

UFR des Sciences de la Communication
99 avenue Jean-Baptiste Clément
93430 Villetaneuse



Mémoire de fin d'études pour obtenir le diplôme en Master création,
innovations numériques, parcours Design d'interface, multimédia et internet

Natural User Interface

Quelles conditions pour l'adoption des nouvelles interactions homme-machine ?

Soutenance le 17 Septembre 2015

Mémoire de Master de Jonathan JAKIMON

Sous la direction de Pierre BARBOZA

Année Universitaire 2014-2015

Mots-clés

- Interaction homme-machine
- Command-line Interface
- Graphical User Interface
- Natural User Interface
- Affordance

Résumé

L'interaction homme-machine a subi de multiples évolutions depuis les premières ères de l'informatique grâce aux dispositifs physiques, mais également aux interfaces numériques. Depuis peu, de nouveaux produits utilisant des technologies associées aux Natural User Interface sont commercialisés pour apporter des solutions d'interactions plus adaptées à la morphologie de l'homme et à ses capacités. Toutefois, ces dernières rencontrent de multiples difficultés et peinent à trouver leur public.

Ce mémoire retrace l'évolution des interactions homme-machine pour étudier les concepts fondamentaux, c'est-à-dire l'affordance, le signifiant, les retours d'informations, les usages et les supports, qui sont à l'origine du succès des interfaces historiques à savoir le clavier et la souris, mais également la première Natural User Interface à s'être introduite dans notre quotidien, l'interface tactile. Ainsi sont traités les aspects humains, technologiques et contextuels qui forment l'équilibre fonctionnel indispensable à un produit réussi.

Ces analyses sont par la suite confrontées aux interfaces gestuelles, vocales, oculométriques et neuronales dans le but de comprendre quels sont les avantages et les inconvénients de chacune de ces Natural User Interface.

Par l'interprétation des résultats, cet écrit propose des solutions aux difficultés qui touchent ces interfaces et tente de répondre plus largement aux besoins nécessaires à l'adoption de dispositifs innovants d'interaction homme-machine.

Remerciements

Je souhaite adresser mes remerciements aux personnes qui m'ont apporté leur aide dans la réalisation de ce mémoire.

En premier lieu, je remercie Pierre BARBOZA, directeur de ce mémoire, qui a su me guider sur la bonne voie.

Je remercie également tout le corps enseignant du Master, sans qui, par leurs savoirs et leur pédagogie, je n'aurais pu approfondir ce sujet.

Enfin, j'aimerais adresser mes plus sincères remerciements à ma famille qui m'a soutenu, aidé et encouragé tout le long de l'écriture de ce mémoire.

Sommaire

Introduction.....	1
Partie I : L'ordinateur personnel, au cœur de l'interaction homme-machine.....	4
1. Le clavier porteur des interfaces à ligne de commande	4
2. La révolution des interfaces graphiques	8
3. Préhension et retour d'information	12
Partie II : Le tactile, première NUI de grande diffusion	18
1. L'évolution du tactile	18
2. Nouveaux contextes et nouveaux besoins	24
3. Des supports et technologies adaptés aux usages	29
Partie III : La difficulté des nouvelles NUI à se profiler	37
1. Les différentes NUI	37
2. Une symbiose complexe	42
3. Solutions	46
Conclusion	51
Bibliographie, webographie, filmographie.....	53
Livres et articles	53
Sites internet.....	54
Films et vidéos	56
Table des Annexes.....	57

Introduction

En 2013 un nouveau type de périphérique informatique sort et fait beaucoup parler de lui dans les médias grâce à une campagne de financement participatif ayant rencontré un franc succès. Cet appareil conçu par des centaines d'ingénieurs internationaux dont le mathématicien David Holz, fondateur de l'entreprise dirigée par Michael Buckwald, a pour ambition de changer nos habitudes d'interaction et de communication avec nos ordinateurs. Du même nom que l'entreprise, le Leap Motion¹ tient dans le creux de la main, se branche facilement sur un ordinateur avec un câble USB et ne coûte qu'une centaine d'euros.

Il n'en fallait pas plus pour attirer ma curiosité et me renseigner sur cet objet.

L'utilisateur est invité à placer ses mains au-dessus du dispositif pour qu'elles soient perçues par les différents capteurs. Toutes les données récoltées créent un squelette numérique puis un modèle très précis des mouvements effectués et ce, de manière totalement transparente. La technologie semble fonctionner à merveille, les vidéos de démonstration semblables à *Minority Report*² nous exposent un monde contrôlable du bout des doigts. Avant sa commercialisation, l'équipe du Leap Motion crée plusieurs applications dans le but de montrer le potentiel du produit aux futurs acheteurs, dont une qui remplace la souris ainsi que le clavier de l'ordinateur.

De plus, la technologie se situe à l'avant-dernier échelon de la courbe de l'adoption des technologies, le Hype Cycle de Gatner³. L'étape du « Slope of Enlightenment » pouvant être traduite par « La voie de la lumière » signifie que les entreprises commencent à comprendre le marché associé à une nouvelle technologie grâce à la commercialisation de premiers produits. Tout est réuni pour le succès commercial et dès sa sortie de nombreux médias s'emparent de l'appareil pour le tester minutieusement. Signe de l'engouement, la presse grand public en fait également partie. Les conclusions ne tardent pas à tomber, le dispositif fonctionne avec autant de précision, de finesse et de réactivité que ce qu'il promettait. Toutefois, tout le monde s'accorde à dire qu'il ne s'agit que d'un gadget de plus qui finit rapidement au placard. C'est alors que je commence à m'interroger sur ce qui a pu si

¹ Voir Annexe 1 : Le Leap Motion, Leap Motion

² Voir Annexe 2 : Séquence du film *Minority Report*

³ Voir Annexe 3 : Courbe 2013 du Hype Cycle de Gatner

brutalement faire tomber le Leap Motion de son piédestal.

Le type de technologie utilisé par le Leap Motion fait écho aux interfaces gestuelles, c'est-à-dire le contrôle de la machine par les mouvements de l'homme. Loin d'être le premier, le Leap Motion s'inscrit dans un courant qui a débuté dès les années 1960 dans divers Laboratoires comme le MIT Lincoln Laboratory avec Ivan Sutherland, pionnier de l'internet, de la réalité virtuelle et des interactions homme-machine. Les performances du Leap Motion sont essentiellement dues aux avancées de l'informatique avec la forte miniaturisation des composants comme les capteurs, cœur du dispositif, et la réduction de leur coût de fabrication. Mais les interfaces gestuelles ne sont qu'une petite partie du domaine des Natural User Interface, communément appelées NUI, faisant elles-mêmes partie des User Interface. Il est donc important de comprendre ce que sont les User Interface avant de pouvoir approfondir les NUI.

À notre époque où l'ère numérique se développe à une incroyable vitesse, les machines nous entourent que ce soit à la maison, au travail et même depuis quelques années partout où nous nous déplaçons. Ordinateur, télévision, smartphone, électroménager, nous vivons au quotidien avec eux et interagissons avec. Pour ce faire, ils sont tous munis d'un écran pour afficher des informations et nous demandent de faire des choix.

Une User Interface est cette partie visible d'un programme de la machine qui permet la communication et l'interaction avec l'homme. Cette couche intermédiaire entre les deux entités sert à simplifier les échanges pour que l'opérateur réalise ses tâches avec confort et efficacité conduisant ainsi à une expérience positive. Elle a pour but de permettre à l'homme de prendre le contrôle sur la machine, qu'il puisse interagir avec elle, tout en recevant des retours d'informations en temps réel qui vont l'aider dans son processus de prise de décisions. Les Natural User Interface se différencient des User Interface par des interfaces invisibles avec la machine. Alors que les User Interface requièrent des périphériques externes pour interagir avec les machines comme la souris d'un ordinateur ou encore un bouton poussoir sur une machine à laver, les NUI se passent d'intermédiaire et les interactions de l'homme agissent directement sur la machine. Pour ce faire, ce sont les sens de l'homme - toucher, geste, vue, voix, pensée - qui sont interprétés par la machine. On passe d'une logique où l'homme devait se plier au langage de la machine, à la machine qui comprend les moyens de communication

propres au corps humain. Cette différence apporte plusieurs bénéfices à la relation homme-machine. L'apprentissage se veut moins long et plus simple puisqu'il s'agit essentiellement de maîtriser notre corps, ce que l'homme fait depuis sa naissance. Dans cette logique, l'interface est aussi plus intuitive pour l'opérateur ce qui, par conséquent, réduit les efforts demandés. Le tactile est le meilleur exemple de NUI qui a su s'imposer ces dernières années en apportant des solutions à des problèmes de mobilité. Il est devenu tellement omniprésent que nous oublions qu'il ne s'agit là que d'une petite partie de la révolution de notre manière d'échanger avec la machine. De nombreux autres sens sont déjà exploités et pour chacun avec diverses solutions technologiques.

Mais comme nous avons pu le voir avec l'exemple du Leap Motion, la technologie seule n'est plus suffisante pour assurer le succès d'un produit innovant.

Quels sont donc les constituants permettant d'aboutir à une interface mature ?

Entre innovations technologiques et nouveaux usages, qu'est-ce qui conditionne l'adoption des nouvelles interactions homme-machine ?

Pour y répondre, nous allons dans un premier temps revenir à l'origine des User Interface pour comprendre comment celles-ci ont évolué grâce à l'ordinateur personnel. Nous verrons en quoi il fut un moteur de croissance sans précédent qui a ouvert l'informatique à de nombreuses innovations dans le domaine de l'interaction homme-machine passant de l'interface à lignes de commandes aux interfaces graphiques.

Dans un second temps, nous étudierons tous les aspects qui ont permis au tactile de devenir la première NUI à grande échelle. Des années 1950 à 2010, nous découvrirons que ce sont des changements radicaux dans les technologiques, mais essentiellement culturels qui sont à l'origine de ces mutations.

Enfin, à partir de ces études nous démontrerons en quoi le facteur humain est fondamental dans les Natural User Interface et comment il est à l'origine d'un subtil équilibre avec les innovations technologiques.

Partie I : L'ordinateur personnel, au cœur de l'interaction homme-machine

1. Le clavier porteur des interfaces à ligne de commande

Le clavier

S'il y a bien un périphérique d'interaction homme-machine qui a su prouver son utilité au fil du temps en traversant toutes les grandes évolutions de l'informatique et plus généralement de l'écriture, c'est certainement le clavier. Il a subi de nombreuses mutations pour ressembler à ceux que nous utilisons tous les jours. Toutefois, l'idée même de pouvoir communiquer avec la machine en utilisant un langage commun à l'homme, à savoir les caractères alphanumériques, n'a jamais été remise en cause. Preuve de leur efficacité et de leur utilité ils n'ont toujours pas été égalés par d'autres dispositifs.

Successeur de la machine à écrire, le clavier a hérité de nombreux de ses attributs. C'est pourquoi à ses débuts ils se ressemblaient en tout point jusqu'à l'apparition de multiples améliorations liées à l'informatique.

La similitude la plus familière à chacun n'est autre que l'architecture même des touches, les dispositions QWERTY et AZERTY. Celles-ci sont une répercussion d'une solution technique mise au point par Christopher Latham Sholes et breveté en 1868 pour la société Remington. À l'époque, le mécanisme d'une machine fonctionnait grâce à une touche liée à une tige qui avait en son bout un marteau avec une lettre gravée dessus. Lorsque la touche est enfoncée, cela lance le marteau qui vient frapper un ruban d'encre pour ensuite imprimer le caractère sur la feuille. Le souci était qu'à cadence rapide, les tiges des premières machines avaient tendance à s'entrecroiser et donc bloquer le mécanisme. Pour éviter ce désagrément et garder un taux de productivité constant, la disposition QWERTY propose de réorganiser les touches en fonction de leur fréquence d'apparition dans les mots.

À cette époque, les hommes d'affaires ne se chargeaient que très rarement d'écrire leurs propres documents et faisaient appel à des calligraphes pour prendre note de leurs travaux et raisonnements. Le perfectionnement des machines à écrire a remplacé les calligraphes par les dactylos qui ont un taux de productivité trois à quatre fois supérieur, sans compter la

possibilité de faire des copies immédiates grâce à la feuille de carbone. L'usage de la machine s'impose dès lors aux États-Unis puis peu à peu partout dans le monde. Des écoles de dactylographie s'ouvrent et ce sont des centaines de milliers d'individus, majoritairement des femmes, qui vont apprendre le métier sur des machines à écrire QWERTY et AZERTY.

Cette masse de travailleurs qualifiés va contribuer à la pérennité de ce modèle puisque le clavier va subir de plein fouet un phénomène appelé la théorie de dépendance au sentier¹. Tous ces utilisateurs ont appris comment être productif avec ce modèle et malgré un certain nombre d'études ayant prouvé que d'autres dispositions seraient plus efficaces comme celle de Dvorak² qui repose sur l'alternance des mains utilisées et la répartition équitable des touches pour chaque main, il est très coûteux de former tout un corps de métier et encore plus de les convaincre en les sortant de leur zone de confort. Ces choix historiques sont de ce fait omniprésents dans l'évolution du clavier et il est important de retenir qu'il est difficile de remplacer des acquis solidement ancrés chez des individus. Toutefois, la dépendance au sentier n'a pas que des répercussions négatives. En effet, la transmission de savoirs n'en reste pas moins bénéfique car les anciennes générations peuvent former les nouvelles.

Évolution de la machine à écrire, le téléscripateur, a récupéré naturellement cette organisation du clavier tout en commençant à améliorer son confort grâce à une aide électrique pour la frappe des touches. Toutefois, son avancée majeure est l'introduction de communication de données à distance en affichant sur une bande papier d'une autre machine les caractères saisis. Peu à peu il va s'installer dans le milieu du travail pour révolutionner la communication entre bureaux par le biais du réseau filaire.

Le téléscripateur est aussi à l'origine des premiers ordinateurs dépourvus d'écrans comme le Programma 101³. Cette machine conçue par la société italienne Olivetti est considérée comme le premier ordinateur personnel. Alors qu'en 1960 les ordinateurs avaient au minimum la taille de nos réfrigérateurs, en 1962 Roberto Olivetti décide de réaliser une machine révolutionnaire pouvant se placer sur un bureau classique. L'idée de l'ordinateur personnel vient de naître.

¹ Dépendance au sentier (Disponible sur : https://fr.wikipedia.org/wiki/Dépendance_au_sentier)

² Disposition Dvorak (Disponible sur : https://fr.wikipedia.org/wiki/Disposition_Dvorak)

³ Voir Annexe 4 : Le Programma 101, Olivetti

Pour parvenir à cette transformation, Pier Giorgio Perotto, responsable du projet et son équipe vont repenser une grande partie des composants de l'ordinateur tels qu'ils étaient connus. De la mémoire à l'espace de stockage, la carte magnétique programmable, précurseur de la disquette est notamment inventée.

L'utilisateur n'est pas non plus oublié, le langage utilisé par la machine est simplifié par Perotto pour que son utilisation soit à la portée de toute personne sans compétences techniques particulières. Le design de la machine est également soigné grâce à la collaboration de Mario Bellini, designer industriel.

Le fruit de ces quatre années de travail pèse 35Kg et approche la dimension d'une machine à écrire. Elle ne possède pas encore d'écran, mais une petite imprimante intégrée permet à l'utilisateur de visualiser ses actions lorsqu'il interagit avec le programme par le biais du clavier intégré.

Même si le Programma 101 n'eut un succès commercial que tardivement, cela n'enlève rien au nouveau secteur qu'il vient d'ouvrir. La révolution de l'ordinateur personnel est en marche.

En 1969, Victor Glushkov sort le MIR-2¹, deuxième ordinateur personnel soviétique de la série MIR. Cette machine est la première à intégrer une User Interface grâce à un moniteur externe rattaché à la machine et son clavier. Cette révolution rend possible la lecture en temps réel des lignes de code saisies, mais aussi de les corriger avec à un dispositif de pointage, un « stylo lumière », qui au contact de l'écran, cible des caractères pour les supprimer. Le MIR-2, créé pour les ingénieurs et les scientifiques, était aussi doté d'un langage de programmation poussé qui, par le biais des Command-line Interface, permettait de réaliser des calculs complexes intégrant des fractions ou encore des dérivées.

Les Command-line Interface

Les Command-line Interface sont popularisées grâce à l'IBM PC² en 1981, le premier ordinateur personnel à s'être vendu à plusieurs millions d'exemplaires dans le monde entier.

¹ Voir Annexe 5 : Le MIR-2, Victor Glushkov

² Voir Annexe 6 : L'IBM PC, IBM

Une des particularités de cet ordinateur est notamment son clavier qui intègre un pavé numérique, créé en 1914 par David Sundstrand¹, à droite des touches classiques et se distingue donc du clavier de la machine à écrire par cette évolution rendue possible grâce à l'informatique.

La première interface à ligne de commande ou CLI (Command Line Interface) remonte aux années 1950 et devient un standard avec le Système Unix créé en 1969 par Kenneth Thompson. Il est à l'origine de nombreux systèmes d'exploitation dont des plus connus comme Linux ou encore iOS et OS X d'Apple.

La logique des interfaces à lignes de commande repose sur une mécanique de question-réponse où l'humain formule des requêtes à la machine par le biais d'un langage compréhensible par les deux entités, tout en utilisant le clavier de la machine, mais ce, de manière très déséquilibrée. Il pose beaucoup plus de contraintes à l'opérateur humain puisqu'il ne s'agit pas de son langage naturel, mais bien d'un dérivé proche des mathématiques. De ce fait, des efforts et un temps considérable sont nécessaires pour établir la communication. A l'origine, ces Interfaces à ligne de commande sont utilisées sur des machines telles que le Programma 101 puis avec le développement États-Unis des premiers périphériques d'affichage vidéo ans les années 1970, elles font le succès des ordinateurs personnels dotés d'écrans.

Plusieurs avantages résultent des CLI comme la disparition partielle de l'encre et du papier au profit de l'affichage sur l'écran, même si cela n'est plus vrai aujourd'hui ou encore pour la première fois, l'interactivité des saisies et résultats à comparer à l'imprimé qui est figé. En effet, il est enfin possible de naviguer à l'intérieur des lignes renseignées et les erreurs peuvent être rectifiées à même le texte.

Aussi, le clavier systématiquement associé aux CLI est à l'origine du déploiement de l'informatique personnelle. Même si nous avons vu que les compétences requises pour utiliser ces machines n'étaient pas encore à la portée de tous, les CLI ont permis de poser la première pierre de l'ordinateur personnel et d'en accroître les ventes en ciblant une population plus large que les Armées ou les Universités.

Effectivement, l'ordinateur, dès cette époque, n'est plus considéré comme un unique outil de travail et ses capacités lui permettent de s'étendre à d'autres domaines comme le

¹ Histoire du pavé numérique (Disponible sur : <http://www.vcalc.net/Keyboard.htm>)

divertissement avec les jeux vidéo. Il s'agissait alors de petits programmes que l'utilisateur devait coder lui-même pour ensuite pouvoir lancer le programme et y jouer.

Ce sont donc des curieux et des passionnés qui se sont approprié en premiers les ordinateurs personnels avant que les GUI (Graphical User Interface) ne viennent encore renverser ce modèle pour le faire entrer dans l'ère du grand public.

2. La révolution des interfaces graphiques

SketchPad

Aux États-Unis, dans les années 1950-1960, la télévision est en plein essor et les dispositifs de visionnage utilisés sont progressivement intégrés aux ordinateurs pour en devenir un composant standard de l'ordinateur personnel.

Ces écrans appelés tubes cathodiques permettent d'afficher des informations d'une certaine finesse et de qualité pour l'époque. Ainsi, alors que les premiers ordinateurs personnels étaient restreints à l'affichage de quelques lignes de texte, l'évolution de ces moniteurs externes ouvre une nouvelle voie de visualisation pour l'informatique.

C'est dans cette effervescence et influencé par le Memex¹, un ordinateur analogique fictif théorisé par Vannevar Bush en 1945 posant les fondations de l'hypertexte, qu'Ivan Sutherland développe en 1960 SketchPad², la première GUI qu'il publie en 1963 pour sa thèse de doctorat du MIT Lincoln Laboratory. Il s'agit du premier dispositif avec un écran cathodique et un crayon optique qui, combiné à un logiciel de conception assistée par ordinateur, permet l'édition de dessins techniques entièrement numériques. SketchPad est à l'origine de nombreux concepts liés aux interfaces graphiques comme le pointage d'objets à l'écran, le zoom dans l'interface, la copie d'un élément ou encore le retour d'information, que l'on retrouve bien entendu encore aujourd'hui.

¹ Memex (*Disponible sur : <https://en.wikipedia.org/wiki/Memex>*)

² Ivan Edward SUTHERLAND, *Sketchpad : A man-machine graphical communication system*, Université de Cambridge, Royaume-Uni, 1963

oN-Line System

Inspiré par SketchPad, Douglas Engelbart continue dans la lancée et développe le oN-Line System^{1,2} (NSL) dont il fera la démonstration technique en 1968. Après avoir conçu et testé de nombreux prototypes, il introduit pour la première fois le concept de la souris, un dispositif de pointage et de sélection qui ne se fait pas à même l'écran contrairement au stylo optique. À l'aide de ce nouveau dispositif, il expose les procédures pour modifier un texte et réorganiser une liste.

Le matériel utilisé lors de cette démonstration fait office de précurseur de la souris moderne. Même si le mécanisme utilisant deux roues pour calculer la trajectoire du pointeur et breveté par Douglas Engelbart a été immédiatement remplacé par un système à boule, le concept visionnaire est resté intact. À l'époque, elle répondait seulement à une contrainte d'axe X-Y et une navigation désynchronisée par rapport aux éléments visibles tels que le pointeur. Pour mouvoir le curseur sur un écran vertical, il suffit de déplacer la souris sur un plan horizontal.

Cette avancée matérielle a parallèlement induit de multiples innovations logicielles. Ainsi, Douglas Engelbart crée des liens hypertextes associés à un mécanisme de multifenêtrage qui permet pour la première fois de basculer d'un programme à un autre ou encore de rejoindre un niveau inférieur du programme. Aussi, il intègre une représentation schématique des données sous forme d'arbres avec des branches et des représentations graphiques assimilables à des parcours où il priorise des tâches à effectuer.

Le paradigme de WIMP

Seulement deux ans après ce tour de force, les chercheurs du centre de recherche Xerox Palo Alto développent le paradigme de WIMP³, une user interface faisant appel respectivement aux : Windows, Icons, Menus, Pointers.

La fenêtre correspond à la visualisation d'un programme en cours d'exécution. En encapsulant

¹ oN-Line System (Disponible sur : [https://en.wikipedia.org/wiki/NLS_\(computer_system\)](https://en.wikipedia.org/wiki/NLS_(computer_system)))

² The Mother of All Demos, presented by Douglas ENGELBART (1968) (Disponible sur : <https://www.youtube.com/watch?v=yJDv-zdHzMY>)

³ Le paradigme de WIMP (Disponible sur : [https://en.wikipedia.org/wiki/WIMP_\(computing\)](https://en.wikipedia.org/wiki/WIMP_(computing)))

un programme dans une fenêtre, il est possible de faire du multifenêtrage, à savoir l'exécution de plusieurs programmes en simultané ayant chacun sa propre visualisation. L'utilisateur peut passer d'un programme à un autre avec une grande fluidité autorisant ainsi le multitâche et augmentant de pair ses capacités intellectuelles et de production.

L'icône est un élément graphique présent sur l'écran principal de la machine, c'est-à-dire l'écran d'accueil aussi appelé le bureau. Elle sert à indiquer la présence d'un programme en remplaçant en partie le texte afin de solliciter la mémoire visuelle de l'utilisateur. Ainsi un profil expert gagne du temps dans sa prise de décision en reconnaissant plus rapidement un programme d'un autre. A la sélection d'une icône, le programme s'exécute et il n'est plus nécessaire d'écrire des lignes de codes.

Le menu est un sélecteur qui regroupe plusieurs éléments. Ainsi, un menu peut contenir autant du texte que des icônes et la sélection d'un des composants du menu revient à exécuter une tâche ou un programme.

Enfin, le pointeur est un indicateur graphique qui symbolise les mouvements effectués sur l'écran par l'utilisateur grâce au déplacement d'un périphérique physique de pointage. Le pointeur est le principal outil de contrôle de la machine et par son biais l'utilisateur choisit l'élément avec lequel il souhaite interagir, icône ou menu, en le sélectionnant.

Le paradigme de WIMP est un grand pas vers les interactions homme-machine, car il ouvre une nouvelle ère de communication. Grâce à l'introduction d'éléments visuels simples il lève les plus grandes restrictions à l'utilisation d'un ordinateur, l'apprentissage du code comme langage d'interaction avec la machine et la réduction de la syntaxe liée au CLI, cette dernière source de nombreuses erreurs. Ainsi l'usage de la machine se développe avec des personnes n'ayant aucune formation ou n'ayant aucune passion particulière pour la technique. Le paradigme de WIMP ouvre le monde de l'informatique autant aux personnes inexpérimentées qu'expertes et cela profite à la croissance des ordinateurs personnels.

La métaphore du bureau

Pour compléter les bases de l'interface, le Paradigme de WIMP est associé à ce que l'on appelle la métaphore du bureau. Comme nous l'avons vu avec la disposition des touches d'un

clavier en QWERTY ou AZERTY, l'homme garde un certain nombre d'acquis et l'ordinateur n'est en soi qu'un nouvel outil qui contribue à l'amélioration du travail de bureau. Ce dernier existant depuis l'Égypte antique il a, au fil des siècles, eu de nombreuses mutations jusqu'à voir naître des standards début du XXème siècle, en répercussion de la révolution industrielle. Pour parvenir à une adoption à grande échelle, les concepts implémentés dans l'ordinateur reprennent donc en partie ceux physiquement préexistants.

La métaphore du bureau reproduit informatiquement l'espace de travail classique des années 1970 pour que l'utilisateur soit dans un environnement connu, compréhensible et utilisable. Le bureau est le principal composant de cette métaphore et il reprend la même fonction que l'objet physique, l'organisation de l'espace de travail. De ce fait, il s'agit d'un écran d'accueil à partir duquel l'utilisateur peut interagir avec la machine et organiser ses éléments.

Les documents s'ouvrent dans une nouvelle fenêtre, analogie de la feuille de papier posée sur le bureau, et les dossiers servent à catégoriser et organiser le travail en contenant plusieurs documents de même nature.

Certains outils indispensables à la productivité comme la calculatrice, le bloc note, sont remplacés par des programmes dits «accessoires de bureau ».

Enfin, la corbeille est également représentée pour y déplacer les documents qui n'ont plus d'utilité et comme pour l'objet physique, il est possible de récupérer ce qui y a été jeté.

Toutes ces représentations graphiques forment un écosystème et une User Interface complète. Elle aboutit en 1973 à un premier prototype d'ordinateur personnel avec écran, le Xerox Alto. Il intègre tous les éléments que l'on retrouve aujourd'hui dans un ordinateur moderne à savoir une unité centrale, un écran, un clavier et une souris. Fort de ces avancées, le Xerox Star¹ qui lui succède est commercialisé en 1979, mais se révèle être un échec commercial dû à son prix relativement élevé.

Le véritable envol de l'ordinateur personnel se fait en 1984 avec la sortie du premier Apple Macintosh² qui popularise les GUI notamment grâce à sa campagne marketing de grande envergure comme la diffusion de prospectus ou encore la diffusion du spot « 1984 » réalisé par Ridley Scott lors du Super Bowl.

¹ Voir Annexe 7 : Le Xerox Star, Xerox

² Voir Annexe 8 : Le Macintosh, Apple

En 1985, Microsoft arrive sur le marché avec Windows 1.0, mais ce n'est qu'en 1990 avec Windows 3.0 qu'il se popularise et devient une alternative moins chère au Macintosh qui commence à décliner.

3. Préhension et retour d'information

Les sept étapes de l'action humaine

Nous avons vu que des User Interfaces se sont développées pour que l'homme parvienne à communiquer avec la machine, que ce soit sur le plan physique ou virtuel. Toutefois, la bonne relation entre les deux entités n'est possible qu'en respectant certaines conditions et mécanismes qui ont été implantés dès l'invention des premiers dispositifs de manière consciente ou totalement naturelle.

Avant de comprendre quels sont ces prérequis, il est important d'analyser en premier lieu comment l'homme exécute une action quelconque dans son environnement pour ensuite pouvoir l'appliquer au modèle d'interaction homme-machine.

Ainsi, Donald Norman, Professeur en sciences cognitives à l'université de Californie et cofondateur avec Jakob Nielsen du Nielsen Norman Group, théorise l'action humaine¹, c'est-à-dire l'accomplissement d'une tâche, en sept étapes, elles-mêmes catégorisées en deux parties.

La première est celle de l'exécution, et cherche à comprendre comment est menée à bien une action.

La première étape qui compose cette partie est celle du but. L'utilisateur a un besoin et veut y répondre. Ce but fixé, il se transforme en une intention d'action, l'utilisateur souhaite atteindre son objectif et pour y parvenir, il va spécifier toute la suite d'action à réaliser. Une fois conceptualisée mentalement, l'utilisateur effectue la suite d'actions.

On entre alors dans la seconde partie, celle de l'évaluation où l'utilisateur va examiner et juger son action. Il commence par percevoir l'état de son environnement. Ensuite, il l'interprète puis compare le résultat visible avec son but initial pour l'évaluer et décider si oui ou non, une

¹ Donald NORMAN, *The Design Of Everyday Things*, New York, Basic Books, 2013, p40-44

action complémentaire est nécessaire.

Il s'agit d'un cycle répétitif traité en quelques microsecondes, mais essentiel dans les interactions de l'homme et leurs compréhensions. Le modèle du processus de l'action humaine posé, nous pouvons voir quelles caractéristiques sont indispensables aux dispositifs d'interaction homme-machine, que ce soit pour l'exécution d'une action ou son évaluation.

L'affordance

Dans le cadre de l'exécution d'une action à travers un dispositif, le design de l'objet physique est primordial. Pour éviter les erreurs de conception nous allons voir comment l'utilisateur se sert des périphériques d'interaction et quels sont les processus qui découlent à la préhension de l'objet.

Le clavier informatique comporte des touches de dimensions standardisées pour répondre à l'anatomie humaine et plus particulièrement des doigts, tout comme la souris a été étudiée pour être prise par la main le plus naturellement possible. Ces conceptions correspondent à ce que Donald Norman appelle l'affordance soit la relation entre un objet physique et une personne. Une affordance est la connexion entre les propriétés d'un objet et les capacités de l'utilisateur à déterminer comment l'objet peut être utilisé ¹. On comprend donc que l'affordance est la première approche qui va conditionner la communication entre l'utilisateur et la machine.

Avoir des touches de la taille d'une phalange d'un doigt incite naturellement l'utilisateur à manipuler chaque touche avec un seul doigt. Cette restriction au niveau de la taille force l'usage du clavier en limitant les possibilités d'interaction avec le dispositif. Ainsi, la probabilité qu'un utilisateur écrive au clavier en mettant trois doigts simultanément sur une touche est presque nulle car son schème prédit d'une part un manque de confort, et d'autre part un résultat inapproprié dû au manque de précision. Aussi, les touches n'ont pas toutes la même taille ce qui indique à l'utilisateur des niveaux d'action différents.

La touche Entrée est la touche dominante du clavier. Par sa taille plus importante et sa position

¹ Donald NORMAN, *The Design Of Everyday Things*, New York, Basic Books, 2013, p11

sur le bord droit, c'est-à-dire à la fin du sens de lecture occidental, l'utilisateur, après analyse, se forge un modèle en faisant appel à ses connaissances et comprend par déduction logique que cette touche exprime une finalité. Puisqu'elle se distingue des autres, elle est reliée à une action plus importante.

La barre d'espace est elle aussi façonnée pour une utilisation particulière. Centrée et située en bas du clavier, elle est beaucoup plus longue, ce qui la rend accessible aux deux pouces de l'utilisateur lorsque celui-ci manipule le clavier. Ainsi, quelle que soit la lettre qui finit le mot saisi, il est capable d'y ajouter un espace avec la dernière main utilisée.

L'affordance est toute aussi présente avec la souris. Sa forme arquée et d'une taille proportionnelle au creux d'une main standard indique que l'objet doit être saisi par une main ouverte dans un premier temps puis qui se ferme dans un second temps pour se poser sur l'ensemble de l'objet. Cette courbe permet une saisie ferme du périphérique et l'utilisateur gagne en précision lors de ses mouvements.

Outre le fait qu'il soit possible de déplacer la souris grâce à sa paume pour positionner son pointeur à l'endroit souhaité, le découpage des boutons donne un indice à l'utilisateur sur le placement de ses doigts s'il souhaite effectuer des actions.

Ce sont donc toutes les caractéristiques physiques des dispositifs manipulés qui conditionnent leur prise en main par l'homme.

Les signifiants

En plus de l'affordance, Donald NORMAN distingue aussi les signifiants¹. Alors que l'affordance indique quelles interactions sont possibles entre les individus et leur environnement, les signifiants spécifient où l'action doit avoir lieu.

À la manipulation d'un objet, l'utilisateur est toujours à la recherche d'indices qui vont l'aider à comprendre où il doit effectuer des actions. Il s'agit donc des signes qui peuvent être interprétés. Donald NORMAN le définit comme suit :

¹ Donald NORMAN, *The Design Of Everyday Things*, New York, Basic Books, 2013, p14-20

« [...] Le terme signifiant fait référence à toutes marques ou sons, à n'importe quel indicateur qui communique à une personne le comportement approprié. »

On distingue deux types de signifiants. Les premiers sont délibérés et intentionnels alors que les seconds sont accidentels et involontaires. Mais qu'importe leur nature pour l'utilisateur, leur interprétation indique quelles actions sont possibles et comment elles peuvent être effectuées.

Le clavier comporte divers signifiants pour sa bonne prise en main. Le plus flagrant est l'imprimé présent sur chaque touche. Celles-ci étant pour la plupart similaires, indiquer sur chaque touche à quelle action elle est associée permet de les distinguer les unes des autres. Par exemple, sur un clavier sans signifiant, il serait impossible de distinguer un modèle QWERTY d'un AZERTY, tout comme une personne n'ayant jamais utilisé un clavier ne pourrait pas savoir que cet outil sert à communiquer avec la machine grâce à des caractères alphanumériques. La souris est elle aussi concernée. Les deux boutons, à gauche et à droite, qui la composent indiquent à l'utilisateur d'une part les deux zones où doivent se placer ses doigts pour interagir, mais aussi que deux actions différentes sont possibles.

Nous pouvons voir que les signifiants sont en relation très étroite avec l'affordance tout comme ils le sont avec les différents retours d'information en leur garantissant une bonne interprétation.

Les retours d'information

Les retours d'information traduisent le résultat d'une action et l'état actuel du dispositif de manière continue. Ainsi, ils permettent à l'utilisateur de percevoir le nouvel état après avoir effectué une action. Les signifiants ont aussi la tâche de garantir la cohérence et la compréhension du retour d'information.

Pour pouvoir évaluer la commande envoyée à la machine, deux types de retour d'information sont utilisés, l'un physique et l'autre visuel.

Nous avons vu que les machines à écrire ont les touches liées au marteau qui vient frapper et imprimer la feuille. Enfoncer la touche lance le marteau et relâcher la touche le fait revenir.

Cette action d'enfoncer-relâcher la touche a dans un premier temps une utilité pour le fonctionnement de la machine en elle-même, mais elle déclenche aussi un retour de force qui indique à l'utilisateur, de manière sensitive, que l'action a été effectuée et que la touche est à nouveau prête à être utilisée.

Sur les claviers informatiques, la mécanique a été gardée et même améliorée. Même si les claviers utilisent aujourd'hui diverses technologies, enfoncer une touche sert toujours à afficher un caractère. L'informatique a implémenté une fonctionnalité, la reconnaissance d'une touche enfoncée et maintenue pour ajouter en continu le même caractère, qu'il était alors impossible à réaliser sur une machine à écrire mécanique.

Les sons sont eux aussi très présents à la manipulation d'un clavier. Chaque touche enfoncée émet un bruit mécanique provenant de la couche inférieure du périphérique. En plus de la sensation physique, s'ajoute une validation auditive.

Des sons sont également ajoutés numériquement dans les systèmes d'exploitation comme pour la prévention de mauvaises manipulations de touches. A la saisie d'une combinaison de plusieurs touches non reconnues, un son est émis pour indiquer qu'aucune action n'a été effectuée. L'utilisateur comprend alors qu'il a fait une fausse manipulation et qu'il doit modifier son action avec une autre séquence de touches pour que la commande soit prise en compte.

La souris reprend elle aussi une certaine partie de ces codes. Il faut appuyer puis relâcher sur le bouton droit ou gauche pour effectuer une action au niveau où se situe le pointeur. Aussi, l'enfoncement maintenu permet une action de sélection de masse, tout comme l'est celle du clavier.

Nous pouvons voir que les deux périphériques ont deux états pour leurs boutons, inactif et actif, qui permettent à l'utilisateur de déduire que sa commande est prise en compte par la machine. Ce retour d'information est également nécessaire à la courbe d'apprentissage de l'utilisateur pour qu'il puisse accroître son aisance avec la machine grâce à la construction d'un schème d'utilisation.

Enfin, le retour d'information visuel complète le retour d'information physique. La majorité de ces indications sont visibles sur le moniteur relié à l'ordinateur. Les caractères saisis au clavier sont affichés sur l'écran, le pointeur se déplace en temps réel en fonction de la manipulation de la souris. A chaque interaction, la machine communique un état de retour à

l'utilisateur grâce à l'interface qui les relie. L'arrivée des GUI a développé tout le potentiel des retours d'information visuels en permettant l'affichage de changements d'états plus subtils comme le changement de couleur d'un texte.

Le visuel peut aussi se fondre aux objets physiques comme pour la touche de verrouillage des majuscules sur les claviers. Il est devenu courant d'avoir une LED qui s'allume lorsque la touche est verrouillée pour donner un repère à l'utilisateur sur la configuration du clavier ou du pavé numérique.

Nous pouvons voir que la prise en main d'un objet lié à l'interaction homme-machine et sa manipulation est régie par de multiples propriétés qui garantissent son bon usage et son efficacité. Profondément ancré dans les dispositifs de contrôle historiques, nous allons maintenant voir comment le tactile a su s'imposer au fil des années et comment il répond lui aussi à ces critères.

Partie II : Le tactile, première NUI de grande diffusion

1. L'évolution du tactile

L'interface tactile capacitive

Même si les smartphones et les tablettes n'existent que depuis quelques années, l'interface tactile n'est pas aussi récente que ce que l'on pourrait croire et a mis plusieurs décennies pour ressembler à ce que nous utilisons au quotidien.

L'invention des premiers écrans tactiles manipulables avec un doigt se fait en 1965 lorsque E.A Johnson publie les résultats de ses recherches sur un nouvel outil de contrôle du trafic aérien à la Royal Radar Establishment à Malvern au Royaume-Uni. Dans cet article intitulé « Touch Display – a novel input/output device for computer », E.A Johnson expose les mécaniques de l'écran tactile dit capacitif.

Deux ans plus tard, en 1967, Johnson publie un second article « Touch Displays : A Programmed Man-Machine Interface » dans la revue Ergonomics, cette fois-ci appuyé par des images et des diagrammes techniques.

La technologie capacitive repose sur les propriétés conductrices du corps humain. Le doigt est alors considéré comme un outil de pointage. Une énergie électrique est délivrée en continu sur une des surfaces qui composent l'écran tactile et lorsque le doigt touche celle-ci, la charge spécifique où se produit le contact diminue. Ce manque est alors mesuré précisément par quatre capteurs situés dans les angles de la dalle.

On retrouve la technologie capacitive sur tous nos appareils tactiles grand public et elle est à opposer avec la technologie résistive où ce sont deux couches superposées flexibles qui entrent en contact lorsque le doigt émet une pression. Cette dernière est réputée plus résistante que la technologie capacitive, mais moins précise, c'est pourquoi on la retrouve sur des dispositifs moins personnels comme les bornes dans les espaces publics.

Dans les années 1970, Frank Beck et Bent Stumpe du CERN développent le premier écran tactile transparent pour répondre à un système de contrôle centralisé dédié au Supersynchrotron à protons (SPS), l'accélérateur de particules du CERN. L'écran proposé repose sur des recherches effectuées par Stump en 1960 dans une entreprise de télévision et

en 1973 la salle de contrôle est entièrement équipée d'écrans tactiles.

Pendant ce temps, un groupe de scientifiques de l'université de l'Illinois sort le PLATO IV, le premier ordinateur tactile utilisant un système optique à infrarouge. Il sera utilisé dans plusieurs classes de l'université et le programme qui lui est associé permet aux étudiants de répondre à des questions en touchant l'écran.

Le tactile Multitouch

La seconde révolution majeure du tactile commence en 1982 à l'université de Toronto avec Nimish Mehta qui développe un protocole capable d'interpréter simultanément plusieurs doigts avec une caméra placée à l'arrière du verre. C'est le début des interfaces tactiles «multitouch» et la naissance du HP-150¹ produit par Hewlett-Packard en 1983. Il s'agit du premier ordinateur avec cette technologie, toutefois il rencontre plusieurs problèmes d'ergonomie. Effectivement, plusieurs retours dénoncent le manque de praticité d'un tel écran sur un ordinateur, car il contraint l'utilisateur à garder son bras tendu de longues minutes pour pointer les éléments. Cela a pour conséquence des fatigues musculaires voire des problèmes de santé plus sévères.

Le concept de l'écran «multitouch» se concrétise et s'améliore en 1985 par le développement d'une tablette tactile sensitive. L'usage de cette technologie va apporter deux avantages majeurs, le premier porte sur la finesse du dispositif final et le second sur la simplicité de production de la technologie vis-à-vis du système optique.

En 1987, Casio sort un produit révolutionnaire, le PB-1000², un ordinateur de poche avec un écran tactile qui permet de faire de l'édition de document, de calculer, d'utiliser du langage de programmation. Il est le premier appareil à inclure la technologie tactile dans un contexte de miniaturisation et de portabilité.

¹ Voir Annexe 9 : Le HP-150, Hewlett-Packard

² Voir Annexe 10 : Le PB-1000, Casio

Théorisation des interfaces tactiles

Les premiers travaux théoriques dédiés au tactile arrivent en 1990, année qui signe également le début de leurs usages variés.

Andrew Sears publie plusieurs travaux sur les interactions homme-machine qui utilisent le « simple touch » et le « multitouch ». Dans son document intitulé « A new area for touchscreen applications: High precision, dragging icons, and refined feedback »¹, il pose les fondements associés aux usages de la technologie tactile. Considérée comme plus intuitive, rapide, et produisant moins d'erreurs, beaucoup d'actions complexes à réaliser avec une souris ou un clavier sont plus faciles avec un écran tactile.

Il développe en six points :

- La technologie tactile apporte l'instantanéité contrairement aux autres périphériques dits indirects. Ainsi de simples gestes peuvent remplacer la plupart des actions possibles.
- Elle est le moyen le plus rapide de sélection pour un grand nombre de tâches.
- Elle est extrêmement facile à comprendre, car ce sont des actions à effectuer directement à même l'écran. Il n'y a, ni besoin d'apprendre, ni besoin de pratiquer l'orientation spatiale et la coordination main-œil contrairement aux autres équipements.
- Le clavier tactile apporte une flexibilité accrue grâce aux interfaces. Il peut être transformé et adapté en fonction du besoin en étant directement intégré à l'écran contrairement au clavier physique qui a des propriétés statiques.
- L'écran tactile forme un tout avec le reste de l'appareil ce qui par conséquent réduit ses chances de dégradation. Le fait qu'il n'y ait aucune pièce mobile le rend plus résistant.
- Enfin, il ne requiert pas d'espace additionnel car le bureau est libéré de tous les périphériques encombrants. De plus, les probabilités de perdre un périphérique sont réduites puisque l'écran est accessible directement sur l'appareil.

¹ Andrew SEARS, Catherine PLAISANT, Ben SHNEIDERMAN, *A new area for touchscreen applications : High precision, dragging icons, and refined feedback*, Université de Maryland, États-Unis, 1990

Andrew Sears aborde par la même occasion les inconvénients pressentis pour nuancer la technologie et propose un panel des bonnes pratiques :

- La mauvaise résolution des écrans complique la bonne prise en main du dispositif puisque toutes les actions s'appuient dessus.
- Comme vu avec le HP-150, le bras fortement sollicité se fatigue rapidement et restreint l'utilisation de l'écran à de courtes périodes. Pour régler cette problématique, Andrew Sears recommande de changer la position de l'écran pour ne pas l'intégrer comme sur un ordinateur standard.
- Les reflets de lumière sont handicapants pour la prise de décision, car ils dégradent l'affichage de l'information. Aussi, à force de manipuler le dispositif avec les doigts il est nécessaire de le nettoyer contrairement aux autres périphériques comme le clavier et la souris, qui demandent un entretien bien moins régulier.
- Quand l'utilisateur manipule l'écran, en interagissant avec, il obstrue une partie des informations, ce qui nécessite un design approprié. Les éléments d'actions doivent être placés de manière réfléchie pour ne pas masquer l'information. Il recommande également de pouvoir personnaliser l'interface en fonction d'un utilisateur droitier ou gaucher.
- Les retours d'informations sont beaucoup moins présents sur une interface tactile, il faut donc les compenser par des retours visuels et sonores comme ajouter un son lors de l'utilisation des touches du clavier virtuel.
- Lorsque l'utilisateur maintient l'appareil, il risque de cliquer involontairement sur des éléments. Andrew Sears s'en remet à l'avancée des technologies et prédit que la recherche sur les écrans «multitouch» va aider à résoudre le problème.
- Les prix des écrans tactiles sont encore très élevés comparés aux souris et aux claviers.

À travers sa publication Andrew Sears fait office de précurseur en allant à l'encontre des idées reçues comme la nécessité de créer des boutons virtuels démesurés. Il prouve qu'il est tout à fait possible de manipuler sur un écran tactile des carrés de 2mm en rappelant que les mains

sont dotées d'une grande agilité. Aussi, il émet des recommandations autant sur la partie matérielle que logicielle.

Il précise ses propos en indiquant que les ordinateurs tactiles doivent avoir l'écran intégré à la surface du moniteur et tous les composants supplémentaires logés à l'intérieur.

Pour la création d'applications, il dicte les règles à suivre en adaptant les 7 étapes de l'action humaine de Donald Norman à la technologie, à savoir :

- « 1) Formuler un plan de ce qui a besoin d'être fait dans le milieu où est effectuée la tâche,*
- 2) Analyser l'écran de l'ordinateur pour déterminer les zones touchables des non touchables qui représentent des actions et des objets pertinents pour la tâche,*
- 3) Identifier la zone touchable souhaitée par l'action ou l'objet,*
- 4) Toucher la zone souhaitée et recevoir un retour d'information de la position de la main et du changement à l'écran,*
- 5) Confirmer que le doigt est sur la zone d'action souhaitée puis le retirer pour activer la fonction,*
- 6) Confirmer que la zone touchable souhaitée est bien activée,*
- 7) Interpréter et évaluer le résultat de l'action pour savoir si l'objectif associé à la tâche est bien rempli »*

Il revient aussi sur la problématique du signifiant, car sur un écran tactile, les éléments cliquables doivent se distinguer des autres pour une compréhension générale de l'interface. Il ne recommande pas de solution particulière, mais incite les designers et ingénieurs à trouver la solution qui s'applique le mieux aux tâches qui doivent être effectuées et de garder la même représentation pour tout le reste du programme.

Enfin, il est le premier à aborder les mouvements destinés à la manipulation d'un écran tactile. Il introduit le Drag and drop, c'est-à-dire la sélection d'un élément avec un touch et son déplacement jusqu'à l'endroit souhaité en gardant le doigt en contact avec l'écran lors de l'exécution du geste, avec la manipulation des aiguilles d'une horloge virtuelle pour la mettre

à l'heure. Il décrit les mouvements linéaires, comme activer ou désactiver un élément par un balayage du doigt vers le haut ou vers le bas et le tap-Clic, qui permet d'une main de pointer un élément et de l'autre de lancer une action.

Nouveaux dispositifs

Fort de cette publication qui encadre désormais une partie des interfaces tactiles, sort en 1993 le Simon Personal Communicator¹, le premier téléphone portable avec écran tactile, fruit d'une collaboration entre IBM et BellSouth. Il est doté de nombreuses fonctionnalités comme une application d'e-mail et de calendrier, un planning de rendez-vous, un carnet d'adresses, une calculatrice et un carnet de notes utilisable avec un stylet.

La même année, Apple sort son PDA (Personal Digital Assistant) Newton MessagePad 100², premier appareil à utiliser la plateforme de même nom développée par l'entreprise en 1987. Tout comme le Simon Personal Communicator, il possède la reconnaissance d'écriture, mais le logiciel s'avère être un échec. Les expériences acquises avec la famille de produits Newton joueront un rôle crucial pour le développement de leurs futurs produits.

En 2001, Microsoft se lance aussi dans le développement de produits tactiles avec le Microsoft PixelSense³ appelé plus communément Microsoft Surface. L'ambition de cette table tactile est de créer un espace virtuel tactile collaboratif où plusieurs personnes peuvent intervenir en même temps sur un appareil unique, quelle que soit leur position. Elle ne sera commercialisée qu'à partir de 2008 après la réalisation de plus de 85 prototypes et ne sera vendue que sur le marché professionnel.

Depuis les années 2000, de nombreuses entreprises se sont lancées dans le développement des écrans tactiles pour tirer leur épingle du jeu. Une des plus productives fut Fingerworks qui de 1999 à 2005 développa de multiples technologies «multitouch». Un certain nombre d'études sur les technologies développées sont publiées au début des années 2000 par Alan

¹ Voir Annexe 11 : Le Simon Personal Communicator, IBM et BellSouth

² Voir Annexe 12 : Le Newton MessagePad 100, Apple

³ Voir Annexe 13 : Le Microsoft PixelSense, Microsoft et Samsung

Hedge, professeur de facteur humain et d'ergonomie à l'université de Cornell.

En 2005, Apple fait l'acquisition de l'entreprise, qui va jouer un rôle majeur dans la conception de l'écran de l'iPhone¹ sorti en 2007. Considéré comme le premier téléphone « intelligent » (Smartphone) et doté d'un écran capacitif « multitouch », l'appareil intègre un nombre de fonctionnalités record. Grâce à la forte expérience d'Apple dans la musique avec l'iPod², sa gamme de baladeurs MP3, l'iPhone intègre tous les services multimédias, musique, vidéo, livre, photographie en plus des fonctionnalités classiques liées au téléphone.

La révolution lancée, Steve Jobs bouleverse à jamais l'industrie du mobile en 2008 en annonçant pour la deuxième version de l'iPhone un Kit de développement qui permet à tout un chacun de développer des applications téléchargeables par internet sur l'Apple store, un magasin virtuel dédié, présent sur chaque téléphone de la marque. Le téléphone a définitivement pris une autre dimension et devient réellement intelligent en voyant ses fonctionnalités démultipliées au gré de l'imagination de la communauté de développeurs. Après avoir révolutionné le mobile, Apple bouleverse à nouveau les habitudes en 2010 en modifiant l'image de l'ordinateur personnel. Avec le constat que celui-ci était doté de nombreuses fonctionnalités inutiles dans un foyer, la tablette tactile sous le nom d'iPad³ voit le jour.

Depuis lors, la position des smartphones et tablettes tactiles n'a fait que progresser au détriment de l'ordinateur classique qui voit ses ventes reculer d'année en année.

Cela prouve que ces nouveaux appareils répondent à de nouveaux besoins qui n'étaient pas présents auparavant.

2. Nouveaux contextes et nouveaux besoins

Les impacts d'internet

Depuis les années 1990, un grand changement s'est opéré dans les foyers avec la venue d'internet pour le grand public. En sortant du domaine militaire et universitaire, internet apporte la mise en réseau pour connecter le monde entier.

¹ Voir Annexe 14 : l'iPhone, Apple

² Voir Annexe 15 : l'iPod, Apple

³ Voir Annexe 16 : l'iPad, Apple

Grâce au protocole HTTP il met à disposition des pages en HTML pour visionner des textes, des images et des liens accessibles par un moteur de recherche. Il se popularise très rapidement et bouleverse les modèles de nos sociétés aussi bien dans la vie privée des individus que dans les entreprises. En l'an 2000, seules 14% des familles françaises possédaient un ordinateur avec une connexion internet. Dès 2007, à la sortie de l'iPhone, plus de 50% bénéficiaient déjà d'un accès et en 2013 ce sont 82% des domiciles¹. À l'échelle mondiale, en 1995, seulement 0,8% de la population accède à internet, en 2000, ce sont 6,7% soit 400 millions de personnes et en 2014 la progression monte à 40,4% de la population mondiale soit presque 3 milliards d'internautes².

L'information devient simultanément et mondialement accessible d'un simple clic à des millions de personnes. Ceci brise le modèle historique dans lequel la connaissance était essentiellement disponible dans des lieux précis de savoir comme les universités, les bibliothèques et les musées. Internet devient la première banque de connaissance et d'information mondiale entièrement à disposition des utilisateurs et elle se distingue des réseaux historiques en autorisant chaque individu à prendre part au développement de cette connaissance. Chacun a la possibilité de manipuler les données et l'information pour contribuer à son enrichissement en partageant ses savoirs personnels et les événements qui se produisent dans son environnement.

La mobilité

Cette capacité d'obtenir des informations en temps réel ne peut donc plus se cantonner aux ordinateurs traditionnels et la mobilité devient un besoin indispensable face à la société qui se transforme et qui gagne en rapidité. L'homme doit pouvoir accéder à toute l'information lors de ses déplacements et c'est pourquoi un changement majeur s'opère. L'ordinateur personnel dans les domiciles, posé sur une table qui demandait à l'utilisateur d'être assis pour l'utiliser, mute et devient un ordinateur plus intime, un ordinateur individuel. Il prend plusieurs nouvelles formes toutes guidées par la miniaturisation comme l'ordinateur portable

¹ Voir Annexe 17 : Statistiques accès à l'internet

² Internet Users (Disponible sur : <http://www.internetlivestats.com/internet-users/>)

ou le téléphone mobile qui autorisent enfin leur manipulation en mouvement.

Cette croissance de la mobilité connectée à internet est encore plus frappante que son évolution sur ordinateur. Alors qu'il aura fallu plus de vingt ans pour que 3 milliards d'hommes aient accès à internet, tous appareils confondus, il aura fallu seulement 7 ans pour que 83% soit 2 de ces 3 milliards accèdent à internet depuis un téléphone¹.

Cette croissance exponentielle s'explique par l'accessibilité beaucoup plus simple des téléphones, comparés aux ordinateurs dans les pays émergents. Avec près de 7 milliards de téléphones dans le monde soit 97% de la population mondiale, et dans certains pays comme la France où il y a plus d'un téléphone par habitant, beaucoup de personnes n'ayant aucun moyen d'être connectées auparavant se retrouvent éligibles aujourd'hui. Ainsi, l'ordinateur et la connexion internet sont remplacés par le téléphone et son forfait, plus polyvalent et moins cher. Le téléphone est devenu un outil plus indispensable que l'ordinateur. Même dans les pays développés, la tendance de la mobilité s'accroît. Aux États-Unis alors que 83,8% des ménages possèdent un ordinateur et que 74,4% de ces ménages ont une connexion internet en 2013, 31% des Américains déclarent que leur téléphone est leur principal moyen d'accès. En 2014, leur temps passé sur internet avec un mobile est de 2,6h contre 2,4h pour l'ordinateur. En 2015, la tendance se confirme et s'accroît progressivement avec 2,8h sur le smartphone contre 2,4h sur ordinateur². Un réel bouleversement des usages est en train de se produire.

Nouveaux usages

Cette ouverture sur le monde modifie les rapports que l'on a avec les ordinateurs qui étaient essentiellement dédiés au travail. Le caractère social de l'homme engendre les réseaux sociaux, le divertissement prend de plus en plus de place avec les jeux vidéo, nos musiques et nos films nous suivent partout où nous nous déplaçons, et de nombreuses nouvelles tâches peuvent être effectuées en ligne comme effectuer des achats.

Internet combiné aux appareils mobiles va étendre les capacités de l'homme et même les

¹ Internet & Mobile Phone Users Worldwide 2015 : 50% Population Is On Internet (*Disponible sur : <http://dazeinfo.com/2014/01/23/smartphone-users-growth-mobile-internet-2014-2017/>*)

² Voir Annexe 18 : Mobile Marketing Statistics 2015

augmenter en lui permettant de réaliser plusieurs actions simultanément qu'importe l'endroit où il se trouve. On constate que 78% des internautes utilisent leur téléphone en pratiquant en même temps une autre activité. 52% regardent la télévision, 47% écoutent de la musique et 36% consultent internet.

Cette accessibilité à internet reflète les désirs de la société d'être connectée en permanence. Ainsi, il transforme des appareils au format de poche en des objets multifonctions à portée de doigt.

Les usages des appareils mobiles sont bien différents des ordinateurs, car ils répondent à des besoins plus précis et plus individuels.

Ainsi, 74% des Français ne sortent jamais sans leur téléphone. Il est considéré comme une extension du corps humain et fait office de boîte à outils indispensable que ce soit pour s'occuper lorsque l'on a du temps libre, nous guider avec le GPS ou communiquer avec ses proches à tout instant. De ce fait il reste allumé en permanence, contrairement à un ordinateur, car il est sollicité à tous les instants du quotidien du réveil au coucher.

Utilisé à 97% à la maison, il l'est à 80% au travail, 78% dans les transports et déplacements, mais aussi à 76% au café, 73% au restaurant, 59% chez le médecin et 56% chez les amis¹. Nous pouvons voir avec ces chiffres que l'utilisation du smartphone est parcellisée dans le temps en fonction de nos occupations. Cette répartition fait entrevoir des actions brèves comme la consultation de mails, de réseaux sociaux, la recherche sur internet ou encore les messageries instantanées.

Ainsi, les possesseurs de téléphones mobiles utilisent leur appareil tout au long de la journée. Ceci n'échappe pas aux entreprises qui transforment leur Business modèle en adaptant leurs services historiques au travers de services dématérialisés, accessibles depuis des applications comme la réservation de billets, ou plus récemment avec des solutions alternatives aux taxis.

BYOD (Bring Your Own Device)

En entreprise, le mobile est tout aussi omniprésent et contribue à effacer la frontière entre le monde personnel et le monde professionnel. Par exemple, l'usage des mails s'est démultiplié et dans cette quête de l'instantanéité, de plus en plus d'entreprises utilisent des messageries

¹ Voir Annexe 19 : Les smartphones s'utilisent partout

instantanées. Plus intrusives, mais moins protocolaires, elles contribuent à appliquer des usages personnels maîtrisés et appréciés des collaborateurs au monde professionnel. En 2005, Ballagas et al. utilisent le terme BYOD (Bring Your Own Device) dans un document lors de l'UBICOMP 2005. Ce procédé autorise l'employé à apporter son propre outil de travail, ordinateur, téléphone, tablette, pour bénéficier de plusieurs avantages. Du côté de l'employé, l'outil est mieux maîtrisé donc sujet à moins de tensions. En conséquence, il augmente son confort de travail et gagne en motivation, car il opère sur l'outil de son choix. Parallèlement sa productivité est améliorée. Côté employeur, cela permet également de diminuer les coûts d'infrastructure de l'entreprise.

Les premiers cas de BYOD sont constatés dans la société Intel qui, dès 2009, autorise officiellement cette pratique après s'être aperçu qu'un nombre important de leurs employés apportent déjà leurs appareils personnels. La tendance va se généraliser et en 2013, 71% des collaborateurs français interrogés dans une enquête de MARKMESS International disent utiliser des appareils personnels dans un cadre professionnel¹.

La tablette est aussi un outil en pleine croissance dans les professions dites nomades qui nécessitent d'aller sur le terrain comme les agents immobiliers, les chefs de chantiers ou encore le personnel des hôpitaux qui va de chambre en chambre pour effectuer le suivi des patients. En donnant accès directement à l'information et à la manipulation de celle-ci, les tablettes ont changé leur mode de travail pour apporter un gain de productivité conséquent et réduire la pénibilité, car le salarié n'est plus obligé de revenir dans un bureau pour saisir les informations récoltées sur le terrain.

ATAWAD (Any Time, AnyWhere, Any Device)

Toutes ces évolutions qui tendent à rendre nos vies mobiles sont dictées par l'expression ATAWAD, proposée par Xavier Dalloz, qui signifie « Any Time, AnyWhere, Any Device » et résumée par le mot mobiquité, fusion entre les mots mobilité et ubiquité.

Cette expression évoque la capacité d'un utilisateur à se connecter sur internet pour accéder

¹ Etude MARKMESS (Disponible sur : <http://blog.markess.fr/2012/05/drh-collaborateurs-face-aux-reseaux-sociaux-applications-mobiles-collaboratives.html>)

à l'information sans aucune contrainte, que ce soit de temps, de localisation ou de terminal. Ainsi, « Sans contrainte de temps » implique une connexion 24h/24, 7j/7 sans aucune interruption comme nos services de messagerie ou plus récemment le cloud computing¹ qui rend possible l'accès à n'importe lequel de nos fichiers, à tout instant.

« Sans contraintes de localisation » signifie pouvoir obtenir une connexion hors de chez soi ou de l'entreprise grâce aux réseaux de mobilité, 3G, 4G, Wifi mis en place dans les villes, mais également dans des lieux de plus en plus reculés.

« Sans contrainte de terminal », car les équipements ayant un accès internet prolifèrent. Ordinateur, smartphone, tablette, télévision, et tout l'internet des objets, dont les montres et bracelets connectés sont les précurseurs. Autant d'appareils susceptibles de se connecter à internet pour rechercher du contenu.

Dans le milieu professionnel on parle également de l'ATAWADAC pour « Any Content » avec l'importance pour un collaborateur de pouvoir accéder aux outils ou informations de l'entreprise.

Que ce soit dans les entreprises ou dans le quotidien, ces changements n'ont pu se faire qu'avec l'évolution des dispositifs.

3. Des supports et technologies adaptés aux usages

Du téléphone au smartphone

La société a évolué très rapidement ces dernières décennies avec l'apparition d'internet et les nouvelles technologies informatiques. De même, comme nous l'avons analysé dans la partie précédente, les usages ont été bouleversés et la mobilité est entrée au cœur de nos vies. Toutes ces évolutions ont mis à disposition une quantité phénoménale de connaissances pouvant être exploitées, consultées, améliorées quel que soit l'espace ou le temps. C'est pourquoi, pour profiter pleinement de tout ce potentiel, les simples ordinateurs de bureau que nous connaissons ne suffisent plus, car ils cantonnent l'utilisateur à un endroit précis. En

¹ Le *cloud computing*, ou *l'informatique en nuage*, est l'exploitation de la puissance de calcul ou de stockage de serveurs informatiques distants par l'intermédiaire d'un réseau, généralement l'internet. Source Wikipedia

vue de répondre à ce besoin, de nouveaux appareils pouvant intégrer toutes ces améliorations et parfaire l'accès à l'information ont été développés.

Le téléphone mobile qui existait depuis 1983 fut donc un choix logique pour intégrer toutes ces nouvelles fonctionnalités. Il est dès ses débuts un objet personnel et individuel que l'on emporte partout avec soi pour obtenir la capacité tant désirée de communiquer en temps réel et être joignable à tout moment.

Aussi, les téléphones s'approchaient déjà d'un système multifonction avec la disponibilité de jeux et de programmes utilitaires comme la calculatrice ou la prise de notes. C'est donc naturellement que le téléphone mobile a été retenu pour profiter de ce gain technologique et devenir un objet intelligent, le Smartphone.

Les évolutions associées à ce nouvel appareil sont le fruit de la combinaison et de l'intégration de multiples objets existants. Ces derniers ayant eux-mêmes bénéficié d'une transformation technologique commune, à savoir leur numérisation.

Ainsi le smartphone combine au fur et à mesure de nombreux autres dispositifs qui étaient jusqu'alors utilisés indépendamment les uns des autres. Cette intégration a eu pour tendance de les faire disparaître en tant qu'objet individuel et aujourd'hui, le smartphone ouvre la porte à de nouveaux usages et de nouvelles possibilités qui n'étaient jusqu'alors intégrées à aucun dispositif.

De ce fait, la lecture de la musique sur le téléphone provient des baladeurs. Autrefois à cassette, puis à CD, ils ont suivi le même modèle d'évolution de miniaturisation et d'augmentation de leur capacité pour devenir complètement numériques, ceci grâce au format de musique .mp3 qui compresse la musique en un signal numérique.

L'outil GPS dans les smartphones provient de la percée des GPS suite au programme de l'armée américaine. L'objet s'est implanté dans le quotidien et particulièrement dans les voitures personnelles pour ensuite se voir fusionner avec le téléphone.

Les jeux ont eux aussi bénéficié de ce changement. Les consoles et les ordinateurs se sont ouverts à la mobilité avec les premières consoles portables comme la Gameboy ou la Nintendo DS. Le smartphone étant beaucoup utilisé dans des heures creuses de la journée, le jeu dit occasionnel a pris toute son importance en occupant le temps libre de l'individu et a fini par remplacer les consoles portables.

L'appareil photo, d'abord argentique, est passé au format numérique début du nouveau millénaire pour toujours gagner en miniaturisation. Grâce aux fortes avancées dans le

domaine de l'optique il finit par être intégré aux smartphones et devient depuis quelques années un réel argument de vente. En témoigne la baisse des ventes d'appareils photo compacts de 18% en 2013. Aujourd'hui, il se vend quatre smartphones pour un appareil photo numérique tous types confondus¹. Seuls les reflex, les appareils photo haut de gamme, ne sont pas impactés grâce à leur qualité toujours inégalée.

Nous pouvons constater qu'un grand nombre de fonctionnalités issues d'appareils au format numérique peut être intégré directement au smartphone. Cette tendance s'accélère comme l'incorporation de puces pouvant compter le nombre de pas effectués par l'individu en réponse aux bracelets connectés dédiés à la santé. À tel point qu'aujourd'hui de nouveaux usages apparaissent directement sans passer par d'autres objets. Toutefois, nous pouvons aussi constater des cas contraires qui redéfinissent la mobilité et le rôle du smartphone. Alors qu'il avait tendance à faire disparaître tous les appareils pour les unifier, il devient pour la première fois le partenaire d'autres objets intelligents pour combiner leurs capacités. Ainsi, le domaine des objets connectés avec la santé ou encore la domotique offre de nouveaux usages.

L'évolution du support

L'appareil nomade voit ses fonctionnalités croître grâce à trois évolutions majeures au cœur du téléphone mobile.

La première est la multiplication des capteurs au sein du dispositif qui répondent chacun à des usages propres, mais peuvent aussi être combinés pour gagner en précision et en efficacité. Tous ces capteurs associés à leurs usages rendent l'appareil plus intelligent, car ils lui permettent de comprendre son environnement.

Le capteur de géolocalisation qui équipe les appareils mobiles d'un système GPS permet de localiser l'individu et de le guider. Ce système couplé au magnétomètre et au gyroscope, permet à l'utilisateur de savoir précisément sa position, puis en orientant son téléphone de décider vers quelle direction il doit aller pour suivre le chemin indiqué. Avec ces capacités,

¹ LSA-conso.fr – Les appareils photo ont-ils encore un avenir ? (Disponible sur : <http://www.lsa-conso.fr/les-appareils-photo-ont-il-encore-un-avenir,166984>)

l'homme combiné à la machine maîtrise l'espace qui est autour de lui, il n'a plus besoin de demander son chemin et tout endroit devient accessible. Cela ouvre un autre regard sur la perception que nous avons de notre environnement.

Le gyroscope est également sollicité par des jeux pour nous immerger dans le monde virtuel et il introduit de nouvelles formes de contrôle par lesquelles la manipulation de l'appareil dans son ensemble est nécessaire pour se mouvoir. Ainsi, il convertit les mouvements du corps humain pour déplacer un corps virtuel.

Les capteurs de lumière ambiante et de luminosité permettent d'ajuster automatiquement l'affichage du téléphone pour augmenter le confort de l'utilisateur et démultiplier ses moments d'utilisation. Ces adaptations permettent par exemple d'utiliser son smartphone en plein soleil et la nuit en ajustant la luminosité de l'écran ou encore de l'éteindre pour économiser de la batterie comme lorsque le téléphone est à notre oreille au moment de téléphoner.

Enfin, plus récemment, des capteurs biométriques sont utilisés pour la sécurité de l'appareil et pour mesurer la santé de l'individu.

En remplaçant les mots de passe par une empreinte digitale ou l'iris d'un œil, uniques à l'utilisateur, celui-ci gagne en rapidité, en protection et surtout il n'est plus obligé de retenir des dizaines de mots de passe. Toute cette énergie économisée peut être redistribuée sur d'autres tâches plus importantes que la machine ne peut pas effectuer.

La collecte des données médicales immédiates permet d'avoir un rapport rapide sur notre état de santé sans passer par un médecin, mais également de partager ces données avec ce dernier pour avoir un suivi plus rigoureux. La maîtrise de son corps est également devenue très présente dans la société et le smartphone répond pleinement à ce besoin. Il est possible de mesurer le nombre de pas, la vitesse cardiaque, les calories dépensées pour pouvoir réguler notre manière de vivre et l'ajuster au mieux.

La deuxième évolution majeure est l'introduction d'un nouveau mode de multiplication des usages, le magasin d'applications. Historiquement les constructeurs produisaient des appareils, implémentaient leurs couches logicielles, le tout dans un système fermé où l'utilisateur se contentait de ce qui était fourni par défaut. En intégrant un magasin d'application directement dans le système d'exploitation de l'iPhone deuxième génération en 2008, Apple a ouvert les portes à l'imagination de milliers d'ingénieurs et designers. Tous les

composants et capteurs du téléphone étaient utilisés jusqu'alors avec les fonctionnalités basiques mais largement sous-exploités par rapport à leurs capacités. C'est pourquoi, avec cette ouverture, l'objectif est d'innover et d'optimiser les capacités offertes par le smartphone, et ce dans le but de le rendre encore plus « intelligent ». Ce sont ainsi des millions d'applications qui ont été développées jusqu'à ce jour pour couvrir tous les milieux ayant un rapport au numérique. Le modèle même de l'objet est changé à jamais. Ainsi, un smartphone efficace n'est plus seulement un appareil performant et bien manufacturé, mais il doit être intégré dans un écosystème beaucoup plus large qui dévoilera toutes ses capacités. L'évolution se fait autant sur le matériel que sur le logiciel.

Enfin, l'écran tactile va bouleverser l'utilisation du téléphone mobile et ses capacités. Avec les premiers téléphones mobiles, l'écran constituait une petite partie de l'appareil et le clavier numérique physique prédominait. Toutes ces nouvelles applications nécessitent une nouvelle manière d'interagir avec l'appareil. Un simple clavier physique n'est plus suffisant pour effectuer les mêmes tâches sur téléphone que sur un ordinateur. Par ailleurs, il n'est plus possible d'utiliser les mêmes périphériques classiques qui ont assuré la pérennité de l'interaction homme-machine. Brancher une souris ou un clavier sur un téléphone répondrait aux contraintes des nouveaux usages, mais reviendrait à lui retirer sa mobilité en l'encombrant. Même si les ancêtres des smartphones, les PDA étaient dotés d'un stylet, la manipulation de l'appareil par un périphérique externe s'avère contraignante et contreproductive. Il faut un moyen plus naturel d'agir avec le téléphone et les interfaces tactiles répondent parfaitement à ce besoin de tout contrôler à même l'appareil. Il s'agit de la première interface de pointage fusionnée au support et à l'écran. Avec cette solution, l'homme interagit directement avec la machine sans passer par un dispositif tiers et l'immédiateté de ses actions est prise en compte.

La solution des écrans capacitifs est également privilégiée, car plus précise pour les petites dimensions des nouveaux appareils contrairement aux écrans résistifs.

Toutefois, cette technologie qui fusionne la zone d'affichage avec la zone d'interaction demande une approche particulière pour le développement de ses interfaces.

Des interfaces adaptées au support

Les interfaces graphiques que l'on connaissait sur ordinateur ou celles présentes sur les premiers téléphones ne répondent plus au nouveau format du dispositif et à l'étendue de ses capacités. Cela engendre par conséquent deux évolutions, la première, graphique vis-à-vis du design des interfaces et la seconde humaine, sur les nouveaux moyens d'interagir avec ces écrans tactiles.

Concernant les évolutions de l'interface, les designs historiques ne sont plus utilisables. Le paradigme de WIMP est bouleversé ainsi que la métaphore du bureau. Trop petits, trop riches, les appareils ne permettent plus un affichage aussi florissant, celui-ci se doit d'être réduit à l'essentiel.

La navigation sur le mobile change avec les usages et les nouvelles contraintes apportées par des dispositifs de petite taille. Ainsi, alors que les logiciels sur ordinateur se lancent dans des fenêtres qu'il est possible de manipuler au gré de ses envies, le téléphone est lui aussi doté du multitâche, mais se voit obligé d'afficher chaque application en plein écran pour une qualité de visualisation optimale. Même si le smartphone est composé d'une multitude de fonctions, son usage en multitâche est réduit par son format, ce qui focalise l'utilisateur sur l'action en cours.

Les icônes sont quant à elles beaucoup plus sollicitées que sur ordinateur. Une image étant plus parlant qu'un texte, elle est utilisée pour toutes les actions générales qui peuvent être facilement interprétées. Ainsi un certain nombre de ces icônes se retrouvent de manière transverse sur les différents systèmes d'exploitation comme le crayon qui signifie la modification d'une donnée.

Les menus sont revus en profondeur en conséquence de l'espace réduit. Le cœur de page est réservé au contenu et les espaces en haut et en bas du smartphone sont considérés comme des zones d'action. Celle du bas pour les manipulations régulières qui ont un impact sur le contenu et celle du haut, plus difficilement accessible par la main de l'utilisateur, réservée aux menus moins sollicités.

Le pointeur est complètement repensé puisqu'il disparaît au profit des actions directes de l'utilisateur avec l'écran et les boutons virtuels affichés. De ce fait, les composants d'actions sont adaptés à la taille du doigt de l'utilisateur, l'espacement entre deux boutons est

augmenté et tous les éléments sont plus volumineux que sur les outils informatiques classiques.

Le contenu subit lui aussi de nombreux changements pour avoir une meilleure visibilité. Les textes plus courts sont privilégiés, la mise en forme est retravaillée, comme un corps de texte plus grand ou l'espacement entre chaque ligne. Puisque l'utilisateur avec un appareil mobile ne peut voir qu'un élément à la fois, il est important de le resituer dans son contexte pour qu'il sache comment progresser à travers l'interface.

La catégorisation est d'autant plus importante que les informations principales doivent se retrouver dans les premières lignes visibles à l'écran.

Enfin, le recours aux images est très présent, mais celles-ci sont allégées pour réduire la bande passante nécessaire et garantir un affichage optimisé quelle que soit la qualité de réseau.

Cette évolution des représentations graphiques consistant à alléger au maximum l'interface pour n'afficher que l'essentiel s'est répandue sur tous les autres supports et aujourd'hui l'ordinateur classique est lui aussi régi par nombreux de ces changements. Les contraintes de mobilité ont permis d'améliorer considérablement les interfaces de manière générale.

Pour interagir avec les interfaces tactiles, nous avons vu que l'homme utilise directement son doigt. C'est pourquoi, afin d'augmenter les capacités d'actions sur de petits supports, le travail d'Andrew Sears sur la gestuelle du tactile a été amélioré et a contribué au développement d'un langage universel et transverse à tous les systèmes d'exploitation mobiles.¹

Le tap est l'action principale des écrans tactiles, il remplace le clic gauche d'un ordinateur classique et c'est avec cette gestuelle que l'on réalise toutes les actions principales.

Le pinch to zoom utilise deux doigts qui en les approchant ou les écartant l'un de l'autre sur l'écran agrandit ou rétrécit l'image dans ce dernier.

Le swipe de haut en bas est l'un des gestes les plus utilisés pour parcourir le contenu puisqu'il permet de faire défiler le contenu de haut en bas. Il remplace le scroll associé à la molette de la souris sur ordinateur.

Le swipe de gauche à droite sert à faire défiler des images ou alors à changer de catégorie

¹ Voir Annexe 20 : Référentiel de gestuelles à deux doigts

dans une application. Il s'agit d'un raccourci de navigation sans passer par le menu principal plus difficilement accessible et plus fourni.

Le tap and hold est l'équivalent du clic droit de la souris sur ordinateur. Il ouvre un menu où sont listées toutes les options possibles. Cette manipulation remplace le Tap-Clic développé par Andrew Sears.

Toutes ces actions ayant directement lieu sur l'écran tactile, le retour d'information est beaucoup moins important comparé à un clavier ou à une souris. Le seul retour physique du doigt en contact avec la surface ne peut suffire à indiquer si l'action a été prise en compte. Dans le but de combler ce manque, plusieurs ajouts ont été développés.

Le premier, physique, est un retour haptique, c'est-à-dire qui stimule le sens tactile de l'utilisateur pour lui confirmer son action. Sur les smartphones, le retour haptique se fait par de légères vibrations ciblées au contact d'un élément porteur d'action. L'avantage de cette technologie est de pouvoir varier la vibration en fréquence, direction et intensité pour délivrer différents messages liés à des comportements qui n'ont pas le même impact.

Les retours sonores sont quant à eux beaucoup plus exploités que sur ordinateur et ils se combinent aux vibrations. Il s'agit d'un moyen pour compenser la réduction de disponibilité d'un sens par un autre. Ces retours sonores sont intégrés à tous les niveaux logiciels, que ce soit pour les touches du clavier virtuel, une nouvelle notification ou encore la validation d'une action.

Enfin, les retours visuels sur les changements d'état d'un bouton ou d'une information sont plus prononcés pour augmenter la rapidité de perception de l'utilisateur.

Partie III : La difficulté des nouvelles NUI à se profiler

1. Les différentes NUI

Les interfaces tactiles ne sont pas les seules Natural User Interface existantes. Elles sont les plus connues car elles ont atteint une maturité qui se distingue par une symbiose entre l'usage et le dispositif qu'elles intègrent. Toutefois, il ne faut pas oublier qu'elles sont les premières représentantes de cette nouvelle génération d'interfaces qui veulent placer les langages de l'homme au cœur de l'interaction homme-machine.

Nous allons donc passer en revue les quatre autres NUI existantes de nos jours pour comprendre leur fonctionnement et, par la suite, les analyser avec les principes fondamentaux que nous avons étudiés précédemment dans le but de comprendre quelles sont les difficultés qui leurs font face.

Les interfaces gestuelles

Après les interfaces tactiles, il s'agit de la deuxième interface la plus mature des NUI. Les premières expérimentations remontent aux années 1960, mais c'est seulement en 1987 avec le développement du DataGlove¹ par Thomas G. Zimmerman et une publication² détaillant son fonctionnement que l'interface gestuelle prend de l'ampleur dans le milieu scientifique. Le DataGlove est un gant composé de capteurs qui traduit les mouvements de la main équipée en des signaux interprétables par l'ordinateur pour effectuer des actions directes.

L'interface gestuelle obtient une visibilité mondiale avec son apparition en 2002 dans le film *Minority Report*. En 2010 le prototype, utilisé dans le film, *G-Speak Spatial Operating Environment*, est présenté par John Underkoffler, ancien employé du MIT et directeur de la

¹ Voir Annexe 21 : Le DataGlove, Thomas G. Zimmerman

² Thomas G. ZIMMERMAN, Jaron LANIER, Chuck BLANCHARD, Steve BRYSON, Young HARVILL, A hand gesture interface device, Redwood City, États-Unis, 1987

société Oblong Industries, lors d'une conférence TED^{1,2}. Il s'agit d'un ordinateur piloté par une interface gestuelle grâce à deux gants portés par l'utilisateur.

En 2006 et 2008 sortent respectivement la Wii de Nintendo et la Kinect de Microsoft. La Wii³ est une console de jeux équipée de manettes à reconnaissance de mouvements et la Kinect⁴ est un périphérique à brancher sur la Xbox, console fabriquée par Microsoft, qui reconnaît les mouvements effectués par le corps de l'utilisateur. Nous pouvons voir qu'il s'agit tous deux de dispositifs dédiés au divertissement qui ont su trouver un public avec notamment 96,68 millions de consoles Wii vendues fin 2012. Ces dispositifs ont ouvert les jeux vidéo à un public plus large grâce à leur prise en main facilitée.

Les interfaces gestuelles sont elles-mêmes divisées en deux catégories.

La première, la captation externalisée fait référence à un dispositif se trouvant autour de l'utilisateur qui, à l'aide de capteurs infrarouges, va mesurer les volumes présents dans son champ de visualisation. Lorsque les silhouettes de l'homme sont perçues, le logiciel lui associe un squelette numérique afin de définir ses articulations et reconnaître les gestes effectués par l'utilisateur. La capture infrarouge couplée aux algorithmes permet différents degrés de précision allant d'une partie d'un corps à plusieurs corps en mouvement. Un autre procédé externalisé, moins coûteux mais moins efficace, consiste à réutiliser une caméra standard pour définir les changements d'état radicaux en fonction de la luminosité captée. L'avantage principal de ce parti-pris est la récupération d'un outil déjà développé à grande échelle et présent sur de nombreuses machines. Ce procédé est déjà intégré sur certains smartphones remplissant ainsi la promesse de commande d'action à l'aide de gestes simples comme le balayage de la main.

La deuxième catégorie est la captation portée où le dispositif détecte les mouvements à l'aide de gyroscopes permettant ainsi de connaître les angles du corps. Une autre possibilité est la captation musculaire. Le dispositif est alors capable de capter de manière immédiate la mise en mouvement d'un muscle et de la traduire en signal électrique avant la fin de son exécution par l'homme.

¹ « Les conférences TED (*Technology, Entertainment and Design*), sont une série internationale de conférences organisées par la fondation à but non lucratif The Sapling foundation. Cette fondation a été créée pour diffuser des « idées qui valent la peine d'être diffusées » (en anglais : « *ideas worth spreading* »). » Source Wikipedia

² Conférence TED - John UNDERKOFFLER, Pointing to the future UI (*Disponible sur : http://www.ted.com/talks/john_underkoffler_drive_3d_data_with_a_gesture*)

³ Voir Annexe 22 : La Wii, Nintendo

⁴ Voir Annexe 23 : La Kinect, Microsoft

Les actions liées aux interfaces gestuelles peuvent se faire selon deux approches. Ainsi, les gestes effectués peuvent être soit différés, soit directs.

Dans le cas de gestes différés ou sémantiques, l'utilisateur doit réaliser un mouvement entier comme dessiner un cercle fermé avec sa main pour que l'action puisse être interprétée et exécutée par la machine.

Dans le cas de gestes directs, l'utilisateur manipule en temps réel l'objet virtuel présent sur l'interface comme pour le déplacer ou le travailler.

La promesse d'une telle interface est de créer un langage gestuel dans le but de parvenir à une communication intuitive propre à l'homme.

Les interfaces vocales

Les premiers travaux sur la reconnaissance de la parole datent de 1952 avec un système électronique développé aux laboratoires Bell Labs par K. H. Davis, R. Biddulph et S. Balashek, capable de reconnaître des chiffres prononcés de manière isolée. Dans les années 1970, la recherche progresse et Tom Martin crée la première société commerciale de reconnaissance de la parole appelée « Threshold Technologies ». Il développe le VIP-100 System en 1972, le premier produit de reconnaissance vocale capable d'identifier trente-deux mots. Avec l'accroissement des systèmes embarqués, les interfaces vocales connaissent une évolution rapide et en 1983 a lieu en France, la première présentation mondiale de commande vocale à bord d'un avion de chasse. En 1985 sont commercialisés les premiers systèmes de reconnaissance de plusieurs milliers de mots et en 1986 est lancé au Japon le projet ATR, un téléphone avec traduction automatique en temps réel. La progression de l'informatique pousse les interfaces vocales à combiner plusieurs domaines liés à la parole et les logiciels embarquent des algorithmes plus performants. Depuis l'ère des smartphones, les interfaces vocales connaissent une croissance majeure et un regain d'intérêt grâce au développement des assistants personnels intégrés aux systèmes d'exploitation des smartphones.

Faisant appel à de nombreuses compétences comme la reconnaissance de la parole pour déchiffrer ce qu'un interlocuteur exprime, la synthèse vocale pour retranscrire d'une voix naturelle une réponse à ce locuteur, et l'intelligence artificielle pour faire transparaître l'émotion, le contenu du message et la logique d'un discours, les interfaces vocales servent

aujourd'hui à remplacer le clavier et les outils de navigation par des actions sémantiques. À travers ses fonctionnalités comme la recherche et la navigation, elle permet de libérer les mains de l'utilisateur dans un contexte de mobilité. La promesse de cette interface étroitement liée à l'intelligence artificielle est toutefois bien plus profonde que le travail de dactylographe dont nous disposons aujourd'hui. Ainsi, la conversation intelligente et naturelle entre l'homme et la machine, sans que celui-ci se rende compte qu'il s'agit d'un ordinateur, est un objectif déjà atteint en laboratoire. Le but n'est plus de seulement de créer une illusion, mais de faire face à de véritables entités, partenaires de l'homme, sensibles aux émotions, capables d'apprendre par elles-mêmes et l'aidant dans chacune de ses tâches.

Les interfaces oculométriques

L'oculométrie est une technique permettant l'observation et l'enregistrement des mouvements oculaires qui a commencé dans les années 1800 avec de premières études se fondant sur des observations directes. En 1879, grâce à cette discipline, Louis Émile Javal découvre que la lecture d'un texte se fait par de rapides saccades et pose de nouvelles questions sur le comportement de l'œil humain, à savoir quels sont les éléments qui captent l'attention de l'œil ou encore combien de temps reste-t-il fixé sur ces éléments. Dans les années 1950, Alfred L. Yarbus démontre à travers ses recherches que les mouvements de l'œil sont fortement influencés par la tâche à effectuer et il théorise la relation entre la fixation et l'intérêt porté au sujet. Courant des années 1980, l'oculométrie se développe pour répondre aux questions grandissantes sur l'interaction homme-machine et la technologie commence à être utilisée pour aider les individus handicapés. Avec la popularisation des terminaux informatiques, les études sur l'attention visuelle se multiplient et les interfaces oculométriques font leur apparition sous forme de prototypes.

Ces dernières faisant référence à la science appliquée aux yeux fonctionnent grâce à des micro-projecteurs infrarouges. Ceux-ci projettent un motif qui se reflète dans les yeux de l'utilisateur et le dispositif peut alors déterminer le mouvement de l'œil en fonction de la position du motif. Deux approches sont associées à cette interface.

La première dite passive se traduit par une multitude d'applications pratiques ne nécessitant aucune intervention de la part de l'utilisateur. Cela s'apparente ainsi à une interface prédictive

qui s'adapte en temps réel aux mouvements des yeux de l'utilisateur en fonction de l'action qu'il est en train d'effectuer avec les outils classiques. Contrairement aux autres interfaces, elle ne veut pas les remplacer, mais les compléter pour plus de confort. Couplé à cette technologie, l'écran devient intelligent pour réagir quand il est nécessaire et de manière autonome aux besoins de l'utilisateur.

La seconde approche, active, est l'utilisation de l'interface oculométrique comme moyen de communication complet avec la machine en remplacement de la souris et du clavier. Cette voie est essentiellement exploitée dans un usage médical afin d'apporter un nouveau moyen de communication aux personnes touchées par divers types de handicaps moteurs.

Les interfaces neuronales

L'électroencéphalographie dite aussi EEG est la méthode de captation cérébrale de l'activité électrique du cerveau à l'origine des interfaces neuronales. Cette invention attribuée à Richard Caton en 1875 est améliorée en 1920 par le neurologue allemand Hans Berger qui réussit à amplifier les signaux émis et qui les retranscrit sous forme d'ondulations. Il est aussi l'auteur du premier enregistrement EEG humain en 1924, ses prédécesseurs l'ayant pratiqué sur des animaux. Ce n'est qu'à partir des années 1950 que l'EEG sort du cadre purement expérimental pour être utilisé à des fins médicales.

Le terme « Brain-computer interface » est apparu lors des premières recherches traitant les interfaces neuronales dans les années 1970, à l'université de Californie, soutenues financièrement par l'armée américaine et la Fondation Nationale de la Science. Durant les années 1980, les scientifiques étaient encore à un stade de découverte concernant le contrôle par la pensée et les algorithmes qui s'y rattachent. C'est à ce moment qu'un certain nombre d'expériences ont été effectuées sur des singes, dont le macaque rhésus. Grâce à celles-ci, Apostolos Georgopoulos de l'université Johns-Hopkins a découvert que le mouvement par la pensée se fait par des groupes de neurones dispersés dans plusieurs régions du cerveau. En 1990, les recherches s'accélérent et les premières captures d'ondes sont réalisées permettant ainsi de contrôler des dispositifs. Un certain nombre de nouvelles expériences, toujours sur les singes, mais aussi sur des rats, sont effectuées. Miguel Nicolelis a notamment travaillé sur des implantations d'électrodes directement au niveau du cerveau permettant ainsi d'obtenir

un signal plus précis. Les universités de Brown, Caltech et Pittsburgh ont, quant à elles, mis au point des interfaces neuronales moins invasives fonctionnant avec la captation d'un nombre de neurones réduit. On retiendra également l'une des expériences les plus spectaculaires des années 2000 réalisée par l'équipe de Donoghue's où un macaque rhésus parvenait à suivre avec ou sans manette des cibles visuelles présentes sur l'écran d'un ordinateur.

Les interfaces neuronales fonctionnent avec deux méthodes de captation, l'une invasive se traduit par un implant au cerveau et la seconde, non invasive, par un casque électroencéphalogramme. Ces deux procédés servent à analyser les variations d'activité cérébrale. Avec cette captation, il est possible de déterminer les zones plus ou moins actives du cerveau et l'utilisateur, en créant une projection mentale, peut associer à cette dernière une action. Une fois mémorisée autant par l'utilisateur que la machine, il est alors possible de reproduire cette action. Toutefois il s'agit aujourd'hui de l'interface la moins évoluée du fait que le cerveau reste l'organe le moins compris de tout le corps humain. Les capacités de cette interface restent aujourd'hui assez sommaires comme l'envoi de commandes à une machine via la pensée de l'utilisateur, et ce de manière fluide. Cependant, il s'agit aussi de l'interface la plus prometteuse sur le long terme car elle représente l'avenir de la fusion entre l'homme et la machine.

2. Une symbiose complexe

Langages et cultures

La force des Natural User Interface est de reposer sur les langages humains et leur compréhension par la machine, ce qui limite les efforts à effectuer et autorise pour la première fois à tout un chacun de pouvoir interagir avec une machine sans avoir besoin de prérequis. Mais l'humain a ses propres limites qu'il faut également prendre en compte pour que l'interface soit performante. Ainsi, plus l'homme sera compris et ses lacunes naturelles intégrées à la technologie, plus cette dernière répondra correctement aux besoins et s'approchera de son but ultime. Aussi, il ne faut pas oublier que ce sont les humains qui développent les machines et les programmes, ce qui complexifie davantage cette tâche.

En prenant le cas des interfaces gestuelles, il est tentant de croire que l'homme par n'importe quel geste « naturel » puisse effectuer une action. Mais comme nous l'avons décrit plus haut,

il en existe deux types. Les actions directes sont pour le moins instinctives, car elles permettent à l'utilisateur de manipuler un objet virtuel, que ce soit un bouton ou une modélisation 3D. Elles se fondent sur les actions de pointage qui ont été associées au tactile à savoir le Touch, le Pinch to zoom ou Scale. D'autres sont réinterprétées, comme le Swipe qui fait disparaître un élément, ou créées, avec le Turn to rotate qui permet de déplacer un élément sur tous les axes. Il y a donc naturellement une compréhension de ce type de manipulations. En revanche les gestes sémantiques sont plus complexes comme démontré dans l'étude menée par UWFellows en 2013¹. L'organisme a observé et interviewé 360 participants de 18 pays différents qui ont été mis en situation d'interaction homme-machine avec une télévision à interface gestuelle dans un salon fictif.

Pendant les sessions il était demandé aux participants de réaliser des gestes dans le but de contrôler la télévision. Les résultats sont édifiants : sur vingt-et-une actions demandées, seules six sont communes à tous les pays : Augmenter ou réduire le volume, mettre sur pause une vidéo, confirmer un dialogue visible sur l'écran (OK) et avancer ou reculer dans une vidéo. Ceci s'explique par un langage gestuel commun inexistant dû aux importantes différences culturelles. Le tactile est un langage de pointage qui s'est internationalisé grâce à la diffusion massive de produits utilisant cette technologie et ce sont les cultures qui ont adapté leurs pratiques. Dans le cas des interfaces gestuelles, le champ reste encore libre sur le plan sémantique. En moyenne, l'homme est capable de retenir cinq à sept éléments, ce qui correspond aux actions directes. Un apprentissage est donc nécessaire dès lors que sont ajoutés les gestes sémantiques. De plus, ils doivent, au préalable, être formatés pour assurer une cohésion entre les différentes applications et, à chaque nouveau geste, la courbe d'apprentissage se complexifie.

Cette observation est aussi valable pour les interfaces neuronales où aujourd'hui le seul moyen d'effectuer une action est de se faire une représentation mentale pour activer une certaine partie du cerveau. L'augmentation du nombre de représentations mentales accentue les difficultés de mémorisation sans perte de détail, ce qui complexifie la reconnaissance des zones actives.

Nous pouvons constater à travers l'usage de ces NUI que, plus un nombre d'actions complexes est demandé à un individu moins elles deviennent instinctives.

¹ UXfellow – Thumbs up to gesture-controlled Consumer Electronics ? (*Disponible sur : <http://www.uxfellows.com/gesture.php>*)

Les NUI font aussi face à des obstacles de conventions liés à nos sociétés et cultures. Les interfaces vocales ont vu leur efficacité sensiblement progresser ces cinq dernières années pour répondre à de multiples besoins et elles ne sont utilisées que dans des situations bien précises comme lorsque les deux mains de l'individu sont occupées. Notre société a évolué au rythme de l'écrit qui a en contrepartie réduit notre communication orale. Il est donc légitime qu'un usage allant à l'inverse de ce courant ait du mal à s'implanter. Les bureaux personnels étant remplacés par des open spaces, les conversations privées disparaissent et, dans la culture Française, il n'est pas bien vu de parler fort ou de sujets personnels dans des lieux partagés par d'autres personnes. De ce fait aucun employé ne serait prêt à dicter un mail à une interface vocale en se sachant entendu.

Les interfaces gestuelles sont, elles aussi confrontées à ce type de problème où une attitude calme est mieux perçue qu'un individu se mouvant régulièrement pour contrôler son dispositif.

L'utilisateur s'autocensure pour respecter les conventions établies et restreint ainsi le potentiel des NUI à des usages dans des lieux privés.

Support

Certaines NUI comme les interfaces gestuelles ont réussi à s'intégrer dans des supports adaptés comme l'a prouvé le succès de la console Wii ou encore de la Kinect. Toutefois, concernant le Leap Motion l'intégration sur simple ordinateur pour le vendre à tous les particuliers fut un échec. Une des particularités de l'interface gestuelle est de demander beaucoup d'espace autour de soi pour pouvoir effectuer des mouvements amples comme l'ont bien compris Nintendo et Microsoft en proposant un usage en salon, la pièce la plus grande de la maison. De ce fait proposer un périphérique avec une telle interface pour un ordinateur de bureau où l'utilisateur est assis avec de nombreux objets autour de lui ne peut qu'empêcher la bonne prise en main de l'interface tout en provoquant des problèmes d'efforts physiques que nous allons voir par la suite. La société Leap Motion a mal ciblé le support de sa technologie, mais elle a inspiré les entreprises du monde de la réalité virtuelle. Ainsi, alors que les premiers casques de réalité virtuelle dédiés au grand public devraient voir le jour début 2016, certains constructeurs ont intégré directement sur le casque le même type

de capteur pour que l'utilisateur puisse contrôler les mains de son personnage virtuel avec ses propres mains. Cette combinaison de supports, alliée à l'usage, est prometteuse puisqu'elle permet d'amplifier l'immersion de l'individu dans le monde fictif grâce à la manipulation directe de l'environnement.

Les interfaces neuronales risquent elles aussi d'être confrontées au problème de support. Aujourd'hui, la technologie fonctionne seulement à l'aide d'un casque porté par l'individu. En fonction des domaines dans lesquels elle se développera, elle fera face à de nouveaux obstacles. Dans le domaine médical, les bénéfices d'un tel dispositif sont conséquents, ce qui favorise son acceptation. Il en sera probablement de même s'il est combiné aux futurs casques de réalité virtuelle, s'agissant que d'un ajout mineur de capteurs à un dispositif existant. Toutefois, dans d'autres domaines cela peut s'avérer plus complexe et il faut bien peser les avantages gagnés par rapport aux contraintes appliquées.

Des problèmes d'efforts physiques et psychiques

Les NUI qui requièrent des efforts physiques importants telles que les interfaces gestuelles ne peuvent pas les réduire puisqu'ils sont au cœur même du dispositif. En contrepartie, ce sont les usages qui doivent être adaptés.

Dans le cas de courtes séquences, les efforts à fournir peuvent être intensifs, mais la répétition prolongée de ces séquences est à éviter. À l'inverse, dans le cas de séquences plus longues, les efforts doivent être faibles pour avoir l'endurance nécessaire à la tâche. Dans les jeux vidéo utilisant des interfaces gestuelles on retrouve la première mécanique puisque l'utilisateur est immergé. Les séquences s'apparentent à des mini-jeux ou alors à des périodes de deux-trois minutes intensives comme sur les jeux de danses dictés par la durée des chansons.

Les interfaces oculométriques utilisées avec des interactions actives font face à la même difficulté. Contrôler la machine avec un système de pointage lié au mouvement des yeux et effectuer des actions avec des clignements demande à l'utilisateur d'aller à l'encontre des automatismes développés par le corps pour répondre à ses besoins naturels. Nous sommes inconscients de la forte dynamique de nos yeux et nous ne sommes pas habitués à nous concentrer sur la manière dont nous les utilisons.

Concernant les efforts psychiques, nous avons vu qu'une personne ne peut pas retenir un nombre d'éléments importants. Les interfaces vocales et oculométriques passives ne sont pas concernées par cette problématique puisqu'elles sont toutes deux contrôlées par des mots ou comportements sémantiques pouvant être interprétés.

Dans ces cas, l'utilisateur n'a nullement besoin d'apprentissage ou de formater sa communication pour qu'elle puisse être compréhensible. Au contraire, les autres Natural User Interface font face à une courbe d'apprentissage où plus le nombre de combinaisons à retenir est important, plus la gymnastique intellectuelle est intense et fatigante. Cette limite atteinte, cela crée un paradoxe avec l'objectif des NUI qui se veulent intuitives. Ainsi, le clavier et la souris ont eux aussi une courbe d'apprentissage graduelle qui permet de gagner en performance au fil du temps passé à les manipuler et d'automatiser les efforts à fournir jusqu'à leurs disparitions. Donald Norman exprime le résultat de ce concept par la cartographie que va effectuer l'utilisateur au fur et à mesure des interactions produites. Il s'agit de la relation entre les actions effectuées et les effets produits sur son environnement.

3. Solutions

Des interfaces faites pour des actions simples

Avec toutes les contraintes liées à l'homme les NUI doivent se porter sur des actions simples pour être en dessous du seuil de complexité qui engendre le rejet de la technologie. Nous pouvons dès lors comprendre que le Leap Motion, en voulant remplacer le clavier, souhaite modifier le périphérique qui aujourd'hui permet d'effectuer les actions les plus complexes que nous effectuons avec une machine.

De ce fait, les interfaces gestuelles doivent se focaliser sur les interactions directes de pointages ou de manipulations et peuvent intégrer de la sémantique seulement s'il s'agit de gestes universels fondés ou s'ils font partie de gestes théorisés acceptés et démocratisés comme l'ont été les gestes associés aux interfaces tactiles.

Pour les interfaces oculométriques, l'interaction directe demande trop d'efforts pour qu'un langage soit développé. Il faut donc privilégier cette solution pour les cas extrêmes liés aux handicaps. En revanche, pour un usage plus large, il est envisageable d'utiliser l'oculométrie

comme dispositif de pointage et de le combiner avec des périphériques de sélection classique comme un bouton physique pour valider l'interaction. Effectivement, l'œil est plus précis que la relation œil-main. Il est donc possible d'effectuer des tâches plus pointues avec l'interface oculométrique.

L'interface neuronale repose essentiellement sur le nombre d'actions avec une représentation mentale de celles-ci. De ce fait, l'interface doit être manipulable avec un minimum d'actions possible. En restreignant ce nombre, on simplifie par la même occasion la prise en main de l'application.

Enfin, de manière générale, si une application nécessite des actions complexes pour être utilisées, les NUI peuvent y parvenir en étant combinées. Dans le film Iron Man, sorti en 2008 nous pouvons voir le personnage principal manipuler un hologramme avec ses mains grâce à une interface gestuelle directe. Pour effectuer des recherches liées à la modélisation qu'il observe, il n'utilise ni clavier ni interface gestuelle, mais il pose directement ses questions à une intelligence artificielle par le biais d'une interface vocale. La combinaison entre interface gestuelle ou oculométrique et une interface vocale permet de réunir le meilleur des deux mondes, celui des actions de pointage et celui des actions sémantiques complexes. Cette combinaison peut remplacer le couple souris-clavier et cela démontre également qu'à ce jour nous n'avons pas de solutions matures où une interface unique remplace les deux outils. Seule l'interface neuronale en aurait les capacités, mais nous sommes encore loin d'atteindre les niveaux de captations et d'interprétation nécessaires.

Une approche pour tester la simplicité d'une application destinée à être manipulée par des NUI serait de vérifier qu'elle est utilisable avec une souris seule pour les interfaces gestuelles et oculométriques ou un clavier seul pour les interfaces vocales.

Retours d'information

Le retour d'information au sens large est un enjeu majeur des NUI, car, ces dernières, invisibles, perdent certaines caractéristiques fondamentales et doivent trouver les moyens de les compenser.

Au sujet de l'affordance, comment prendre en main quelque chose que l'on ne voit pas ? Quels sont les indices qui peuvent guider l'utilisateur sur les actions pouvant être effectuées ?

Comment répondre à la problématique d'un utilisateur qui souhaite interagir avec un dispositif, mais qui ne sait pas qu'il se contrôle avec une NUI et que celle-ci est éteinte ou en veille ? Contrairement à un ordinateur où des touches sont visibles et peuvent être essayées pour interagir, la NUI ne possède rien de tout cela. La parade est alors d'avoir des systèmes en veille, mais intelligents qui écoutent ou qui voient leur environnement pour qu'ils comprennent par eux mêmes lorsqu'un utilisateur cherche à les solliciter. Ainsi, dans les derniers smartphones avec assistant personnel, il est possible de le déclencher avec une phrase clé comme « Ok Google, [Demande d'action] » ou encore « Hey Cortana, [Demande d'action] ». Ce principe fonctionne pour les interfaces vocales à la condition de savoir qu'un appareil utilise cette NUI en plus de connaître la phrase requise. Pour les interfaces gestuelles, en suivant la même logique, il faudrait un geste « maître » qui détecté, sortirait de veille le dispositif. Pour les personnes ne sachant pas qu'un produit fonctionne avec une NUI, il est nécessaire de passer par l'usage de signifiant comme des messages qui s'affichent sur un support à la détection d'un utilisateur troublé ou curieux.

Aujourd'hui, les NUI sont toutes associées à des écrans, donc les signifiants doivent être fortement sollicités pour pallier le manque d'affordance et guider l'utilisateur sur la localisation des actions. Toutefois, ceux-ci sont également confrontés à des difficultés puisque les NUI comme les interfaces gestuelles se font à distance ce qui réduit la visibilité des éléments affichés à l'écran.

Pour y répondre, il faut développer des interfaces graphiques spécifiques à ces nouveaux usages comme le tactile l'a fait pour le mobile. Avec la détection du corps, il est possible d'avoir des interfaces adaptatives en fonction de la distance de l'utilisateur. Ainsi, les éléments pourraient voir leurs paramètres changer comme leur taille ou encore leur contraste pour une visibilité optimale.

Les retours physiques sont les grands oubliés des Natural User Interface. Alors que l'interface tactile garde un minimum de contact physique grâce au toucher du doigt sur l'écran, tous les autres NUI en sont dépourvues. Complètement invisible, cette relation physique essentielle à l'interaction homme-machine est un réel facteur d'échec car l'homme a besoin de manipuler, de toucher. Plusieurs pistes existent pour réduire ce problème. Il est possible d'ajouter un retour par vibration sur les dispositifs portés et utilisés par certaines interfaces gestuelles ou neuronales de la même manière qu'il a été intégré aux interfaces tactiles. À chaque action effectuée, la vibration indique que cette première a bien été prise en compte et le manque de

vibration indique que la communication a échoué.

Pour les interfaces non portées, plusieurs entreprises, dont Disney, ont expérimenté des dispositifs haptiques à distance comme des mini-cannons à air pulsé pour recréer des sensations de toucher lorsque les mains en mouvement entrent en contact avec un élément virtuel. Sur le même principe, des machines à ultrasons localisés sont elles aussi prometteuses. Toutefois, ces dispositifs sont particulièrement encombrants et requièrent des utilisations statiques.

Les NUI se reposent donc essentiellement sur les retours visuels des interfaces graphiques. Alors que sur ordinateur, lorsque l'on manipule une interface graphique, les animations de survol et de clic sont discrètes, pour les NUI il faut au contraire les rendre plus visibles pour pallier le manque de retours physiques.

Le moyen le plus efficace pour combler ce manque se trouve dans les propos de Claude Cadoz lorsqu'il aborde le sujet des faibles retours physiques dans l'immersion des réalités virtuelles :

« Signalons un détail intéressant : les concepteurs ont eu l'idée d'ajouter au retour d'effort et à l'image un son déclenché au moment où des objets qui ne doivent pas se pénétrer entrent en contact. L'effet est saisissant : le son induit la perception d'une dureté de la rencontre plus grande qu'elle ne l'est en réalité, et surtout plus grande que ce que les performances du bras autorisent. »¹

Encore une fois, la combinaison des sens disponibles permet d'améliorer le retour d'information et de combler le manque laissé par celui indisponible.

Un cas particulier concerne les cas d'interfaces oculométriques passives qui réalisent des actions de manière autonome lorsque certaines situations sont détectées. Ce cas ne présente aucun retour d'information et c'est la raison pour laquelle il doit être particulièrement étudié avant d'être intégré dans des dispositifs.

Aujourd'hui, l'interface se concrétise par un écran qui s'éteint pour économiser de l'énergie lorsque les yeux le fixant ne sont plus détectés ou encore par un grossissement global de l'interface lorsque l'utilisateur s'approche de l'écran pour mieux la voir.

¹ Claude CADOZ, *Les réalités virtuelles*, Flammarion, DOMINOS, 1994, p.48

Mais cette technologie n'en reste pas moins dangereuse pour l'utilisateur qui risque d'en perdre le contrôle.

Contrôle de l'interface

Le dernier point capital repose sur la capacité de l'utilisateur à toujours garder le contrôle sur la machine. Il doit rester maître des actions car si certains événements se produisent sans qu'il en comprenne la raison, cela va engendrer un sentiment d'incompréhension et de frustration qui aboutira au rejet de la technologie.

Ainsi, quelle que soit l'interface, lorsque des automatismes sont existants, il faut sensibiliser l'utilisateur et toujours lui laisser l'opportunité de les désactiver pour qu'il reste maître de son environnement.

Pour l'interface oculométrique passive, sur les actions qui se font en direct pendant l'utilisation de la machine, à chaque nouveau comportement une demande pourrait être adressée à l'utilisateur pour savoir s'il souhaite ou non conserver l'aide apportée. Il s'agit d'un raccourci pour éviter à l'utilisateur d'aller dans les paramètres lors de sa première approche avec l'interface. S'il devait y accéder, cela signifierait que la NUI n'a pas bénéficié d'une intégration assez intelligente et qu'elle a perdu de son intérêt.

La question du contrôle se pose aussi sur l'interface gestuelle. À partir de quand les gestes doivent-ils être interprétés comme des actions et quand est-ce que les gestes de l'utilisateur comme lorsqu'il se gratte le nez ne doivent pas être pris en compte ?

La captation se fait en continu, il faut donc penser à des « fenêtres de position » où les interactions ne sont pas prises en compte comme lorsque l'utilisateur garde ses bras le long de son corps. Une autre solution est de passer par un geste on/off qui permet d'ouvrir une fenêtre d'interaction signifiant que les gestes sont considérés comme des actions. L'avantage est de mieux maîtriser les phases d'action et de repos, mais cela nécessite des efforts supplémentaires et une répétition continue du même geste à chaque fois que l'on désire communiquer avec la machine. De ce fait, ce geste doit être rapide à effectuer, mais il doit également ne jamais entrer en confrontation avec des gestes d'actions qui pourraient lui ressembler.

Conclusion

Après analyse des interfaces d'interactions homme-machine historiques ainsi que celle du tactile, nous avons pu voir qu'elles ont toutes en commun des décennies de recherches et d'évolutions qui leur ont permis d'arriver à maturité, mais également qu'elles répondent toutes à une combinaison de facteurs culturels, technologiques et humains essentiels à la compréhension et l'utilisation de l'interface.

Les révolutions technologiques suivent une courbe exponentielle de croissance et ouvrent les portes à de nouvelles manières d'interagir, de communiquer tout en modifiant profondément nos habitudes. La technologie est de plus en plus perfectionnée, précise et efficace à chaque changement. Toutefois, nous avons pu voir que l'homme doit rester au cœur du dispositif pour qu'il soit accepté et utilisé. Ce même homme qui a mis des centaines de milliers d'années à évoluer et devenir ce qu'il est, certes avec ses limites, mais aussi avec de multiples facultés. Cela signifie que l'évolution biologique est lente et que l'homme ne peut pas suivre le rythme effréné que peut avoir celui de la technologie. À travers ce mémoire nous avons étudié les facteurs indissociables de l'homme, qu'il faut respecter, pour qu'il puisse communiquer avec la machine, mais aussi quels peuvent être les substituts qui, en trompant ou jouant avec ses sens, peuvent compenser et obtenir des résultats similaires.

Nous pouvons donc conclure que les Natural User Interface sont bel et bien au cœur d'un subtil équilibre entre l'homme, la technologie et l'environnement dans lesquels elles évoluent et le développement d'un dispositif incluant une NUI ne peut se faire en se focalisant sur une seule des composantes.

Toutefois, qu'en est-il de leur adoption par le grand public ?

Il est intéressant de constater que les prochaines NUI semblent toutes se focaliser sur des domaines précis, que ce soit dans le divertissement ou dans certains secteurs professionnels, avec une forte tendance sur la réalité virtuelle et la réalité augmentée. De ce fait, l'enjeu n'est pas de couvrir le maximum de population, mais de répondre à des besoins identifiés. Aussi leurs ambitions à moyen terme ne sont plus de remplacer totalement les interfaces historiques, mais de les compléter et les remplacer que partiellement dans certaines

situations, de la même manière que l'interface tactile n'a pas effacé le clavier et la souris, mais s'est imposée dans les dispositifs mobiles, car jugée plus adaptée.

Bibliographie, webographie, filmographie

Livres et articles

Donald NORMAN, *The Design Of Everyday Things*, New York, Basic Books, 2013

Ivan Edward SUTHERLAND, *Sketchpad : A man-machine graphical communication system*, Université de Cambridge, Royaume-Uni, 1963

<http://www.cl.cam.ac.uk/techreports/UCAM-CL-TR-574.pdf>

Andrew SEARS, Catherine PLAISANT, Ben SHNEIDERMAN, *A new area for touchscreen applications : High precision, dragging icons, and refined feedback*, Université de Maryland, États-Unis, 1990

<http://hcil2.cs.umd.edu/trs/90-01/90-01.pdf>

Thomas G. ZIMMERMAN, Jaron LANIER, Chuck BLANCHARD, Steve BRYSON, Young HARVILL, *A hand gesture interface device*, Redwood City, États-Unis, 1987

[http://netzspannung.org/cat/servlet/CatServlet/\\$files/228648/DataGlove+CHI+1987.pdf](http://netzspannung.org/cat/servlet/CatServlet/$files/228648/DataGlove+CHI+1987.pdf)

Claude CADOZ, *Les réalités virtuelles*, Flammarion, DOMINOS, 1994

B.H. JUANG, Lawrence R. RABINER, *Automatic Speech Recognition – A Brief History of the Technology Development*, Université de Californie, États-Unis, 2004

http://www.idi.ntnu.no/~gamback/teaching/TDT4275/literature/juang_rabiner04.pdf

Sites internet

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Interface>

[https://en.wikipedia.org/wiki/User interface](https://en.wikipedia.org/wiki/User_interface)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Natural user interface](https://en.wikipedia.org/wiki/Natural_user_interface)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Ivan Sutherland](https://en.wikipedia.org/wiki/Ivan_Sutherland)

<http://artisan.karma-lab.net/histoire-claviers>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Personal computer](https://en.wikipedia.org/wiki/Personal_computer)

<http://royal.pingdom.com/2012/08/28/the-first-pc-from-1965/>

<http://toastYTECH.com/guis/macos1.html>

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Dépendance au sentier](https://fr.wikipedia.org/wiki/Dépendance_au_sentier)

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Disposition Dvorak](https://fr.wikipedia.org/wiki/Disposition_Dvorak)

<https://en.wikipedia.org/wiki/Memex>

[https://en.wikipedia.org/wiki/NLS \(computer system\)](https://en.wikipedia.org/wiki/NLS_(computer_system))

[https://en.wikipedia.org/wiki/WIMP \(computing\)](https://en.wikipedia.org/wiki/WIMP_(computing))

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Sketchpad>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Touchscreen#cite note-Sears1990-20](https://en.wikipedia.org/wiki/Touchscreen#cite_note-Sears1990-20)

<https://en.wikipedia.org/wiki/Multi-touch>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Personal digital assistant](https://en.wikipedia.org/wiki/Personal_digital_assistant)

<http://cerncourier.com/cws/article/cern/42092>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Newton \(platform\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Newton_(platform))

<http://arstechnica.com/gadgets/2013/04/from-touch-displays-to-the-surface-a-brief-history-of-touchscreen-technology/>

<http://www.cirolab.org/blog/wp-content/uploads/2010/06/History-of-Touch-Interface.pdf>

[http://static.lukew.com/MobileFirst LukeW.pdf](http://static.lukew.com/MobileFirst_LukeW.pdf)

[http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white paper c11-520862.pdf](http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white_paper_c11-520862.pdf)

<http://www.zenithoptimedia.fr/?p=5868>

[http://www.credoc.fr/pdf/Sou/Credoc DiffusiondesTIC 2012.pdf](http://www.credoc.fr/pdf/Sou/Credoc_DiffusiondesTIC_2012.pdf)

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Mobiquit%C3%A9>

<http://www.journaldunet.com/ebusiness/expert/55038/any-where--any-time--any-device---un-enjeu-majeur-pour-le-si-des-entreprises.shtml>

<http://blog.econocom.com/blog/pour-mieux-cerner-le-phenomene-atawad/>

<http://www.observatoire-du-numerique.fr/usages-2/grand-public/equipement>

<http://www.internetlivestats.com/internet-users/>

<http://dazeinfo.com/2015/05/27/internet-mobile-phone-users-worldwide-2000-2015-report/>

<http://www.smartinsights.com/mobile-marketing/mobile-marketing-analytics/mobile-marketing-statistics/>

<http://blog.markess.fr/2012/05/drh-collaborateurs-face-aux-reseaux-sociaux-applications-mobiles-collaboratives.html>

<http://www.lsa-conso.fr/les-appareils-photo-ont-il-encore-un-avenir,166984>

<http://www.ergonomie-interface.com/mobile-tactile-nomade/controler-des-interfaces-avec-des-gestes-fiction-ou-realite-3/>

Films et vidéos

Steven SPIELBERG, *Minority Report*, DreamWorks Pictures, 2002. 145 minutes

Jon FAVREAU, *Iron Man*, Paramout Pictures, Marvel Studios, 2008. 126 minutes.

The Mother of All Demos, presented by Douglas ENGELBART (1968)

<https://www.youtube.com/watch?v=yJDv-zdhzMY>

Conference TED - John UNDERKOFFLER, Pointing to the future UI

[http://www.ted.com/talks/john underkoffler drive 3d data with a gesture](http://www.ted.com/talks/john_underkoffler_drive_3d_data_with_a_gesture)

Table des Annexes

Annexe 1 : Le Leap Motion, Leap Motion	58
Annexe 2 : Séquence du film Minority Report	59
Annexe 3 : Courbe 2013 du Hype Cycle de Gartner	60
Annexe 4 : Le Programma 101, Olivetti	61
Annexe 5 : Le MIR-2, Victor Glushkov	62
Annexe 6 : L'IBM PC, IBM	63
Annexe 7 : Le Xerox Star, Xerox	64
Annexe 8 : Le Macintosh, Apple	65
Annexe 9 : Le HP-150, Hewlett-Packard	66
Annexe 10 : Le PB-1000 de Casio	67
Annexe 11 : Le Simon Personal Communicator, IBM et BellSouth	68
Annexe 12 : Le Newton MessagePad 100, Apple	69
Annexe 13 : Le Microsoft PixelSense, Microsoft et Samsung	70
Annexe 14 : l'iPhone, Apple	71
Annexe 15 : l'iPod, Apple	72
Annexe 16 : l'iPad, Apple	73
Annexe 17 : Statistiques accès à l'internet	74
Annexe 18 : Mobile Marketing Statistics 2015	75
Annexe 19 : Les smartphones s'utilisent partout	76
Annexe 20 : Référentiel de gestes à deux doigts	77
Annexe 21 : Le DataGlove, Thomas G. Zimmerman	78
Annexe 22 : La Wii, Nintendo	79
Annexe 23 : La Kinect, Microsoft	80

Annexe 1 : Le Leap Motion, Leap Motion



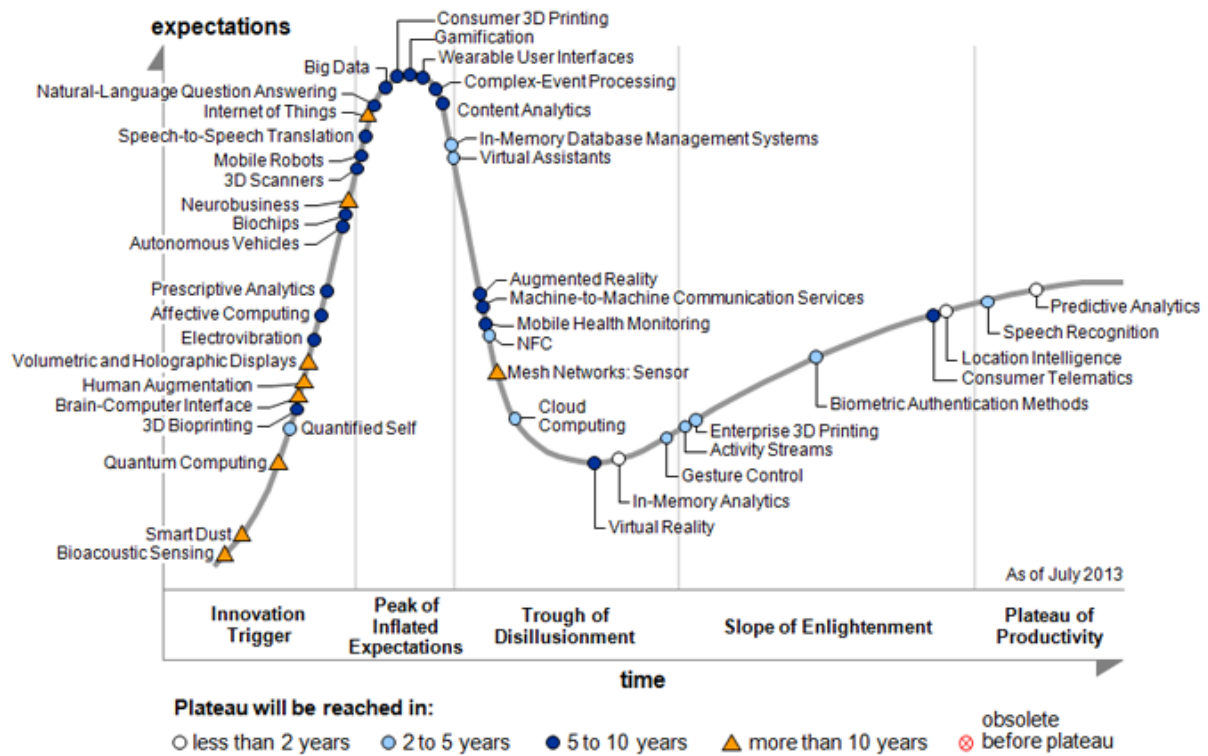
Source : <http://ecx.images-amazon.com/images/I/71BvThxnsXL. SX522 .jpg>

Annexe 2 : Séquence du film Minority Report



Source : <http://www.blogcdn.com/www.joystiq.com/media/2010/05/minority-report-ui-1273016122.jpg>

Annexe 3 : Courbe 2013 du Hype Cycle de Gartner



Source : <http://aftertheweb.com/analyse-courbe-hype-2014-gartner/>

Annexe 4 : Le Programma 101, Olivetti



Source : <http://royal.pingdom.com/2012/08/28/the-first-pc-from-1965/>

Annexe 5 : Le MIR-2, Victor Glushkov



Source : [https://en.wikipedia.org/wiki/MIR_\(computer\)#/media/File:Mir2_1_p.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/MIR_(computer)#/media/File:Mir2_1_p.jpg)

Annexe 6 : L'IBM PC, IBM



Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/IBM_PC#/media/File:IBM_PC_5150.jpg

Annexe 7 : Le Xerox Star, Xerox



Source : <http://toastytech.com/guis/star.html>

Annexe 8 : Le Macintosh, Apple



Source : <http://www.hervekabra.com/wordpress/retour-au-mac/>

Annexe 9 : Le HP-150, Hewlett-Packard



Source : <http://blog.guifx.com/2010/01/27/touchscreens-that-changed-the-world/>

Annexe 10 : Le PB-1000 de Casio



Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Casio_PB-1000#/media/File:Casio_PB-1000.jpg

Annexe 11 : Le Simon Personal Communicator, IBM et BellSouth



Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/IBM_Simon#/media/File:IBM_Simon_Personal_Communicator.png

Annexe 12 : Le Newton MessagePad 100, Apple



Source : https://en.wikipedia.org/wiki/MessagePad#/media/File:Apple_Newton-IMG_0454-cropped.jpg

Annexe 13 : Le Microsoft PixelSense, Microsof et Samsung



Source : <http://www.microsoft.com/en-us/pixelsense/purchaseprocess.aspx>

Annexe 14 : l'iPhone, Apple



Source : <http://www.journaldugeek.com/2014/04/29/dossier-windows-phone/>

Annexe 15 : l'iPod, Apple



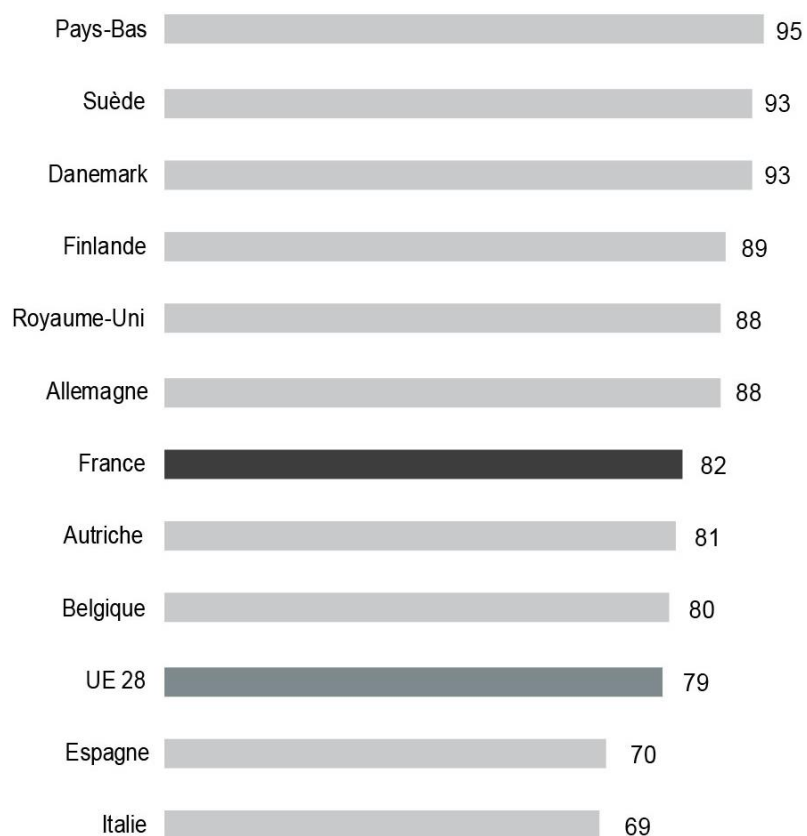
Source : https://en.wikipedia.org/wiki/IPod#/media/File:Ipod_1G.png

Annexe 16 : l'iPad, Apple



Source : <http://www.ipadable.com/wp-content/uploads/2013/05/iPad-1-Dimensions-Length-Width-Height-and-Weight-of-all-iPad-Models.jpg>

Annexe 17 : Statistiques accès à l'internet



Unité : pourcentage des ménages.

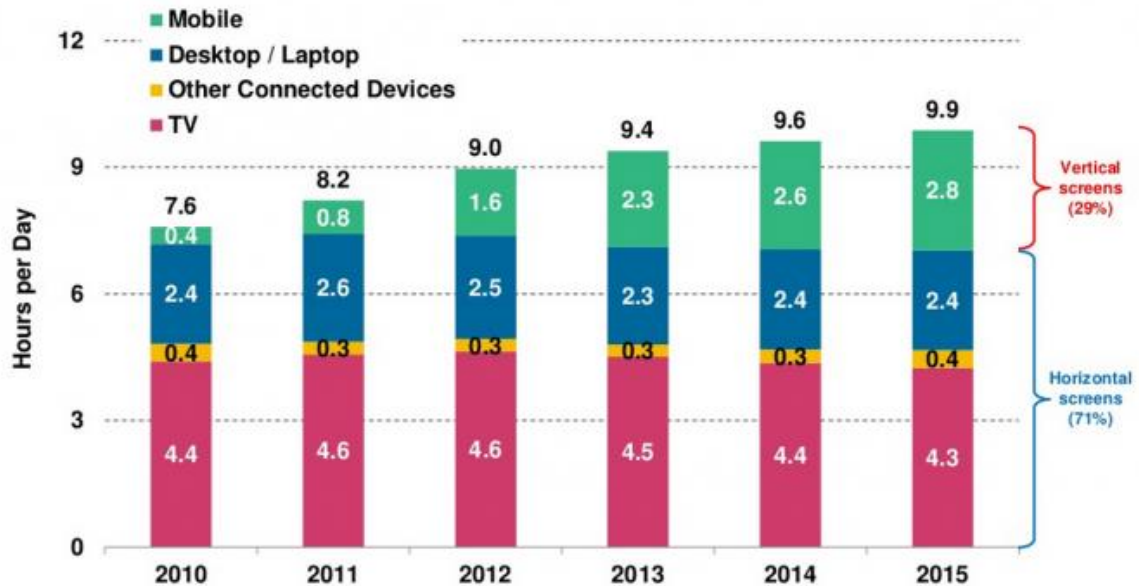
Champ : ménages comprenant au moins une personne âgée de 16 à 74 ans.

Source : Eurostat, enquêtes communautaires sur l'usage des TIC par les particuliers, 2013.

Source : <http://www.observatoire-du-numerique.fr/usages-2/grand-public/equipement>

Annexe 18 : Mobile Marketing Statistics 2015

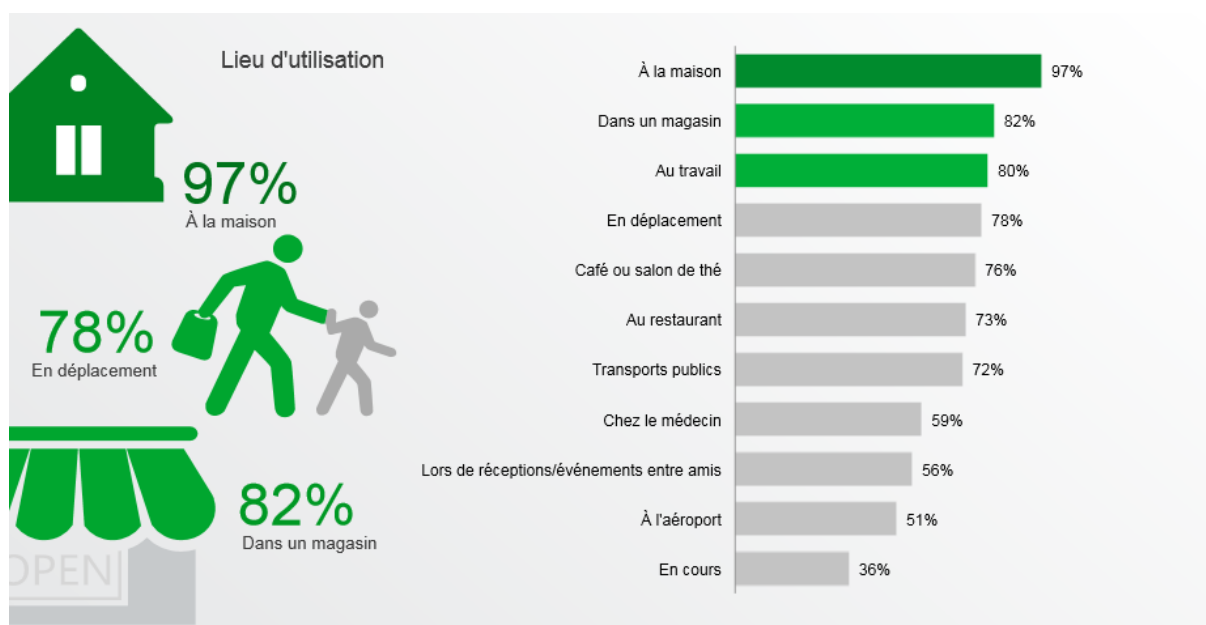
Time Spent on Screens by Orientation (Hours / Day), USA, 2010 – 2015



@KPCB Source: eMarketer 4/15, Coates analysis. Note: Other connected devices include OTT and game consoles. Mobile includes smartphone and tablet. Usage includes both home and work. Ages 18+; time spent with each medium includes all time spent with that medium, regardless of multitasking; for example, 1 hour of multitasking on desktop/laptop while watching TV is counted as 1 hour for TV and 1 hour for desktop/laptop. 24

Source : <http://www.smartinsights.com/mobile-marketing/mobile-marketing-analytics/mobile-marketing-statistics/>

Annexe 19 : Les smartphones s'utilisent partout



Échantillon de 1 000 utilisateurs de smartphones, qui consultent Internet de façon générale et à titre privé

Q16 : Où avez-vous tendance à utiliser votre smartphone ? Sélectionnez d'abord les endroits où vous utilisez votre smartphone, y compris ceux où vous ne l'utilisez que rarement.

Google – Confidentiel et exclusif 9

Source : <http://services.google.com/fh/files/misc/omp-2013-fr-local.pdf>

Annexe 20 : Référentiel de gestuelles à deux doigts



Touch Gesture Reference Guide

Tap		Press	
Multi-finger tap		Press and tap	
Double tap		Press and drag	
Drag		Press and tap, then drag	
Multi-finger drag		Pinch	
Two-finger drag		Squeeze	
		Spread	

Source : <http://www.simpleweb.fr/2011/01/31/vers-une-standardisation-des-interfaces-tactiles/>

Annexe 21 : Le DataGlove, Thomas G. Zimmerman



Source :

<http://netzspannung.org/cat/servlet/CatServlet?cmd=netzkollektor&subCommand=showEntry&lang=en&entryId=151045>

Annexe 22 : La Wii, Nintendo



Source : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Wii#/media/File:Wii-Console.png>

Annexe 23 : La Kinect, Microsoft



Source : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Kinect#/media/File:Xbox-360-Kinect-Standalone.png>