

Chapitre 9¹

Vers de nouveaux panneaux interactifs dans les gares et stations

9.1. Introduction

Les gares, stations et aéroports sont des lieux très riches en information : de multiples messages s'affichent sur des écrans, parfois installés en batterie (fig. 9.1). Par exemple, dans un aéroport, il s'agit, entre autres, de donner des informations sur l'enregistrement et l'embarquement de *tous* les passagers en partance vers une destination donnée.

Dans ces lieux de transit, les usagers ont un besoin crucial d'information. Ainsi, lorsqu'un passager arrive dans un aéroport, il ne sait pas *a priori* où doivent se faire l'enregistrement et l'embarquement. Ces difficultés sont d'autant plus grandes lorsque l'environnement est inconnu, mais restent néanmoins présentes même pour les usagers habitués.

Toute la difficulté réside dans l'obtention des *quelques* informations essentielles dont l'utilisateur a besoin, parmi la masse d'informations destinées à d'autres, qui ont vite fait de noyer les premières. En effet, les écrans et autres points d'information fournissent des renseignements non ciblés, à destination de tout le monde. En conséquence, ils sont le plus souvent surchargés d'informations, ce qui rend leur lecture difficile. Pour un passager, rechercher *une* information précise parmi une multitude d'informations inintéressantes est une tâche fastidieuse et relativement longue.

Chapitre rédigé par Christophe JACQUET, Yacine BELLIK et Yolaine BOURDA.



Figure 9.1. A l'aéroport de Roissy, ce mur d'écrans affiche des informations sur 160 vols

Pour améliorer cette situation, et partant du principe qu'il ne sert à rien de présenter une information qui n'intéresse pas l'utilisateur, nous nous proposons de concevoir un système *opportuniste* de présentation d'informations, qui ne fournirait des informations qu'aux usagers situés à proximité.

Il ne s'agit pas pour autant de fournir des informations *personnelles*, mais plutôt d'opérer une *sélection* parmi toutes les informations, de sorte à ne fournir que les informations *pertinentes* pour les usagers à proximité. Cela permet de diminuer le nombre total d'informations présentées, et donc la difficulté à les retrouver. En ce sens, les informations pourraient être fournies par les dispositifs *publics* mentionnés ci-avant. Par exemple, des moniteurs disposés au hasard dans un aéroport pourraient fournir aux passagers situés à proximité des informations sur leur vol ou sur d'autres sujets d'intérêt.

Tous les utilisateurs, quels qu'ils soient, sont confrontés à des difficultés lorsqu'il s'agit d'obtenir des informations et de se diriger dans un environnement inconnu. Cependant, il existe une catégorie de personnes pour lesquelles ces tâches sont particulièrement délicates : les handicapés sensoriels. En effet, les dispositifs d'information ne leur sont pas nécessairement adaptés. Ainsi, un écran d'information ne sera d'aucune utilité à un non-voyant ; de même, un malentendant ne percevra pas les informations diffusées par haut-parleur.

Nous proposons donc de placer la *multimodalité* au centre de notre système : les dispositifs pourront utiliser différentes modalités en sortie. De plus, un dispositif donné ne fournira des informations à un utilisateur qu'à la condition expresse que la modalité de sortie du premier soit compatible avec les modalités d'entrée du second. De cette façon, on éviterait par exemple que l'information destinée à un non-voyant ne soit véhiculée par un moniteur vidéo. Notons que nous ne nous intéressons qu'aux interactions en *sortie*, et pas aux entrées : il s'agit pour nous uniquement de *fournir* de l'information à des usagers.

9.2. Travaux connexes

Plusieurs systèmes ont déjà été proposés pour fournir des informations contextuelles à des utilisateurs mobiles lors de leurs déplacements. Par exemple, CoolTown [KIN 01] montre des pages web aux utilisateurs en fonction de leur position. L'application principale de ce type de systèmes consiste à fournir aux utilisateurs des informations sur leur environnement, par exemple, « où se trouve la pizzeria la plus proche ? » [HUL 97]. Généralement, les informations sont diffusées par de petits dispositifs portables : par exemple, le Cyberguide [LON 96], un guide touristique pour les musées, utilisait le PDA *Newton* d'Apple.

On rejoint ainsi la vision de l'informatique ubiquitaire [WEI 93], dans laquelle les dispositifs informatiques sont capables de discuter entre eux sans contrainte technologique. Cependant, transporter et manipuler un dispositif portable est toujours une contrainte. Le concept d'*intelligence ambiante* [DUC 01] [RAM 07] reprend celui d'informatique ubiquitaire, en y ajoutant une volonté d'interagir de façon *naturelle, apaisée, intelligente* avec l'utilisateur.

Cette idée est bien adaptée au monde des transports, car un passager est souvent préoccupé par son voyage et encombré de bagages, ce qui rend difficile et désagréable l'utilisation d'un dispositif qu'il faudrait tenir à la main. Une interaction aussi *naturelle* que possible avec l'environnement serait donc préférable. Dans cette optique, on peut décider d'utiliser des dispositifs *présents dans les lieux visités*.

Ce choix a notamment été fait dans le système Hello.Wall [STR 05] qui consiste en un mur capable d'afficher des informations d'intérêt général quand personne n'est à proximité, et de fournir des informations plus personnelles lorsqu'un utilisateur engage une interaction explicite. Un dispositif *public* est ainsi utilisé pour transmettre des informations *personnelles*, ce qui peut soulever des problèmes de respect de la vie privée [VOG 04]. Hello.Wall a résolu ce problème en affichant non pas des informations *en clair*, mais des motifs abstraits composés d'une centaine de cellules allumées ou éteintes. Il existe des motifs publics, censés être connus de tout

le monde, et des motifs privés, dont la signification n'est connue que de leur destinataire.

Dans le cadre d'un système d'information aux voyageurs, nous ne pouvons pas nous contenter de motifs abstraits : il faut utiliser une présentation de l'information claire et compréhensible par tout le monde. Ainsi, si nous retenons le concept d'une interaction qui ne s'engage avec un dispositif que lorsque l'utilisateur s'en approche, nous devons imaginer de nouvelles solutions pour le problème du respect de la vie privée. Un bilan sur ce point sera donné en conclusion.

9.3. Caractéristiques visées du système

9.3.1. Opportunisme

Du point de vue de l'utilisateur, notre système devra être capable de lui fournir des informations pertinentes au cours de ses déplacements. Nous appelons *opportunisme* le fait que cette présentation d'information se fasse de façon *fortuite*, au gré des déplacements de l'usager. Les informations seront fournies *via* des appareils que nous nommons *dispositifs de présentation, a priori* publics : écrans vidéos, haut-parleurs, panneaux lumineux, etc. Néanmoins, nous pouvons également imaginer des dispositifs de présentation privés, par exemple une oreillette.

Cet opportunisme implique la disponibilité de moyens de détection des usagers : le système doit par exemple être capable de savoir qui se trouve devant un écran. Diverses technologies peuvent être employées : détection d'appareils Bluetooth [EAG 05], de téléphones mobiles, système de localisation spécialisé comme Ubisense [STE 05], ou encore lecture d'étiquettes RFID situées dans les titres de transport eux-mêmes. Sans faire de choix technologique, nous supposons simplement dans la suite que la notion de proximité entre deux objets est connue par le système de façon fiable.

9.3.2. Multimodalité

Un environnement ambiant se donne comme objectif d'interagir avec ses utilisateurs de façon naturelle, donc le plus souvent *via* des interfaces multimodales. Dans ces conditions, une personne handicapée, par exemple, ne constitue plus un cas à part, mais simplement un profil d'utilisateur *parmi d'autres* [EMI 05]. En effet, les personnes qui présentent un handicap sensoriel, notamment visuel, sont souvent traitées à part de façon à leur proposer des solutions adaptées [JAC 04]. Notre système sera donc multimodal, de façon à traiter sur un pied d'égalité tous les utilisateurs.

Dans le domaine de la multimodalité, nous utilisons le vocabulaire de Y. Bellik [BEL 95] : un *mode* correspond à la nature d'un moyen de communication, donc à l'un des sens humains : mode visuel, mode auditif, mode tactile, etc. Une modalité est une forme concrète particulière d'un mode. Par exemple, en ce qui concerne le mode auditif, on peut citer les modalités suivantes : parole, bruit, chant, etc.

9.3.3. *Adaptation*

La diversité des interactions qu'offrent les interfaces multimodales, leur flexibilité et leur caractère intuitif et naturel, les rendent aptes à cibler différentes catégories d'utilisateurs. Ces propriétés leur confèrent également d'importantes capacités à s'accommoder des fréquentes modifications que peut subir l'environnement physique de l'interaction et à exploiter de façon optimale les ressources physiques des systèmes qui les accueillent. Elles deviennent, par conséquent, particulièrement intéressantes à exploiter dans le cadre d'un environnement ambiant sujet à de fréquentes évolutions. C'est pourquoi nous envisageons l'adaptation sous l'angle de la multimodalité. Notre système devra exploiter de façon "intelligente" toutes les modalités dont il peut disposer à un instant donné, pour communiquer une information à l'utilisateur [RIS 05] [ROU 06].

9.4. Le modèle KUP

Depuis 30 ans, plusieurs modèles d'architecture logicielle pour les IHM ont été proposés. Parmi eux, on peut citer MVC pour modèle-vue-contrôleur [KRA 88], PAC pour présentation-abstraction-contrôle [COU 87] ou ARCH [BAS 92]. Ces architectures mettent en avant au moins deux composantes :

- le *modèle* des informations à présenter. Il représente l'abstraction du problème à traiter, sous forme de données métier. Il est directement lié au *noyau fonctionnel* d'une application donnée (nom donné par ARCH ; PAC l'appelle *abstraction*). Dans notre modèle, nous noterons **K** cette composante, car c'est elle qui fournit les connaissances (*knowledge*) ;

- une implémentation concrète, voire physique, de l'*interface* avec l'utilisateur et des interactions qui lui sont associées (*vue-contrôleur* pour MVC, *présentation* pour PAC). Dans notre modèle, nous noterons **P** cette entité, car nous nous intéressons uniquement aux sorties, donc à la *présentation* d'informations.

9.4.1. Sources de connaissance, utilisateurs, dispositifs de présentation

Afin de concevoir un système correspondant à la description qui en a été donnée en section 9.3, nous introduisons un nouveau modèle d'architecture pour notre système. Ce modèle comporte outre les deux entités K et P décrites précédemment, une troisième entité U correspondant à la représentation logique de l'utilisateur. En effet, dans le cadre de la conception de notre système mobile et opportuniste, il nous semble judicieux de séparer deux types d'actions :

- la *fourniture* d'une information par le noyau fonctionnel à l'utilisateur ;
- la *présentation* de cette information à destination de l'utilisateur.

De cette façon, le système peut *récolter* de façon opportuniste des informations au fur et à mesure de leur découverte, et les mémoriser, *même s'il n'y a pas de dispositif de présentation disponible à ce moment-là*. La présentation se fait plus tard, de façon opportuniste elle aussi, lorsque l'utilisateur se trouve à proximité d'un dispositif de présentation. La décorrélation entre les deux phases est la condition du fonctionnement doublement opportuniste du système.

Pour obtenir cette décorrélation, il ne faut pas que le noyau fonctionnel soit directement relié au dispositif de présentation : il doit exister un intermédiaire entre eux. Sinon, la fourniture et la présentation de l'information seraient forcément liées. Nous introduisons donc une troisième entité, **U**, correspondant à l'utilisateur. Cette entité sera située au centre du modèle afin de permettre le découplage entre la fourniture d'informations par des entités K (sources de connaissances), et leur présentation par des entités P (dispositifs de présentation), d'où le nom *KUP*.

9.4.2. Comparaison par rapport aux modèles existants

Le modèle KUP est doublement original par rapport aux modèles existants :

- il prévoit une représentation logicielle active de l'utilisateur (U), alors qu'elle est absente ou réduite dans les modèles classiques. Cette représentation logicielle va bien au-delà de la simple caractérisation des utilisateurs par un profil ou des préférences ;
- cette entité logicielle représentant l'utilisateur se trouve au centre du modèle, et confère ainsi à l'utilisateur une place prépondérante : toutes les communications au sein du modèle vont désormais transiter par cette entité logicielle *utilisateur*.

Ainsi, le modèle KUP se distingue des modèles classiques (ARCH, Seeheim, PAC, MVC, etc.) du fait que dans ces derniers l'utilisateur est toujours à l'extérieur du système ; il n'y est jamais représenté explicitement, en tant qu'entité active. Dans le modèle KUP, l'entité utilisateur U est l'entité centrale (fig. 9.2).

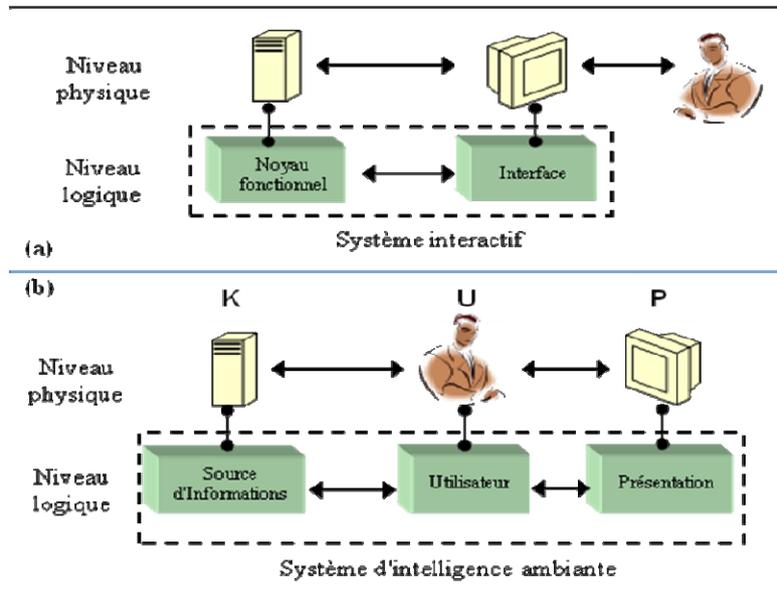


Figure 9.2. Modèles pour les IHM : (a) modèle classique dans lequel l'utilisateur n'est pas représenté explicitement ; (b) modèle KUP dans lequel l'utilisateur est placé au centre du système d'intelligence ambiante

9.4.3. Notion de proximité

De façon à construire un système opportuniste basé sur les rencontres entre entités, il nous faut définir formellement les notions de *proximité* correspondantes.

9.4.3.1. Espace perceptuel

Informellement, nous souhaitons définir l'*espace perceptuel* d'une entité physique e comme étant l'ensemble des points de l'espace où e peut percevoir une autre entité qui s'y trouve. Par exemple, pour une entité utilisateur, l'espace perceptuel pourrait correspondre à son champ de vision. Cependant, cette définition est trop restrictive :

- les différents sens d'un utilisateur possèdent des caractéristiques de perception différentes. Par exemple, le champ de vision d'un être humain ne correspond pas à sa zone de perception auditive. Ainsi, un écran situé à 2 m derrière un utilisateur ne sera pas perçu par ce dernier, tandis qu'un dispositif de synthèse vocale situé au même endroit le sera ;

– la perception dépend des *attributs des modalités*. Par exemple, une sonnerie de téléphone mobile émise à cinquante mètres ne sera pas perçue par un être humain, tandis que le son d'une sirène le sera sans problème.

En conséquence, la définition informelle de la notion d'espace perceptuel introduite ci-avant est trop limitée. Elle doit être complétée pour tenir compte des modalités et des instanciations de ces dernières. Pour ce faire, nous introduisons une notion supplémentaire : l'*espace multimodalisé*, ou en abrégé m-espace. Un m-espace est le produit cartésien de l'espace physique E par l'ensemble des instanciations des modalités utilisables. Par exemple, supposons que les modalités utilisables par une entité sont :

- *sonnerie*, avec un attribut *volume* variant continûment entre 0 et 100 ;
- *texte*, avec un attribut *taille* variant continûment entre 10 et 60 points et un attribut *couleur* pouvant prendre les trois valeurs discrètes *rouge*, *vert* et *bleu*.

Dans ce cas, un élément du m-espace pourrait être le point de coordonnées $46^{\circ}23'32''$ N, $1^{\circ}02'56''$ E, avec un texte de taille 23 et de couleur verte.

Il est maintenant possible de définir formellement l'*espace perceptuel* d'une entité physique. Il s'agit d'un sous-ensemble d'un m-espace M , qui correspond à l'ensemble des *points* perceptibles par l'entité. Si une entité se déplace, son espace perceptuel sera modifié : dans la plupart des cas, il va *suivre* son entité de façon naturelle.

Par exemple, si on effectue une projection de l'espace perceptuel d'un utilisateur u , selon la modalité visuelle et à attributs constants (par exemple, à taille de caractères donnée), on obtient un *champ visuel*. Un tel champ visuel est représenté sur la figure 9.3 : les informations affichées sur les écrans A et B sont perçues par l'utilisateur u , mais pas celles affichées par C.

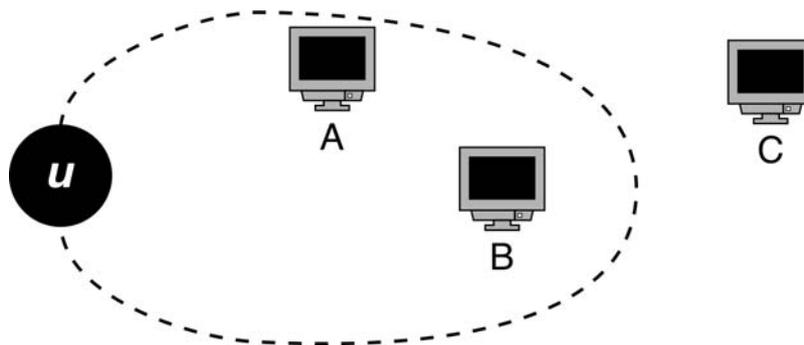


Figure 9.3. Cas particulier d'espace perceptuel : champ visuel d'un utilisateur u

9.4.3.2. Espace de rayonnement

Nous disposons maintenant de toutes les notions nécessaires à la définition de la notion *réciproque* de l'espace perceptuel. L'espace perceptuel caractérise les perceptions d'une entité, donc autrement dit ses *entrées*, c'est-à-dire son comportement en tant que *récepteur multimodal*. Cependant, une entité peut également être un *émetteur multimodal*, c'est-à-dire présenter des caractéristiques multimodales en sortie. De même que les caractéristiques en entrée sont décrites par l'espace perceptuel, les caractéristiques en sortie sont décrites par ce que nous appelons l'*espace de rayonnement*.

Formellement, on définit l'*espace de rayonnement* d'une entité e vis-à-vis d'une entité d comme étant l'ensemble des points x de l'espace physique E desquels d peut percevoir e , c'est-à-dire pour lesquels e appartient à l'espace perceptuel de d situé en x .

L'espace de rayonnement est défini *par rapport à une entité réceptrice* : les espaces perceptuels étant potentiellement différents pour chaque entité, la perception d'un *émetteur* en un point donné de l'espace sera ou non possible selon l'entité considérée. Il est donc impossible de définir un espace de rayonnement dans l'absolu. La figure 9.4 traite le cas simple où la seule modalité considérée est le texte visuel

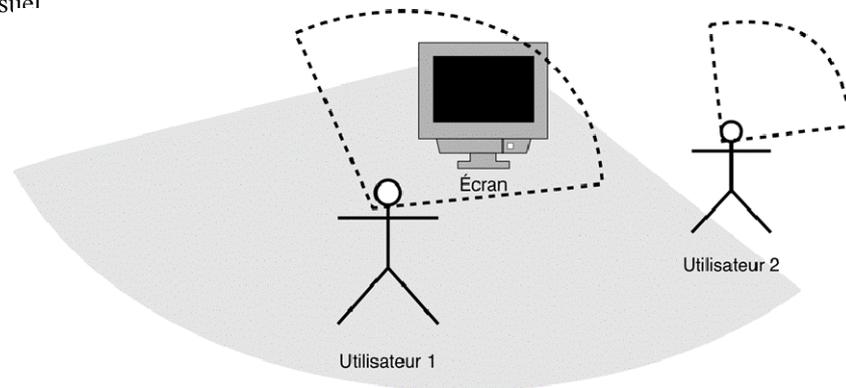


Figure 9.4. L'utilisateur 1 peut percevoir l'écran (car il est dans son champ visuel, en pointillés), mais ce n'est pas le cas de l'utilisateur 2. De fait, seul le premier se trouve dans l'espace de rayonnement de l'écran (zone grisée).

9.4.3.3. Proximité sensorielle : l'événement générateur

Dans le modèle KUP, toutes les interactions entre entités prennent naissance suite à un événement particulier : la *proximité sensorielle*. Cet événement survient

lorsqu'une entité e_1 entre dans l'espace perceptuel d'une autre entité e_2 ² ou en sort. Etant donné les définitions précédentes des espaces perceptuel et de rayonnement, il est important de noter que cette proximité sensorielle recouvre deux aspects : d'une part une proximité spatiale se référant aussi bien à la distance qui sépare les deux entités qu'à leurs orientations respectives. D'autre part, elle se réfère également aux capacités en termes de modalités d'entrées/sorties des deux entités considérées. Ainsi un utilisateur aveugle s'approchant à 50 centimètres d'un écran ne déclenchera aucun événement de proximité sensorielle. Il en sera de même pour un utilisateur voyant situé à la même distance mais tournant le dos à l'écran.

9.4.3.4. *Un modèle opportuniste pour la présentation des informations*

Le modèle KUP permet de séparer la phase de fourniture d'une information de sa phase de présentation. Lorsqu'un utilisateur (U) pénètre dans l'espace de rayonnement d'une source d'informations (K), celle-ci lui fournit une ou plusieurs informations pertinentes. Il est possible qu'au moment où l'utilisateur reçoit ces informations, aucun dispositif de présentation (P) ne soit à proximité (au sens de la proximité sensorielle). Cependant vu que les utilisateurs sont mobiles, il est possible qu'ultérieurement, un dispositif de présentation pénètre dans l'espace perceptuel de l'utilisateur. Ceci provoquera alors un événement de proximité sensorielle qui aura pour effet de déclencher le processus de présentation de l'information sur le dispositif en question.

9.4.4. *Unités sémantiques*

Les informations émises par les sources d'information sont appelées *unités sémantiques*, ou en abrégé u.s. Une unité sémantique correspond à une information élémentaire, que l'on peut transmettre sur un réseau, et qui peut s'exprimer dans au moins une modalité. Par exemple, une unité sémantique peut porter l'information correspondant à la porte d'embarquement d'un passager dans un aéroport ou à l'horaire du prochain train allant dans la direction souhaitée.

Les u.s. ont pour vocation d'être exprimées sur un dispositif de présentation, et selon une modalité donnée. Il est donc nécessaire de leur associer un contenu concret dans la modalité en question. Cependant, la *génération automatique* de contenu fait l'objet de recherches propres [ZOC 02] : nous ne détaillons donc pas ces processus. Pour nous, la *génération de contenu concret* est vue comme une *boîte noire* dont on spécifie l'entrée (modalité concrète), et dont on utilise la sortie (contenu concret). La figure 9.5 résume le processus de génération de contenu concret par une unité sémantique donnée, selon différentes modalités.

² Ceci équivaut à dire que l'entité e_2 entre dans l'espace de rayonnement de e_1 .

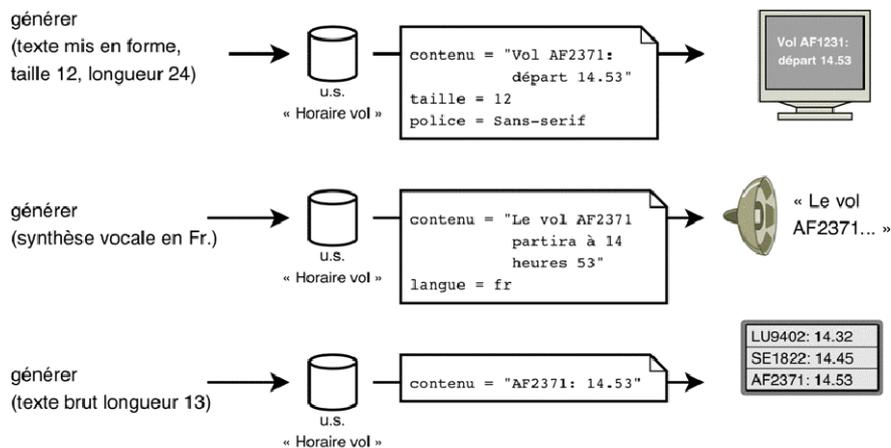


Figure 9.5. Génération de contenu concret. Une même u.s. génère des contenus concrets différents pour chaque modalité instanciée.

9.5. Architecture à agents

Dans notre système d'intelligence ambiante, nous disposons de trois types d'entités (K, U, P) mais celles-ci peuvent être multiples. De plus, nous ne posons aucune contrainte de mobilité. Nous supposons que les trois types d'entités peuvent être mobiles. Nous souhaitons donner au personnel des lieux dans lesquels le système est déployé la possibilité de réorganiser la disposition des sources d'informations, de déplacer les dispositifs de présentation, d'en apporter de nouveaux si un événement particulier survient, etc., sans être obligé de configurer quoi que ce soit. Les dispositifs de présentation doivent être capables de s'adapter d'eux-mêmes aux changements, sans qu'une intervention humaine ne soit nécessaire. C'est pourquoi, une architecture logicielle décentralisée, basée sur la notion d'agent s'impose cette fois-ci. Chacun des trois types d'entités évoqués précédemment correspond à un type d'agent :

- les agents utilisateurs (U) : font office de représentation logicielle active des utilisateurs humains ;
- les agents informateurs (K) : correspondent à la déclinaison logicielle des sources d'information ; ils fournissent des informations aux agents utilisateurs ;
- les agents présentateurs (P) : constituent une interface logicielle avec les dispositifs physiques de présentation.

Ainsi, le monde des agents constitue le « miroir » du monde réel en ce qui concerne nos trois types d'entités d'intérêt. Nous supposons que tous les agents peuvent communiquer entre eux. Les communications peuvent passer par des

réseaux sans fils de type WiFi. Les relations de proximité sensorielle dans le monde physique sont répercutées dans le monde des agents. Par exemple, si un utilisateur a perçoit un dispositif de présentation b , alors la même relation existera entre les agents associés. Les agents sont réactifs : ils restent en sommeil la plupart du temps, et réagissent lorsque des événements particuliers se produisent. En pratique, un agent donné a peut réagir à trois sortes d'événements :

- un autre agent b vient de s'approcher³ de a ;
- un agent b , auparavant proche de a , vient de s'en éloigner ;
- a vient de recevoir un message par le réseau, en provenance d'un agent c quelconque, qui n'est pas nécessairement proche de a .

Ainsi, si les agents se trouvaient seuls dans le système, il ne se passerait jamais rien. Les agents ont des comportements réactifs lorsque se déplacent les entités physiques qu'ils incarnent. Cela signifie que toute la proactivité du système est assurée par les entités physiques, en particulier les utilisateurs humains : ce sont ces derniers qui vont généralement se déplacer et de là, déclencher des cascades de réactions dans le système.

9.6. Allocation et instanciation dans KUP

L'allocation consiste à sélectionner pour une unité sémantique donnée, la modalité de présentation la plus adéquate (en fonction de l'utilisateur, du dispositif et de l'information à présenter). L'instanciation quant à elle concerne la détermination des valeurs les plus adéquates pour les attributs de la modalité sélectionnée [ROU 06]. Dans KUP, l'allocation et l'instanciation des modalités se fait de façon décentralisée. Etant donnée la nature disséminée des entités intervenant dans un système d'intelligence ambiante, il est plus judicieux d'adopter une approche décentralisée conforme à l'architecture à agents décrite précédemment. Ainsi, lorsqu'une entité U pénètre dans l'espace de rayonnement d'une entité P , les deux agents associés à ces entités vont négocier pour déterminer la modalité (et son instanciation) la plus adéquate à utiliser pour présenter les unités sémantiques de U . Ce processus de négociation repose sur la notion de profil. Un profil est un ensemble de pondérations attribuées aux différentes modalités et à leurs instances. Les profils sont définis par rapport à une taxonomie arborescente des modalités, commune aux trois types d'entités. La figure 9.6 donne un exemple d'arbre taxonomique partiel de modalités en sortie.

³ Au sens de la proximité sensorielle.

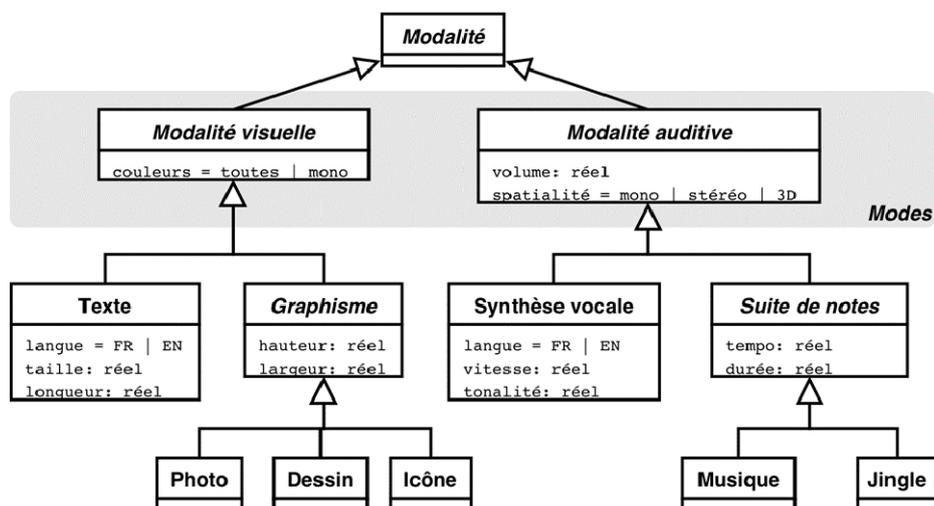


Figure 9.6. Exemple de taxonomie partielle de modalités en sortie

Chaque entité définit un arbre de pondération qu'elle va superposer à l'arbre taxonomique des modalités⁴. Le principe d'un arbre de pondération est simple : il s'agit d'ajouter des pondérations à un arbre taxonomique afin d'exprimer les capacités, préférences et contraintes des utilisateurs, des dispositifs et des unités sémantiques. Une pondération est un nombre réel compris entre 0 (inclus) et 1 (inclus également). Elle peut être située à deux endroits différents :

- au niveau d'un nœud : la pondération s'applique alors au sous-arbre ayant ce nœud pour racine. Une pondération à 1 signifie que les modalités du sous-arbre sont acceptées, voire souhaitées, tandis qu'une pondération à 0 signifie que les modalités correspondantes sont refusées, ou non prises en charge. Les valeurs intermédiaires permettent de nuancer ces deux extrêmes et ainsi d'exprimer des niveaux de préférence ;

- au niveau d'un attribut : on spécifie alors une fonction définie sur l'ensemble des valeurs possibles de cet attribut, et à valeurs dans l'intervalle réel $[0, 1]$. Cette fonction indique la pondération accordée à chaque valeur possible de l'attribut. La signification des pondérations est la même que précédemment. Ainsi, les valeurs de

⁴ Sauf les entités K qui elles définissent un arbre de pondération pour chaque unité sémantique qu'elles produisent. En effet, chaque unité sémantique est susceptible de pouvoir s'exprimer selon des modalités propres. Par conséquent dans le cas des entités K, les arbres de pondération sont rattachés aux unités sémantiques produites et non à l'entité qui les génère.

l'attribut proches de 1 seront souhaitées, tandis que les valeurs proches de 0 ne le seront pas, voire seront refusées pour une pondération à 0.

Un profil (tel qu'évoqué précédemment) est défini comme étant un arbre de pondération dont la racine correspond à la racine de la taxonomie des modalités. La figure 9.7 donne un exemple de profil partiel. Il pourrait correspondre à un utilisateur américain malvoyant, qui préférerait largement les modalités auditives aux modalités visuelles : les pondérations correspondantes sont indiquées en blanc sur fond noir, à proximité des nœuds. Les fonctions de pondération sont indiquées pour quelques attributs : selon que les attributs sont à variations continues ou à valeurs discrètes, les fonctions de pondération sont continues ou discrètes.

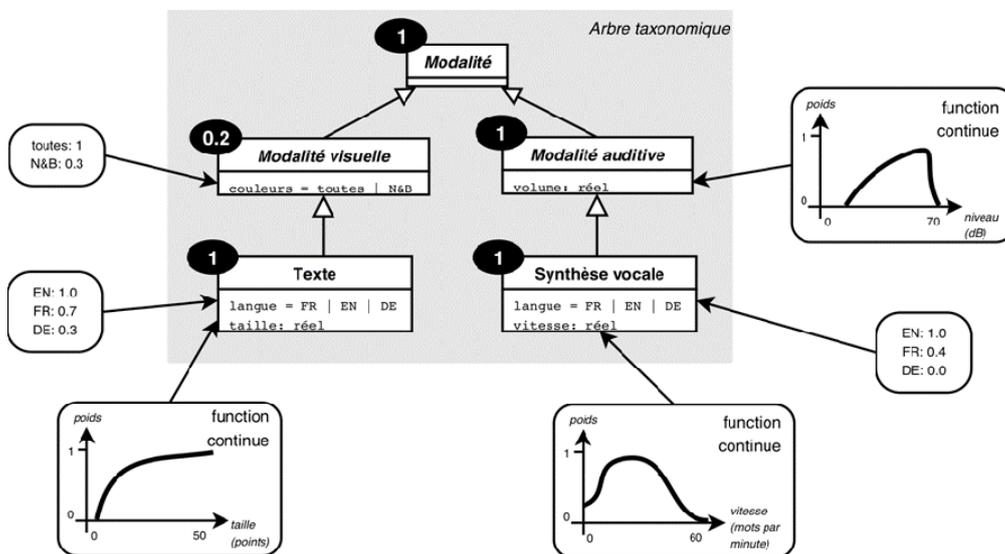


Figure 9.7. Exemple de profil partiel (arbre de pondération)

Etant donné un utilisateur u , un dispositif de présentation d et une unité sémantique s , la détermination de la modalité (et de son instanciation) la plus adéquate pour présenter s à u sur d , est réalisée en effectuant l'intersection des trois arbres de pondération respectifs. Ce mécanisme d'intersection [JAC 06b] produit à son terme, un arbre de pondération résultat dont les feuilles indiquent les modalités candidates. Il suffit alors de choisir la modalité ayant obtenu la plus forte pondération et de l'instancier en utilisant les valeurs d'attributs ayant elles aussi obtenu les plus fortes pondérations. Cette situation correspond, en réalité, au cas le plus simple : celui d'une unique unité sémantique, d'un unique utilisateur et d'un

unique dispositif de présentation. Dans le cas, plus général, où plusieurs utilisateurs sont à proximité du dispositif ou à l'inverse, plusieurs dispositifs sont à proximité de l'utilisateur (où même dans le cas où plusieurs utilisateurs sont à proximité des mêmes dispositifs), des algorithmes plus complexes ont été mis en œuvre de manière à faire collaborer plusieurs dispositifs [JAC 06a] dans le but d'assurer une cohérence globale de la répartition des présentations tout en garantissant un niveau de satisfaction minimal à tous les utilisateurs.

9.7. Implémentation

Nous avons implémenté ces algorithmes sous forme d'une plate-forme appelée PRIAM, pour PRésentation d'INformations dans l'AMbiant. Comme indiqué précédemment, cette plate-forme est construite selon une architecture à agents. Les agents sont implémentés en Java, ce qui leur permet de fonctionner sur des environnements matériels divers. De plus, ils peuvent facilement s'échanger des messages par le réseau à travers le mécanisme des RMI (*Remote Method Invocation*) intégré à Java.

Comme la mise en place d'une expérimentation grandeur nature est relativement lourde et coûteuse en temps, nous avons commencé par réaliser un simulateur qui permet de tester tous les composants finaux d'une application, sans pour autant devoir les déployer en conditions réelles dès les premiers essais (voir figure 9.8). Ce simulateur nous a permis de vérifier le bon fonctionnement des algorithmes. Par exemple, les figures 9.8b et 9.8c mettent en jeu deux utilisateurs (un voyant et un non-voyant), ainsi qu'un écran et un dispositif sonore. Lorsque l'utilisateur voyant se présente, l'écran et le système sonore peuvent lui donner une information (b). Par contre, lorsque le non-voyant s'approche, l'écran n'affiche rien car sa modalité de sortie n'est pas compatible avec le profil du non-voyant (c).

Dans cet exemple, nous notons que le fonctionnement multimodal de la plate-forme PRIAM est conforme à ce que nous avons spécifié. En effet, lorsqu'il s'agit d'effectuer la présentation d'une unité sémantique, le système choisit une modalité adaptée à l'utilisateur, en fonction des dispositifs de présentation présents à proximité.

Tous les aspects des algorithmes peuvent être testés de cette manière, avec le nombre nécessaire de dispositifs de présentation, d'utilisateurs et de sources d'information. Par exemple, la figure 9.9 présente un exemple de simulation du processus d'instanciation de modalités. En fonction de la distance à laquelle l'utilisateur se trouve de l'écran, les attributs de l'instanciation sont différents. Ainsi, le texte s'affiche en plus gros caractères lorsque l'utilisateur est plus éloigné de l'écran.

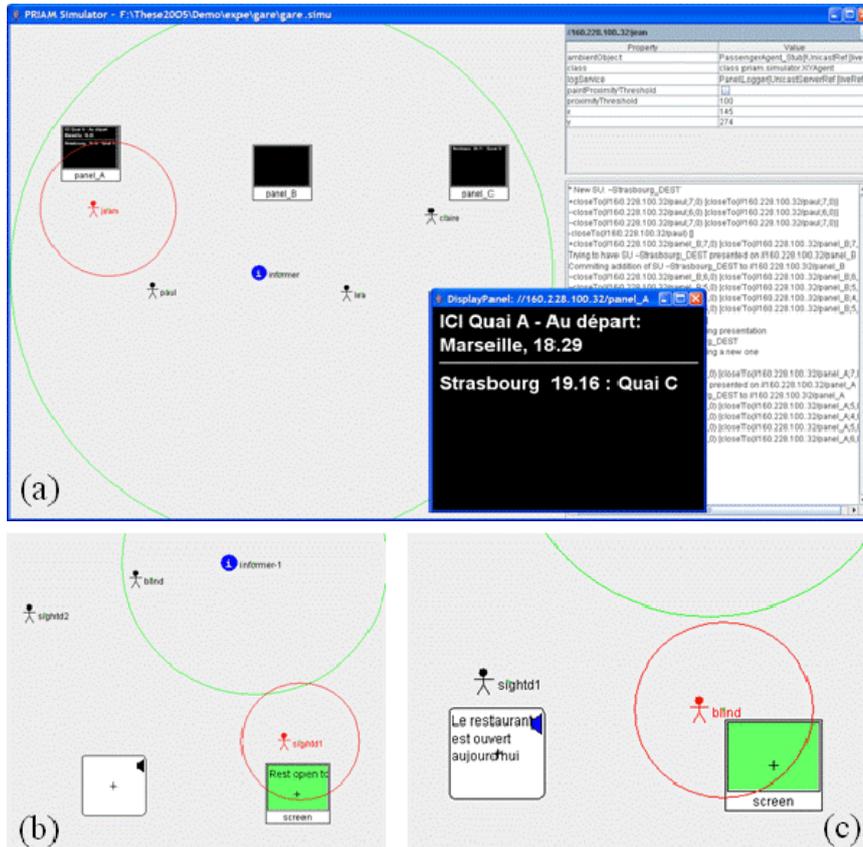


Figure 9.8. Le simulateur de la plate-forme PRIAM

9.8. Expérimentations

Dans un premier temps, le simulateur nous a permis de vérifier le bon fonctionnement de nos algorithmes. Cependant, nous avons dans un second temps cherché à évaluer le gain réel apporté par notre système : nous avons donc réalisé deux expériences en laboratoire avec des sujets humains ; celles-ci ont été décrites dans [JAC 09]. La première concerne l'affichage d'une liste de vols d'avion dans un aéroport. Dans ce cas, plusieurs utilisateurs sont censés se trouver à proximité d'un unique dispositif de présentation. La seconde reproduit un environnement de gare, dans lequel chaque sujet doit se rendre sur le quai où son train est annoncé au

départ. Dans ce cas, un utilisateur unique interagit successivement avec plusieurs dispositifs physiques de présentation.



Figure 9.9. Lorsque la distance augmente, le processus d'instanciation choisit des valeurs différentes pour les attributs : la taille du texte augmente.

Dans ces expériences, nous n'avons pas cherché à évaluer le caractère multimodal de notre plate-forme : ces aspects ont pu être testés grâce au simulateur décrit ci-dessus. Les deux expériences décrites ci-dessous avaient pour objectif d'évaluer le gain réel apporté par notre système en terme de temps nécessaire pour l'accomplissement d'une tâche donnée. Au total une vingtaine de sujets ont participé à ces expériences.

La détection des utilisateurs a été réalisée à l'aide d'un système de badges à infrarouges [JAC 07]. L'utilisation de celui-ci ne serait pas réaliste dans des conditions réelles car les utilisateurs seraient obligés de porter un badge électronique bien en évidence sur leur chemise. Par contre, il était bien adapté au cadre expérimental, d'autant que le système était sensible à l'orientation : il était donc possible de savoir, par exemple, si oui ou non une personne regardait un écran.

9.8.1. Expérience « Vols au départ »

Dans cette expérience, on affiche une liste d'informations parmi lesquelles chacun des sujets doit rechercher un élément d'information précis qui le concerne. Notre idée est de comparer le temps mis par un utilisateur pour retrouver son information, selon que la liste est statique (liste sur papier ou écran statique), ou bien personnalisée et dynamique, i.e. gérée par la plate-forme PRIAM. Nous souhaitons également mesurer l'influence sur le temps de recherche du nombre de personnes qui se trouvent autour de la zone d'affichage. Nous pressentons en effet que plus il y aura de personnes devant l'écran, plus la recherche des informations risquera d'être difficile pour chacune d'entre elles.

Les informations affichées concernent les vols au départ dans un aéroport. Elles consistent en des triplets (vol, heure, porte d'embarquement). Un écran affiche ces informations. Dans un premier temps, il est statique (expérience témoin), puis il devient dynamique (version utilisant PRIAM). Lors de chaque exercice, on fournit à l'utilisateur un numéro de vol ainsi qu'un horaire de départ. L'utilisateur doit alors trouver sur l'écran la lettre de la porte d'embarquement correspondante, et la noter par écrit. Sur l'écran, les vols sont classés par ordre chronologique (voir fig. 9.11).

9.8.1.1. Description générale

À un signal donné, de un à huit sujets s'approchent d'un écran et s'emploient à y rechercher une information particulière. Lorsque l'un d'entre eux a identifié son information, il la mémorise, lève la main et s'éloigne tout de suite du panneau. Il écrit alors cette information sur un formulaire papier qui lui a été remis en début d'expérience. De cette façon, en filmant le déroulement de l'expérience (voir fig. 9.10), nous avons pu facilement mesurer le temps de recherche de chaque utilisateur. Cette quantité est définie comme étant le temps qui sépare l'entrée de l'utilisateur sur la « scène » de l'expérience (i.e. la zone située à proximité du dispositif d'affichage) et le moment où il lève la main.

Les formulaires remplis par les utilisateurs nous ont permis de vérifier l'exactitude des informations trouvées. Les cas d'erreurs étaient très rares et ne nous ont pas permis d'établir de statistiques intéressantes sur les conditions dans lesquelles ils sont survenus. En fait, la majorité des erreurs ont été le fait d'un unique utilisateur, que nous qualifierons de « distrait ».

Nous réalisons d'abord une expérience « témoin » dans laquelle les listes d'informations sont statiques. Puis, nous introduisons les listes dynamiques : dans ce cas, les informations affichées par les écrans ne concernent que les utilisateurs situés devant ces derniers. La détection des utilisateurs par le système est réalisée à l'aide du système de badges à infrarouges.



Figure 9.10. Les sujets s'approchent de l'écran puis lèvent la main lorsqu'ils ont trouvé leur information. Image issue du film de l'expérience

9.8.1.2. Expérience témoin

Tout d'abord, les utilisateurs recherchent les informations concernant leur vol parmi un nombre fixe d'informations. Nous avons réalisé deux expériences.

Recherche d'une information parmi 12

Les résultats de cette expérience sont présentées dans le tableau 9.1.

Nombre de personnes	Temps moyen (s)	Écart-type	Temps minimum	Temps maximum
1	3,00	0,00	3,00	3,00
2	4,00	2,00	2,00	6,00
3	4,00	1,41	3,00	6,00
4	4,63	1,22	2,00	6,00
5	5,80	0,98	4,00	7,00
6	8,67	4,38	4,00	17,00
7	7,67	2,56	5,00	13,00
8	6,88	4,28	4,00	18,00

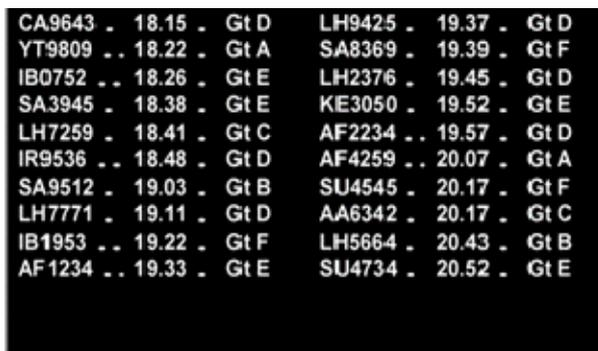
Tableau 9.1. Temps de recherche d'une porte d'embarquement sur un écran statique, série 1

Recherche d'une information parmi 20 (voir fig. 9.11)

Les résultats de cette expérience sont présentées dans le tableau 9.2.

Nombre de personnes	Temps moyen (s)	Écart-type	Temps minimum	Temps maximum
1	6,00	0,00	6,00	6,00
2	5,00	1,00	4,00	6,00
3	4,67	0,47	4,00	5,00
4	8,00	2,65	5,00	14,00
5	7,40	3,26	3,00	11,00
6	8,00	4,52	5,00	17,00
7	8,43	2,92	5,00	13,00
8	6,00	2,20	3,00	10,00

Tableau 2. Temps de recherche d'une porte d'embarquement sur un écran statique, série 2



Affichage statique d'une série de vols sur un écran noir. Les informations sont présentées en deux colonnes, chaque ligne correspondant à un vol avec son numéro, son temps moyen et sa catégorie (Gt).

CA9643	18.15	Gt D	LH9425	19.37	Gt D
YT9809	18.22	Gt A	SA8369	19.39	Gt F
IB0752	18.26	Gt E	LH2376	19.45	Gt D
SA3945	18.38	Gt E	KE3050	19.52	Gt E
LH7259	18.41	Gt C	AF2234	19.57	Gt D
IR9536	18.48	Gt D	AF4259	20.07	Gt A
SA9512	19.03	Gt B	SU4545	20.17	Gt F
LH7771	19.11	Gt D	AA6342	20.17	Gt C
IB1953	19.22	Gt F	LH5664	20.43	Gt B
AF1234	19.33	Gt E	SU4734	20.52	Gt E

Figure 9.11. Affichage statique d'une série de vols

On remarque que les temps ont tendance à être plus longs lorsque le nombre de personnes présentes simultanément augmente, sans pour autant que cette tendance soit très franche. On note par contre que les temps de recherche parmi 20 informations sont sensiblement plus longs que les temps de recherche parmi 12 informations.

9.8.1.3. *Version dynamique*

On n'affiche ici que les informations relatives aux utilisateurs situés à proximité de l'écran (voir fig. 9.12). Notons qu'il peut arriver ici que deux utilisateurs cherchent la même information (i.e. ils sont censés prendre le même vol). Dans ce cas, en mode dynamique, l'écran est encore moins chargé que dans l'expérience précédente. Les résultats sont donnés par le tableau 9.3.

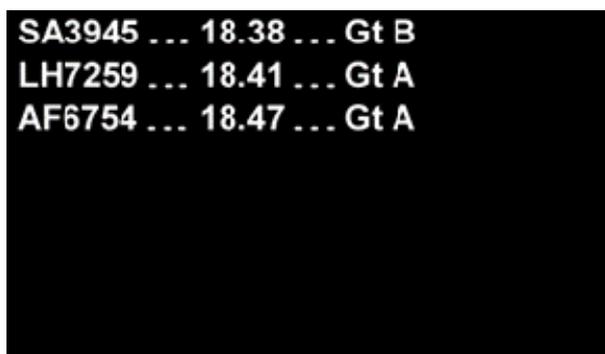


Figure 9.12. *Affichage dynamique des vols relatifs aux usagers situés à proximité*

Nombre de personnes	Temps moyen (s)	Écart-type	Temps minimum	Temps maximum
1	1,50	0,50	1,00	2,00
2	2,75	1,92	1,00	6,00
3	2,83	0,69	2,00	4,00
4	3,31	1,49	0,00	6,00
5	3,00	1,73	0,00	6,00
6	2,82	1,85	1,00	7,00
7	3,29	1,94	0,00	7,00
8	4,06	2,34	1,00	10,00

Tableau 9.3. *Temps de recherche d'une porte d'embarquement sur un écran dynamique*

Ces résultats conduisent à la conclusion suivante : la recherche d'une information est bien plus rapide lorsque ne sont présentées que les informations relatives aux utilisateurs situés à proximité immédiate (voir figure 9.13).

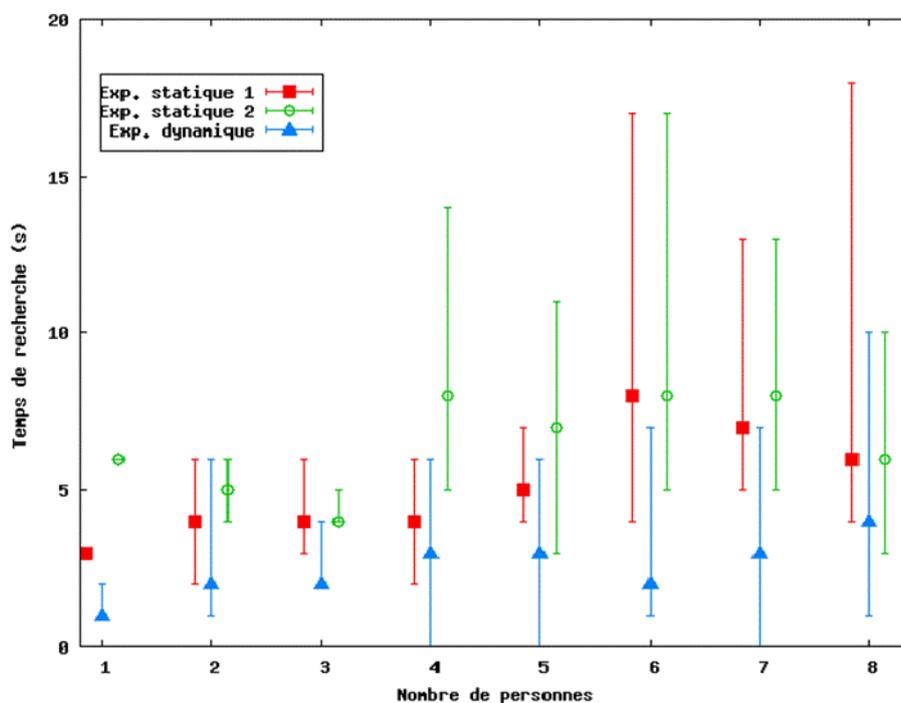


Figure 9.13. Comparaison des temps de recherche d'un vol en fonction du nombre de personnes présentes simultanément. Pour chaque cas étudié, un segment figure sur le graphique : il indique les temps minimum et maximum. Le point situé sur le segment représente le temps moyen. Pour des raisons de lisibilité, les résultats de l'expérience statique n°1 sont un peu décalés sur la gauche, tandis que ceux de l'expérience statique n°2 sont un peu décalés sur la droite. Les résultats de l'expérience dynamique figurent donc entre les résultats des deux expériences statiques.

9.8.1.4. Perception subjective de l'expérience

Nous avons soumis aux sujets un questionnaire afin d'analyser leur perception de cette expérience. Tout d'abord, la plupart des utilisateurs ont préféré les versions dynamiques des exercices : en général, ils trouvent cela « pratique », « facile », voire « amusant ». La recherche des informations leur semble généralement plus facile, car il y a moins d'items à parcourir, donc moins de *bruit* pour noyer l'information d'intérêt. Notons toutefois que la plupart de nos sujets avaient une vingtaine d'années, et du fait, étaient certainement plus réceptifs aux comportements dynamiques que la moyenne de la population. Ainsi, une personne un peu plus âgée

a définitivement préféré les affichages statiques, tout en se définissant comme étant « linéaire⁵ ».

Cependant, certaines personnes ont été gênées par un aspect des affichages dynamiques : le fait que la liste soit périodiquement réordonnée (lors de chaque arrivée ou départ d'utilisateur à proximité du dispositif d'affichage). En effet, il arrivait qu'une ligne donnée se déplace brusquement sur l'écran (du fait de l'arrivée d'un nouvel utilisateur et du maintien du tri des lignes en permanence), alors même qu'un utilisateur était en train de la lire. Ces fluctuations donnent un effet de *clignotement* qui est assez perturbant pour les utilisateurs. Dans la section 9.9, nous introduisons des ébauches de solution pour résoudre ce problème.

Les méthodes de recherche de l'information mises en œuvre ont été très classiques. La plupart des sujets ont commencé par rechercher l'heure de départ, puis ont vérifié à l'aide du numéro de vol (ou départagé les vols partant à la même heure).

La plupart des utilisateurs pensent que ce système peut être utile en pratique. Cependant, ils soulignent le fait que ses bénéfices sont visibles uniquement lorsqu'un petit nombre d'utilisateurs se trouvent à proximité d'un écran. En effet, si un grand nombre de personnes se trouvent rassemblées, les écrans afficheront également un grand nombre d'informations, et donc le gain sera nul par rapport à un système statique. Dans ce sens, l'un des sujets nous fait remarquer qu'il faudrait éviter que les passants non intéressés par les informations puissent perturber l'affichage des écrans.

9.8.1.5. Notes d'implémentation

Nous avons vu jusqu'ici le fonctionnement global de l'expérience de recherche d'information dans une liste, réalisée à l'aide de la plate-forme PRIAM. Dans cette section, nous voyons plus en détails comment cette expérience a été implémentée sur notre plate-forme, notamment en termes d'agents.

Le dispositif de présentation consistait en un simple ordinateur portable à grand écran (17 pouces). Pour des raisons de simplicité, et notamment pour ne pas dépendre d'une connexion réseau pour la réalisation de l'expérience, tous les agents fonctionnaient sur cet ordinateur portable. Les agents suivants ont été mis en œuvre :

- un agent informateur chargé d'attribuer les informations aux différents utilisateurs. Comme tous les autres agents de PRIAM, cet agent dispose d'un

⁵ Cette personne dit apprécier les recherches et les narrations unidimensionnelles. Par exemple, elle n'aime pas les bandes dessinées pour leur manque de linéarité, qu'elle trouve perturbant.

constructeur capable de créer une instance à partir d'une série de couples (attribut, valeur). Les affectations des informations peuvent lui être transmises par ce moyen, donc au final, les informations peuvent être stockées dans le fichier XML décrivant l'expérience. Cet agent informateur fournit leurs unités sémantiques à tous les agents utilisateurs connus : son espace de rayonnement est donc égal à l'espace d'utilisation du système ;

- les utilisateurs potentiels sont simplement représentés chacun par un agent utilisateur standard de PRIAM. Huit de ces agents sont donc instanciés ;

- un agent présentateur capable d'afficher les informations. Nous avons utilisé un dispositif de présentation adapté à la présentation de données tabulées, appelé *DisplayPanel*.

Nous avons également défini une classe d'unités sémantiques destinée à représenter une information de vol. Ces unités sémantiques sont capables de générer un contenu concret à l'intention d'un dispositif de présentation textuel, par exemple le *DisplayPanel*.

Afin que les agents utilisateurs détectent la proximité de l'écran, nous avons créé un service de localisation adapté à notre système de badges. Dès que le récepteur à infrarouges détecte un badge à proximité, les agents correspondant à l'écran et à l'utilisateur en question reçoivent une notification de proximité.

9.8.2. Expérience « Trouver son chemin dans une gare »

L'expérience précédente a démontré l'apport de notre système pour la recherche d'une information dans une liste, y compris par plusieurs utilisateurs simultanément. Nous cherchons maintenant à évaluer en quoi il peut constituer une aide lors de la recherche d'une direction.

Nous prenons comme exemple une configuration de gare classique (voir fig. 9.14). Un hall d'accueil permet d'accéder à un passage souterrain (ou bien une passerelle), qui à son tour donne accès aux différents quais par l'intermédiaire d'escaliers. Dans le hall d'accueil, un panneau d'affichage général indique les horaires et les quais de départ de tous les trains. De plus, au niveau de chaque escalier, un moniteur est situé dans le passage souterrain : il rappelle la liste des trains au départ sur le quai correspondant.

Cette organisation peut paraître assez complète, et de nature à guider parfaitement un voyageur. Par exemple, lorsqu'un usager arrive en gare, il commence par consulter le panneau d'affichage général, qui lui donne son numéro de quai. Il peut alors emprunter le passage souterrain. Au niveau de l'escalier qui mène à son quai, un moniteur lui confirme la destination. Cependant, ce schéma ne

tient pas compte des voyageurs en correspondance. En effet, ces derniers descendent d'un train sur l'une quelconque des voies, et doivent se diriger vers une autre voie. Sans information supplémentaire, ils doivent donc :

- soit se rendre dans le hall, consulter le panneau d'affichage général, et alors réemprunter le passage souterrain pour se rendre sur leur quai de destination ;

- soit se diriger dans une destination quelconque dans le passage souterrain, quitte à faire demi-tour pour aller explorer l'autre direction s'ils ne se sont pas dirigés du bon côté. En effet, ils ont dans ce cas en moyenne une chance sur deux de se tromper.

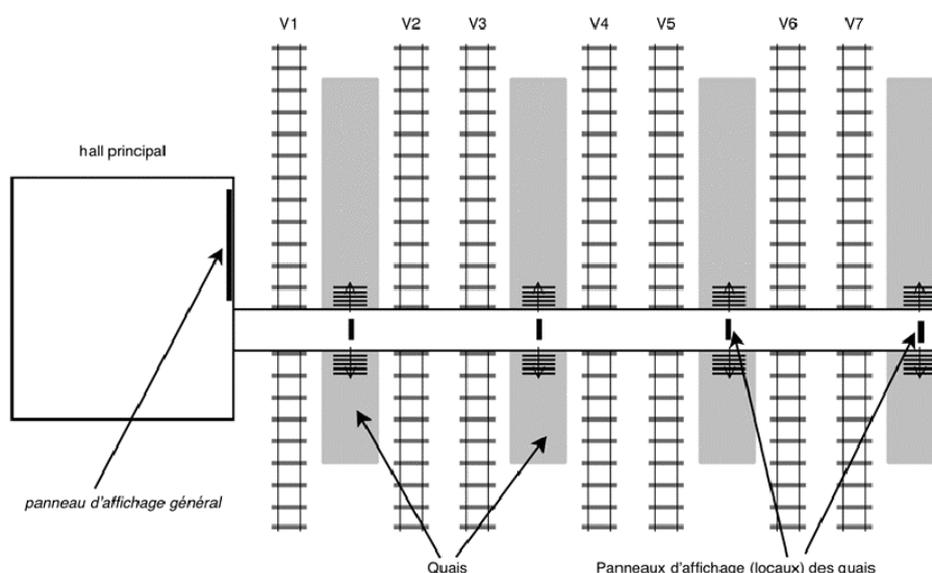


Figure 9.14. *Disposition classique d'une gare*

Dans les deux cas, ces stratégies sont sous-optimales, car les usagers sont obligés d'effectuer des déplacements inutiles. Non seulement ces déplacements sont fatigants, notamment lorsqu'on transporte des bagages, mais ils sont *stressants* psychologiquement si le temps de correspondance est court.

Il faudrait donc disposer d'un système d'information qui indique d'emblée leur quai de destination aux utilisateurs, sans qu'ils soient obligés d'effectuer des parcours inutiles. Certes, les messages vocaux sur les correspondances, diffusés lors de l'arrivée des trains en gare, sont censés remplir cet office, mais bien souvent ils ne sont pas compris ni même entendus par les voyageurs. Nous proposons donc

d'afficher sur les écrans du passage souterrain, *en plus des informations habituelles* (trains au départ du quai correspondant), les informations relatives aux trains des usagers qui s'approchent de ces écrans.

9.8.2.1. Description générale

Nous avons installé cinq écrans (des ordinateurs portables en réalité) dans un couloir de notre laboratoire, selon la configuration de la figure 9.15. Chacun de ces écrans correspond à un quai, numéroté de A à E. Les usagers peuvent partir de l'une des extrémités du couloir (repères 0 et 2), ou bien d'une position « médiane » (repère 1). Cette position médiane de départ ne se trouve pas précisément au milieu du couloir, mais elle se justifiait de par la configuration intrinsèque des lieux.

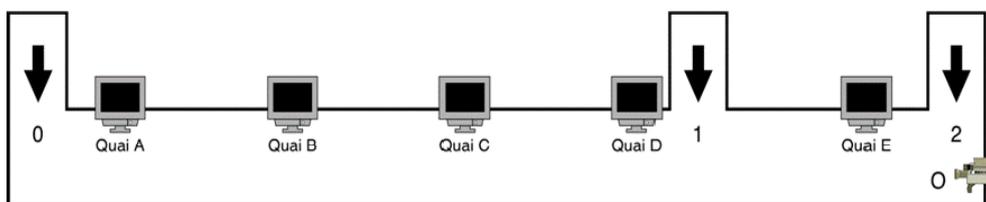


Figure 9.15. Installation réalisée pour l'expérience de recherche de direction. Le couloir de notre laboratoire figurait un passage souterrain d'une gare.

Dans deux cas (écrans statiques qui n'affichent que le train au départ sur leur quai, ou bien écrans dynamiques qui affichent des informations personnalisées), nous voulons étudier les déplacements des utilisateurs pour trouver leur quai, en fonction des différents points de départ possibles. Comme dans les expériences précédentes, nous avons filmé⁶ les expérimentations de façon à « segmenter » par la suite les déplacements des utilisateurs (voir fig. 9.16). Lors de cette segmentation, nous avons identifié deux types de déplacements élémentaires :

- avancée du quai Q_1 au quai Q_2 . Nous notons ce déplacement $Q_1 \rightarrow Q_2$.
Exemple : $A \rightarrow B$;
- demi-tour au niveau du quai Q . Nous notons ce déplacement $Q \cup$. Exemple : $C \cup$.

Ces deux types de déplacements permettent de décrire complètement la trajectoire des utilisateurs. Il nous a semblé bien plus pertinent de réaliser une telle segmentation que de mesurer le temps mis par les utilisateurs pour atteindre leur quai de destination, car ce temps peut dépendre de la vitesse de déplacement des utilisateurs, ce qui n'est absolument pas un paramètre pertinent pour notre étude. En

⁶ La caméra était située au niveau de la position d'observation notée O sur la figure 9.15.

effet, nous ne voulons pas que les mesures soient faussées par une marche plus ou moins rapide des sujets.



Figure 9.16. Extrait du film de l'expérience de recherche de direction

Dans chaque expérience, les utilisateurs devaient chercher le quai du train pour Lyon, en partant de l'un des trois repères 0, 1 et 2. Lorsqu'ils l'avaient trouvé, ils devaient s'arrêter devant l'écran correspondant et lever la main.

Pour l'exploitation des résultats, nous introduisons tout d'abord la notion de *longueur* d'un chemin. La longueur d'un chemin est égale au nombre de déplacements élémentaires sur ce chemin. Nous pouvons alors définir la *longueur relative* du chemin parcouru par un utilisateur comme étant égale au quotient de la longueur L_U du chemin effectivement parcouru par l'utilisateur par la longueur L_O du chemin optimal⁷. Par exemple, supposons que l'utilisateur se rende du repère 1 au quai B. Le chemin optimal est :

$$1 \rightarrow C, C \rightarrow B$$

On a donc $L_O = 2$. Supposons maintenant que l'utilisateur parcourt le chemin suivant :

$$1 \rightarrow C, C \rightarrow D, D \rightarrow E, D \cup, E \rightarrow D, D \rightarrow C, C \rightarrow B$$

⁷ Le *chemin optimal* est celui qui comporte le moins de déplacements élémentaires.

Dans ce cas, $L_U = 7$. La longueur relative L_R de ce chemin est donc $L_U/L_O = 7/2 = 3,5$. Cette longueur relative permet de caractériser n'importe quel chemin parcouru par rapport à l'optimum, sans qu'entre en compte l'éloignement entre le point de départ et le point d'arrivée. Nous jugeons donc qu'il s'agit d'un bon critère de comparaison entre expériences différentes.

9.8.2.2. Expériences à un utilisateur

Dans ces expériences, un seul utilisateur à la fois cherche son chemin.

Expérience témoin

Dans cette expérience, les écrans affichent uniquement des informations concernant le quai qui leur correspond (voir fig. 9.17). Les résultats sont donnés dans le tableau 9.4. On observe une grande disparité des résultats :

– lorsque l'utilisateur part de l'une des extrémités du couloir (repères 0 ou 2), la longueur relative moyenne est 1, ce qui montre que dans ce cas, les trajets sont optimaux. En effet, il suffit dans ce cas de suivre le couloir dans la seule direction possible, et l'utilisateur finit forcément par arriver à son quai de destination, sans risque de se tromper ;

– par contre, lorsque l'utilisateur part du milieu du couloir (repère 1), la longueur moyenne sur nos expériences a été de 2,75 : les trajets sont loin d'être optimaux, car l'utilisateur peut choisir l'une ou l'autre des deux directions, et donc a une chance sur deux de se tromper.



Figure 9.17. Affichage statique d'un train au départ d'un quai donné

Sujet	Dép	Dst	Déplacements	L_U	L_O	L_R
a	2	E	$2 \rightarrow E$	1	1	1,0
b	1	E	$1 \rightarrow D, D \rightarrow C, C \rightarrow B, B \rightarrow A, A \cup,$ $A \rightarrow B, B \rightarrow C, C \rightarrow D, D \rightarrow E$	9	2	3,5
c	0	E	$0 \rightarrow A, A \rightarrow B, B \rightarrow C, C \rightarrow D,$ $D \rightarrow E$	5	5	1,0
d	1	E	$A \rightarrow D, D \rightarrow C, C \rightarrow B, B \rightarrow A, A \cup,$ $A \rightarrow B, B \rightarrow C, C \rightarrow D, D \rightarrow E$	9	2	3,5
a	1	B	$1 \rightarrow D, D \rightarrow E, E \cup, E \rightarrow D, D \rightarrow C,$ $C \rightarrow B$	6	3	2,0
b	2	B	$2 \rightarrow E, E \rightarrow D, D \rightarrow C, C \rightarrow B$	4	4	1,0
c	1	B	$1 \rightarrow D, D \rightarrow E, E \cup, E \rightarrow D, D \rightarrow C,$ $C \rightarrow B$	6	3	2,0
d	0	B	$0 \rightarrow A, A \rightarrow B$	2	2	1,0
a	0	C	$0 \rightarrow A, A \rightarrow B, B \rightarrow C$	3	3	1,0
b	0	C	$0 \rightarrow A, A \rightarrow B, B \rightarrow C$	3	3	1,0
c	2	C	$2 \rightarrow E, E \rightarrow D, D \rightarrow C$	3	3	1,0
d	2	C	$2 \rightarrow E, E \rightarrow D, D \rightarrow C$	3	3	1,0

Tableau 9.4. Résultats de l'expérience de recherche de direction à l'aide d'écrans statiques. Les doubles lignes horizontales servent à séparer les différentes séries d'expérimentation.

Version dynamique

Dans cette version, les écrans affichent *en plus* les informations concernant les utilisateurs situés à proximité (voir fig. 9.18). Les heures de départ des trains de ces dernières, ainsi que leurs numéros de quais et des flèches indiquant les directions à suivre complètent l'affichage statique de base.

Comme dans l'expérience précédente, les utilisateurs qui partaient des extrémités du couloir (repères 0 et 2) suivaient déjà des trajectoires optimales, nous n'avons pas réitéré ces expériences, et nous sommes concentrés sur les expériences dans lesquelles les sujets partent du milieu du couloir (repère 1). Les résultats correspondants sont donnés dans le tableau 9.5.

On note que dans tous les cas, les déplacements sont optimaux. En moyenne, l'utilisation d'un système dynamique a ramené la longueur relative des trajets au départ du repère 1 de 2,75 à 1,00.

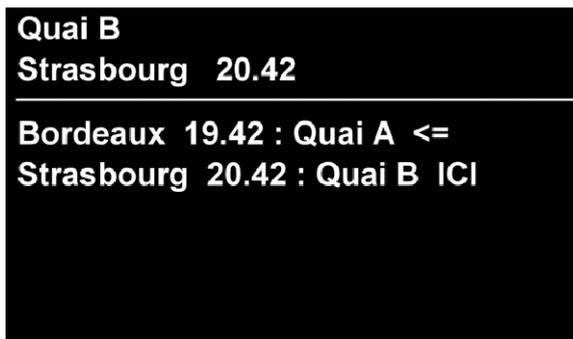


Figure 9.18. Affichage d'un train au départ d'un quai donné, complété par des informations dynamiques relatives aux utilisateurs situés à proximité. Cet affichage est à comparer avec celui de la figure 9.17.

Sujet	Dép	Dst	Déplacements	L_U	L_O	L_R
a	1	B	1 → D, D → C, C → B	1	1	1,0
b	1	B	1 → D, D → C, C → B	1	1	1,0
c	1	B	1 → D, D → C, C → B	1	1	1,0
d	1	B	1 → D, D → C, C → B	1	1	1,0
e	1	B	1 → D, D → C, C → B	1	1	1,0
a	1	E	1 → D, D → E	1	1	1,0
b	1	E	1 → D, D → E	1	1	1,0
c	1	E	1 → D, D → E	1	1	1,0
f	1	E	1 → D, D → E	1	1	1,0

Tableau 9.5. Résultats de l'expérience de recherche de direction à l'aide d'écrans dynamiques

9.8.2.3 Expériences à plusieurs utilisateurs

Nous avons également étudié le comportement de cette installation lorsque plusieurs utilisateurs recherchent simultanément leurs quais respectifs.

Trois utilisateurs devaient rechercher chacun une direction différente, correspondant à un train au départ sur l'un des cinq quais. Nous avons commencé par réaliser une expérience témoin dans laquelle les écrans étaient statiques, et n'affichaient que la destination du prochain train de leur quai. Les résultats sont donnés dans le tableau 9.6.

Sujet	Dép	Dst	Déplacements	L_U	L_O	L_R
a	1	A	1 → D, D → E, E ↻, E → D, D → C, C → B, B → A	7	4	1,75
b	1	B	1 → D, D → C, C → B	3	3	1,00
c	1	E	A → D, D → C, C → B, B → A, A ↻, A → B, B → C, C → D, D → E	9	2	4,50

Tableau 9.6. Résultats de l'expérience de recherche de direction par plusieurs utilisateurs à l'aide d'écrans statiques

La longueur relative moyenne pour cette expérience est de 2,42, ce qui montre encore une fois que les trajets suivis sont loin d'être optimaux. Ainsi, les sujets b et c sont d'emblée partis dans la mauvaise direction. Nous avons ensuite recommencé l'expérience en mode dynamique. Les résultats sont données dans le tableau 9.7.

Sujet	Dép	Dst	Déplacements	L_U	L_O	L_R
a	1	A	1 → D, D → C, C → B, B → A	4	4	1,0
b	1	E	1 → D, D → E	2	2	1,0
c	1	B	1 → D, D → C, C → B	3	3	1,0

Tableau 9.7. Résultats de l'expérience de recherche de direction par plusieurs utilisateurs à l'aide d'écrans dynamiques

Dans ce cas, tous les trajets sont optimaux. Ainsi, même lorsque plusieurs utilisateurs sont présents, l'utilisation de PRIAM pour fournir aux utilisateurs des informations dynamiques et personnalisées permet de faire gagner un temps précieux à ces derniers lorsqu'ils se déplacent.

9.8.2.4 Notes d'implémentation

L'implémentation suivait les mêmes principes que pour l'expérience de recherche d'un vol. Nous avons utilisé les agents suivants :

- un agent informateur chargé de fournir à chaque utilisateur l'unité sémantique correspondant à sa destination ;
- quelques agents utilisateurs standards : un seul suffit dans le cas où un seul utilisateur parcourt le passage souterrain ; pour l'expérience à trois utilisateurs, nous avons mis en place trois de ces agents ;
- cinq agents présentateurs, responsables chacun de l'écran correspondant.

Lors de la réalisation pratique de l'expérience, nous avons utilisé cinq ordinateurs portables pour représenter les cinq écrans, tout en gardant la même architecture. Cependant, afin d'éviter les problèmes liés aux connexions réseau entre les ordinateurs⁸, nous avons préféré dupliquer l'agent informateur et les agents utilisateurs *sur chacun des cinq ordinateurs portables*. En résumé, chaque ordinateur contenait donc :

- une copie de l'agent informateur ;
- une copie de tous les agents utilisateurs reliés au système de localisation par infrarouges ;
- l'agent présentateur lui correspondant.

En règle générale, une telle duplication des agents pourrait poser problème, car différentes *instances* du même agent pourraient se trouver dans des états différents, ce qui serait incohérent. Cependant, dans le cadre très restreint de notre expérimentation, cela n'a pas perturbé le fonctionnement global du système, car les agents utilisateurs mis en œuvre n'avaient pas d'*états* particuliers.

9.9. Conclusions et perspectives

Nous avons présenté un modèle conceptuel pour la présentation multimodale d'informations à des utilisateurs mobiles, ce qui trouve son application naturelle aux gares et stations. Ce modèle s'accompagne d'algorithmes pour le choix des modalités en fonction des capacités des dispositifs interactifs et des utilisateurs. Ce modèle et ses algorithmes ont été mis en œuvre dans la plate-forme PRIAM, qui nous a permis de conduire des expérimentations en conditions pseudo-réelles. Ces expériences ont

⁸ Bien qu'au début de ce chapitre nous ayons formulé une hypothèse selon laquelle toutes les entités seraient reliées par un réseau sans fil, nous avons préféré ne pas faire dépendre nos expérimentations d'éventuels problèmes liés au réseau.

montré l'intérêt d'effectuer une sélection dans les informations présentées dans les lieux publics, en fonction des personnes situées devant le dispositif de présentation.

Cependant, il doit être possible de faciliter encore la recherche des informations. Sur un dispositif de présentation donné, par exemple sur un écran, nous pourrions classer les différentes unités sémantiques (u.s.) affichées. De la sorte, il serait possible d'affecter une *priorité* à chaque u.s. Ainsi, les u.s. les plus prioritaires (par exemple, des informations sur des départs imminents, ou sur des disparitions d'enfants) apparaîtraient en premier. De même, il pourrait y avoir des priorités entre utilisateurs. Par exemple, les personnes handicapées ou les souscripteurs de formules *privilégiées* auraient une plus grande priorité. De plus, lorsque la présentation simultanée d'un grand nombre d'u.s. serait impossible, les priorités aideraient à choisir lesquelles seraient présentées en priorité.

Pour éviter de perturber les utilisateurs qui ont déjà repéré l'information qui les intéresse dans une liste, mais qui n'ont pas encore fini de la lire, il pourra être pertinent d'étudier comment introduire de nouvelles informations, ou supprimer des informations devenues inutiles, de façon non intrusive. On peut par exemple imaginer que les items restent à leur place tant que c'est possible, et que des transitions douces soient mises en place s'il devient nécessaire de les déplacer.

L'affichage d'informations sélectionnées en fonction des personnes présentes peut soulever des problèmes de respect de la vie privée. Imaginons en effet qu'un utilisateur soit seul devant un écran : alors seules ses informations sont affichées, par exemple sa destination. Cela peut permettre à des personnes mal intentionnées d'apprendre des informations privées sur cet utilisateur. Ce problème peut être résolu en *brouillant* l'affichage, c'est-à-dire en affichant dans ce cas quelques informations non pertinentes de façon à tromper les importuns.

A court terme, nos expérimentations grandeur nature nous permettront d'évaluer l'utilisabilité de ce type de systèmes d'information dynamiques, ainsi que l'utilisabilité de la plate-forme du point de vue des développeurs. Nous espérons en déduire des lignes directrices pour la conception d'applications grâce à la plate-forme PRIAM.

9.10. Bibliographie

[BAS 92] BASS L., FANEUF R., LITTLE R., MAYER N., PELLEGRINO B., REED S., SEACORD R., SHEPPARD S., SZCZUR M., « A Metamodel for the Runtime Architecture of an Interactive System », *SIGCHI Bulletin*, vol. 24, n°1, 1992, p. 32-37.

[BEL 95] BELLIK Y., « Interfaces Multimodales : Concepts, Modèles et Architectures », thèse de doctorat, Université Paris-Sud 11, Orsay, 1995.

- [COU 87] COUTAZ J., « PAC, an Object-Oriented Model for Dialog Design », In *Proceedings INTERACT 87 - 2nd IFIP International Conference on Human-Computer Interaction*, 1987, North-Holland, p. 431-436.
- [DUC 01] DUCATEL K., BOGDANOWICZ M., SCAPOLO F., LEIJTEN J., BURGELMAN J-C., « Scenarios for Ambient Intelligence in 2010. Final Report, Information Society Technologies Advisory Group (ISTAG) », 2001, European Commission.
- [EAG 05] EAGLE N., PENTLAND A., « Social Serendipity: Mobilizing Social Software », *IEEE Pervasive Computing*, vol. 4, n°2, 2005, p. 28-34.
- [EMI 05] EMILIANI P-L., STEPHANIDIS C., « Universal access to ambient intelligence environments: Opportunities and challenges for people with disabilities », *IBM Systems Journal*, vol. 44, n°3, 2005, p. 605-619.
- [HUL 97] HULL R., NEAVES P., BEDFORD-ROBERTS J., « Towards Situated Computing », *Proceedings of ISWC '97*, Washington, DC, USA, 1997, IEEE Comp. Soc., p. 146.
- [JAC 04] JACQUET C., BELLIK Y., BOURDA Y. « A Context-aware locomotion assistance device for the blind », *People and computers XVIII – design for life*, Springer-Verlag, London, 2004, p. 315-328.
- [JAC 06a] JACQUET C., BELLIK Y., BOURDA Y., « Dynamic Cooperative Information Display in Mobile Environments », *Proceedings of the 10th International Conference on Knowledge-Based & Intelligent Information & Engineering Systems, KES 2006*, Bournemouth, England, 2006, p. 154-161.
- [JAC 06b] JACQUET C., BELLIK Y., BOURDA Y., « KUP, un modèle pour la présentation multimodale et opportuniste d'informations en situation de mobilité », *Ingénierie des systèmes d'information (ISI), numéro spécial « Adaptation et gestion de contexte »*, vol. 11, n°5, 2006, Lavoisier, p. 115-139.
- [JAC 07] JACQUET C., « IRIS : identification d'utilisateurs par badges infrarouges », *Actes d'IHM 2007*, 2007, ACM Press, p. 287-290.
- [JAC 09] JACQUET C., BELLIK Y., « Présentation ciblée d'informations dans les moyens de transport », *Génie Logiciel*, n° 91, p. 27-34, 2009.
- [KIN 01] KINDBERG T., BARTON J., « A Web-based nomadic computing system », *Computer Networks*, vol. 35, n°4, 2001, pp. 443-456.
- [KRA 88] KRASNER G., POPE S., « A cookbook for using the model-view controller user interface paradigm in Smalltalk-80 », *Journal of Object Oriented Programming*, vol. 1, n°3, 1988, p. 26-49.
- [LON 96] LONG S., KOOPER R., ABOWD G., ATKESON C., « Rapid Prototyping of Mobile Context-Aware Applications: The Cyberguide Case Study », *Proceedings of the 2nd annual international conference on Mobile computing and networking*, ACM Press, 1996, p. 97-107.
- [RAM 07] RAMOS C., « Ambient Intelligence – A State of the Art from Artificial Intelligence Perspective », In *Progress in Artificial Intelligence*, Lecture Notes in Computer Science, n°4874, 2007, p. 285-295.

- [RIS 05] RIST T., «Supporting Mobile Users Through Adaptive Information Presentation », *Multimodal Intelligent Information Presentation*, 2005, Springer, ch. 6, p. 113-141.
- [ROU 06] ROUSSEAU C., BELLIK Y., VERNIER F., BAZALGETTE D., « A Framework for the Intelligent Multimodal Presentation of Information », *Signal Processing*, Vol. 86, Issue 12, 2006, Elsevier, p. 3696-3713.
- [STE 05] STEGGLES P., GSCHWIND S., « Ubisense – a smart space platform », *Adjunct Proceedings of the Third International Conference on Pervasive Computing*, Munich, 2005.
- [STR 05] Streitz N.A., RÖCKER C., PRANTE T., VAN ALPHEN D., STENZEL R., MAGERKURTH C., « Designing Smart Artifacts for Smart Environments », *IEEE Computer*, vol. 38, n°3, 2005, p. 41-49.
- [VOG 04] VOGEL D., BALAKRISHNAN R., « Interactive public ambient displays: transitioning from implicit to explicit, public to personal, interaction with multiple users », *UIST '04*, Santa Fe, NM, USA, 2004, ACM Press, p. 137-146.
- [WEI 93] WEISER M., « Some computer science issues in ubiquitous computing », *Communications of the ACM*, vol. 36, n°7, 1993, p. 75-84.
- [ZOC 02] ZOCK M., SABAH G., « La génération automatique de textes », In M. Fayol (ed.), *Production du langage*, 2002, Hermès, Paris, p. 263-285.