

Caractéristiques, enjeux et défis de l'informatique portée

Nicolas Plouznikoff

nicolas.plouznikoff_@_polymtl.ca

École Polytechnique de Montréal
C.P. 6079, Succ. Centre-Ville
Montréal, QC, Canada, H3C 3A7

Jean-Marc Robert

jean-marc.robert_@_polymtl.ca

RÉSUMÉ

Cet article présente un tour d'horizon des caractéristiques, des enjeux et des défis de l'informatique portée. Les ordinateurs portés sont portés sur soi. Ils possèdent quatre caractéristiques fondamentales qui les distinguent des systèmes informatiques traditionnels: ils sont mobiles, constamment disponibles, (pro)actifs et peuvent être utilisés de façon relativement transparente. Leur rôle est d'assister l'utilisateur qui se déplace dans la réalisation de tâches du monde réel. Puisqu'ils sont portés par l'utilisateur et qu'ils doivent respecter de sévères contraintes de poids, de taille, de transparence dans l'utilisation, etc. leur interface a un impact déterminant sur l'acceptabilité par l'utilisateur, puis sur la performance et la satisfaction humaine. Les caractéristiques de différents périphériques d'entrée et de sortie, et leurs impacts sur la perception et la cognition humaine sont analysés. Puis nous soulignons l'inadéquation des périphériques et des mécanismes d'interaction des ordinateurs conventionnels pour les ordinateurs portés. Enfin, des exemples de tâches et de domaines d'applications qui se prêtent bien à l'utilisation d'ordinateurs portés sont présentés.

MOTS CLÉS : Ordinateur porté, interfaces humains-ordinateur, informatique mobile.

ABSTRACT

This article presents an overview of the characteristics, issues and challenges of wearable computing. Wearable computers are worn on the body. They possess four fundamental characteristics setting them apart from traditional computing devices: they are mobile, constantly available, (pro)active and can be used in a relatively transparent way. Their role is to assist a user who moves about while accomplishing real-world tasks. Since they are carried by the user and must face severe

constraints of weight, size, seamless use, etc., their interface has a definite impact on user acceptability, and eventually on human performance and satisfaction. We analyze the characteristics of various input and output peripherals, and their impacts on human perception and cognition. We then emphasize the inadequacy of the peripherals and interaction mechanisms of traditional computers for wearable computers. Finally, we give several examples of tasks and application domains that could make good use of wearable computers.

CATEGORIES AND SUBJECT DESCRIPTORS : C.5.3 [Computer System Implementation]: Microcomputers - Portable devices (e.g., laptops, personal digital assistants); H.5.2 [Information Interfaces and Presentation]: User Interfaces.

GENERAL TERMS : Human Factors, Theory, Design.

KEYWORDS : Wearable computer, human-computer interfaces, mobile computing.

INTRODUCTION

Dans le cadre de leurs activités les individus se déplacent et ont régulièrement besoin de communiquer, d'accéder à de l'information ou de recueillir des données pendant ces déplacements. L'informatique mobile, portée ou symbiotique, répond à leurs besoins par le biais de systèmes informatiques variés (ex., ordinateur porté, téléphone cellulaire, assistant numérique personnel).

De l'informatique mobile...

Deux tendances fondamentales, la miniaturisation et l'intégration, ont favorisé l'émergence de l'informatique mobile. Le concept d'informatique mobile réfère à la capacité d'accéder à des services ou à des applications indépendamment de la localisation physique des utilisateurs, de leurs comportements ou de leurs mouvements. L'informatique mobile se distingue principalement de l'informatique classique fixe par le nomadisme, c.-à-d. la mobilité des utilisateurs et de leurs équipements, et la rareté des ressources, aussi bien du côté du matériel (la limitation de la taille des claviers et de l'écran, de la bande passante, de l'énergie disponible) que du côté de l'utilisateur (qui a une attention limitée ou peut avoir les deux mains occupées, par exemple).

La mobilité impose de nombreuses contraintes de conception concernant la taille, le poids, les capacités de traitement et d'affichage des unités mobiles, la largeur de bande sans-fil et les déconnexions intermittentes, l'autonomie des batteries, les problèmes de la dissipation de chaleur, etc. Toutefois, c'est au niveau de l'interaction entre les utilisateurs et les appareils mobiles actuels que se trouve la plus importante limitation de ces derniers. En effet, ils ne diffèrent pas, ou très peu, des ordinateurs fixes conventionnels dans la mesure où l'utilisateur doit arrêter ses activités pour concentrer son attention sur le dialogue avec la machine. Par exemple, ces appareils sont incapables d'offrir l'information dont l'utilisateur a besoin précisément ou à l'instant où il en a besoin, sans monopoliser toute son attention.

...à l'informatique portée

L'informatique mobile n'est qu'un premier pas dans une direction qui nous mène vers un support informatique transparent disponible en tout temps et en tout lieu. Cela nous renvoie à l'idée d'une informatique omniprésente (*ubiquitous computing*) se manifestant à la fois par une diffusion de l'informatique dans l'environnement (*pervasive computing*) et sur l'utilisateur [20] (*wearable computing*). Les ordinateurs se sont constamment rapprochés de l'utilisateur et leur entrée dans notre espace personnel suit cette tendance. L'idée de pouvoir apporter notre ordinateur avec nous partout pour qu'il puisse nous assister dans nos tâches quotidiennes est très séduisante. La prochaine vague de l'informatique prend ainsi forme à travers des plates-formes portées sur soi et constamment disponibles, des ordinateurs sensibles à l'utilisateur mais aussi à son environnement. De par leur proximité avec l'utilisateur, leurs caractéristiques et leur contexte d'utilisation, la place que les ordinateurs portés vont occuper et le rôle qu'ils vont jouer apparaissent très différents de ceux des ordinateurs conventionnels.

DÉFINITION D'UN ORDINATEUR PORTÉ

Portable versus porté

Faisons d'abord la distinction entre « portable » et « porté ». Le terme « portable » indique un objet pouvant être transporté (peu importe la façon) par l'utilisateur. La catégorie des plates-formes informatiques portables englobe donc tout système informatique mobile : ordinateurs portables (*laptops*), téléphones cellulaires, assistants numériques personnels, etc. De façon générale, le terme « porté » indique un objet porté sur soi, intégré à des vêtements ou non, qui est utile et fonctionnel tout en étant porté. Un système informatique porté est donc un système informatique portable mais pas nécessairement l'inverse. Cette distinction faite nous pouvons définir ce qu'est un « *ordinateur porté* ».

Ordinateur porté

Un « *ordinateur porté* » peut intuitivement être imaginé comme étant de petite taille, porté sur soi, intégré étroitement à l'utilisateur et l'aidant à réaliser des tâches.

Cependant, il n'existe pas de consensus sur la définition d'un ordinateur porté, bon nombre de chercheurs ne s'accordant pas sur la signification exacte de l'adjectif porté (*wearable*) lorsque appliqué à un ordinateur. Par exemple, des caractéristiques idéales ont été proposées par Mann [14]. Cependant, elles ne sont pas très pratiques pour déterminer à quelle catégorie appartient tel ou tel système informatique car elles rapprochent plus d'une liste de propriétés abstraites; un ordinateur porté devant être

- non monopolisant : il ne coupe pas l'utilisateur du monde réel;
- non restrictif : il est possible de réaliser d'autres tâches tout en utilisant l'ordinateur;
- observable : l'ordinateur peut obtenir l'attention continue de l'utilisateur si ce dernier le désire;
- contrôlable : l'utilisateur peut prendre le contrôle à tout moment;
- attentif : l'ordinateur est multimodal, sensible au contexte, et fait appel à plusieurs sens de l'utilisateur;
- communicatif : l'ordinateur agit comme un médium pour communiquer avec d'autres personnes ou assister la production de médias expressifs ou communicatifs.

D'autres chercheurs comme Starner [24] ont aussi tenté de donner une définition d'un ordinateur porté idéal par le biais des fonctions que ce dernier devrait remplir :

- offrir un accès continu à des services d'information;
- détecter et modéliser le contexte de l'utilisateur pour mieux répondre à ses besoins;
- adapter la modalité de ses interactions selon le contexte de l'utilisateur;
- augmenter les interactions de l'utilisateur avec l'environnement et s'interposer entre les deux.

Toutefois, d'autres types d'ordinateurs portables pourraient remplir ces fonctions qui ne placent aucune contrainte sur l'accessibilité, l'intégration à la tâche, etc. D'autres termes (ordinateur corporel, ordinateur vêtement, ordinateur vestimentaire, ordinateur capillaire) ont aussi été proposés pour désigner un ordinateur porté mais ils sont limitatifs puisqu'ils ne retiennent généralement qu'une seule façon de porter un tel système (sur le corps ou dans des vêtements).

Caractéristiques d'un ordinateur porté

Pour clarifier la définition d'ordinateur porté, nous proposons un système de classification unificateur tirant profit à la fois des travaux de pionniers tel Mann, Starner ou Rhodes mais aussi d'une analyse des systèmes informatiques portables existants et de notre propre expérience avec de tels systèmes. Nous avons identifié quatre caractéristiques clés des ordinateurs portés : ils sont mobiles, constamment disponibles, (pro)actifs et transparents. La figure 1 permet ainsi de classer un système informatique portable en fonction des quatre dimensions associées, pour déterminer s'il peut être considéré comme un ordinateur porté ou non, et si c'est le cas de préciser cette classification en fonction d'une cinquième dimension reflétant son rôle.

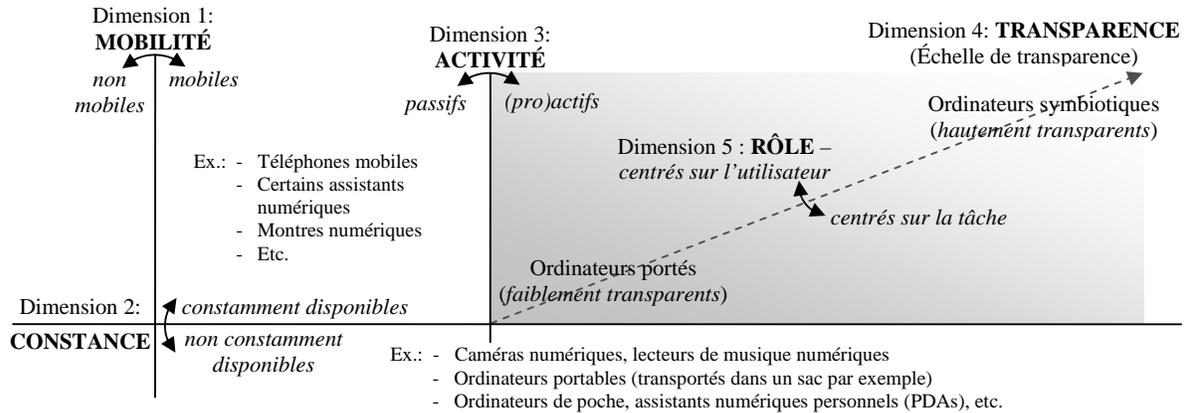


Figure 1. Classification des systèmes informatiques portables

Mobilité. La mobilité est le tout premier attribut que peut posséder un système informatique portable. Pour être mobile ce dernier doit pouvoir accompagner l'utilisateur sans gêner de façon significative ses activités et il doit ainsi être léger et de petite taille. Transporter à bout de bras un ordinateur de bureau ne le transforme pas en un système informatique mobile. Par contre, un ordinateur portable (*laptop*) transporté dans un sac à dos pourrait être considéré comme un système informatique mobile.

Constance. Les systèmes informatiques mobiles peuvent être divisés en deux classes. D'une part ceux qui sont constamment disponibles : toujours en fonction lorsque portés (constance physique), toujours allumés (constance opérationnelle) et toujours prêt à interagir avec l'utilisateur (constance dans les interactions). D'autre part les systèmes qui ne sont pas constamment disponibles et voient leur utilité diminuée puisqu'ils ne peuvent servir immédiatement et en tout lieu. Ainsi, il est rare que les assistants numériques personnels (*PDAs*) soient constamment disponibles tandis que les téléphones cellulaires sont généralement constamment disponibles puisqu'ils peuvent être toujours allumés, en attente d'un appel ou d'une entrée vocale de l'utilisateur.

Activité. Parmi les systèmes informatiques constamment disponibles, on peut distinguer les systèmes passifs et les systèmes (pro)actifs. Les premiers ne réagissent qu'aux actions explicites de l'utilisateur destinées à contrôler le système. Les seconds peuvent également réagir à de telles actions mais ils n'en sont pas tributaires car ils sont sensibles à l'utilisateur et à son environnement: ils sont continuellement en mesure de détecter, quantifier et modéliser, en tout ou en partie et de façon autonome, le contexte de l'utilisateur. Le contexte est défini comme l'ensemble des conditions inter-reliées dans lesquelles les interactions entre l'utilisateur et le système se produisent, c.-à-d. l'état de l'utilisateur, ses actions dans le monde réel, l'environnement immédiat, etc. Les systèmes informatiques (pro)actifs sont des systèmes sensibles au contexte, qui pourra être utilisé comme

cadre de référence lors d'opérations subséquentes, pour réagir aux actions implicites de l'utilisateur par exemple.

Transparence. Finalement, un système informatique actif peut être catégorisé selon le niveau de transparence des interactions humain-ordinateur: plus les interactions s'effacent devant la tâche à réaliser dans le monde réel plus la transparence est grande. Les accès au système, autant en entrée qu'en sortie, devraient s'intégrer naturellement, et idéalement sans discontinuités, dans le flot des activités nécessaires à l'accomplissement de la tâche. Il n'existe cependant aucun moyen d'évaluer globalement et de façon objective cette transparence. Une évaluation subjective utilisant une échelle relative de transparence sur laquelle chaque système peut être placé par rapport aux autres est tout de même possible. Ainsi, un système hautement transparent doit :

- gérer adéquatement l'attention de l'utilisateur;
- répondre à des commandes naturelles;
- fournir une rétroaction intégrée au monde réel.

Ces principes généraux pour l'évaluation de la transparence doivent nécessairement être complétés ensuite par des outils d'évaluation, classifications et taxonomies spécifiques à la tâche à supporter et aux méthodes d'interactions choisies. Par exemple, pour un système utilisant la réalité augmentée comme méthode d'interaction primaire, la taxonomie de la réalité mixte de Milgram [15] ou une évaluation de la continuité et de la compatibilité [8] pourrait contribuer à estimer en partie cette transparence. Un ordinateur porté est un système actif démontrant un minimum de transparence. Selon la tâche en cours et le rôle de l'ordinateur dans sa réalisation, cela peut signifier ne pas accaparer l'attention visuelle de l'utilisateur, fonctionner en mode mains libres, etc. Un système passif ne peut être transparent car l'utilisateur doit spécifier le contexte manuellement et sans ambiguïté. Sans contexte, certaines informations ou possibilités d'interactions présentées à l'utilisateur ne seront pas liées à sa situation actuelle.

Rôle. De par sa proximité avec l'utilisateur, un ordinateur porté est un ordinateur vraiment personnel. Le

contexte d'utilisation d'une telle machine est caractérisé par la mobilité de l'utilisateur dans un environnement où les interactions humain-ordinateur ne constituent pas la tâche primaire. Un ordinateur porté ne devrait donc pas être limité à des rôles traditionnels ou même opérer selon le paradigme actuel des interfaces graphiques (WIMP : fenêtres, icônes, menus, pointeurs). De façon générale, le rôle de cet ordinateur est d'assister l'utilisateur dans la réalisation d'une tâche du monde réel, soit directement, soit en effectuant en arrière-plan différentes opérations mineures ou secondaires. Un ordinateur porté peut contribuer à « augmenter l'utilisateur » au sens de Mackay [13], en lui donnant accès à des informations, mais il n'est pas limité à un tel rôle. Ainsi, afin d'aider à la réalisation d'une tâche spécifique, l'ordinateur porté pourrait devoir soutenir jusqu'à quatre types d'activités :

- le recueil de données
- l'accès à des informations
- la communication et l'échange d'informations
- la prise de décision et/ou l'exécution.

À travers ces types d'activités, il est possible de distinguer deux familles pour les ordinateurs portés selon la nature des tâches qu'ils soutiennent. Il s'agit d'un axe additionnel permettant de les différencier. La première famille est constituée d'ordinateurs portés centrés sur la tâche, dont le rôle est d'améliorer la capacité de l'utilisateur à effectuer dans un temps limité et un environnement bien circonscrit une série d'activités spécifiques et ordonnées. Il s'agit souvent de systèmes informatiques destinés à soutenir une tâche industrielle précise, comme par exemple une tâche d'inspection. La seconde famille est constituée d'ordinateurs portés centrés sur l'utilisateur, dont le rôle est de fournir à ce dernier un support informatique de tous les jours. L'ordinateur porté doit alors pouvoir soutenir différentes activités informelles et non-structurées. Ici, les interactions sont continues, les tâches sont interruptibles, sans début ni fin précise, et plusieurs activités peuvent être concurrentes. Il est nettement plus difficile de concevoir des ordinateurs portés pour ce rôle.

La prochaine étape : l'ordinateur symbiotique

Un ordinateur porté doit pouvoir être utilisé naturellement, comme un prolongement de l'utilisateur. Ce dernier peut alors concentrer son attention sur ce qu'il veut faire dans le monde réel et non pas sur la façon de le faire avec l'ordinateur, sur l'information dont il a besoin et non pas sur la manière d'y accéder ou de la demander. Pour reprendre l'idée de Norman, un outil technologique transparent devrait s'effacer devant l'activité humaine et devenir « invisible » [17]. Les ordinateurs portés actuels se trouvent au bas de l'échelle de la transparence tandis que l'idéal à atteindre, les ordinateurs symbiotiques, se trouvent à l'autre extrémité. Un ordinateur symbiotique est un ordinateur porté, constamment disponible, (pro)actif, faisant preuve d'un très haut degré de transparence dans son utilisation et qui peut lui aussi être centré soit sur la tâche soit sur l'utilisateur. L'adjectif « symbiotique » (du grec *sun* -

avec et *bios* - vie) fait référence à l'union étroite entre des entités et à leur association qui permet à chacun d'exploiter les avantages de l'autre. Il ne s'agit pas nécessairement d'une symbiose physique mais plutôt, comme l'a imaginé Licklider [11] et l'a repris Mann [14], d'une symbiose mentale résultant des interactions humain-ordinateur constantes, naturelles et transparentes. Même s'il évoque des images de cyborgs, le terme « ordinateur symbiotique » caractérise bien la relation existant entre l'utilisateur et cette machine. L'utilisateur bénéficie en tout temps et de façon transparente de la rapidité de traitement et de l'énorme capacité de stockage de la machine, tandis que cette dernière se sert de l'utilisateur pour obtenir de l'information et interpréter des situations complexes ou ambiguës.

INTERAGIR AVEC DES ORDINATEURS PORTÉS

Selon l'application choisie, un ordinateur porté aura plus ou moins de fonctionnalités et sera formé de différentes composantes matérielles : unité centrale de traitement miniature (le cœur de l'ordinateur), divers périphériques d'entrée (clavier, senseurs, etc.) et de sortie (dispositif d'affichage visuel, écouteurs, etc.), source d'énergie, etc. et les connexions nécessaires pour relier toutes ces composantes qui sont distribuées autour de l'utilisateur. Plusieurs limitations technologiques freinent actuellement le développement des ordinateurs portés [24] (poids et taille des composantes électroniques, densité énergétique des batteries, dissipation de la chaleur produite, etc.) et de nombreux compromis doivent être faits lors de leur conception. Cependant, il est clair que l'évolution technologique [26] va faire graduellement disparaître ces limitations. Le défi majeur résidera alors dans la conception et la mise au point de l'interface humain-machine. Le corpus de connaissances actuelles dans le domaine des interfaces doit être revu, ajusté, complété pour tenir compte des particularités des ordinateurs portés. Les sections qui suivent présentent un survol des principaux aspects et composantes des interactions humain-ordinateur porté afin de donner un aperçu global du domaine et mettre en relief l'interdépendance des disciplines intervenant lors de l'ingénierie des interactions humain – ordinateur porté.

Aspects matériels

Les périphériques d'entrée et de sortie traditionnels (ex., clavier, souris, écran) sont peu ou pas appropriés pour les ordinateurs portés en raison de leur taille, de leur mode d'utilisation ou du niveau d'attention requis pour les utiliser. De nouveaux périphériques sont donc nécessaires. Nous ne mentionnerons ici que quelques exemples typiques de périphériques d'entrée et de sortie destinés à des ordinateurs portés.

Périphériques d'entrée de données et de pointage.

Selon la tâche à effectuer, les périphériques d'entrée et de pointage doivent pouvoir permettre de saisir des données alpha-numériques, de pointer et de sélectionner

des objets, et de naviguer dans l'interface. Afin d'adapter des dispositifs de sélection conventionnels tels la souris ou le bâton de commande aux ordinateurs portés, ils doivent se libérer des support de travail conventionnels. Ainsi, le positionnement d'une surface de sélection sur le corps de l'utilisateur a été étudié, par exemple dans [28], et il ressort que les emplacements optimaux se trouvent sur le devant de la cuisse et sur l'avant-bras. Pour une entrée extensive de données, un clavier est souvent indispensable. Les claviers conventionnels étant trop encombrants, les ordinateurs portés utilisent des claviers miniatures placés sur l'avant-bras ou des claviers à cordes (*chord keyboard*) incorporant parfois un dispositif de pointage, tenant dans une seule main et pour lesquels un caractère correspond à une combinaison de touches (Figure 2.a). Ces claviers sont robustes, peu encombrants et permettent une vitesse de frappe adéquate (jusqu'à 70 mots/min) pour un temps d'apprentissage raisonnable; même s'ils diminuent quelque peu la transparence globale du système. D'autres prototypes opèrent même sans bouton ni surface de travail, en interprétant les mouvements des doigts ou les gestes de l'utilisateur. De tels dispositifs restent encore peu fiables mais montrent bien que la tendance est à la disparition des actuateurs purement physiques. Dans une telle optique, la reconnaissance vocale est utilisée lorsque l'utilisateur doit avoir les mains libres pour réaliser la tâche. Cependant, ainsi que le souligne Starner [25], elle se limite généralement à des commandes simples et n'est pas adaptée à des environnements bruyants ou devant être silencieux. Divers autres senseurs (ex., GPS, caméra, senseurs biologiques) permettant d'acquérir des données relatives au contexte sont également des périphériques d'entrée couramment employés pour les ordinateurs portés.

Périphériques de sortie. Les périphériques de sortie doivent être en mesure de fournir à l'utilisateur une rétroaction sur ses entrées et lui donner accès aux informations nécessaires à la tâche. Les périphériques de sortie les plus utilisés sont des dispositifs d'affichage visuels. Il s'agit d'un ou de plusieurs écrans miniatures placés à quelques centimètres de l'œil (Figure 2.b). Nous distinguons deux types de dispositifs visuels : les dispositifs opaques (qui bloquent en partie la vue de l'utilisateur) et les dispositifs semi-transparentes. Si nous apparentons l'affichage d'information à de la réalité mixte, ces dispositifs correspondent respectivement à des dispositifs égocentriques de classe 3 et 4 de la classification de Milgram [15]. D'autres périphériques de sortie font appel aux autres sens tels que l'ouïe et le toucher pour transmettre différentes informations à l'utilisateur, par exemple des systèmes de synthèse de la parole, utilisant des sons ou de la musique, ou produisant des vibrations (pour des environnements trop bruyants ou trop lumineux pour l'utilisation d'autres périphériques). Finalement, tout comme pour les interfaces d'entrée, les interfaces de sortie deviennent de

plus en plus multimodales en combinant de façon synergique ou redondante plusieurs périphériques.



a) Clavier unidexstre à cordes (Twiddler2) b) Affichage monoculaire opaque (Microoptical SV6)

Figure 2. Exemples de périphériques

Aspects logiciels

Pour obtenir une certaine transparence dans les interactions humain-ordinateur porté, sélectionner les périphériques appropriés ne suffit pas. Les logiciels et les méthodes d'interactions utilisant ces périphériques doivent aussi être adaptés aux particularités de ce nouveau type de plate-forme informatique. Trois aspects logiciels nous semblent particulièrement prometteurs.

Sensibilité au contexte. Les ordinateurs portés étant des systèmes informatique (pro)actifs, l'acquisition automatique du contexte et son utilisation devrait contribuer à simplifier les interactions humain-ordinateur porté en permettant de clarifier l'entrée pour l'ordinateur et de filtrer la sortie pour l'utilisateur [23]. Par exemple, comme le fait valoir Schmidt [22], il est nécessaire de tenir compte du contexte pour pouvoir contrôler l'ordinateur au moyen d'actions implicites et intégrées au flot des activités de la tâche. À l'opposé, l'utilisation seule d'actions explicites ne permet pas d'obtenir des interactions naturelles et requérant peu d'attention. Acquérir des données relatives au contexte par l'intermédiaire de senseurs est aisé. Il est cependant plus ardu de transformer les données recueillies en informations cohérentes et utilisables par le système, d'isoler les éléments du contexte pertinents à la situation actuelle de l'utilisateur, et d'utiliser adéquatement ces informations par la suite. Malgré cela, plusieurs applications utilisant un contexte restreint ont été développées avec succès, par exemple un système de localisation de l'utilisateur parmi un ensemble de lieux prédéterminés pour fournir à celui-ci des informations concernant son emplacement.

Information juste-à-temps. Un ordinateur porté doit pouvoir fournir automatiquement l'information dont l'utilisateur a besoin à l'instant où il en a besoin. Ainsi, les variations de contexte auront un impact sur la divulgation d'informations pertinentes à l'utilisateur. Cette divulgation devrait être progressive : information fragmentaire au début, puis de plus en plus complète à mesure que l'utilisateur manifeste un intérêt. Ceci

entraîne un faible coût (en terme d'attention) pour les informations présentées par erreur (faux positifs) tout en offrant la possibilité à l'utilisateur de demander plus d'information au moment opportun ou d'arrêter le flot lorsqu'elle n'est plus nécessaire. Un tel principe a été illustré par Rhodes [19] à l'aide de multiples agents logiciels autonomes qui agissent au nom de l'utilisateur tout en restant en compétition pour son attention.

Réalité augmentée. Afin d'augmenter la transparence dans l'utilisation d'un ordinateur porté, les entrées et les sorties de ce dernier devraient idéalement être complètement intégrées à la réalité, sans qu'aucun conflit ou incohérence ne soit perçus par l'utilisateur. La réalité augmentée (*Augmented Reality*) [1], qui peut s'appliquer à n'importe quel sens de l'utilisateur, est une méthode d'interaction possible qui pourrait à terme permettre d'accomplir ceci. Pour Azuma, la réalité augmentée constitue même une interface naturelle pour les ordinateurs portés [2]. Tel que suggéré dans la taxonomie de Milgram [15], il existe bien entendu différents degrés de réalité augmentée allant de la superposition d'informations virtuelles qui est relativement facile à réaliser sur un ordinateur porté, à son intégration tridimensionnelle, temporelle et cognitive à l'environnement réel, ce qui est plus difficile à réaliser mais devrait améliorer grandement le niveau de transparence. De plus, selon la nature de la tâche à supporter, il est possible d'augmenter l'évaluation (perception de l'utilisateur) et/ou l'exécution (actions de l'utilisateur) ainsi que le font valoir Dubois et Nigay [7]. Un exemple de réalité augmentée utilisée sur ordinateur porté est le système générique de réalité augmenté mobile MARS [9]. Celui-ci permet à l'utilisateur de percevoir des informations virtuelles qui semblent faire partie de l'environnement et il a été adapté pour plusieurs applications telles un guide touristique, une plate-forme de jeu (*ARQuake*) et un système militaire (*Battlefield Augmented Reality System*). Malgré le succès de telles expériences, plusieurs problèmes majeurs liés à la nature mixte de la réalité augmentée persistent: le délai entre les actions de l'utilisateur et les réponses du système, le placement adéquat des objets virtuels, les erreurs de localisation de l'utilisateur et de son champ de vision en sont quelques uns.

Facteurs humains

Puisqu'ils font partie de l'espace personnel de l'utilisateur, les ordinateurs portés ont une plus grande influence sur l'utilisateur et ses actions que les ordinateurs traditionnels. Plus que jamais le processus de développement de leur interface doit être centré sur l'utilisateur (et sa tâche et le contexte) et adhérer aux principes de l'ingénierie de l'utilisabilité [16]. Les sections qui suivent présentent les principaux facteurs humains qui influent sur la sélection ou la conception des mécanismes d'interaction humain-ordinateur porté.

Perception et cognition. Les capacités et les limites perceptives de l'utilisateur ont un impact déterminant sur le choix des périphériques de sortie ainsi que sur celui des modes de présentation de l'information. Par exemple, lire un texte à l'écran est plus rapide qu'écouter une version audio de ce texte et il est plus difficile pour l'utilisateur de partager son attention entre différentes sources sonores qu'entre différentes sources visuelles. Certains périphériques peuvent aussi avoir un impact négatif sur la perception de l'utilisateur. Par exemple, même si les dispositifs d'affichage monoculaires semi-transparents sont les moins restrictifs au niveau de l'obstruction du champ de vision de l'utilisateur, ils peuvent engendrer de sérieux problèmes: rivalité oculaire, interférence visuelle produite par des motifs semblables en avant-plan et en arrière-plan, interférences causées par des images réelles et virtuelles à des distances focales différentes, etc. Une fois perçues, l'analyse des informations fournies par l'ordinateur porté impose une certaine charge cognitive à l'utilisateur. Afin de favoriser le traitement rapide de l'information, il est judicieux de tenter renforcer la cohérence (spatiale, temporelle ou autre) de cette information avec le monde réel. Par exemple, la présentation d'informations visuelles cohérente avec l'orientation et la position de l'utilisateur dans le monde réel [4] donne de meilleurs résultats dans des tâches de recherche d'information qu'un affichage fixe par rapport à la tête de l'utilisateur. Un système plus facile à utiliser et plus intuitif donne inévitablement une meilleure performance humaine. Pour l'entrée de données, l'utilisation de commandes explicites de la part de l'utilisateur est évidemment plus coûteuse sur le plan cognitif que celle de commandes implicites [22] basées sur la reconnaissance et l'interprétation de phénomènes réels se produisant naturellement au cours de la tâche. De plus, pour les ordinateurs portés, les périphériques ne nécessitant pas de coordination main-oeil précise sont préférables puisqu'ils requièrent moins d'attention de la part de l'utilisateur que les pointeurs traditionnels (souris). En bref, il est nécessaire d'évaluer l'impact sur l'utilisateur de chaque dispositif d'entrée/sortie et de chaque mécanisme d'interaction employé. Pour diminuer la charge perceptive et cognitive de l'utilisateur, il est vital de minimiser la quantité d'informations présentées simultanément à l'utilisateur (plutôt le faire en mode juste-à-temps) et de tenter d'intégrer cette information à l'environnement (comme dans la réalité augmentée).

Styles d'interaction. Un ordinateur porté n'est pas limité à un usage traditionnel. Ainsi, les paradigmes ou styles d'interaction humain-ordinateur que l'on retrouve dans les interfaces des ordinateurs de bureau conventionnels (langage de commandes, langage naturel, menus, manipulation directe, questions/réponses et formulaires) sont inadéquats car ils reposent essentiellement sur des interactions continues avec la machine qui exigent une attention totale de la part de l'utilisateur. L'interaction avec des ordinateurs portés

doit plutôt reposer sur des interactions pouvant être discontinues, et pouvant faire suite à des comportements informels et opportunistes de l'utilisateur. Il est donc clair que les styles d'interactions traditionnels doivent tous être réétudiés et adaptés si possible aux ordinateurs portés. Par exemple, les interfaces graphiques de manipulation directe actuelles requièrent une coordination main-œil précise, il en résulte donc qu'il n'est pas approprié, ni souvent même possible, d'utiliser un tel style d'interaction pour les ordinateurs portés parce qu'il requiert trop d'attention [18]. Cependant, à travers une forme de réalité augmentée, une interface reposant sur une manipulation directe d'objets réels par l'utilisateur pourrait se révéler adéquate. Un tel style d'interaction, que nous investiguons actuellement, vient rejoindre le concept d'interface tangible mise de l'avant par Ishii [10]. La règle générale est toujours de minimiser l'attention requise de la part de l'utilisateur. Cette gestion de l'attention peut se révéler particulièrement complexe puisqu'il faut être en mesure de présenter l'information dans des modalités qui captent plus ou moins l'attention humaine. Une telle gestion passe par une utilisation du contexte pour adapter l'interface utilisateur à l'environnement courant.

Métaphore d'interface. Une nouvelle métaphore d'interfaces devra aussi être développée pour les ordinateurs portés. Celle-ci aura vraisemblablement très peu à voir avec la métaphore du bureau actuelle [6] car cette dernière paraît peu adaptée aux environnements de travail autres que le bureau. Idéalement, pour être naturelles et intuitives, les interactions avec l'ordinateur porté devraient utiliser des entités réelles (objets) ou des entités virtuelles semblant appartenir à l'environnement et tirer profit de la suggestibilité de ces entités. Cependant, afin de faciliter l'apprentissage de la nouvelle métaphore et éviter toute confusion chez les utilisateurs qui vont continuer de se servir de plusieurs systèmes informatiques, il paraît indiqué de rechercher une certaine compatibilité avec la métaphore des interfaces graphiques actuelles.

Évaluation de l'interface d'un ordinateur porté

Avec les ordinateurs portés, il devient difficile d'appliquer plusieurs méthodes existantes d'évaluation de la qualité des interfaces. En effet, l'évaluateur ne peut se placer dans l'espace de travail de l'utilisateur mobile et il est difficile d'accéder à tout ce que ce dernier perçoit. De plus, pour comprendre les actions de l'utilisateur, l'évaluateur doit à la fois examiner les interactions entre l'utilisateur et l'ordinateur porté, et le contexte dans lequel elles se produisent. Les quelques méthodes d'évaluation de l'utilisabilité proposées (dans [12, 27] par exemple) reposent toutes sur la même idée : tenter d'enregistrer tout ce que perçoit l'utilisateur, capter les entrées qu'il effectue, les données acquises via les senseurs de l'ordinateur et l'état de ce dernier; la ligne temporelle produite regroupant toutes ces informations est ensuite analysée. Pour finir, rappelons

que l'évaluation du degré de transparence de l'interface reste un important défi à relever.

APPLICATIONS DES ORDINATEURS PORTÉS

Cette section présente quelques applications actuelles et potentielles des ordinateurs portés. Les domaines d'application et les tâches où il peuvent servir sont variés : inspection, forces armées, gestion d'inventaires, support à la vente, activités quotidiennes, etc.

Le support d'une tâche spécifique

L'inspection et la maintenance se prêtent bien à l'utilisation d'ordinateurs portés puisque les opérateurs doivent souvent accéder à de l'information ou saisir des données tout en pouvant se déplacer. Un exemple concret d'une telle application est le support aux techniciens de maintenance d'aéronefs mis au point par Boeing® qui a conçu des prototypes d'ordinateurs portés pour guider ses techniciens à travers les procédures leur permettant d'identifier plus rapidement les pannes et les défauts de fabrication, les rendant ainsi plus productifs et plus aptes à réaliser leur tâches [5]. Le système développé fonctionne par commandes vocales sans requérir la manipulation d'un périphérique d'entrée.

Dans le domaine militaire, mentionnons le programme *Landwarrior* de l'armée américaine qui vise entre autres à transformer les fantassins en une force cohésive de combat grâce à l'utilisation d'un ordinateur porté. Ce dernier offre de nombreuses fonctionnalités qui tiennent compte du contexte dans lequel se trouve l'utilisateur. Les informations fournies donnent aux soldats une conscience plus vaste de la situation et devrait leur permettre de prendre de meilleures décisions tactiques. De plus, le système permet à la chaîne de commandement de surveiller en temps réel l'état des troupes. L'utilisation d'un ordinateur porté s'applique aux forces armées mais peut aussi être adaptée aux services d'urgence, tels les corps policiers, les pompiers et les ambulanciers ainsi que l'illustrent Baber & al. [3].

Le support d'activités quotidiennes

Un des rôles très utiles que peut jouer un ordinateur porté est celui de secrétaire virtuel privé et omniprésent. Celui-ci pourrait assister l'utilisateur dans ses activités quotidiennes en tout temps, même en déplacement. Un tel système n'existe pas complètement mais plusieurs recherches ont tenté de répondre à des scénarios spécifiques grâce à un ordinateur porté: par exemple, des ébauches d'assistants personnels intelligents servant de guide touristique ou de musée virtuel [21], un système de navigation vocal assistant les personnes atteintes de déficiences visuelles ou encore un système de traduction en temps réel du langage des signes américain.

CONCLUSION

Cet article a permis de définir les ordinateurs portés et de présenter leurs caractéristiques, leur rôle et leur place dans l'évolution de l'informatique mobile, l'état de leur développement actuel, les enjeux et défis majeurs pour la

recherche, et quelques domaines d'application qui se prêtent bien à leur usage. Cette vision globale du domaine des ordinateurs portés fait ressortir les interrelations entre les nombreuses communautés qui gravitent autour. Plus de travail de recherche et de développement, et plusieurs cas de réussites sur le terrain, sont nécessaires pour la mise au point de systèmes fiables, opérationnels et faciles à utiliser. Cependant, il est certain que leur potentiel est immense et que les questions qu'ils soulèvent seront bénéfiques pour le progrès des connaissances et de la technologie.

REMERCIEMENTS

Nous remercions les relecteurs anonymes et le Dr. Emmanuel Dubois pour leurs suggestions. Nos travaux sont supportés par deux subventions CRSNG du Canada.

RÉFÉRENCES

1. Azuma R.T., A Survey of Augmented Reality, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6 (4), 1997, pp.355-385.
2. Azuma R.T., The Challenge of Making Augmented Reality Work Outdoors, in Ohta Y. and Tamura H. eds. *Mixed Reality: Merging Real and Virtual Worlds*, Springer-Verlag, 1999, pp.379-390.
3. Baber C., Haniff D.J. & Woolley S.I., Contrasting Paradigms for the Development of Wearable Computers, *IBM Systems Journal*, 38 (4), 1999, pp.551-565.
4. Billinghurst M., Bowskill J., Dyer N. & Morphett J., Spatial Information Displays on a Wearable Computer, *IEEE Computer Graphics and Applications*, 18 (6), 1998, pp.24-31.
5. Billinghurst M. & Starner T., Wearable Devices: New Ways to Manage Information, *IEEE Computer*, 32 (1), 1999, pp.57-64.
6. Clark A., What do we want from a wearable user interface?, in *Proceedings of Workshop on Software Engineering for Wearable and Pervasive Computing*, Limerick, Ireland, 2000, pp.3.
7. Dubois E. & Nigay L., Augmented Reality: Which Augmentation for which Reality?, in *Proceedings of DARE 2000 on Designing Augmented Reality Environments*, ACM, 2000, pp.165-166.
8. Dubois E., Nigay L. & Troccaz J., Assessing Continuity and Compatibility in Augmented Reality Systems, *International Journal on Universal Access in the Information Society*, 1 (4), 2002, pp.263-273.
9. Höllerer T., Feiner S., Hallaway D., Bell B., Lanzagorta M., Brown D., Julier S., Baillot Y. & Rosenblum L., User Interface Management Techniques for Collaborative Mobile Augmented Reality, *Computers and Graphics*, 25 (5), 2001, pp.799-810.
10. Ishii H. & Ullmer B., Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms, in *Proceedings of Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '97)*, ACM, Atlanta, U.S.A., 1997, pp.234-241.
11. Licklider J.C.R., Man-Computer Symbiosis, *IRE Transactions on Human Factors in Electronics, HFE-1*, 1960, pp.4-11.
12. Lyons K. & Starner T., Mobile Capture for Wearable Computer Usability Testing, in *Proceedings of the 5th International Symposium on Wearable Computers (ISWC'01)*, Zurich, Switzerland, 2001, pp.69-76.
13. Mackay W., Réalité Augmentée : le meilleur des deux mondes, *La Recherche*, 285, 1996, pp.32-37.
14. Mann S., Wearable Computing: Toward Humanistic Intelligence, *IEEE Intelligent Systems*, 16 (3), 2001, pp.10-15.
15. Milgram P. & Kishino F., A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays, *IEICE Transactions on Information Systems*, E77-D (12), 1994, pp.1321-1329.
16. Nielsen J., *Usability Engineering*, Morgan Kaufmann Publishers, 1994.
17. Norman D.A., *The Invisible Computer*, MIT Press, Cambridge, 1998.
18. Rhodes B., WIMP Interface Considered Fatal, in *IEEE VRAIS'98 Workshop on Interfaces for Wearable Computers*, (Atlanta, U.S.A., 1998).
19. Rhodes B. & Maes P., Just-in-time information retrieval agents, *IBM Systems Journal*, 39 (3/4), 2000, pp.685-704.
20. Rhodes B., Minar N. & Weaver J., Wearable Computing Meets Ubiquitous Computing, in *Proceedings of the 3rd International Symposium on Wearable Computers (ISWC'99)*, San Francisco, U.S.A., 1999, pp.141-149.
21. Schiele B., Jebara T. & Oliver N., Sensory-Augmented Computing: Wearing the Museum's Guide, *IEEE Micro*, 21 (3), 2001, pp.44-52.
22. Schmidt A., Implicit Human Computer Interaction Through Context, *Personal Technologies*, 4 (2), 2000, pp.191-199.
23. Starner T., Wearable Computing and Contextual Awareness, Ph.D. Thesis, M.I.T. Media Laboratory, 1999, p.248.
24. Starner T., The Challenges of Wearable Computing: part 1&2, *IEEE Micro*, 21 (4), 2001, pp.44-67.
25. Starner T., The Role of Speech Input in Wearable Computing, *IEEE Pervasive Computing*, 1 (3), 2002, pp.89-93.
26. Starner T., Thick Clients for Personal Wireless Devices, *IEEE Computer*, 35 (1), 2002, pp.133-135.
27. Suomela R., Lehtikainen J. & Salminen I., A System for Evaluating Augmented Reality User Interfaces in Wearable Computers, in *Proceedings of the 5th International Symposium on Wearable Computers (ISWC'01)*, Zurich, Switzerland, 2001, pp.77-84.
28. Thomas B., Grimmer K., Zucco J. & Milanese S., Where Does the Mouse Go? An Investigation into the Placement of a Body-Attached TouchPad Mouse for Wearable Computers, *Personal and Ubiquitous Computing*, 6 (2), 2002, pp.97-112.