessitent pas de gestion de combinatoire.

[Ghiani et al., 2017] a pour but de fournir des IHM adaptables, afin de permettre aux utilisateurs finaux de personnaliser facilement et de manière autonome le comportement de leurs applications pour l'Internet des Objets. Il propose un environnement permettant aux utilisateurs de spécifier facilement des règles sous la forme de couple événement/action en limitant ces règles aux éléments de contexte effectivement possibles dans la situation de l'utilisateur. Cependant, cet article ne présente pas de règles d'adaptation à proprement parler et, s'il mentionne que l'utilisateur peut définir des règles combinées à l'aide des opérateurs binaires ET, OU et NON, il n'est pas mentionné de moyen de définir des priorités ou des poids associés aux règles pour gérer cette combinaison.

[Kolekar et al., 2019] propose une approche pour fournir des IHM adaptatives dans le domaine de l'apprentissage, en prenant en compte le style d'apprentissage de l'utilisateur. Les utilisateurs sont catégorisés selon 8 styles d'apprentissage (actif, réflexif, visuel, verbal...), qui induisent des choix différents dans les media et les contenus proposés. Ainsi, un apprenant visuel se voit proposer des supports graphiques (images, graphes, vidéos), tandis qu'un apprenant verbal disposera plutôt de textes, mails et annonces. Dans cette approche, le seul

élément du contexte d'usage est donc le style d'apprentissage, les règles ne peuvent pas être complexes et ne peuvent être combinées, puisque les différents styles sont mutuellement exclusifs.

2.2 Approches sans logique floue

Cameleon [Thevenin et al., 2003] est une approche de référence, basée sur les modèles et permettant la génération dynamique d'IHM adaptée à leur contexte d'usage. Il se base sur un processus de réification autour de 4 niveaux d'abstractions : modèle de tâches, IHM abstraite, IHM concrète et enfin IHM finale. Théoriquement, toutes les caractéristiques du contexte peuvent être prises en compte. Rien ne mentionne l'incertitude de leurs valeurs. Les règles d'adaptation sont des transformations de modèles appliquées conditionnellement selon le contexte d'usage, qui doivent être deux à deux exclusives, ce qui est particulièrement complexe à obtenir, par exemple lorsque deux caractéristiques devraient induire des adaptations antagonistes.

[Miñon et al., 2016] propose quant à lui un système nommé « Adaptation Integration System », basé sur Cameleon. Ce système vise à intégrer des exigences d'accessibilité pour des personnes en situation de handicap en incluant les règles d'adaptation dans le processus de développement. Ce travail utilise des caractéristiques peu nombreuses et gère la combinaison de handicaps par la définition de sous-ensembles prédéfinis, qui limitent la puissance de l'approche.

Maria [Partenò et al., 2012] est un UIDL basé sur les modèles et permettant la génération dynamique d'IHM adaptée aux différentes plateformes utilisées par l'utilisateur au cours d'un processus de migration. L'article se focalise donc sur l'aspect Plateforme du contexte d'usage.

Cedar [Akiki, 2016] fournit une architecture facilitant le développement d'IHM adaptatives au sein de progiciels, basé sur des simplifications en fonction de rôle. Cedar permet ainsi d'avoir une adaptation efficace, mais dans un cadre contrôlé.

[Lehmann et al., 2010] définit une architecture en trois couches (3-layer architecture) pour la conception d'IHM adaptative. L'adaptation se base sur le contexte d'usage et vise les environnements intelligents. Les informations utilisées sont directement lues à partir des capteurs, sans gestion de l'incertitude. Le processus d'adaptation se limitant aussi à un cadre défini, avec des « situations types ».

MyUI [Peissner et al., 2012] est une infrastructure de développement d'IHM visant à améliorer l'accessibilité par le biais d'une adaptation à l'utilisateur. Les règles d'adaptation sont ici gérées grâce à des patrons. Ces travaux listent un grand nombre de caractéristiques utilisateurs. Cependant, ces caractéristiques sont principalement déclarées, et MyUI utilise des seuils fixes pour définir les différents états d'une caractéristique. En termes de règles, MyUI se focalise sur l'amélioration de l'accessibilité en fonction de certains handicaps.

Supple [Cajos et al., 2010] prend en charge la génération automatique d'IHM adaptées aux capacités, aux appareils, aux tâches, et aux préférences de chaque utilisateur. Les capacités visuelles et motrices sont les principales caractéristiques utilisateurs prises en charge lors de l'adaptation et 40 facteurs d'interface utilisateur (par exemple, la taille de police) sont supportés afin d'optimiser la disposition des éléments de l'IHM. Il a été noté dans [Peissner et al., 2012] que les performances de Supple sont problématiques car elles excèdent des temps raisonnables ; cela serait donc d'autant plus vrai en cas de combinaison complexe des règles.

[Motti et al., 2012] se penche sur l'utilisation du Machine Learning pour adapter des IHM au contexte d'usage, principalement dans le but d'optimiser les interactions des utilisateurs et de limiter leurs erreurs. Le machine learning permet de gérer des données complexes et floues, et calculer des inférences complexes à partir de celles-ci. Cependant, le machine learning nécessite de recueillir une base de connaissances conséquente avant de pouvoir proposer des adaptations améliorant effectivement l'expérience utilisateur. De plus, cet article présente des cas d'applications potentiels, mais aucun n'a réellement été mis en pratique.

2.3 Approches d'adaptation des IHM basées sur la logique floue

Il existe aussi des travaux intégrant la logique floue pour supporter des systèmes adaptatifs.

FSAM [Cao et al., 2005] est un outil basé sur la logique floue permettant de choisir le service le plus adapté à un utilisateur en fonction de son contexte d'usage. Ces travaux se restreignent à un choix entre des services prédéfinis et n'abordent pas les questions de l'interaction homme-machine.

[Desruelle et al., 2011] propose une approche en logique floue pour le développement d'applications mobiles adaptatives, supportant la diversité des plateformes mobiles (hardware, OS, API, etc.) et les capacités de chacune de ces plateformes en termes de performance. L'utilisateur n'est pas pris en compte, limitant de fait le nombre de caractéristiques et leur incertitude.

[Cueva-Fernandez et al., 2016] présente un outil utilisé pour développer des applications par des conducteurs ou passagers de voiture au travers d'une interface vocale. La logique floue est utilisée afin de calculer le niveau d'expertise et de concentration de l'utilisateur : débutant, intermédiaire ou avancé. Chaque niveau entraînant un niveau plus ou moins élevé d'options et d'informations fournies. Les règles floues utilisées sont au nombre de 7, elles se basent sur 10 caractéristiques (nombre d'applications créées ; nombre de demande d'aide ; nombre de jurons...) afin de modifier une sortie : le niveau d'expertise. Cette utilisation de la logique floue ne correspond donc pas à ce que nous souhaitons faire en termes de règle d'adaptation.

[Nyongesa et al., 2003] présente une autre approche en logique floue, pour l'adaptation de page web afin d'améliorer l'expérience utilisateur. Elle se base cependant sur des cas d'utilisation dont elle en présente 7 (ex : Passer une commande, Effectuer une recherche, ...). Les données sont inférées à partir des comportements utilisateurs, limitant de fait la taille du modèle utilisateur et donc les règles d'adaptation possibles. Il n'aborde donc pas la question de la combinaison des règles qui nous semble centrale.

[Papatheocharous et al., 2012] propose un mécanisme d'adaptation d'IHM basé sur la logique floue et prenant en considération trois facteurs cognitifs des utilisateurs définis par [Riding et Cheema, 1991] : leur dimension « Verbal/Imager », leur dimension « Analyst/Wholist », et leur capacité de mémoire de travail. Chacun de ces aspects ayant des implications particulières en termes de design. Ces travaux ne gèrent donc qu'un nombre restreint de caractéristiques, et l'approche comprend une gestion manuelle de la composition des règles, ce qui limite les compétences du système et sa capacité à prendre en charge des situations inattendues.

Enfin [Soui et al., 2013] présente une approche pour la personnalisation d'IHM grâce à la logique floue se basant sur des relations sémantiques entre composants d'IHM et préférences utilisateurs afin de sélectionner les composants les plus adaptés. Le cas d'étude présenté ne donne qu'une seule règle, ayant deux entrées et une sortie, et la combinatoire entre les entrées a été gérée manuellement au sein de la règle. Ce travail ne prend donc pas en compte des aspects qui nous semblent importants tels que l'étendue du contexte d'usage et la combinaison des règles.

2.4 Analyse

Notre analyse des travaux existants s'appuie sur des critères relatifs aux difficultés identifiées pour réaliser un moteur d'adaptation. Ils concernent donc : 1) l'étendue du contexte d'usage pris en compte en termes de couverture des 3 aspects (utilisateur, plateforme, environnement) ainsi que du nombre de caractéristiques abordées, 2) la gestion d'une incertitude au sein des valeurs des caractéristiques du contexte d'usage, 3) la complexité et 4) la combinaison des règles d'adaptation.

Le tableau 1 regroupe les différents travaux cités et les évalue au regard de nos critères avec des boules de Harvey.

Tableau 1 - Comparaison des travaux de l'Etat de l'Art en fonction des critères ciblés

Approches	Etendue du contexte d'usage	Incertitude	Complexité	Combinaison des règles
[Richards et al., 2004]	●	●	●	●
[Kurniawan et al., 2005]	●	●	●	●
[Yang et Shao, 2007]	●	●	●	●
[Ghiani et al., 2017]	●	●	●	●
[Kolekar et al., 2019]	●	●	●	●
Cameleon [Thevenin et al., 2003]	●	○	○	●
[Miñon et al., 2016]	●	○	○	●
Maria [Partenò et al., 2012]	●	○	○	○
Cedar [Akiki, 2016]	●	○	○	○
3-layer architect [Lehmann et al., 2010]	●	○	○	○
MyUI [Peissner et al., 2012]	●	○	○	●
Supple [Cajos et al., 2010]	●	○	○	○
[Motti et al., 2012]	●	●	○	●
FSAM [Cao et al., 2005]	●	●	○	●
[Desruelle et al., 2011]	○	●	○	●
[Cueva-Fernandez et al., 2016]	○	●	○	○
[Nyongesa et al., 2003]	●	●	○	○
[Papatheocharous et al., 2012]	○	●	○	○
[Soui et al., 2013]	○	●	○	○

● : traité, ● : partiellement traité, ○ : non traité

Les critères considérés permettent de regrouper les différents travaux présentés dans les sections précédentes. En effet, ceux-ci traitent tous d'adaptation dynamique en fonction d'un contexte d'usage plus ou moins conséquent et comprenant un nombre plus ou moins élevé de caractéristiques. Cependant, ces travaux ne se penchent pas sur le reste de nos critères que sont l'incertitude, la complexité ou la combinaison des règles.

Par ailleurs, les travaux [Cao et al., 2005 ; Desruelle et al., 2011 ; Cueva-Fernandez et al., 2016 ; Nyongesa et al., 2003 ; Papatheocharous et al., 24 ; Soui et al., 2013] utilisent la logique floue et prennent bien en compte l'incertitude des valeurs. Dans les travaux [Cao et al., 2005 ; Desruelle et al., 2011], la composition des règles est gérée par la logique floue, mais, de fait, l'absence de prise en compte d'un contexte d'usage conséquent limite le problème. Aucun de ces travaux n'aborde vraiment la question de la combinaison des règles.

Enfin, les travaux de Genaro Motti [Motti et al., 2012] ont les meilleures notes globales, avec 3 de nos 4 critères gérés. Cependant, l'utilisation du Machine Learning nécessite de disposer d'une base de connaissance importante – et donc difficile à acquérir – avant de pouvoir effectuer des adaptations correspondant effectivement aux besoins des utilisateurs.

Afin de dépasser les limites des travaux actuels et de proposer une solution qui permette de gérer l'incertitude du contexte et de nombreuses caractéristiques et règles d'adaptation, nous nous intéressons à la réalisation d'un système d'adaptation des IHM basé sur la logique floue. Pour aller au-delà des propositions existantes en logique floue, nous montrerons son intérêt pour deux aspects peu abordés jusqu'alors qui sont la complexité des règles et la combinaison des règles d'adaptation.

3 LOGIQUE FLOUE

Afin de comprendre l'utilisation de la logique floue pour l'adaptation des IHM, cette section présente les principes de cette logique et son processus d'inférence.

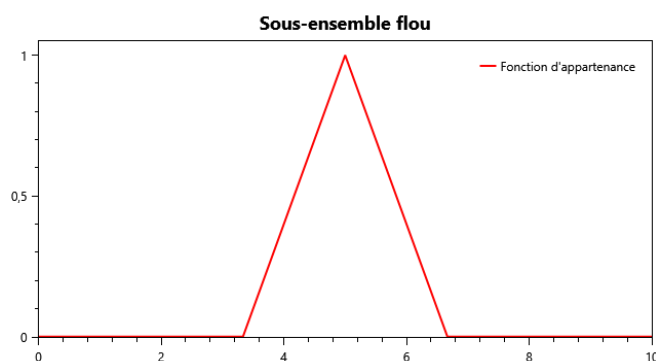
3.1 Systèmes experts flous

Les systèmes experts flous sont des algorithmes d'intelligence artificielle capables de reproduire des raisonnements à partir de règles basées sur la logique floue. La logique floue peut être vue comme une extension de la logique booléenne classique qui permet de prendre en compte l'incertitude et l'imprécision : alors que la logique classique ne considère que deux valeurs (« vrai » et « faux »), la logique floue considère un ensemble infini de valeurs réelles entre 0 et 1. Cette logique a été introduite par Zadeh [27] afin de se rapprocher du raisonnement humain et d'éviter les effets de seuil des opérateurs de comparaison. La logique floue permet également d'écrire des règles plus proches du langage naturel.

3.2 Concepts de sous-ensemble flou et de variable linguistique

La logique floue est basée sur le concept de sous-ensemble flou. Soit X l'univers du discours, c'est-à-dire un ensemble d'objets dénotés x . Un sous-ensemble flou A de X est totalement caractérisé par une fonction appelée « fonction d'appartenance ». Cette fonction indique à quel point un objet x appartient à X , alors que dans les ensembles « crisp » (le terme « crisp » se définit par opposition à flou), les objets appartiennent ou non à l'ensemble. Les sous-ensembles flous sont donc utiles pour représenter l'imprécision des entrées ou l'incertitude liée aux connaissances mise en œuvre. La figure 1 représente un sous-ensemble flou défini sur $[0;10]$ avec une fonction d'appartenance triangulaire qui représente « approximativement 5 ».

Figure 1. Exemple de sous-ensemble flou

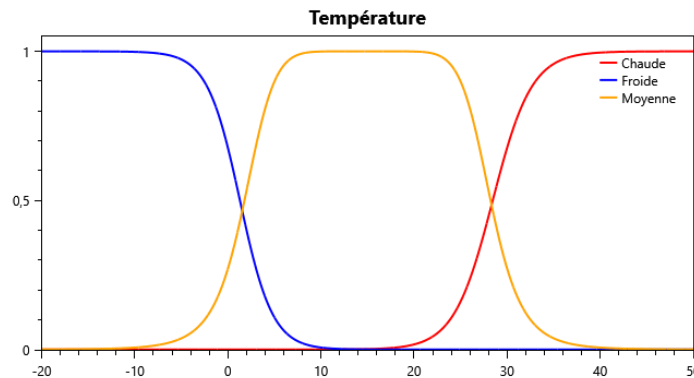


Les fonctions d'appartenance peuvent prendre différentes formes : triangulaire, trapézoïdale, Gaussienne, etc.

Le concept suivant dérive des sous-ensembles flous et s'appelle « variable linguistique » [28], qui est un triplet (V, X, TV) défini par : 1) V , son nom ; 2) X , le domaine sur lequel elle est définie ; 3) TV , une collection finie de sous-ensembles flous appelés « termes », qui qualifient V et qui sont nommés (ex. : « froide », « chaude »...).

La figure 2 représente une variable linguistique appelée « température » définie sur le domaine $[-20;50]$ et composée de trois termes (« froide », « moyenne » et « chaude ») et leurs fonctions d'appartenance associées.

Figure 2. Exemple de variable linguistique Température



3.3 Utilisation de règles floues pour modéliser les connaissances

Les définitions précédentes sont utilisées pour définir les connaissances d'experts humains dans un ensemble de règles. Ces règles sont basées sur une combinaison de propositions floues élémentaires. Une proposition floue élémentaire est la définition de « V est A » à partir d'une variable linguistique (V, XV, TV) où A est un terme de TV. Ainsi, si l'on reprend la variable linguistique « température » de la figure 2, une proposition floue pourrait être « température est froide ». Cette proposition est évaluée à partir de la fonction d'appartenance du terme impliqué pour une température t donnée. Cette valeur est floue et donc comprise entre $[0, 1]$ contrairement à la logique classique dans laquelle l'évaluation d'une proposition est soit vraie (1) soit fausse (0).

Une expression floue est une composition de propositions floues élémentaires ou d'autres expressions à l'aide d'opérateurs logiques : négation (non), conjonction (et) et disjonction (ou), le XOR n'étant pas géré.

Les propositions floues sont des cas particuliers d'expressions floues. Par exemple, soit deux propositions floues « V est A » utilisant (V, XV, TV) et « W est B » utilisant (W, XW, TW). Alors, « V est A et W est B », « V est A ou non W est B » sont des expressions floues. La valeur de vérité des expressions floues est obtenue en appliquant les opérateurs sur les valeurs de vérité de leurs opérands.

Ces expressions sont donc utilisées pour exprimer les connaissances des experts humains dans les règles floues. Une règle floue est composée d'une prémisse (ou antécédent) et d'une conclusion (ou conséquence) et est de la forme « SI prémisse ALORS conclusion ».

Une prémisse est une expression floue alors qu'une conclusion est une déclaration floue de nature différente.

Une conclusion peut être une proposition floue. Dans ce cas, la règle est de la forme : « SI température est froide ALORS le thermostat est élevé. » Une conclusion peut être une fonction mathématique des entrées de la prémisse. Ces règles sont dites de la forme Takagi-Sugeno et sont de la forme « SI température est froide ALORS thermostat=f(température) ».

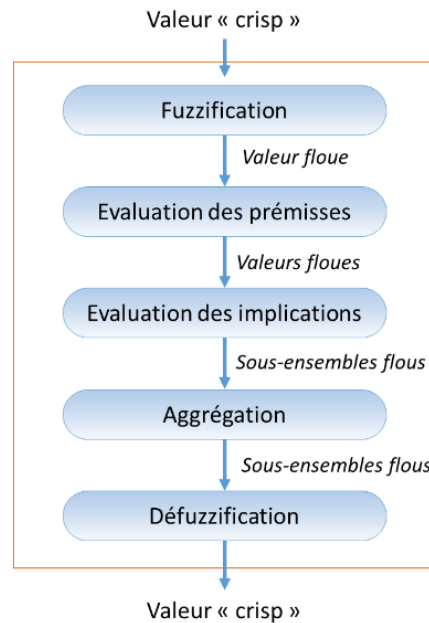
Ainsi les règles associent les entrées du système aux sorties à l'aide d'une implication floue (dénotée par le ALORS).

3.4 Inférence floue

Maintenant que le formalisme utilisé pour représenter les connaissances a été présenté, nous pouvons nous intéresser au processus d'inférence, c'est-à-dire le calcul des sorties. En

effet, dans la section précédente nous avons vu comment une règle fonctionnait ; nous allons à présent voir comment les règles fonctionnent ensemble. Il existe deux types d'inférence en logique floue : nous nous limitons dans cet article à l'utilisation et la description du processus d'inférence de Mamdani [29], résumé dans la figure 3.

Figure 3. Vue d'ensemble de l'inférence de Mamdani

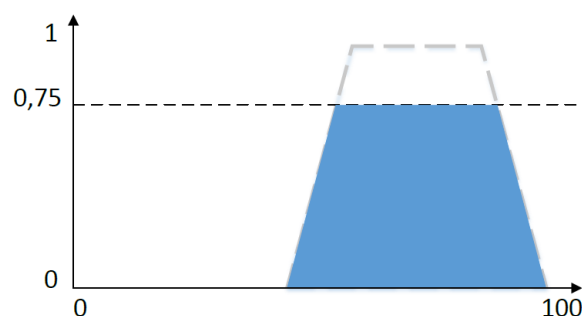


La première étape consiste à évaluer chacune des propositions floues élémentaires présentes dans les prémisses des règles : cette étape est appelée fuzzification. Elle prend les valeurs « crisp » des entrées et associe une valeur floue en fonction des fonctions d'appartenance des termes. Par exemple, en utilisant la variable linguistique « température » de la figure 2 et le terme « moyenne », pour une température de 15°C, « température est moyenne » est évaluée à 1. Pour une température de 1°C, « température est froide » et « température est moyenne » valent 0.5 (approximativement).

Les prémisses sont ensuite calculées. La valeur des prémisses devient alors la valeur d'activation de la règle. Par exemple, si on prend les opérateurs de Zadeh, pour une température de 15°C, la valeur de la prémisse « température est froide ou température est moyenne » est $\max(1,0)=1$.

La fonction d'implication est ensuite appliquée à la conclusion des règles. Le résultat est un sous-ensemble flou qui peut être interprété comme une distribution des valeurs pour les sorties. La figure 4 montre le sous-ensemble flou résultant de l'application d'une implication minimum, lorsque la règle est activée à 0,75.

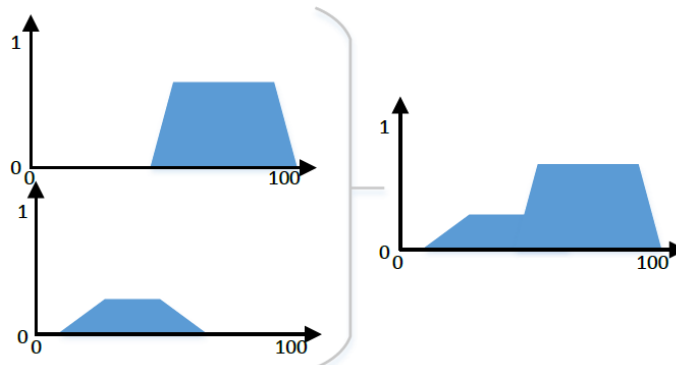
Figure 4. Résultat de l'implication



Les sous-ensembles flous des différentes règles concernant la même sortie sont ensuite agrégés par une méthode particulière, très souvent la fonction maximum (ex en figure 5).

Enfin, le sous-ensemble flou de chaque sortie est transformé en valeur « crisp » : cette étape est appelée défuzzification. Il existe différentes fonctions de défuzzification ; la plus connue consiste à calculer le barycentre de l'aire sous la courbe (figure 5).

Figure 5. Application de l'agrégation maximum à deux sous-ensembles flous



4 LE SYSTEME FUZZY4U

Dans cette section, nous montrons les apports de la logique floue au sein d'un système d'adaptation des IHM, en particulier pour l'accessibilité. Nous commençons par présenter l'architecture de ce système avant de discuter de l'intégration de la logique floue dans son moteur d'adaptation.

4.1 Présentation de l'architecture

Le système Fuzzy4U s'appuie sur une architecture proposée dans notre équipe pour l'adaptation des IHM (figure 6). Elle comprend principalement 3 composants : un moteur d'inférence, un moteur d'adaptation et le système interactif.

Le moteur d'inférence est en charge de déduire dynamiquement la valeur du contexte d'usage à partir de données captées. Par exemple, le moteur d'inférence peut se baser sur le nombre de clics « valides » (ie : effectués sur des interacteurs tels que liens, boutons, liste, ...), ainsi que le nombre de clics « invalides » (à côté de tout interacteur) afin de déterminer si l'utilisateur a une bonne précision de la main.

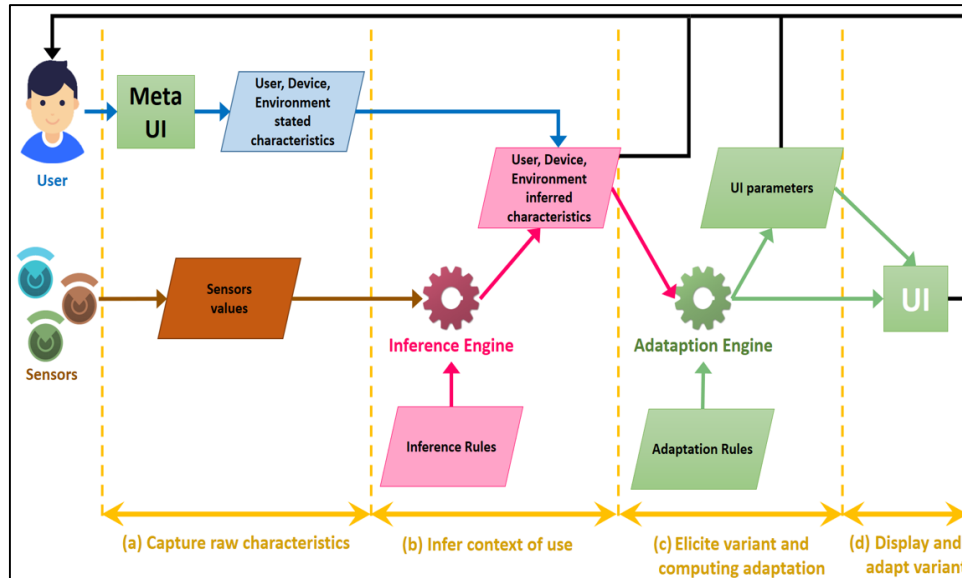
D'autres données peuvent être déclarées par l'utilisateur à travers une méta-UI c'est-à-dire une interface regroupant un ensemble de caractéristiques que l'utilisateur peut manipuler pour contrôler l'adaptation, telles que ses caractéristiques utilisateurs (dyslexie, daltonisme, acuité visuelle, etc.) ou encore directement des caractéristiques de l'interfaces (taille de police, espacement des mots, etc.). La méta-UI se limite ici aux caractéristiques de l'utilisateur et ne permet pas de visualiser ou de modifier les règles d'adaptation à appliquer.

Les données inférées et déclarées sont envoyées au moteur d'adaptation. En cas de données inférées et déclarées portant sur la même caractéristique, ce seront les données fixées par l'utilisateur (donc déclarées) qui seront prises en compte.

Le moteur d'adaptation va ensuite se servir des données, ainsi que d'une base de règles d'adaptation afin de sélectionner une version adéquate de l'interface (nommée un variant) sur laquelle des paramètres de présentation (couleurs, police de caractères...) seront appliqués. Par exemple, si la précision de la main de l'utilisateur est faible, le moteur d'adaptation peut augmenter l'espace pris en compte pour le clic sur les interacteurs afin d'améliorer l'utilisabilité de l'interface pour cet utilisateur spécifique. Le moteur d'adaptation avait initialement été conçu pour utiliser la logique binaire, et il a été modifié afin de pouvoir aussi utiliser la logique floue, sur laquelle nous nous penchons dans cet article.

Le moteur d'inférence est distinct du moteur d'adaptation dans un but de séparation des préoccupations : le premier est chargé de transformer des valeurs brutes (par exemple, 130 clics sur un interacteur et 212 dans une zone vide) en valeurs utilisables par le second (précision de la main « très faible »).

Figure 6. Architecture logique utilisée par l'équipe pour l'adaptation d'IHM



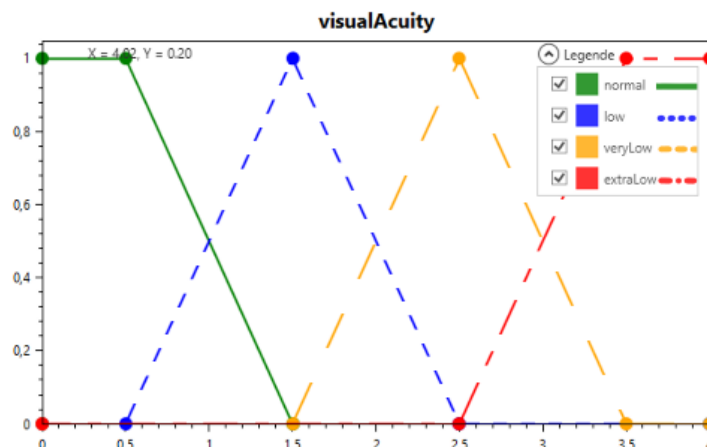
4.2 Les apports de la logique floue

4.2.1 Incertitude

Toutes les caractéristiques ont un degré d'incertitude, qu'elles soient inférées par le moteur (ex : imprécision du calcul de la précision des mains grâce à un ratio entre clics valides et clics invalides) ou déclarées par l'utilisateur (ex : deux utilisateurs ayant une acuité visuelle identique pourraient chacun la définir différemment).

La logique floue permet, grâce aux fonctions d'appartenance, de prendre en compte une incertitude. Par exemple, la figure 7 montre la définition de la variable acuité visuelle : la valeur est définie en abscisses (ici de 0 à 4), et la certitude des 4 différents états (normal, low, veryLow et extraLow) est spécifiée en ordonnées. L'état « normal » est ainsi certain lorsque que l'acuité visuelle varie de 0 à 0.5. A partir de 0.5 et jusqu'à 1.5, la certitude de l'état « normal » décroît au profit de l'état « low » qui gagne en certitude. A 1.5, l'état « low » a donc 100% de certitude alors que l'état « normal » est à 0%. Le croisement des courbes (aux abscisses 1, 2 et 3) indique donc une probabilité de 50% pour les deux états.

Figure 7. Définition de la variable linguistique visualAcuity



4.2.2 Complexité des règles

Outre la prise en compte de l'incertitude, des difficultés sont liées à l'expression des règles d'adaptation. Certaines règles disposant de nombreux seuils peuvent devenir assez lourdes en logique booléenne.

Prenons comme exemple la règle se basant sur le niveau d'acuité visuelle de l'utilisateur afin d'adapter la taille de la police de caractères, présentée en section 4.2.1. Comme nous l'avons vu, plusieurs seuils sont nécessaires (ici 1, 2, 3 et 4) et la granularité finale de la variable de sortie est relativement faible (ici 4 valeurs possibles : 12, 14, 16, 18). Cette granularité peut être améliorée, mais au détriment du nombre de seuils.

En logique floue, l'implémentation de cette règle comprend la définition des variables linguistiques d'entrée et de sortie (figure 8), et la création des règles en logique floue (figure 9).

Figure 8. Définition des variables linguistiques visualAcuity et fontSize

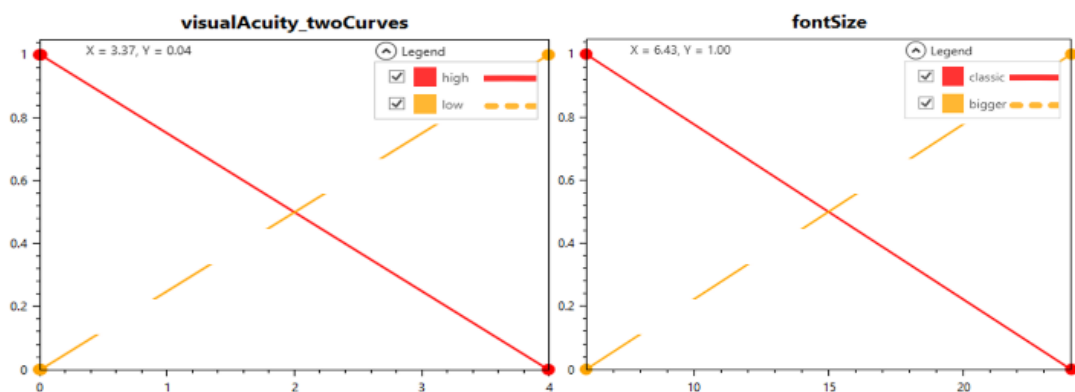


Figure 9. Définition des variables linguistiques visualAcuity et fontSize

If visualAcuity_fontSize is high then fontSize is classic
 If visualAcuity_fontSize is low then fontSize is bigger

Compte tenu des définitions des domaines de variables, la règle en logique floue est simple et ne comporte que deux cas.

En utilisant la méthode de défuzzification des barycentres pondérés (ou Centre de Gravité), la valeur de sortie fontSize est comprise entre 12 et 18 points. Son principe est de calculer le barycentre du sous-ensemble flou de sortie pour chacune des règles, et d'en faire une somme pondérée par l'aire sous la courbe. En considérant toutes les règles ayant une même sortie, la valeur défuzzifiée peut s'écrire :

$$d(sortie) = \sum_i C_i \times A_i / A_i$$

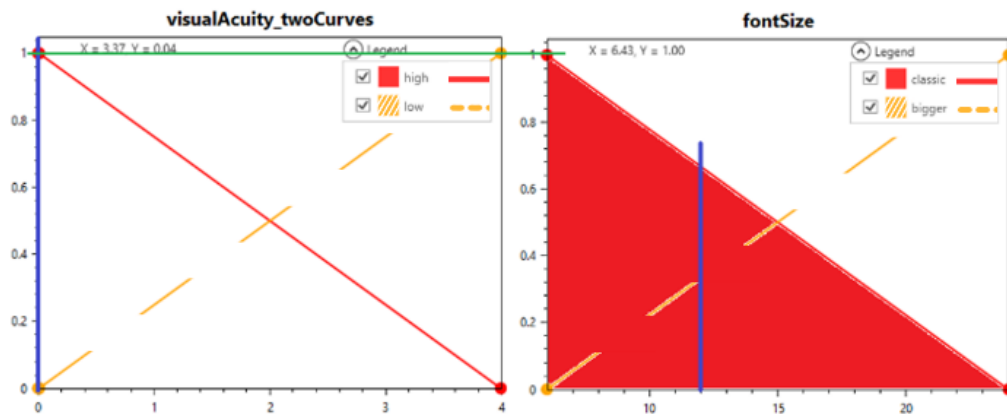
où C_i est la valeur du barycentre et A_i l'aire sous la courbe pour la $i^{\text{ème}}$ règle concernant cette sortie.

Cette défuzzification est utilisable sur des variables linguistiques continues et nous avons pu l'adapter aux variables discrètes car dans notre cas, les domaines discrets sont ordonnés ce qui nous permet de donner du sens au barycentre. Dans ce cas, l'aire sous la courbe est simplement remplacée par la valeur correspondante dans l'histogramme qui sert de fonction d'appartenance.

Afin de comprendre le principe de cette méthode, deux exemples sont donnés en figures 10 et 11.

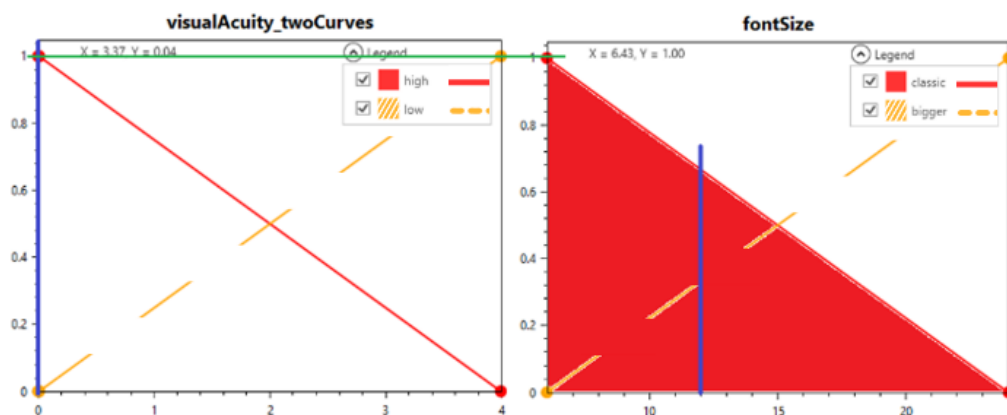
Sur la figure 10, on peut voir que pour une acuité visuelle à 0 en entrée, le terme « high » est activé à 100% et le terme « low » à 0%. Selon la première règle, l'activation du terme de sortie « classic » se fait lui aussi à 100%, représenté par l'aire rouge. Le barycentre de ce triangle rectangle est situé au premier tiers de sa base, soit une valeur de 12 pour la variable de sortie `fontSize` ayant un domaine entre 6 et 24.

Figure 10. Schéma explicatif de la méthode de défuzzification des barycentres pondérés pour une valeur d'entrée de 0



Pour une acuité visuelle à 1 en entrée (figure 11), le terme « high » est cette fois activé à 75% et le terme « low » à 25%. Cela est représenté par les deux lignes vertes et l'activation du terme de sortie « classic » à 75%, représenté par l'aire rouge et l'activation du terme de sortie « bigger » à 25%, représenté par l'aire orange. Les barycentres de ces deux quadrilatères sont ensuite calculés (12.3 pour le barycentre lié à « classic » et 10.071 pour celui lié à « bigger »), puis pondérés en fonction de leurs aires (respectivement 84.375 et 39.375), afin d'obtenir le résultat final de 13.5 points pour la variable `fontSize`. Nous avons ainsi l'état « bigger » qui a pris un peu plus de poids comparé à l'état « classic », donnant une taille de police de 13.5 au lieu de la valeur 12 du cas précédent. Ces résultats sont donc continus et suivent une fonction « $fontSize = 12 + visualAcuity * 1.5$ ».

Figure 11. Schéma explicatif de la méthode de défuzzification des barycentres pondérés pour une valeur d'entrée de 1



Cet exemple montre comment la logique floue évite les effets de seuil. Elle permet de simplifier l'expression des règles d'adaptation tout en permettant d'obtenir des valeurs de sortie plus précises.

4.2.3 Combinaison des règles

Le dernier verrou à aborder est la combinatoire des règles qui peut survenir lorsque plusieurs variables d'entrées peuvent influencer sur une même variable de sortie [17]. Par exemple, il peut être nécessaire d'augmenter l'espace cliquable autour des interacteurs soit

quand l'acuité visuelle est faible soit quand la précision des clics (et donc des mains) est faible. Un problème se pose quand l'une des deux variables d'entrée est forte alors que l'autre est faible.

La logique floue a l'avantage de pouvoir gérer cela de manière intrinsèque, notamment par le biais de la gestion de l'incertitude : sans avoir un poids différent, une certitude plus importante a plus d'impact. Il reste toutefois possible de spécifier des poids au besoin.

Considérons l'exemple de la taille de la zone de clic des interacteurs, nommée ici `clickCorrection`. Elle se base sur l'acuité visuelle (figure 7) et la précision des mains (dont la forme du graphique est identique à celui de la figure 7) de l'utilisateur afin de définir un niveau plus ou moins important de correction de la taille ; la variable linguistique de sortie, `clickCorrection`, étant composée de 4 valeurs discrètes représentant 4 degrés de correction allant de `noCorrection` à `highCorrection` (figure 12).

Les 4 premières règles se basent sur l'état de la variable `handPrecision` – `normal`, `low`, `veryLow`, `extraLow` – et fournissent une valeur de sortie pour `clickCorrection` – allant respectivement de `noCorrection` à `highCorrection`. Les 4 dernières règles sont identiques à l'exception de la variable d'entrée qui est cette fois `visualAcuity`. On peut noter qu'il n'est pas nécessaire dans l'expression de ces règles de se soucier de leur éventuelle contradiction ou de leur combinaison ; en logique floue, la valeur de sortie est déterminée par la défuzzification.

Dans l'exemple de la correction de la taille des interacteurs pour obtenir une transition lissée d'une valeur à l'autre des paramètres de sortie, nous avons opté pour la défuzzification dite des barycentres pondérés (cf. sous-section 4.2.2). Ainsi, avec une acuité visuelle à 0 et une précision des mains à 4 en entrée, le résultat est « `lowCorrection` ». Alors qu'une acuité visuelle à 1 et une précision des mains à 4 en entrée nous donneront une sortie « `mediumCorrection` ».

Figure 12. Schéma explicatif de la méthode de défuzzification des barycentres pondérés pour une valeur d'entrée de 1

<input type="checkbox"/>	If	handPrecision	is	normal	then	clickCorrection	is	noCorrection
<input type="checkbox"/>	If	handPrecision	is	low	then	clickCorrection	is	lowCorrection
<input type="checkbox"/>	If	handPrecision	is	veryLow	then	clickCorrection	is	mediumCorrection
<input type="checkbox"/>	If	handPrecision	is	extraLow	then	clickCorrection	is	highCorrection
<input type="checkbox"/>	If	visualAcuity	is	normal	then	clickCorrection	is	noCorrection
<input type="checkbox"/>	If	visualAcuity	is	low	then	clickCorrection	is	lowCorrection
<input type="checkbox"/>	If	visualAcuity	is	veryLow	then	clickCorrection	is	mediumCorrection
<input type="checkbox"/>	If	visualAcuity	is	extraLow	then	clickCorrection	is	highCorrection

La logique floue gère donc la combinaison des règles d'adaptation par la défuzzification sans avoir à mettre en place un algorithme spécifique de priorisation.

5 ACCESSIBILITE

La notion d'accessibilité fait l'objet d'un travail important et ancien du World Wide Web Consortium (W3C), qui la décline dans plusieurs documents. Nous nous sommes principalement basés sur 1) les règles normatives du W3C, présentées dans le Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) de 2009, qui contient des recommandations génériques sur l'accessibilité ; 2) sur les Exigences d'accessibilité pour les personnes malvoyantes (abrégé EAPM dans la suite du document) de 2016, qui décrivent les besoins des personnes malvoyantes pour que le contenu, les outils et les technologies électroniques leurs soient accessibles ; et 3) sur les recommandations du projet européen Web Accessibility Initiative:

Ageing Education and Harmonisation (WAI-AGE) de 2010, permettant d'augmenter l'accessibilité du web pour les personnes âgées, ainsi que les personnes en situation de handicap. Ces deux derniers documents sont des documents de travail du W3C.

Dans cette section, nous présentons les préconisations concernant l'accessibilité, en particulier l'accessibilité du Web, qui a fait l'objet d'un plus grand nombre d'études en raison de la généralisation de son usage.

Le premier point à noter est que certaines préconisations sont destinées à être exploitées lors de la création de l'interface par un concepteur ou un développeur humain et sont difficiles (en l'état actuel) à implanter sous forme d'adaptation d'IHM. Par exemple, la règle 1.2.1 du WCAG précise que tout contenu purement vidéo doit être accompagné à minima soit d'une auto-description soit d'une version alternative (textuelle ou audio). La mise à disposition d'une telle alternative ne relève pas du système d'adaptation. On pourrait dès lors supposer que la règle 1.2.1 n'est pas utile pour notre objectif. Cependant, si l'on va un pas plus loin, on peut réinterpréter la règle en termes d'adaptation : lorsque l'utilisateur est malvoyant et que l'interface propose un médium purement visuel, il convient d'offrir par défaut une version alternative, comme l'affichage en braille de l'auto-description si l'utilisateur dispose de cette possibilité, ou l'utilisation d'une version audio ; lorsque l'utilisateur est sourd, il convient d'afficher les sous-titres sans que l'utilisateur ait à les demander.

Nous présentons ci-dessous la traduction de trois catégories de recommandations en règles. Les règles sont dans un premier temps exprimées suivant la syntaxe la plus communément utilisée, « If ... then... else... » avant de montrer comment elles sont exploitées dans notre proposition. Notre objectif ici est d'obtenir des règles aussi simples que possible, quitte à en formuler plusieurs, éventuellement contradictoires. L'intérêt principal de cette approche est d'obtenir des règles facilement compréhensibles et facilement implantables.

Nos règles sont aussi structurées pour prendre en compte la situation de l'utilisateur à chaque instant, et ainsi adapter les IHM aux difficultés, qu'elles soient persistantes ou situationnelles [Wobbrock, 2019]. Pour cela, elles s'appuient sur des caractéristiques dynamiques et évolutives du contexte d'usage (le triplet <utilisateur, plateformes, environnement>, [Calvary, 2001]). Ces caractéristiques peuvent être d'une part soit déclarées par l'utilisateur soit, lorsque c'est possible, inférées par le système. Par exemple, on peut inférer la tranche d'âge d'une personne par l'analyse d'une photographie prise avec la caméra de son dispositif, mais ses préférences en termes de couleurs ou de volumétrie de texte doivent être déclarées. D'autre part, les caractéristiques peuvent être soit énumérées (la tranche d'âge peut être 'kid', 'teenager', 'grown-up', ou 'senior') soit être plus ou moins vraies (la dyslexie pouvant être plus ou moins prononcée, on considère que l'attribut 'dyslexic' est plus ou moins vrai). Les règles sont destinées à donner des indications sur les caractéristiques de l'interface, par exemple, avoir comme résultat 'language=FR' (la langue utilisée dans l'interface est le français) ou 'backgroundLuminosity is darker' (l'arrière-plan doit être assombri).

Dans les sections suivantes, nous montrons comment nous avons transcrit quelques règles d'accessibilité en règles d'adaptation. Nous avons choisi des règles simples, qui peuvent s'appliquer régulièrement, et qui illustrent les adaptations à des problématiques persistantes (acuité visuelles) ou situationnelles (luminosité ambiante).

5.1.1 Taille de police

Nous n'avons trouvé aucune recommandation du W3C concernant la taille de police à appliquer par défaut. La taille par défaut utilisée semble être celle des navigateurs, généralement définie à 16px, d'après le site W3C Online Web Tutorials (W3School).

Le WCAG recommande de donner la possibilité d'agrandir le texte jusqu'à 200% de sa taille d'origine (recommandation n° 1.4.4), et les EAPM du W3C indiquent quant à elles que certaines personnes ont besoin d'une taille de police plus grande afin de pouvoir distinguer les lettres (n° 3.3.1). Toutefois, il précise aussi que d'autres personnes, ayant par exemple une

bonne acuité visuelle, mais un problème de vision tunnelisée (altération de la vision périphérique), peuvent quant à eux préférer de plus petites lettres afin de pouvoir visualiser plus de mots en même temps. Il n'est toutefois pas précisé à quelle taille de police de « plus petites lettres » correspondent et nous avons donc choisi de traduire cela par la possibilité de réduire de texte jusqu'à 50% de sa taille d'origine. Le taille de texte doit donc pouvoir être agrandie jusqu'à 200% de sa taille originale et réduite jusqu'à 50%, ce qui, en se basant sur la taille par défaut de 16px, se traduit par une fourchette allant d'un minimum de 8px à un maximum de 32px.

D'autres catégories de personnes peuvent bénéficier d'une adaptation de la taille de police.

Ainsi, pour les personnes âgées, le projet WAI-AGE recommande l'utilisation de police de caractère d'une taille minimale de 12-14pt, soit 16-19px¹. [De Lara, 2010] indique dans son critère de réussite 2.4.14 que les liens adjacents doivent fournir suffisamment d'espace de clic pour éviter les erreurs, en précisant que la justification est que les utilisateurs plus âgés ont des difficultés à cliquer dans de petites zones de liens. [Dellaporta, 2007] recommande quant à lui un texte de grande taille pour les liens hypertextes, une zone de prise en compte du clic suffisamment importante, et un espacement adéquat entre interacteurs afin d'éviter toute activation accidentelle.

Concernant les dyslexiques, [McCarthy et Swierenga, 2009] indique que l'un de principaux problèmes rencontrés par les dyslexiques est de trouver le texte trop petit. [De Santana et al., 2012] indique que la plus petite taille de texte recommandée se situe entre 12 et 14px, et [Rello et al., 2013] recommande une taille de 18pt, ce qui se traduit par 24px.

A partir de ces données, nous pouvons établir les règles élémentaires suivantes, avec les caractéristiques suivantes : visualAcuity décrit l'acuité visuelle de l'utilisateur, age son âge, dyslexic son niveau de dyslexie (plus ou moins vrai), tunnelVision sa perte de vision périphérique, fontSize la taille de police de caractères du texte, linkSize la taille des hyperliens.

- (R1) if visualAcuity is low then fontSize is bigger
- (R2) if age is senior then fontSize is bigger
- (R3) if dyslexia is high then fontSize is bigger
- (R4) if tunnelVision is high then fontSize is lower
- (R5) if age is senior then linkSize is bigger

Les termes "bigger" et "lower" sont ici utilisés en prenant pour base la valeur de police de caractères par défaut du site. La première règle pouvant se traduire par « plus l'acuité visuelle est faible, et plus il faut augmenter la taille de la police ». Ainsi, une taille de police par défaut définie à 16px sera agrandie ou diminuée en fonction des différentes caractéristiques. Par exemple à 20 px si l'utilisateur est une personne âgée, ou à 22px si l'utilisateur est une personne âgée et qu'il a une acuité visuelle légèrement plus amoindrie.

5.1.2 Niveau de contraste et gestion de couleurs

La problématique des couleurs utilisées sur une IHM est complexe. En effet, comme l'ont dit Sarah Horton et Whitney Quesenbery, « sans contraste, le monde entier serait gris. Les concepteurs doivent respecter les besoins en contraste de couleur pour les personnes avec une vision ou une perception de couleurs dégradées. Les combinaisons de couleurs qui sont facilement distinguables pour quelqu'un avec une vision normale peuvent ne pas fonctionner pour des personnes souffrant de l'un des nombreux handicaps visuels existants. La perception des couleurs peut aussi être réduite par des facteurs environnementaux, comme les paramètres d'affichage ou les conditions lumineuses » [Horton et Quesenbery, 2014]. Cette

¹ Pour mémoire, le point est une ancienne unité d'imprimerie qui correspond à une taille en centimètres, et qui n'a donc pas de correspondance directe en informatique, mais qui est considéré comme valant 1,333 pixel.

phrase illustre bien l'impératif de prendre en compte non seulement les différentes caractéristiques de l'utilisateur mais aussi d'autres paramètres comme sa plateforme et son environnement pour arriver à un compromis acceptable. Dans ce contexte, la luminosité du dispositif est un élément important pouvant influencer sur le contraste. Cependant, le réglage de cette luminosité depuis une application ou un site Internet n'est le plus souvent pas réalisable, voire jamais dans le cas des sites Internet. Il n'est pas non plus évident que ce réglage automatique suffise à maintenir l'utilisabilité de l'IHM : nous avons tous l'expérience d'une IHM illisible en plein soleil malgré les tentatives de compensation de notre téléphone. L'IHM elle-même doit renforcer l'adaptation en modifiant la palette de couleurs utilisées.

Le WCAG recommande un contraste entre l'arrière-plan et le texte ayant un ratio d'au moins 4.5:1 afin de respecter le niveau intermédiaire d'accessibilité (level AA - recommandation 1.4.3), et un ratio d'au moins 7:1 pour le niveau élevé (level AAA - recommandation 1.4.6).

La recommandation 2.4.2 des EAPM précise qu'un fond d'écran clair ne sera pas lisible voire même douloureux pour des personnes atteintes d'une sensibilité accrue à la lumière, ou photophobie ; ces utilisateurs nécessiteront donc un fond d'écran plus sombre. De plus, la recommandation 3.1.2 du W3C traite du contraste entre le fond d'écran et le texte et précise que 1) pour ces personnes photophobes, le texte a aussi besoin d'avoir une faible luminosité, et 2) d'autres personnes, incluant notamment les personnes âgées (qui subissent classiquement une perte de sensibilité à la lumière), nécessiteront un contraste élevé entre le fond d'écran et le texte, et que certains lisent notamment mieux avec un texte clair sur un fond sombre.

[De Santana et al., 2012] recommande d'éviter les fonds d'écran d'un blanc pur pour les utilisateurs atteints de dyslexie, car une part significative d'entre eux seront trop sensibles à sa luminosité (sensibilité scotopique) et verront le texte comme s'il vibrait ou était flou. Il est recommandé de privilégier des couleurs pastels, par exemple d'un texte bleu foncé sur un fond beige. En cas de dyslexie, il conviendra d'utiliser plutôt des fonds et des textes de couleurs pastel, tout en maintenant un bon niveau de contraste.

Une autre catégorie de personnes pouvant avoir des problématiques de contraste sont les daltoniens, qui représentent environ 8% de la population masculine et 2% de la population féminine [Iaccarino et al., 2006]. Le daltonisme se traduit par un « écrasement » des couleurs perçues, qui induit une problématique de contraste lorsque les couleurs perçues ont des luminosités trop proches les unes des autres. Il conviendra d'éliminer les couleurs non perceptibles en fonction du type de daltonisme et de les remplacer dans des couleurs ayant la même luminosité que les couleurs initiales, pour maintenir le contraste [Mochizuki et al., 2008].

Enfin, en cas d'environnement sombre, [Rempell et al., 2011] recommande d'utiliser une polarité négative (c'est-à-dire un texte clair sur un fond sombre) afin d'améliorer la lisibilité. Nous traduirons cette préconisation par la mise en place d'un arrière-plan de plus en plus sombre en fonction de la luminosité ambiante.

Nous pouvons déduire plusieurs règles de ces considérations, pour faire varier le niveau de contraste et/ou de luminosité, non pas en cherchant à calculer directement une couleur qui pourrait se trouver en contradiction avec la charte graphique de l'application, mais en évaluant dans quelles directions doit se faire l'adaptation puis en calculant les couleurs résultantes à partir de la charte graphique :

- | | |
|----------------------------------|--------------------------------------|
| (R6) If photophobia is high | then backgroundLuminosity is darker |
| (R7) If age is senior | then backgroundLuminosity is lighter |
| (R8) If dyslexia is high | then backgroundLuminosity is darker |
| (R9) If ambientLight is sunlight | then backgroundLuminosity is lighter |
| (R10a) If ambientLight is low | then backgroundLuminosity is darker |

- (R10b) If ambientLight is veryLow then backgroundLuminosity is darker
(R10c) If ambientLight is extraLow then backgroundLuminosity is darker
- (R11) If dyslexia is high then backgroundSaturation is pastel
- (R12) If ambientLight is sunlight then contrastLevel is higher
(R13) If photophobia is high then contrastLevel is lower
- (R14) If Deuteranopia is high then greenAvoidanceLevel is higher
(R15) If Protanopia is high then redAvoidanceLevel is higher
(R16) If Tritanopia is high then blueAvoidanceLevel is higher

De même que pour les termes « bigger » et « lower » utilisés pour la taille de la police dans la sous-section précédente, les termes “darker”, “lighter”, « higher » et « lower » sont là aussi à mettre en corrélation avec les valeurs par défaut utilisés sur le site pour les différentes caractéristiques de sortie.

En terme de gestion des couleurs et de niveau de contraste nous avons choisi de traduire les recommandations par l'utilisation de 3 variables : luminosité de l'arrière-plan (backgroundLuminosity), niveau de saturation de l'arrière-plan (backgroundSaturation) et niveau de contraste (contrastLevel). La luminosité et la saturation correspondent à deux des trois composantes du système de gestion des couleurs TSL, pour Teinte Saturation Luminosité. La troisième composante, la teinte, ne sera pas modifiée car elle correspond à la charte graphique du site web. Après avoir défini une nouvelle couleur d'arrière-plan en fonction de la luminosité et de la saturation, la variable de niveau de contraste sera ensuite utilisée afin de calculer une couleur de police ayant un contraste suffisant avec la nouvelle couleur d'arrière-plan.

Enfin, les recommandations en termes de polarité ont été traduites ici par plusieurs règles pouvant se renforcer : à mesure que la luminosité baisse, la luminosité de l'arrière-plan sera assombrie de façon de plus en plus prononcée.

5.1.3 Espacements entre lettres, mots, lignes et paragraphes

En termes d'espacement entre les différentes lettres, mots, lignes et paragraphes, la recommandation 1.4.8 du WCAG indique de fournir à l'utilisateur la possibilité de sélectionner parmi plusieurs espacements de lignes et de paragraphes ; avec notamment un choix d'espacement de ligne d'au moins 1.5 pour les blocs de texte, et un espacement de paragraphe d'au moins 1.5 fois l'espacement de lignes. La recommandation 1.4.12 du WCAG indique quant à elle que l'espacement entre les lettres doit être d'au moins 0.12 fois la taille de la police, l'espacement entre les mots doit être d'au moins 0.16 fois la taille de la police, l'espacement entre les lignes doit être d'au moins 1.5 fois la taille de la police, et l'espacement entre les paragraphes doit être d'au moins 2 fois la taille de la police.

Les EAPM indiquent que, pour pouvoir lire un texte, certaines personnes nécessitent plus d'espacement entre les lettres (recommandation 3.4.2), entre les mots (recommandation 3.4.3) et entre les lignes d'un bloc de texte (3.4.1) ;

[Dellaporta, 2007] recommande d'utiliser un espacement doublé entre les mots pour les personnes âgées. [Rello et al., 2012] recommande, pour les personnes dyslexiques, un espacement de lettres augmenté de 7%, un espacement de lignes 1.4 fois plus grand que l'espacement standard, et un espacement de paragraphe correspondant à 1 ligne de texte vide, soit 2 fois l'espacement de lignes.

Nous déduisons les règles suivantes, où `wordSpacing`, `lineSpacing` et `paragraphSpacing` représentent l'espace à utiliser entre respectivement les mots, les lignes et les paragraphes :

(R17) If `visualAcuity` is low then `letterSpacing` is bigger

(R18) If `dyslexia` then `letterSpacing` is bigger

(R19) If `visualAcuity` is low then `wordSpacing` is bigger

(R20) If `age` is senior then `wordSpacing` is bigger

(R21) If `dyslexia` is high then `wordSpacing` is bigger

(R22) If `visualAcuity` is low then `lineSpacing` is bigger

(R23) If `age` is senior then `lineSpacing` is bigger

(R24) If `dyslexia` is high then `lineSpacing` is bigger

(R25) If `age` is senior then `paragraphSpacing` is bigger

(R26) If `dyslexia` is high then `paragraphSpacing` is bigger

6 EXEMPLE CONCRET

Maintenant que nous avons détaillé comment la logique floue et l'architecture fonctionnaient, ainsi que les règles d'accessibilité que nous souhaitons utiliser, nous pouvons étudier sur un exemple concret leur impact sur l'IHM d'un utilisateur.

6.1 La situation de Bernard

Bernard a 79 ans. De façon très classique à cet âge, sa vision est dégradée, il est atteint de cataracte. Cette affection induit une nette diminution de sa perception des couleurs et une légère photophobie (sensibilité douloureuse aux couleurs trop lumineuses). Bernard a donc l'habitude de grossir les polices de caractères lorsqu'il consulte un site Internet. Il souffre aussi de douleurs articulaires qui l'obligent à utiliser une canne lorsqu'il marche. Mais Bernard reste actif, et vient de partir en voyage à Lyon. Il souhaite résider dans un hôtel qu'on lui a recommandé, et doit utiliser le métro pour se rendre de la Gare de Part-Dieu à cet hôtel. Il ne connaît pas très bien la ville, mais sa fille lui a montré que l'hôtel propose une page décrivant les moyens d'accès. Bernard souhaite donc consulter cette page à la fois en entrant dans le métro, pour être sûr de la ligne et de l'arrêt, et à la sortie du métro pour se diriger jusqu'à l'hôtel.

La page de localisation du site de l'hôtel est présentée sur la figure 13. Sur la version non adaptée de cette IHM, la taille de police est définie à 12,8px, ce qui est inférieur à la taille que nous avons identifiée comme taille par défaut (16px, voir section 5.1.1). L'arrière-plan est beige (en RGB : 255, 249, 222) tandis que le texte est gris foncé (en RGB : 24, 24, 24). Calculé avec les formules du WCAG, le ratio de contraste est de 16.8:1, ce qui est largement conforme aux préconisations (au minimum 7.1:1, voir section 5.1.2) pour une utilisation en luminosité normale.

6.2 Adaptation de l'interface

Lors de l'ouverture du site web, le moteur d'inférence va détecter la situation courante : il va évaluer la taille de l'écran de Bernard, déduire qu'il s'agit d'un smartphone et ainsi charger le variant correspondant. L'adaptation se base ensuite sur différentes caractéristiques du

contexte d'usage, déclarées ou inférées, afin de mettre en place des adaptations. La caméra frontale du smartphone est utilisée afin d'analyser le faciès de Bernard afin de déduire sa tranche d'âge ; la luminosité ambiante est captée dans le but de détecter que Bernard est dans un environnement relativement sombre, étant dans le métro. Bernard a par ailleurs déclaré ses caractéristiques qui ne peuvent être détectées automatiquement : il a indiqué souffrir de la cataracte (à un niveau qu'il a estimé « assez fort »), ne pas être dyslexique, ni daltonien ni atteint de vision tunnelisée.

Fig. 13. Page de localisation de l'hôtel de Bernard

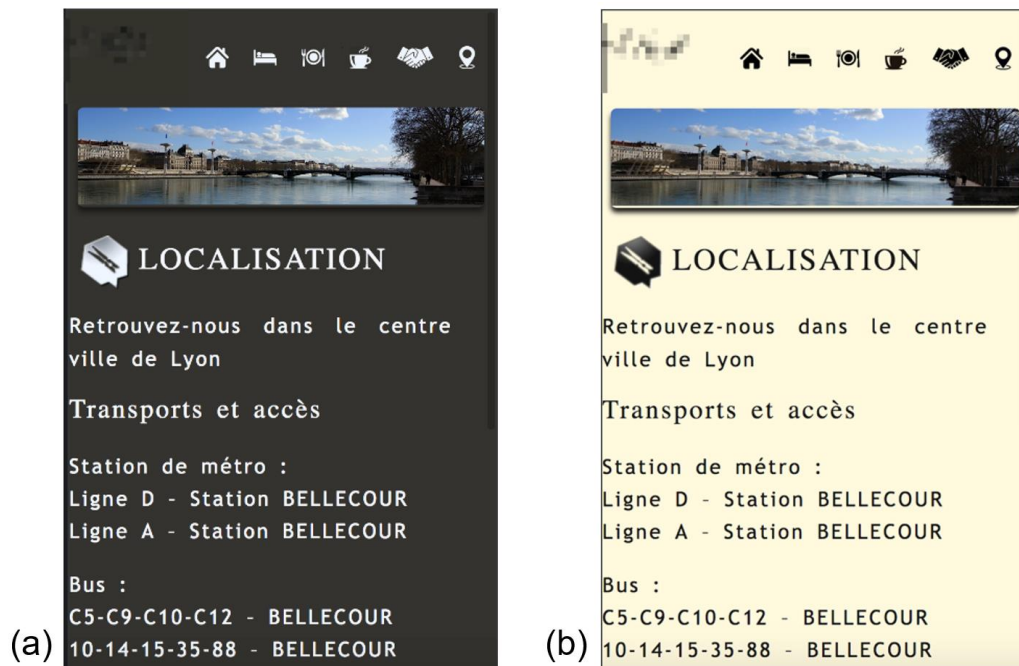


Si l'interface ne s'adaptait pas à cette situation, Bernard n'aurait pas le choix : il devrait zoomer sur la page ou modifier le paramétrage de son navigateur pour agrandir la taille de police de caractères. Cependant, n'ayant qu'une main libre du fait de sa canne, zoomer à l'aide un pincement serait complexe. De plus, outre le fait de nécessiter une action utilisateur, le zoom proportionnel entraîne généralement le besoin de scroller horizontalement pour chaque ligne à lire, ce qui n'est pas recommandé (WCAG), encore moins pour les personnes âgées (WAI-AGE). Il ne pourrait pas facilement augmenter l'espacement des lettres, mots et paragraphe, alors que nous avons vu que c'est un facteur de confort.

Dans le cas présent, avec une interface adaptative, le moteur va activer les règles floues impactées par l'acuité visuelle de Bernard, son âge, sa photophobie, ainsi que la luminosité ambiante : R1, R2, R5, R6, R7, R10, R13, R17, R19, R20, R22, R23 et R25. Ces règles nous renverront une valeur pour la taille de police de tout texte (R1 et R2) et la taille de police des hyperliens en particulier (R1, R2 et R5), le niveau de luminosité et de saturation de l'arrière-plan (R6, R7 et R10), le niveau de contraste entre arrière-plan et texte (R13), et les divers espacements (R17, R19, R20, R22, R23 et R25). Un point important ici est que les règles peuvent se renforcer mutuellement ou s'opposer. Concernant l'espacement entre les mots, le fait que Bernard soit considéré comme âgé entraîne une augmentation de l'espacement (R20) mais le fait qu'il soit aussi considéré comme ayant une acuité visuelle dégradée a le même effet (R19). En termes de niveau de contraste et de gestion des couleurs, nous avons ici des règles ayant des finalités opposées ; avec un assombrissement de l'arrière-plan dû à la photophobie (R6) et la diminution de la luminosité ambiante (R10) d'un côté, et un éclaircissement dû à l'âge de Bernard (R7). Ici, la combinaison du lot de règles R10 ainsi que

la règle R6 auront plus de poids que la règle R7, entraînant donc la mise en place d'une interface assombrie (figure 14a).

Fig. 14. Page de localisation de l'hôtel, adaptée à Bernard, pour smartphone, et pour un environnement sombre (a) et un environnement lumineux (b)



Une fois arrivé à sa station de métro, Bernard reprend son téléphone afin de regarder comment arriver jusqu'à l'hôtel. Pendant qu'il consulte la page de localisation de l'hôtel Bernard sort de la station de métro, la luminosité ambiante augmente donc peu à peu, jusqu'à atteindre le plein soleil à l'extérieur. Le système réagit en activant de moins en moins le lot de règles R10 et en débutant l'activation de la règle R12. La diminution de R10 entraîne un retour à la normal en terme de luminosité d'arrière-plan, et l'interface va donc revenir à sa version standard avec fond beige clair. Cependant la règle R12 déclenche une augmentation du niveau de contraste avec le texte. La condition « if sunlight » étant de plus en plus vérifiée au fil de l'avancement de Bernard vers la sortie, la règle préconise un ratio de contraste de plus en plus fort, ce qui entre en contradiction avec les conclusions de la règle R13 : la cataracte induisant d'une légère photophobie, la condition « if photophobe » a une probabilité non nulle et tend donc à légèrement atténuer le contraste. La combinaison des règles en logique floue permet de trouver un compromis sans avoir besoin de déterminer un système de priorisation : le contraste préconisé dans une telle situation est légèrement inférieur à celui que recommanderait la règle sur la luminosité seule (figure 14b).

7 DISCUSSION

Nous avons illustré avec des exemples concrets comment notre architecture permettait de prendre en compte les règles d'accessibilité et apportait, grâce à l'adaptation dynamique une amélioration de l'accessibilité par rapport à une interface non adaptée.

La plupart des recommandations que nous avons trouvées dans la littérature sont transcribibles en règles d'adaptation, sauf dans quelques cas particuliers, par exemple quand il faut connaître l'intention du concepteur. Ainsi, la règle 1.1.1 du WCAG spécifie que « si le contenu non textuel vise d'abord à créer une expérience sensorielle spécifique, l'équivalent textuel fournit au moins une identification descriptive de ce contenu non textuel ». A moins d'annoter le contenu des interfaces avec des indicateurs d'intention, il n'est pas possible de détecter automatiquement que l'intention est de créer une expérience sensorielle et il est donc

impossible d'exprimer que l'identification descriptive doit être proposée par défaut si l'utilisateur n'est pas à même de partager cette expérience sensorielle.

Cependant, la littérature ne donne que peu de règles à respecter en cas de contexte d'usage complexe et dynamique, par exemple pour une personne ayant une combinaison de plusieurs handicaps (permanents ou situationnels), comme c'est le cas pour Bernard qui est pourtant un exemple simplifié, ne prenant en compte qu'un nombre restreint de caractéristiques. Cette question difficile a été abordée dans quelques travaux comme la thèse d'Amélie Roche en 2015, mais, d'après ce que nous en avons vu, plutôt sous l'angle des techniques de conception d'IHM pour les polyhandicapés (et notamment le recueil de besoins) que sous l'angle de la définition de systèmes adaptatifs.

Dans un système adaptatif, l'une des difficultés est que deux handicaps non exclusifs peuvent avoir des recommandations qui se renforcent ou s'opposent. On pourrait par exemple souhaiter augmenter la taille de police (car un utilisateur a une mauvaise acuité visuelle) mais aussi la réduire (car cet utilisateur est atteint de vision tunnelisée). Une adaptation ne prenant en compte que l'un des handicaps pourrait poser problème, car l'utilisateur peut se retrouver plus fortement pénalisé en rapport de son second handicap, ayant des besoins inverses. Notre outil permet ici de calculer un compromis entre les deux recommandations, via la logique floue et sa gestion de la combinatoire des règles.

A l'inverse, avant de pouvoir vraiment généraliser l'approche, il conviendra de répondre à trois questions : (a) toutes les règles d'adaptation peuvent-elles se ramener à des séries de règles floues simples ? (b) la recherche de compromis ne risque-t-elle pas d'être contre-productive dans certains cas ? et (c) les utilisateurs sont-ils plus satisfaits avec un système adaptatif qu'avec un système non adaptable ? Ce dernier point est celui que nous allons aborder à court terme, grâce à une expérimentation.

8 CONCLUSION

Avec la diffusion massive de l'utilisation d'Internet, l'accessibilité des interfaces est un besoin toujours plus prégnant. Cependant, même si de nombreux travaux ont abordé cette thématique, il demeure des verrous tels que l'incertitude du contexte d'usage et de la combinaison de multiples règles d'adaptation. Dans cet article, nous avons montré comment notre architecture permet d'améliorer dynamiquement l'accessibilité des IHM grâce à un moteur d'adaptation utilisant la logique floue.

Nous avons aussi précisé comment des recommandations d'accessibilité, statiques, peuvent être traduites en règles d'adaptation floues, et comment ces règles d'adaptations peuvent ensuite être activées selon la situation de l'utilisateur afin d'améliorer l'accessibilité des interfaces. Pour cela, la logique floue dispose d'une gestion intrinsèque de l'incertitude et de la combinatoire des règles, permettant de les combiner pour se renforcer ou se modérer mutuellement afin de parvenir à un résultat moyenné.

Au vu des difficultés à identifier les recommandations d'accessibilité, dispersées dans la littérature, et à les transformer en règles codées dans le cas de contextes d'usage complexes, il serait intéressant de créer un référentiel de règles basées sur les recommandations.

LES PERSPECTIVES D'APPLICATION DE CETTE RECHERCHE :

- ✓ L'amélioration de l'accessibilité des IHM au travers d'un moteur d'adaptation en logique floue
- ✓ La prise en charge des handicaps multiples grâce à la combinatoire des règles
- ✓ La création d'un référentiel de règles d'accessibilité

9 REFERENCES

ABRAHÃO, S., BORDELEAU, F., CHENG, B., KOKALY, S., PAIGE, R. F., STÖRRLE H. et WHITTLE, J., 2017. User Experience for Model-Driven Engineering: Challenges and Future Directions. In

2017 ACM/IEEE 20th International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems (MODELS).

ALM, N., DYE, R., GOWANS, G., CAMPBELL, J., ASTELL, A.J. et ELLIS, M., 2007. A communication support system for older people with dementia. IEEE Computer society, Washington.

AKIKI, P., 2016. Engineering Adaptive Model-Driven User Interfaces for Enterprise Applications. In IEEE Transactions on Software Engineering, vol. 42, no. 12, pp. 1118-1147.

BERNER, J., 2014. Psychosocial, Socio-Demographic and Health Determinants in Information Communication Technology Use by Older-Adults. Blekinge Institute of Technology, Suède, thèse de doctorat.

BLUMENDORF, M., FEUERSTACK S. et ALBAYRAK, S., 2008. Multimodal User Interfaces for Smart Environments: The Multi-Access Service Platform. In Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces, Napoli, 2008, pp. 478-479.

CAO, J., XING, N., CHAN, A., FENG, Y. et JIN, B., 2005. Service adaptation using fuzzy theory in context-aware mobile computing middleware, in Proceedings of the 11th IEEE International Conference on Embedded and Real-Time Computing Systems and Applications (RTCSA'05), Hong Kong, China, pp. 496-501.

CERET, E., DUPUY-CHESSA, S., CALVARY, G. et BITTAR, M., 2016. System and method for magnetic adaptation of a user interface, France INPI Brevet TPI2015053, 07 07 2015 et 07 07 2016.

CHESTA C., PATERNO F. ET SANTORO C., 2004. «Methods and Tools for Designing and Developing Usable Multi-Platform Interactive Applications,» *PsychNology*, vol. 2, n° 11, pp. 123-139, 2004.

CUEVA-FERNANDEZ, G., ESPADA, J. P., GARCIA-DIAZ, V., CRESPO, R. G. et GARCIA-FERNANDEZ, N., 2016. Fuzzy System to Adapt Web Voice Interfaces Dynamically in a Vehicle Sensor Tracking Application Definition, in *Soft Computing*, vol. 20, n°8, pp. 3321-3334.

DE LARA, S., WATANABE, W., DOS SANTOS, E. et FORTES, R. (2010). Improving WCAG for elderly web accessibility, in Proceedings of the 28th ACM International Conference on Design of Communication (SIGDOC'10), São Paulo, Brésil.

DE SANTANA, V. F., DE OLIVEIRA, R., ALMEIDA, L. D. A. et BARANAUSKAS, M. C. C. (2012). Web accessibility and people with dyslexia, in Proceedings of the International Cross-Disciplinary Conference on Web Accessibility (W4A'12).

DELLAPORTA, A., 2007. Web Accessibility and the Needs of Users with Disabilities, in *Advances in Universal Web Design and Evaluation: Research, Trends and Opportunities*. IGI Global, 2007. pp 1-24.

DESRUELLE, H., BLOMME, D. et GIELEN, F., 2011. Adaptive Mobile Web Applications: A Quantitative Evaluation Approach, in *International Conference on Web Engineering*, Springer Berlin Heidelberg, pp. 375-378.

FINDLATER, L. et MCGRENERE, J., 2010. Beyond performance: Feature awareness in personalized interfaces. In *International Journal of Human-Computer Studies*, vol. 68, n°3, pp. 121-137.

FIRMENICH S., GARRIDO A., PATERNO F. et ROSSI G., 2019. User Interface Adaptation for Accessibility, in *Web Accessibility – {A} Foundation for Research*, Second Edition, Yesilada Y. et Harper S. eds, Springer, pp. 547-568.

FLORINS, M., 2006. Graceful Degradation: a Method for Designing Multiplatform Graphical User Interfaces, Louvain. Thèse de doctorat.

GENARO MOTTI, V., MEZHOUDI, N. et VANDERDONCKT, J., 2012. Machine Learning in the Support of Context-Aware Adaptation. Workshop on Context-Aware Adaptation of Service Front-Ends (Pisa, 13/11/2012). In: Francisco Javier Caminero Gil, Fabio Paternò, Jean Vanderdonck, Proceedings of the Workshop on Context-Aware Adaptation of Service Front-Ends, 2012.

GHIANI, G., MANCA, M., PATERNO, F. et SANTORO, C., 2017. Personalization of Context-Dependent Applications Through Trigger-Action Rules. ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI), vol. 24(2), article 14, 33 pages.

GIUFFRIDA, T., DUPUY-CHESSA, S., POLI, J.-Ph., CERET, E., 2019. Fuzzy4U: A fuzzy logic system for user interfaces adaptation. In IEEE Thirteen International Conference on Research Challenges in Information Science, May 29-31, 2019, Brussels, Belgium

Haut conseil de la famille, de l'enfance et de l'âge (HCFEA), 2019. Avis du Conseil de l'âge sur la démarche Monalisa et sur la politique de maintien du lien social et de lutte contre l'isolement des personnes âgées, adopté le 16 mai 2019, <http://www.hcfea.fr>.

HORTON, S. ET QUESENBERRY, W., 2014. A Web for Everyone: Designing Accessible User Experiences, Rosenfeld Media ed., 288 p.

IACCARINO, G., MALANDRINO, D., DEL PERCIO, M. et SCARANO, V., 2006. Efficient Edge-Services for Colorblind Users, dans Proceedings of the 15th international conference on World Wide Web (WWW'06), Edinburgh, Ecosse.

JASBERG, K. et SIZOV, S., Neuroscientific User Models: The Source of Uncertain User Feedback and Potentials for Improving Web Personalisation. In: Hacid H., Cellary W., Wang H., Paik HY., Zhou R. (eds) Web Information Systems Engineering (WISE 2018). WISE 2018. Lecture Notes in Computer Science, vol 11234. Springer, Cham

JUNG, S. G., AN, J., KWAK, H., SALMINEN, J. et JANSEN, B. J. (2018). Assessing the accuracy of four popular face recognition tools for inferring gender, age, and race. In Twelfth International AAAI Conference on Web and Social Media.

KURNIAWAN, S. H., KING, A., EVANS, D. G. et BLENKHORN, P. L., 2006. Personalising web page presentation for older people. Interacting with computers, 18(3), pp. 457-477.

LEHMANN, G., RIEGER, A., BLUMENDORF M. et ALBAYRAK, S., 2010. A 3-layer architecture for smart environment models. In 8th IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops, Mannheim, pp. 636-641.

LORANGER, H., 2017. Plain Language Is for Everyone, Even Experts. Nielsen Norman Group. Accessible en ligne : <https://www.nngroup.com/articles/plain-language-experts/>

MCCARTHY, J. E. et SWIERENGA, S. J. (2009). What we know about dyslexia and Web accessibility: a research review. Universal Access in the Information Society, 9(2), pp.147–152.

MIÑÓN, R., PATERNÒ, F., ARRUE, M. et ABASCAL, J., 2016. Integrating adaptation rules for people with special needs in model-based UI development process. Universal Access in the Information Society, vol. 15, n°1, pp. 153-168.

MOCHIZUKI, R., NAKAMURA, T., CHAO, J. et LENZ, R., 2008. Color-weak correction by discrimination threshold matching, in Conference on Colour in Graphics, Imaging, and Vision, vol. 2008, n° 1, pp. 208-213, Society for Imaging Science and Technology.

NGUYEN, T.-D., VANDERDONCKT, J. et SEFFAH, A., 2016. UIPLML: A Pattern Tool for Engineering Multi-Platforms Information Systems. In Tenth International Conference on Research Challenges in Information Science (RCIS).

NYONGESA, H. O., SHICHENG, T., MALEKI-DIZAJI, S., HUANG, S. T. et SIDDIQI, J., 2003. Adaptive Web interface design using fuzzy logic, in Proceedings IEEE/WIC International Conference on Web Intelligence (WI 2003), pp. pp. 671-674.

PAPATHEOCHAROUS, E., BELK, M., GERMANAKOS, P. et SAMARAS, G., 2012. Proposing a Fuzzy Adaptation Mechanism Based on Cognitive Factors of Users for Web Personalization, in Artificial Intelligence Applications and Innovations, p. 135–144.

PATERNO, F., SANTORO, C., et SPANO, L. D., 2009. MARIA: A universal, declarative, multiple abstraction-level language for service-oriented applications in ubiquitous environments. ACM Transactions on Computer-Human Interaction, vol. 16, n°4, 2009.

PEISSNER, M., HÄBE, D., JANSSEN, D. et SELLNER, T., 2012. MyUI: generating accessible user interfaces from multimodal design patterns. In Proceedings of the 4th ACM SIGCHI symposium on Engineering interactive computing systems, New York.

QUILLION-DUPRÉ, L., MONFORT, E. et RIALLE, V., 2018. Tablette tactile et adultes âgés, Apports d'un programme d'initiation adapté aux troubles neurocognitifs, Education & Formation – e-311, Novembre 2018, p. 43-59.

Rello, L., Kanvinde, G., & Baeza-Yates, R. (2012). Layout guidelines for web text and a web service to improve accessibility for dyslexics, in Proceedings of the International Cross-Disciplinary Conference on Web Accessibility (W4A'12).

Rello, L., Pielot, M. et Marcord M.-C., 2013. Size matters (spacing not): 18 points for a dyslexic-friendly Wikipedia, in Proceedings of the 10th ACM International Cross-Disciplinary Conference on Web Accessibility (W4A'13), Rio de Janeiro, Brazil, pp.1-4.

REMPEL, A. G., MANTIUK, R. et HEIDRICH, W., 2011. Display Considerations for Improved Night Vision Performance, in Proceedings of the 19th Color and Imaging Conference, pp. 191-194(4), Society for Imaging Science and Technology pub.

RICHARDS, J. T. et HANSON, V. L., 2004. Web accessibility: a broader view. In Proceedings of the 13th ACM international conference on World Wide Web, pp. 72-79.

RIDING, R. et CHEEMA, I. 1991. Cognitive Styles — an overview and integration, in Educational Psychology, vol. 11, pp. 193-215.

ROCHE, A., 2015. Proposition d'une méthode de conception systémique d'interface homme-système adaptée aux situations de multihandicap. Thèse de doctorat en cognitive, Université de Bordeaux.

SOUI, M., ABED, M. et GHEDIRA, K., 2013. Fuzzy Logic Approach for Adaptive Systems Design, in Human-Computer Interaction. Towards Intelligent and Implicit Interaction, pp. 141-150.

THEVENIN, D. et COUTAZ, J., 1999. Plasticity of User Interfaces: Framework and Research Agenda. Proceeding of IFIP Conference on Human Computer Interaction INTERACT. August 30 – September 3, 1999. Edinburgh, Scotland. Sasse, A. et Johnson, C. (eds), IFIPIOS Press

THEVENIN, D., COUTAZ, J. et CALVARY, G., 2003. A Reference Framework for the Development of Plastic User Interfaces, in Multi-Device and Multi-Context User Interfaces: Engineering and Applications Frameworks.

Virtual User Modeling and Simulation Cluster (VUMS), 2013. Accessible en ligne: http://vums.iti.gr/indexb60b.html?page_id=44.

WHITTLE, J., HUTCHINSON, J., ROUNCEFIELD, M., 2014. The state of practice in model-driven engineering, IEEE software, vol. 31(3), pp. 79-85.

WOBBROCK, J., 2019. Situationally aware mobile devices for overcoming situational impairments. In Proceedings of the ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems, p.1.

YIGITBAS, E., SAUER, S. et ENGELS, G., 2017. Adapt-UI: an IDE supporting model-driven development of self-adaptive UIs. In Proceedings of the ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems, Lisbon, 2017.

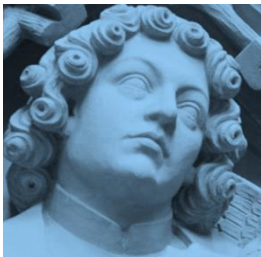
Web Accessibility Initiative, 2015. Introduction to Web Accessibility, En ligne : <https://www.w3.org/WAI/fundamentals/accessibility-intro>.

YANG, S.J. et SHAO N.W., 2007. Enhancing pervasive Web accessibility with rule-based adaptation strategy. Expert Systems with Applications, Vol. 32, Issue 4, pp. 1154-1167.

ZADEH, L., 1965. Fuzzy sets, in Information and Control, vol. 8, n°3, pp. 338-353.

ZADEH, L., 1975. The concept of a linguistic variable and its application to approximate, in Information Sciences, vol. 9, pp. 43-80.

10 BIOGRAPHIE



Tanguy Giuffrida

est doctorant en informatique et marketing, au sein de l'équipe Ingénierie de l'Interaction Homme-Machine du Laboratoire d'Informatique de Grenoble.



Eric Céret

est Maître de conférences en informatique, spécialisé dans la modélisation de l'utilisateur et les approches d'IHM adaptatives. Après 20 ans dans l'industrie informatique, il a soutenu sa thèse en 2014 avant de rejoindre l'équipe Ingénierie de l'Interaction Homme-Machine du Laboratoire d'Informatique de Grenoble en 2015.



Sophie Dupuy-Chessa

est Professeure en Informatique à l'Université Grenoble Alpes, spécialisée dans l'ingénierie des systèmes d'information et l'interaction homme-machine.