

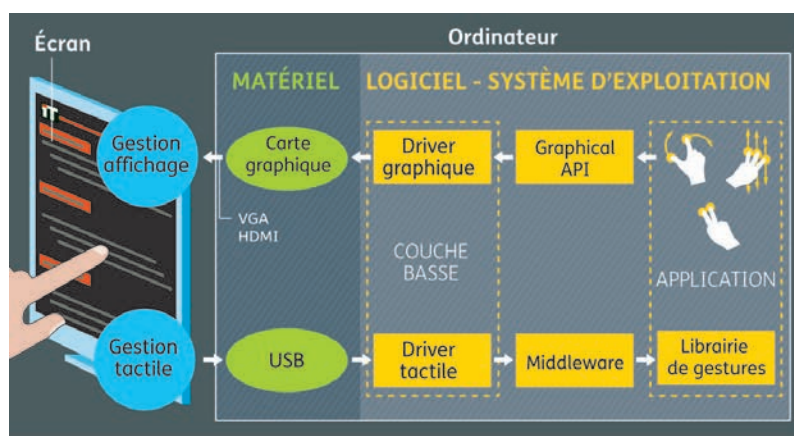
Le tactile, troisième génie utilisateurs

PIERRE-SYLVAIN ROOS, LAURENT ACHARD [1]

L'informatique connaît une véritable révolution avec la mise au point des interfaces tactiles. Elles simplifient l'interaction de l'homme avec la machine, tandis que l'évolution rapide des différentes technologies mises en œuvre ouvre la voie à de nouvelles applications où les objets eux-mêmes pourront dialoguer facilement avec l'utilisateur.

La révolution du tactile a commencé. Rupture majeure, elle s'inscrit toutefois dans la continuité de l'évolution des interfaces homme-machine. Depuis la création des ordinateurs, les moyens d'interagir avec eux n'ont en effet cessé d'évoluer, en parallèle de la complexification de notre environnement numérique. Dans les années soixante et soixante-dix, les interfaces à commande en ligne (CLI) dominaient. À partir des années quatre-vingts, la généralisation de l'écran et du clavier a conduit à l'essor des interfaces graphiques (GUI) personnalisées par la souris. Désormais, nous entrons dans l'ère des interfaces naturelles (NUI), vers toujours plus de facilité d'usage, de fluidité et de performance.

mots-clés
informatique, capteur, ergonomie, logiciel



1 Le principe du tactile. La liaison entre l'action du doigt sur l'écran tactile et la modification de l'affichage est le fruit d'un enchaînement d'actions au niveau de l'écran, de l'ordinateur et des logiciels. La détection du toucher est transmise via un port USB, elle est convertie, via un driver spécialisé, en données exploitables par le système et la librairie de gestes, qui reconnaît les points de toucher et les gestes fait sur l'écran, et les transmet au logiciel applicatif. Celui-ci détermine ce qu'il faut modifier sur l'affichage de l'écran qu'il pilote via la carte graphique et son driver

[1] Respectivement : directeur marketing technique du groupe Ausy, et responsable technique pôle d'innovation et d'ingénierie tactile Ausy Touch. Article extrait d'*Industrie & technologies*, n° 963, mars 2014.

L'introduction du geste marque toutefois une évolution radicale **1**. Il permet en effet un dialogue avec la machine plus direct, plus intuitif et plus accessible. Il offre en outre la possibilité de médiatiser le travail collaboratif à travers des interfaces réellement multi-utilisateurs.

Historique 60 ans d'expérience

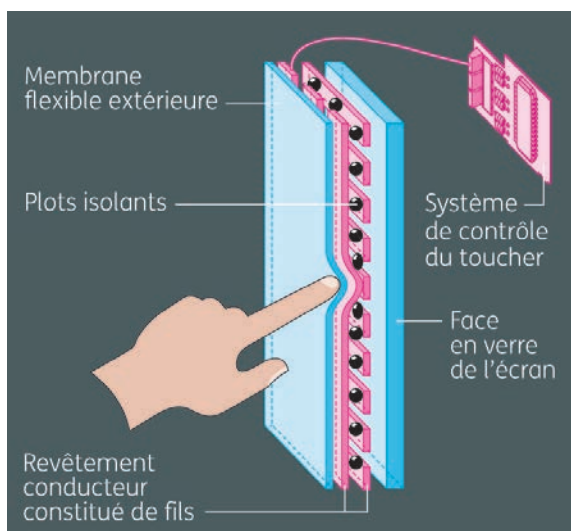
Aujourd'hui monnaie courante dans notre vie quotidienne, les technologies tactiles progressent rapidement en termes d'économie, de robustesse et d'ergonomie. Un travail de longue haleine, puisqu'elles sont nées il y a plus de 60 ans.

En 1953, le physicien canadien Hugh Le Caine invente un système de capteurs capacitifs sensibles à la pression des doigts pour contrôler le timbre et le volume d'un synthétiseur électronique. Dix-huit ans plus tard, Sam Hurst, de l'Oak Ridge National Laboratory, réalise le premier écran tactile résistif pour la saisie de coordonnées de graphiques sur ordinateur. Dès 1972, le tactile gagne en visibilité avec le Plato IV (Programmed Logic for Automated Teaching Operations) distribué par IBM. Imaginé à la fin des années soixante par des chercheurs de l'université de l'Illinois, c'est le premier écran tactile à infrarouge avec une surface de 16 x 16 zones sensibles. D'abord utilisé pour permettre aux étudiants de répondre à des questionnaires directement en touchant l'écran d'un ordinateur, le système ne reconnaissait qu'un seul point de contact.

En 1982, Nimish Mehta, chercheur à l'université de Toronto (Canada), crée le premier système « multi-touch », c'est-à-dire capable de reconnaître au moins trois points de contact simultanément. C'est un simple touchpad. En 1983, le HP-150 est le premier ordinateur commercialisé muni d'un écran tactile unipoint (écran CRT Sony de 9 pouces). Et en 1984, les laboratoires Bell Labs sortent le premier écran CRT multi-touch avec un dispositif tactile couplé à un dispositif d'affichage. En 1986, l'université de Toronto met au point le premier système contrôlé par les deux mains : l'une effectue les tâches de disposition et de mise à l'échelle, l'autre se charge de la sélection et de la navigation.

Ces interfaces tactiles servent d'abord dans l'industrie lourde, pour des bornes interactives dans les musées, des distributeurs automatiques, ou encore pour l'instrumentation médicale. C'est à partir des années quatre-vingt-dix qu'elles se perfectionnent

ration des interfaces

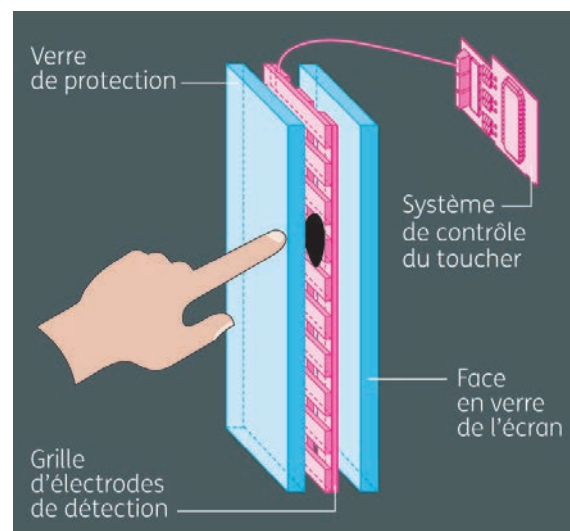


2 La technologie résistive. L'appui sur la membrane flexible extérieure, placée devant l'écran en verre, la déforme et modifie localement le champ électrique entre deux conducteurs. Le système de contrôle détecte cette modification

et se diffusent massivement, en parallèle de l'évolution des technologies d'écran. En 1991, Bill Buxton apporte la technologie bidirectionnelle qui intègre le pointage tactile et l'affichage (écran LCD pouvant recevoir les touches des utilisateurs). En 1997, Palm Pilot, le premier PDA, fait son apparition, suivi de près par le Newton d'Apple sorti en 1998. Ces agendas électroniques sont un premier pas vers le tactile pour tous.

En 2001, Mitsubishi Research Labs propose le Diamond Touch, un écran capable d'interpréter une suite de touches comme un seul geste complexe. En 2003, le premier écran multi-utilisateur naît à l'université de Toronto. Enfin en 2005, Jefferson Han de l'université de New York invente la technologie FTIR (*frustrated total internal reflection*) pour interpréter les événements tactiles. Elle permet de mettre au point un mur tactile à très bas coût, le Magic Wall, popularisé par CNN en 2008 lors de la couverture de l'élection présidentielle aux États-Unis.

C'est en 2007 qu'Apple annonce l'iPhone, doté d'un écran tactile multi-touch accompagné d'une interface graphique ergonomique révolutionnaire. Très rapidement, l'iPhone démocratise l'utilisation du tactile. Peu après, Microsoft dévoile Surface, une table inter-



3 La technologie capacitive projetée. Le toucher modifie la valeur du condensateur formé entre l'extrémité du doigt et une électrode de la grille d'électrodes de détection. Celle-ci transmet au système de contrôle la position du toucher

Ce qu'il faut retenir

- De multiples technologies d'écrans tactiles cohabitent. Les industriels choisissent les unes ou les autres, selon les utilisations envisagées.
- L'évolution des technologies matérielles et des supports physiques, ainsi que des gestuelles d'utilisation, entraîne l'apparition de nouveaux usages.
- Le tactile n'est qu'une étape avant la reconnaissance gestuelle, qui permettra de dialoguer sans contact avec les objets.

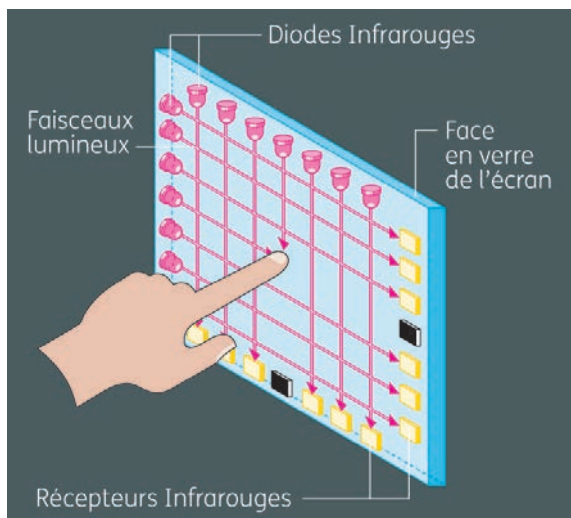
active multipoint. En 2009, ThinSight est le premier écran LCD doté de capteurs optiques sur toute sa surface; dans un même temps, on voit apparaître des trackpads multi-touch sur les MacBook.

Aujourd'hui, les écrans tactiles multi-touch sont devenus matures et abordables. Pourtant de multiples approches technologiques restent en lice.

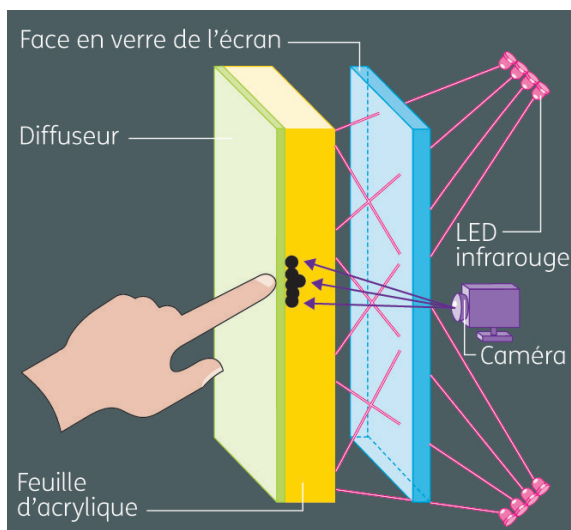
Technologies

Deux grandes familles : optiques et électriques

Parmi les technologies électriques, on distingue la technologie résistive et la technologie capacitive projetée. Dans la première, un champ électrique est

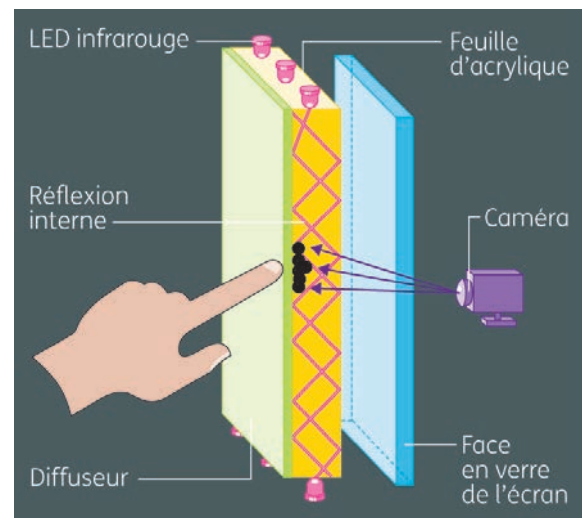


4 La technologie infrarouge (IR). Le doigt interrompt des faisceaux lumineux suivant deux directions. Cette perturbation est détectée par des récepteurs infrarouges et envoyée au système de contrôle. Cette barrière lumineuse est totalement indépendante de l'écran qu'elle contrôle



6 La technologie DI (diffused illumination). Les LED infrarouges sont placées derrière l'écran qui est doté d'un diffuseur de lumière. Une caméra détecte les variations de lumière produites par un toucher

maintenu entre une plaque de verre et une membrane plastique flexible, surfaces rendues conductrices par un revêtement de fils d'oxyde métallique et maintenues séparées par de minuscules patins isolants. La pression exercée par le doigt crée un contact entre le film et le verre, perturbant le champ électrique **2**. Cette variation est retransmise et traitée par l'algorithme de calcul intégré dans l'appareil. Cette technologie précise a l'avantage de fonctionner quel que soit le type de pointeur utilisé et n'est pas perturbée par la présence de poussière ou d'eau à la surface de l'écran. Cependant, l'ensemble des couches tactiles absorbe environ 15 à 20% de la luminosité de l'écran. De plus, la simple



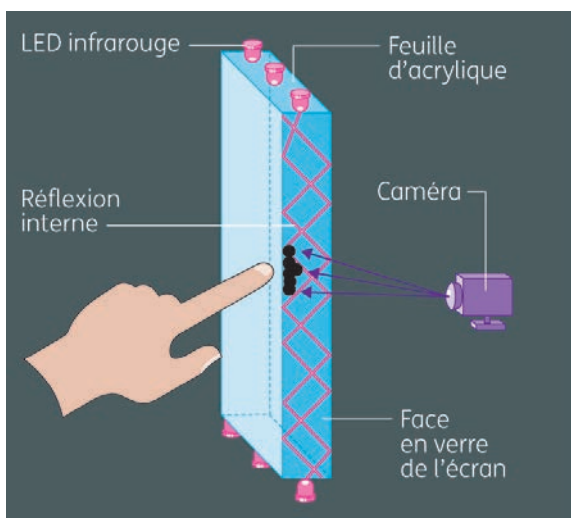
5 La technologie FTIR (frustrated total internal reflection). Les LED infrarouges émettent un rayonnement qui devient uniforme dans l'épaisseur de la plaque tactile. Le toucher de la plaque traitée spécifiquement en surface perturbe fortement le rayonnement infrarouge. Cette perturbation est détectée par une caméra placée derrière la plaque

plaque de verre ne résiste pas aux chocs. Conséquence : le système ne fonctionne plus en cas de fissure. Ce type d'écran est plutôt dédié aux PDA, smartphones, navigateurs GPS ou consoles de jeux.

Dans la technologie capacitive projetée, une grille d'électrodes à base d'indium est placée sur une plaque en verre et accumule les charges électriques. L'approche du doigt crée un déficit de charge, repéré et mesuré par un système de contrôle intégré aux quatre coins de la couche d'indium **3**. Le traitement de l'information se fait au moyen d'un algorithme de calcul intégré directement dans le périphérique. La technologie capacitive projetée ne nécessite pas un toucher direct pour créer cette variation de charge. Il est donc possible de recouvrir la dalle d'un verre blindé. Elle est ainsi plus résistante, mais le toucher ne peut se faire qu'avec un pointeur conducteur. Cette technologie est précise, stable et lumineuse. De plus elle est adaptable à toute taille d'écran. Ce type d'écran est essentiellement utilisé dans l'industrie (sans port de gant), pour les bornes d'informations placées en extérieur et les distributeurs de tickets ou billets.

Les six technologies multi-touch matures

Dans la technologie infrarouge – la seule à ne pas reposer sur une dalle ou un substrat pour enregistrer un toucher – la partie électronique de l'écran contient des diodes infrarouges. Des récepteurs sont installés en face, à la périphérie de l'écran. La détection du contact se fait par l'interruption des faisceaux du maillage lumineux. Les récepteurs privés de lumière infrarouge détectent le point d'impact et transmettent les coordonnées au système de



7 La technologie PSD (*planar scatter detection*).

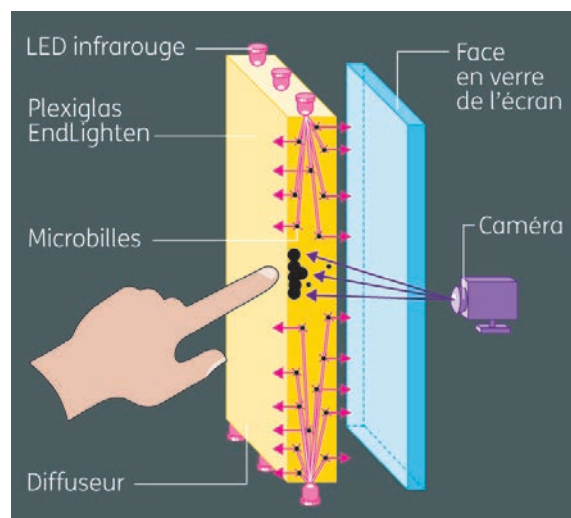
Les LED infrarouges émettent un rayonnement qui devient uniforme dans l'épaisseur de la plaque tactile en verre. Le toucher de la plaque provoque une perturbation du rayonnement infrarouge. Cette perturbation est détectée par une caméra placée derrière la plaque. Cette technologie précise permet de détecter jusqu'à 40 touches simultanées.

contrôle **4**. Le verre de l'écran n'intervient pas dans la fonction tactile. Ses performances optiques et sa robustesse en font une solution idéale, quoique coûteuse, pour les environnements industriels rudes ou le domaine militaire.

La technologie FTIR (*frustrated total internal reflection*) repose sur le principe de réflexion totale dans un composant réfléchissant. Une rangée de LED placée le long des bords émet un faisceau lumineux infrarouge dans l'épaisseur de la dalle de Plexiglas ou d'acrylique, de manière à couvrir de façon homogène toute sa surface. Lors du contact, la propagation du faisceau infrarouge est perturbée. Les faisceaux déviés sont captés par une caméra infrarouge placée derrière l'écran. Un logiciel analyse la provenance du faisceau et détermine le point de contact initial **5**. Cette technologie est facile à mettre en œuvre et peut être touchée avec n'importe quel matériau opaque. Cependant, la surface doit être en parfait état pour que les propriétés de réflexion ne soient pas altérées.

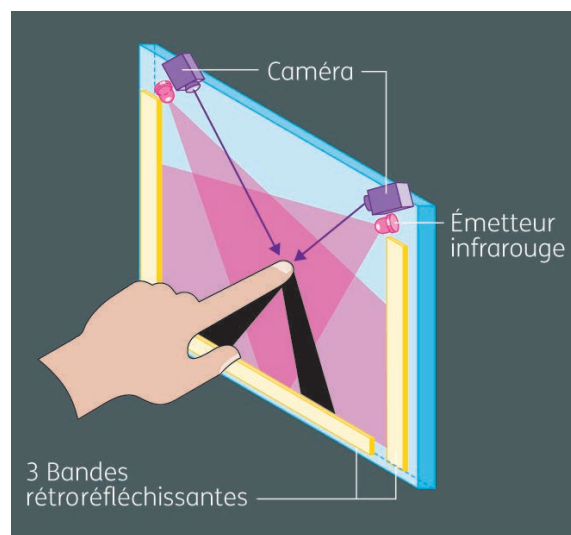
Dans la technologie DI (*diffused illumination*), une multitude de projecteurs infrarouges éclairent l'envers de la surface tactile, dotée d'un diffuseur placé sur la face inférieure ou supérieure. Une caméra infrarouge située derrière la surface analyse la lumière infrarouge réfléchiée et détecte la variation de lumière créée par un toucher. Tous les mouvements sont ainsi détectés, puis interprétés par le logiciel intégré à l'appareil **6**.

La technologie PSD (*planar scatter detection*) repose sur l'analyse de la propagation de la lumière guidée dans la plaque de verre. Lorsqu'une fraction de cette lumière rencontre un objet, elle ne suit plus le guide imposé. Une caméra et des algorithmes permettent



8 La technologie DSI (*diffused screen illumination*).

La plaque de Plexiglas EndLighten d'Evonik Industries contient en suspension des microbilles qui diffusent la lumière infrarouge à travers la surface de la plaque. Un toucher occulte localement cette émission, ce qui est détecté par une caméra placée à l'arrière de la plaque. Cette technique permet de détecter un objet posé sur la plaque.



9 La technologie optical imaging. Deux caméras analysent en permanence le faisceau émis par des émetteurs infrarouges. Toute présence d'un doigt ou d'un pointeur provoque une zone d'ombre détectée par les caméras. La position est calculée par triangulation. En multipliant les caméras, on peut détecter des touches multiples.

de localiser précisément le point de contact **7**. La PSD, spécifique aux écrans de la société Flatfrog, permet de gérer de multiples points de contact en même temps et de détecter la forme des objets, même courbes. Elle supporte n'importe quel type de pointeur et peut être installée sur de grandes surfaces. Son niveau de précision est surprenant puisqu'il identifie le plus petit mouvement de doigt et jusqu'à 40 touches simultanées. La PSD est idéale pour des applications ludiques ou collaboratives.

Dans la technologie DSI (*diffused screen illumination*), une plaque acrylique Plexiglas EndLighten contient des petites particules qui agissent comme des milliers de petits miroirs, diffusant uniformément la lumière émise par des LED infrarouges sur l'ensemble de cette plaque. Un toucher modifie localement l'incidence des rayons infrarouges. Une caméra infrarouge, placée derrière la plaque de Plexiglas, détecte la perturbation locale **8**. La DSI permet aussi de détecter un objet posé.

Dans la technologie *optical imaging*, plusieurs caméras sont placées autour des bords de l'écran, principalement des coins. Chaque caméra est sur-

montée d'une diode infrarouge et l'écran est entouré d'un rebord de quelques millimètres recouvert de bandes rétro réfléchissantes. La lumière émise par les diodes est réfléchiée par les bandes et un pointeur apparaît comme une ombre sur chacune des caméras. Une simple triangulation permet de retrouver la position et la taille du pointeur **9**. Un dispositif avec plus de deux caméras est capable de traiter de multiples touchers.

Logiciel

Du toucher aux «gestures»

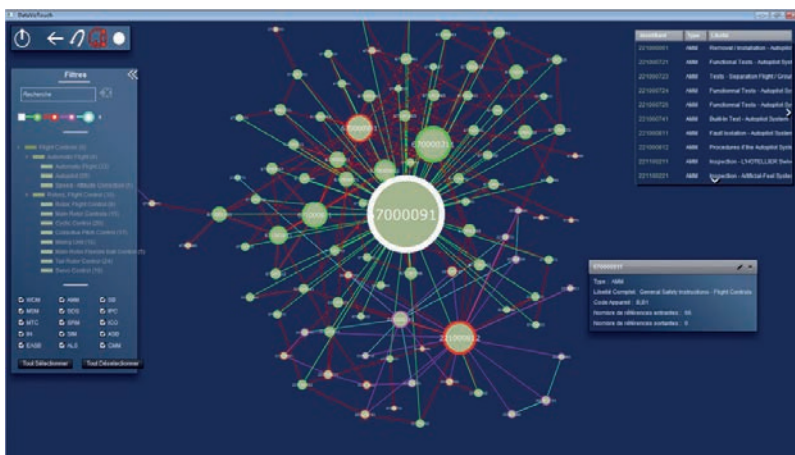
Quelle que soit la technologie utilisée, un écran tactile comporte une sortie spécifique, généralement sur un port USB, de façon à fournir les données concernant la ou les positions du ou des points de contact sur la surface tactile. La première étape, afin de permettre l'interprétation bas niveau des interactions avec les écrans tactiles, est l'installation des drivers. Se pose alors la question du référentiel : suivant le type de détection du contact, lié à la bordure ou à l'écran lui-même, les éléments associés à cette localisation varient. Le rôle du driver est non seulement de récupérer les informations de l'écran, mais aussi de les convertir, sans considération de la technologie concernée, en coordonnées écran directement utilisables par le système d'exploitation de l'ordinateur.

Suivant la technologie tactile employée, le comportement de différents exemplaires d'un même modèle d'écran peut varier. Une étape de calibrage est alors nécessaire. Elle consiste à sélectionner une suite de points précis à l'écran. Cette étape concerne autant les coordonnées des points de contact que la prise en compte de ces contacts : notamment le seuil de pression, la sensibilité des faisceaux et le voltage minimum. Cette étape peut être menée entièrement manuellement, afin d'optimiser l'utilisation et le ressenti utilisateur.

Une fois les événements matériels récupérés et convertis, plusieurs bibliothèques assistent les systèmes d'exploitation, en interprétant intelligemment ces informations. En effet, c'est en factorisant les interactions que la technologie prend tout son potentiel. Le zoom, par exemple, correspond à deux contacts s'éloignant plus ou moins linéairement l'un de l'autre (« pinch »). D'où l'intérêt d'une grammaire gestuelle découpée en gestes élémentaires symbolisant les potentielles interactions réalisées par l'utilisateur sur l'écran – on parle de « gestes ».

Ainsi, le développeur d'application tactile n'a plus à se soucier d'analyser les interactions physiques enregistrées par l'écran. Il lui suffit d'associer des gestes à des fonctionnalités.

Le catalogue des gestes s'est considérablement enrichi au cours des dernières années : drag & drop, pinch, glissé à 1, 2 ou 3 doigts, rotation fixe ou glissante, lettres, chiffres. Il faut y ajouter la combinaison de gestes et la possibilité de prendre en compte leur



10 Utilisation du tactile IR chez un constructeur aéronautique. Un constructeur aéronautique utilise une solution de *data visualisation* sur écrans tactiles de 65 pouces qui permet à plusieurs personnes de naviguer simultanément dans l'ensemble de la documentation technique attachée à un appareil, soit plus de 10 000 items. La technologie IR a été retenue pour sa fiabilité, son faible coût et sa disponibilité sur étagère

Les écrans tactiles, combien ça coûte ?

Écran capacitif jusqu'à 25 pouces	▶▶▶	Moins de 1 500 euros
Écran IR ou optique de 42 pouces	▶▶▶	De 1 800 euros à 4 500 euros pour de 6 à 32 points de contact
Écran capacitif 42 pouces	▶▶▶	De l'ordre de 4 000 euros
Écran IR ou optique de 55 pouces	▶▶▶	De 2 000 euros à 7 000 euros pour de 4 à 32 points de contact
Écran IR ou optique 65/75 pouces	▶▶▶	De 3 000 euros à 8 000 euros pour 6 points de contact
Table tactile <i>pixel-sense</i>	▶▶▶	De l'ordre de 6 500 euros
Mur tactile de 7 m ²		De l'ordre de 80 000 euros

vitesse d'exécution ou la pression exercée. Au final, les possibilités ne sont guère limitées que par les capacités cognitives et psychomotrices des utilisateurs.

Aujourd'hui, les différents constructeurs et éditeurs cherchent chacun à imposer leurs propres standards. Pour aller vers une homogénéisation, certains experts commencent à proposer des référentiels de gestes.

D'autres acteurs du marché proposent des bibliothèques d'interactions tactiles que le développeur peut directement importer dans ses applications, par exemple GestureWorks d'Open Exhibits. La reconnaissance des gestes est alors grandement simplifiée par l'utilisation de fichiers de configurations au format GML (*Gesture Markup Language*), interprétés sans avoir à modifier quoi que ce soit dans l'application elle-même.


De la même manière, Microsoft a intégré nativement, depuis Windows 7, l'interface de programmation Windows Touch. Celle-ci permet de récupérer sous forme de messages (WM_Touch, WM_Gesture) tous les événements enregistrés sur la surface tactile utilisée. Libre à l'application en cours d'exécution d'en faire bon usage. Quant aux OS Android et iOS, ils embarquent nativement des interfaces de programmation permettant de détecter, d'interpréter et de renvoyer à l'application les gestes de l'utilisateur.

Enfin, plusieurs librairies et frameworks Javascript ont fait leur apparition. Ils peuvent être utilisés très

facilement pour renforcer l'expérience tactile d'une application Web ou hybride sur terminal nomade. C'est notamment le cas de Hammer JS, Quo JS et de JGestures. Ces librairies sont en constante évolution afin de s'adapter aux nouveaux usages, et surtout aux avancées technologiques des constructeurs qui, dans ce domaine, rivalisent d'ingéniosité.

Applications

Un exemple d'utilisation dans l'industrie

Grâce à l'ensemble de ces technologies, la plupart des constructeurs proposent aujourd'hui des écrans qui gèrent de 6 à 10 points de contacts, les matériels les plus avancés allant de 32 à 64 points. Beaucoup plus que ce que génère un utilisateur unique ! Mais ces équipements trouvent tout leur intérêt pour le travail collaboratif et les applications multi-utilisateurs. C'est par exemple le cas chez un constructeur aéronautique, qui s'est doté d'une solution de *data visualisation* avancée sur grands écrans et terminaux tactiles pour l'analyse, l'exploration et l'exploitation du référentiel de l'ensemble des documents techniques, soit plus de 10 000 références indexées et maintenues par le service technique .

Le tactile permet un confort d'utilisation inégalé et une immersion plus importante de l'analyste dans ses données. Les séquences de gestes (dites gestes) facilitent la navigation et permettent aux analystes

► Pour aller plus loin

Web

Les entreprises, première source d'informations

En dehors des nombreux travaux académiques, souvent difficiles d'accès, de l'information sur les technologies tactiles est disponible chez plusieurs fournisseurs historiques, dont EloTouch Systems, entreprise pionnière dans ce domaine et aujourd'hui un des leaders mondiaux :

www.elotouch.fr/

ou encore Perceptive Pixel, qui a développé la technologie FTIR aujourd'hui dans le giron de Microsoft :

www.microsoft.com/office/perceptivepixel/

Open Exhibits propose de son côté la librairie GestureWorks, disponible pour les langages C++, C#.NET, Java, Python et ActionScript :

wiki.gestureworks.com/index.php/Gesture_Library

Enfin, Luke Wroblewski a publié le référentiel de gestes *Touch Gesture Reference Guide* :

www.lukew.com/ff/entry.asp?1071

Vidéo

Les sensations du toucher via l'écran

Les écrans tactiles du futur reproduiront les textures à l'aide de pixels tactiles, les tixels. Découvrez ces dispositifs développés par Senseg en vidéo.

www.industrie-techno.com/les-pixels-tactiles-des-ecrans-du-futur.27460

de s'affranchir des contraintes liées aux interfaces et aux périphériques de pointage, pour se concentrer sur les informations qu'ils manipulent. L'écran de grandes dimensions offre, lui, une réelle possibilité de mise en commun et de partage de l'information. Il favorise les prises de décision concertées.

À travers différentes représentations, l'opérateur visualise en temps réel l'organisation des données et les liens qui existent entre les différents objets, comme les références entrantes et sortantes entre les documents. L'interface permet de parcourir les objets du référentiel en rebondissant de lien en lien sur tous les niveaux de profondeur par simple toucher sur les éléments graphiques affichés.

À terme, ce système sera déployé sur plusieurs supports tactiles et disponibles pour les clients du constructeur aéronautique sur des terminaux tactiles durcis afin de faciliter leurs opérations de maintenance: gestion des plannings, visualisation de l'enchaînement des tâches à réaliser pour une intervention, gestion de l'outillage et des matériaux...

Prospective

Rendre tout objet interactif

Au-delà de ces technologies déjà commercialisées, les équipes de chercheurs travaillent sur d'autres approches novatrices, notamment pour transformer toute surface, quelle qu'elle soit, en support tactile. Une première technique permet de conférer à n'importe quel grand écran ou surface des propriétés tactiles multi-touch en y détectant et analysant la propagation des ondes vibratoires générées par un toucher. Cela fonctionne avec le verre et certains plastiques, mais également le bois et certains métaux. Une autre technique à l'étude repose sur des capteurs de pression ultraprécis placés sur une feuille sensible, rendant toute surface tactile. Ces capteurs ont la particularité de s'allier pour accroître la sensibilité. Ils sont ainsi capables de mesurer la position d'un doigt au millimètre près et de ressentir jusqu'à 4096 niveaux de pression.

Pour optimiser la perception tactile, des interfaces haptiques à retour de force peuvent compléter les écrans en simulant la géométrie 3D des objets virtuels et des images affichées. Elles présentent un grand intérêt pour les personnes en situation de handicap: clavier tactile faisant émerger des petites pastilles au niveau de chaque touche lorsque l'utilisateur a cliqué dessus, ou encore frictions générées à la surface d'un écran grâce à des électrovibrations permettant à l'utilisateur d'imaginer la matière et la texture de ce qu'il touche.

En parallèle, les technologies d'impression de capteurs sur film souple transparent avec une encre métallique s'améliorent. Au point que les actuels écrans plats rigides pourraient bientôt laisser place à des écrans courbés souples et redynamiser ainsi le monde de l'affichage numérique. La diffusion massive des technologies tactiles rend réaliste la prédi-

Vocabulaire professionnel

Gesture : Suite de touchers assimilables à un seul geste, interprétable comme une commande.

Pinch : gesture la plus popularisée, reposant sur l'éloignement ou le rapprochement de deux points de contact pour zoomer ou dézoomer.

One-touch, single-touch ou uni-point : désigne un système tactile qui ne reconnaît qu'un seul point de contact à la fois. Pour les systèmes reconnaissant deux points, on parle de dual-touch.

Multi-touch ou multipoint : capacité d'un système tactile à reconnaître trois points de contacts ou plus simultanément. Dans les systèmes avancés, cette capacité s'étend à la reconnaissance de plusieurs gestes effectuées par plusieurs utilisateurs en même temps.

Latence tactile : temps de réaction entre le toucher et la réponse de l'écran. Elle dépend non seulement de la vitesse de l'écran, mais également du temps de réponse du driver, du système d'exploitation, de la performance de l'application et, in fine, de la carte graphique.

Affordance : Capacité d'une interface à autosuggérer sa propre utilisation. On parle aussi d'interface intuitive.

Haptique : désigne le domaine de la perception relatif à la sensation du toucher.

Pointeur : dispositif utilisé pour interagir avec la surface tactile, tels un doigt ou un stylet.

cition de Mark Weiser en 1991 : celle de la disparition progressive des ordinateurs au profit d'objets intelligents, interactifs et communicants. Au-delà, l'interaction peut même se faire sans contact, voire avec des objets virtuels holographiques.

Les développements les plus aboutis et les plus notoires sont pour l'instant la Kinect sortie en 2010, et qui fait déjà figure de vétéran, ainsi que le Leap Motion. Mais on peut d'ores et déjà miser sur le perfectionnement à venir de prototypes déjà démontrés. La technologie tactile 3D de STMicroelectronics, basée sur une puce Fingertips, permet de détecter la position des mains jusqu'à 5 centimètres de la surface de l'écran, même avec des gants. Des écrans holographiques 3D tactiles développés par Samsung ont été présentés en 2012. L'Holodesk permet de manipuler des objets 3D virtuels avec une Kinect. Enfin, plus étonnant encore, le démonstrateur Vermeer de Microsoft, présenté en 2012, consiste en une figurine animée virtuelle en 3D avec laquelle on peut interagir en la « touchant ». Les nouvelles modalités d'interaction avec les objets intelligents n'ont pas fini de nous surprendre. ■