

---

# ETUDE COMPARATIVE DES TECHNOLOGIES TACTILES ET PROPOSITION D'UN NOUVEAU CONCEPT

De nos jours, les technologies tactiles sont de plus en plus présentes au quotidien. Ce ne sont pas uniquement les services grand public qui ont recours à des écrans ou des dispositifs tactiles, mais aussi les particuliers avec les téléphones, ordinateurs, tablettes, consoles de jeu, etc... C'est un nouvel essor qui peut s'expliquer par le bon rapport qualité/prix avec des coûts abordables. Dans ce chapitre, les différentes technologies qui existent sur le marché seront exposées. Un premier objectif est visé. C'est de faire une analyse et une comparaison de tout ce qui est disponible.

Pour atteindre cet objectif, une certaine démarche est suivie. Tout système tactile est formé de trois composants de base : le support, l'élément sensitif et le système d'acquisition. Il s'agit alors de partir de la présentation de la structure de chaque interface tactile : De quoi est-elle composée ? Et comment pourrait-elle assurer la détection du toucher ? Ensuite, c'est la partie acquisition qui est mise en évidence : Suite à la détection du toucher, comment serait-il localisé ? La connectique, les circuits d'acquisition et les algorithmes de localisation seront alors présentés. Et enfin, pour chaque technologie, l'ensemble de ses points forts et faibles seront mentionnés pour servir à l'établissement d'une étude comparative entre elles. Cette comparaison sera basée sur un ensemble de critères choisis. Certains concernent la surface sensitive : sa sensibilité, durabilité, luminosité, résolution et souplesse. D'autres sont liés plutôt au système d'acquisition : la facilité de son intégration, la simplicité du contrôle et sa réactivité.

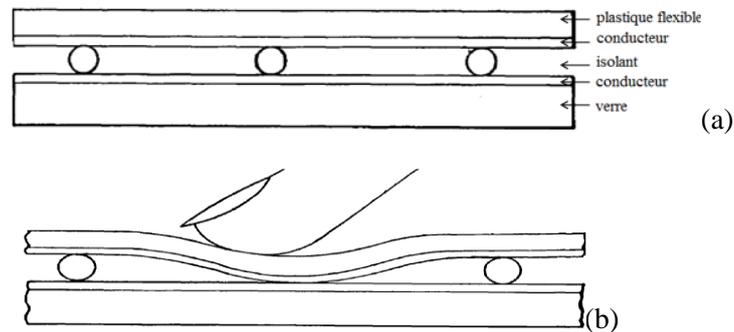
Le but de ce travail est de concevoir un système tactile de grande surface et conformable sur des objets 3D. L'étude comparative établie entre les technologies existantes permettra de définir la raison pour laquelle une nouvelle technologie est proposée. Des imperfections ou des insatisfactions de ce qui existe à ce qui est exigé comme critères permettront de mettre en valeur, d'une part, l'innovation et d'autre part, l'intérêt qu'apporte le système tactile proposé. Sa base technologique ainsi que son principe de fonctionnement seront présentés brièvement dans une dernière partie de ce chapitre.

## **1.1. Technologie résistive**

### **1.1.1. Surface tactile**

Un écran tactile résistif [1.1] est composé de deux surfaces conductrices parallèles. Ce sont deux films plastiques dont chacun est revêtu d'une couche métallique qui est généralement de l'oxyde d'indium dopé à l'étain (ITO : Indium Tin Oxide) caractérisé par sa combinaison de conductivité électrique et de transparence optique. Dans l'état de repos, ces deux surfaces sont tenues séparées par une couche isolante microscopique très fine (fig.1.1.a). Lorsque l'utilisateur touche l'écran avec la

pointe d'un stylet ou d'un doigt, la pression exercée sur ce point précis de la surface engendre un contact entre les deux couches conductrices (fig1.1.b), ce qui entraîne une variation dans les champs électriques de ces deux faces.

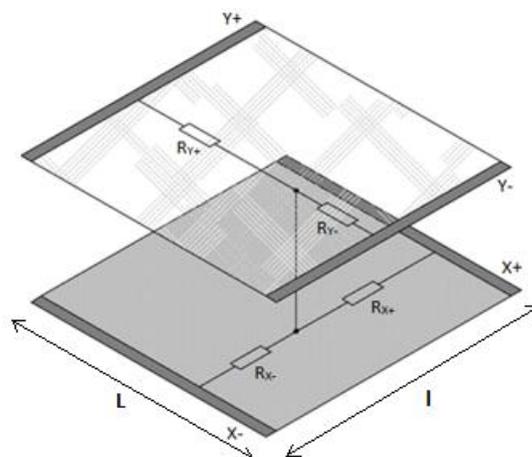


**Figure1.1. (a) Structure d'un écran tactile résistif, (b) Contact des couches conductrices au toucher [1.1]**

Le changement dû au contact des deux surfaces conductrices permet de déterminer les coordonnées du toucher, c'est-à-dire le localiser dans la surface tactile. Le principe de cette localisation sera le contenu de la partie suivante. Il dépend du type de l'écran résistif choisi.

## 1.1.2. Principe d'acquisition

### 1.1.2.1. Technologie résistive analogique à quatre fils

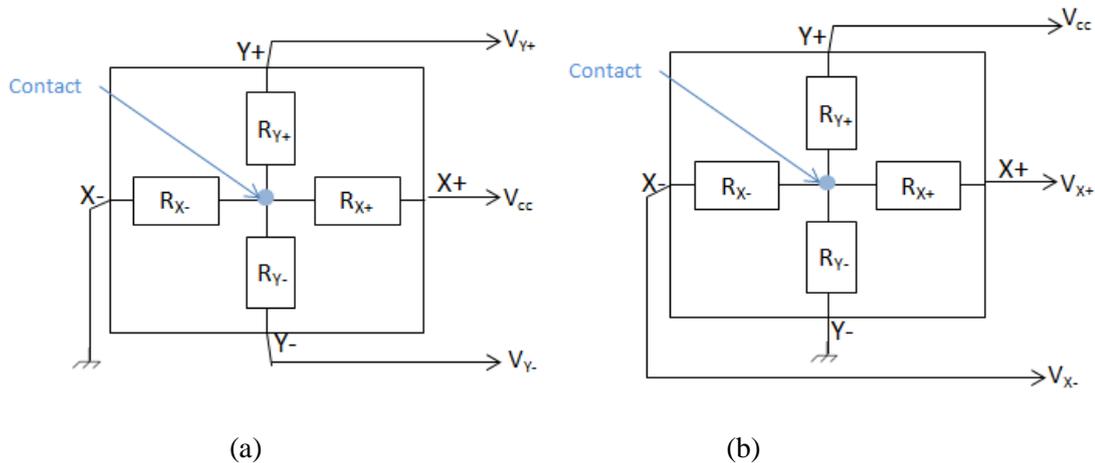


**Figure.1.2. Schéma illustratif d'un écran résistif à quatre fils**

Pour ce type de capteur [1.2, 1.3], quatre électrodes sont placées : Deux sur la largeur de la couche supérieure (Y+, Y-), et deux sur la longueur de la couche inférieure (X+, X-) (fig1.2). Le toucher met en contact ces deux couches. Pour l'acquisition de sa position deux mesures de tensions sont nécessaires (fig.1.3) :

Pour l'abscisse, l'électrode X+ est alimentée ( $V_{cc}$ ) et X- est mise à la masse, la mesure de la différence de potentielle entre Y+ et Y- permet de calculer X (eq.1).

Pour l'ordonnée, l'électrode Y+ est alimentée ( $V_{cc}$ ) et Y- est mise à la masse, la mesure de la différence de potentielle entre X+ et X- permet de calculer Y (eq.2).



**Figure.1.3. Acquisition des coordonnées du contact (écran résistif à 4 fils):**  
 (a) Abscisse X, (b) Ordonnée Y

Les mesures requises pour l'acquisition des coordonnées du point de contact (toucher) sont représentées par la figure.1.3. La longueur et la largeur de l'écran tactile sont, respectivement, notées L et l (fig.1.3).

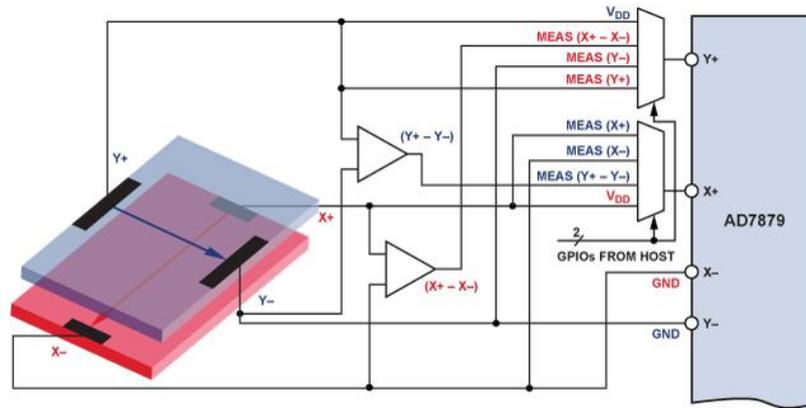
$$X = \frac{V_Y}{V_{cc}} \times L \quad (1.1)$$

$$Y = \frac{V_X}{V_{cc}} \times l \quad (1.2)$$

L'abscisse du point de contact X est proportionnelle à la différence de potentiel V<sub>Y</sub> (eq.1.1). Par exemple, si la tension appliquée à l'électrode X+ (V<sub>cc</sub>) est de 5V, et si le point central est touché, 2.5V est mesurée par la couche supérieure. Si le point est à 1/5 de la longueur totale de l'électrode X1, 1V de tension est mesurée.

La connexion de l'écran tactile à un contrôleur permet d'effectuer ces calculs (eq.1.1 et eq.1.2). Cette connexion est assurée par quatre fils, chacun lié à une électrode (X+, X-, Y+, Y-).

Un exemple de circuit complet d'acquisition [1.4] est présenté par le schéma de la figure.1.4. Quatre fils connectent l'écran tactile au système d'acquisition. Le calcul des gradients de tensions entre les couples d'électrodes (X+, X-) et (Y+, Y-) est la première étape dans la chaîne d'acquisition. Ensuite, le contrôleur d'écran tactile AD7879 traite les signaux mesurés pour extraire les coordonnées de la position de toucher.

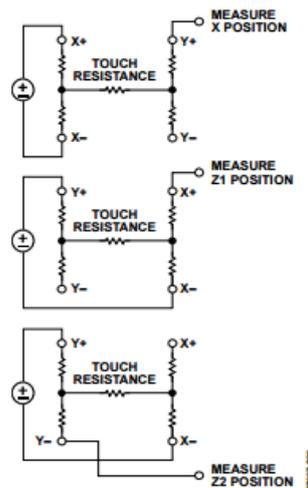


**Figure.1.4. Synoptique complet d'un écran tactile résistif à quatre fils [1.4]**

Le boîtier AD7879 d'Analog Devices [1.5], utilisé dans ce cas (fig.1.4), est un contrôleur spécifique aux écrans tactiles résistifs à quatre fils. Sa gamme de tension d'alimentation va de 1,6 V jusqu'à 3,6V. Il a une petite taille (1,6 mm x 2mm (WLCSP) ou 4 mm x 4 mm (LFCSP)) et une dissipation d'énergie très faible (480  $\mu$ A pour la conversion et 0,5  $\mu$ A pour le mode d'arrêt). Sa petite taille et sa consommation modérée en énergie lui donnent la possibilité d'être utilisé dans une large gamme de produits tactiles souples.

L'AD7879 n'est pas l'unique contrôleur d'écrans tactiles qui existe sur le marché. D'autres peuvent être cités tels que AD7873 d'Analog Devices [1.6], BU21029MUV de ROHM Semiconductor's [1.7], et TSC2005 de Texas instrument [1.8].

La fiche technique de ce contrôleur [1.4] détaille la localisation du toucher. Le principe d'acquisition établi dans la figure.1.3 est confirmé. Par ailleurs, elle met en évidence son aptitude à calculer les coordonnées du point de contact ainsi que la pression avec laquelle ce contact est appliqué.



**Figure.1.5. Mesures requises pour la pression du toucher [1.4]**

Pour le calcul de la pression du toucher exercé sur la surface tactile. Deux mesures, autres que les coordonnées du point de contact, sont requises (fig.1.5) :

- $Z_{1\text{position}}$  : la mesure de l'entrée X+ lorsque la tension d'excitation ( $V_{cc}$ ) est appliquée à Y+ et X-.

-  $Z_{2position}$  : la mesure de l'entrée Y- lorsque la tension d'excitation ( $V_{cc}$ ) est appliquée à Y+ et X-.

Ainsi, suite à ces deux mesures, la résistance du toucher (pression) peut être calculée avec deux méthodes différentes. La première méthode nécessite la résistance totale de la plaque inférieure notée  $R_{X\_plate}$  pour pouvoir exprimer la résistance du toucher de la manière suivante (eq.1.3):

$$R_{Touché} = R_{X\_plate} \cdot \frac{X_{position}}{4096} \cdot \left( \left( \frac{Z_{2position}}{Z_{1position}} \right) - 1 \right) \quad (1.3)$$

Et, la deuxième méthode nécessite la connaissance des résistances des deux plaques notées respectivement  $R_{X\_plate}$  et  $R_{Y\_plate}$ . Trois mesures sont requises dans ce cas:  $X_{position}$ ,  $Y_{position}$  et  $Z_{1position}$ .

L'équation.1.4 permet de calculer la valeur de la résistance du toucher  $R_{Touché}$  comme suit :

$$R_{Touché} = R_{X\_plate} \cdot \frac{X_{position}}{4096} \cdot \left( \frac{4096}{Z_{1position}} - 1 \right) - R_{Y\_plate} \cdot \left( 1 - \frac{Y_{position}}{4096} \right) \quad (1.4)$$

C'est ainsi que ce système d'acquisition permet de localiser le toucher.

La technologie des écrans résistifs à quatre fils donne alors la possibilité de déterminer la pression du toucher par la mesure de la résistance du contact ( $R_{Touché}$ ) entre les deux couches ITOs.  $R_{Touché}$  décroît avec l'augmentation de la pression (et donc la taille de la surface touchée). Cette caractéristique peut être utile dans des applications qui nécessitent une information sur le type de la pression, sa surface et la force avec laquelle elle est exercée.

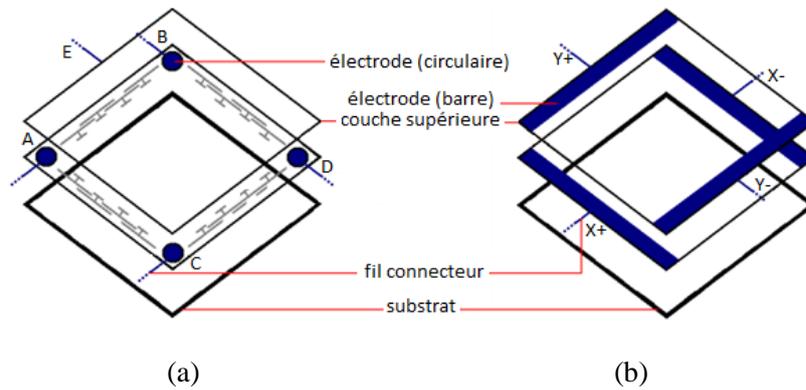
Les avantages clefs de l'écran résistif à quatre fils sont sa simplicité et son coût faible de fabrication. Mais, il présente, un inconvénient majeur qui est le manque de précision pour des pressions insuffisantes de toucher. Il nécessite l'application d'une pression minimale pour assurer la détection et la bonne localisation du toucher. Mais, cette sollicitation mécanique engendre une dégradation rapide de l'écran. En effet, une des coordonnées (X) est déterminée à partir de la couche supérieure de l'écran résistif. La résistance de cette feuille protectrice change progressivement avec l'utilisation en dégradant, ainsi, la linéarité et la précision de localisation.

Par conséquent, une autre structure résistive a été étudiée et proposée afin de remédier à ce problème.

### 1.1.2.2. Technologie résistive analogique à cinq fils

Dans cette partie, la structure d'écrans résistifs à cinq fils est présentée [1.9].

Dans cette structure, les électrodes (en barre) X+, X-, Y+, Y- placées, précédemment, deux à deux respectivement en longueur et en largeur de la surface tactile sont remplacées par des électrodes circulaires placées dans les quatre coins de la couche inférieure de la surface sensible au toucher (fig.1.6). Cette dernière présente une distribution équipotentielle dans les deux directions X et Y et la couche supérieure protectrice sert de sonde de mesure de tensions.

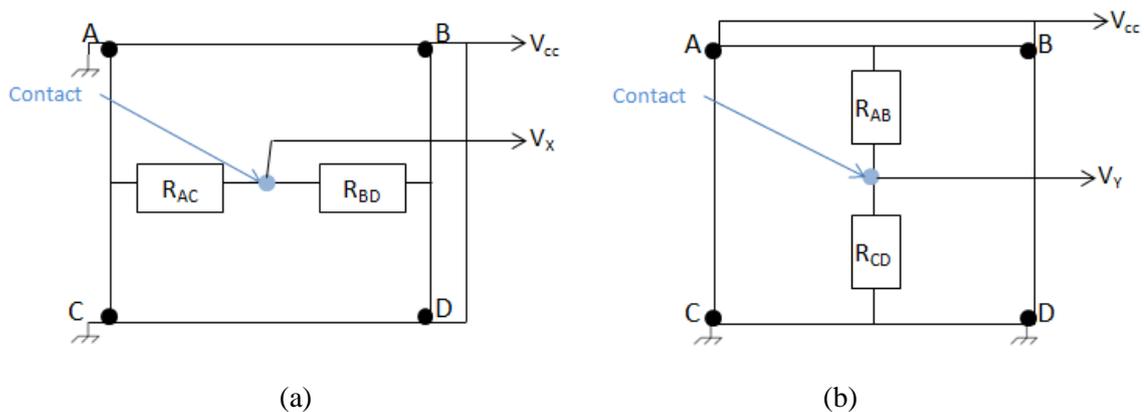


**Figure.1.6. Comparaison entre deux écrans résistifs : (a) à cinq fils, (b) à quatre fils**

Du point de vue connectique, pour les écrans résistifs à cinq fils, quatre fils sont connectés aux quatre coins de la couche inférieure et le cinquième relie la couche supérieure au système d'acquisition (Fig.1.6).

La localisation du point de contact se fait en deux étapes (fig.1.7):

- Une tension continue est appliquée aux points B et D. A et C étant les deux points de masse. Un courant circule de la droite vers la gauche dans la couche inférieure et, au toucher, une tension  $V_x$  est mesurée par la couche supérieure pour la détermination de l'abscisse X.
- Une tension continue est appliquée aux points A et B. C et D étant dans ce cas, les deux points de masse. Un courant circule du haut vers le bas dans la couche inférieure et, au toucher, une tension  $V_y$  est mesurée par la couche supérieure pour la détermination de l'abscisse Y.



**Figure.1.7. Acquisition des coordonnées du contact (écran résistif à 5 fils): (a) Abscisse X, (b)Ordonnée Y**

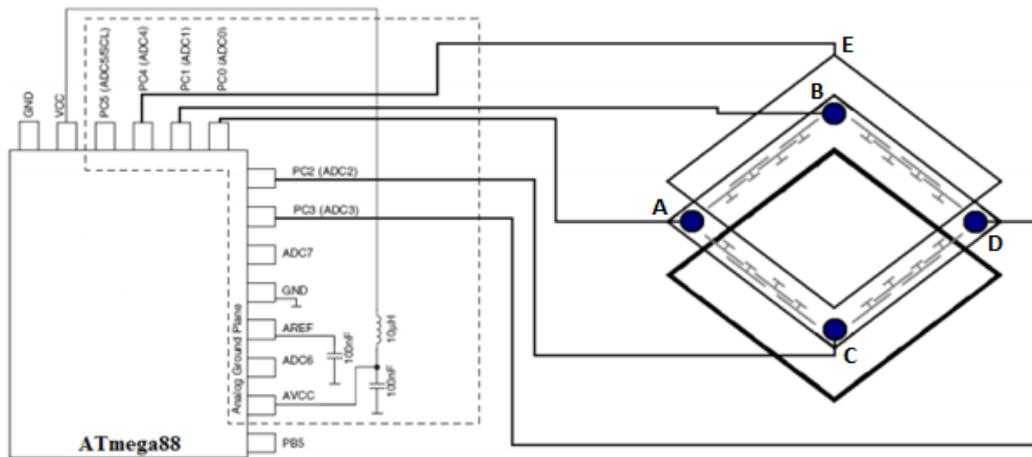
L'exploitation des mesures de tensions (fig.1.7) permet de calculer les coordonnées : abscisse (eq.1.5) et ordonnée (eq.1.6) du point de contact (toucher).

$$X = \frac{V_x}{V_{cc}} \times L \quad (1.5)$$

$$Y = \frac{V_y}{V_{cc}} \times l \quad (1.6)$$

D'autres contrôleurs d'écrans résistifs, tels que l'AVR341 [1.10] ou l'AN10675 [1.11] sont disponibles pour cette configuration d'écrans à cinq fils. Un synoptique de la structure complète du capteur (écran tactile avec son système d'acquisition) est proposé par la fig.1.8.

La résolution des ces dalles tactiles est déterminée par le convertisseur analogique numérique qu'intègre le contrôleur de l'écran tactile utilisé. Par exemple, un ADC 10 bits comme celui de l'AN10675 [1.11] permet de distinguer 1024 points sur chacun des axes X et Y.



**Figure.1.8. Suggestion de synoptique du circuit complet d'un écran résistif à cinq fils (contrôleur AVR341) [1.10]**

Dans cette configuration, la couche protectrice agit en tant que sonde qui sert à mesurer la tension électrique. Par la suite, cette technique est moins sensible à l'usure de la couche supérieure. Le résultat est un écran tactile plus précis, plus durable et plus fiable que celui à quatre fils.

### 1.1.2.3. Ecran résistif « multitouche » : Technologie matricielle

Cette technologie a été développée pour permettre la détection simultanée de plusieurs points de touché. Elle consiste à coupler plusieurs dalles 4 fils en une seule dalle matricielle. Elle est formée par la juxtaposition de plusieurs couches conductrices disposées en lignes et colonnes. Chaque cellule de cette matrice a la même structure et le même principe d'acquisition que les écrans résistifs analogiques. Lorsque l'utilisateur applique un toucher, la ligne correspondante entre en contact avec une colonne bien précise.

Dans le cas « multitouche », c'est un adressage matriciel qui est appliqué pour la localisation des différents points de contact.

Le contrôleur connecté à l'écran tactile, doit dans ce cas, pouvoir gérer ce type d'adressage. C'est le cas du contrôleur commercialisé par le fabricant d'écrans tactiles DMC : Le MTR1000 (Multi-Touch Resistive Controller) [1.12].

Le problème de cette technologie c'est qu'elle conserve tous les inconvénients que présente l'écran résistif analogique à 4 fils.

### **1.1.3. Avantages et inconvénients**

La technologie résistive est la première technologie qui a été utilisée pour les écrans tactiles des téléphones et des tablettes. Ses nombreux avantages lui ont donné la possibilité de bien se répandre dans le marché et être majoritaire pour quatre années (de 2007 jusqu'à 2010) [1.49]. Le plus grand avantage est le fait que c'est un écran économique ayant des coûts de fabrication nettement moins élevés que toutes les autres technologies tactiles. En plus, il peut être utilisé avec n'importe quel objet permettant de mettre en contact les deux surfaces (doigt, stylet, main gantée, etc.) et puisque, dans ce travail de recherche, c'est le marché des écrans tactiles conformables qui est visé, il est important de mentionner que cette technologie a été largement utilisée dans des écrans souples [1.1, 1.13] avec des substrats spéciaux sur lesquels sont imprimés les films conducteurs en ITO.

Mais, récemment, la technologie résistive a laissé la place pour d'autres technologies tactiles à cause des inconvénients qu'elle présente. La mauvaise conductivité d'une zone sur-utilisée est répartie sur toute la surface de l'écran. L'usure réduit ainsi la sensibilité.

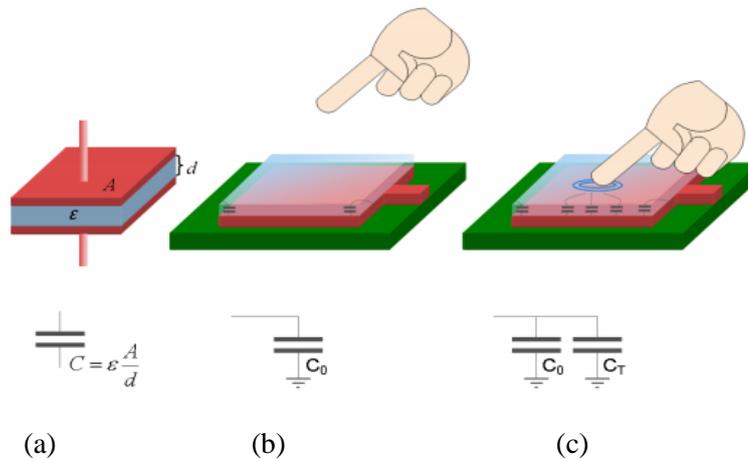
Une relation réversible existe entre l'usure et la sensibilité de ce type d'écran. En effet, la réactivité du système résistif est limitée. Parfois, il faut appliquer une grande pression ou répéter la même opération. La sensibilité est alors liée à la pression avec laquelle le toucher est appliqué. Une application d'une pression minimale est obligatoire en déplaçant le doigt sur la surface. Cela endommage la couche supérieure, sensible aux rayures ou griffures des objets pointus.

Par ailleurs, la transparence et la luminosité de l'écran ne sont pas parfaites. L'accumulation des couches peut créer des reflets et nuire aux angles de vision. 20% de la lumière émise est absorbée.

Toutes ces limites ont engendré la régression de cette technologie tactile. Elle est entrain de disparaître progressivement du marché des systèmes tactiles alors qu'elle occupait la première place les quatre premières années. D'autres technologies tactiles apparaissent au même temps. Elles seront présentées dans les parties qui suivent.

## 1.2. Technologie capacitive

### 1.2.1. Principe général



**Figure.1.9. Ecran à capacité projetée [1.14]:**

(a) une électrode capacitive, (b) écran sans toucher, (c) écran avec le toucher

Pour expliquer le fonctionnement d'une électrode capacitive à capacité projetée, le point de départ est la structure simple d'une capacité (fig.1.9.a.). Elle consiste en deux conducteurs ou deux couches métalliques séparées par un isolant. La formule suivante (eq.1.7) met en évidence les paramètres qui influencent la valeur de la capacité :

$$C = \epsilon \cdot \frac{A}{d} \quad (1.7)$$

$$\text{Où } \epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \quad (1.8)$$

- C est la capacité
- $\epsilon_0$  est la permittivité de l'espace (constante =  $8.854 \cdot 10^{-12}$  F/m)
- $\epsilon_r$  est la permittivité relative, appelée aussi constante diélectrique du substrat séparant les deux conducteurs.
- A est la surface des couches métalliques
- d est la distance séparant les deux couches métalliques.

Suivant l'équation (eq.1.7), la valeur de la capacité augmente lorsque la surface des couches métalliques augmente, ou lorsque la distance entre elles diminue. Le choix du substrat détermine la valeur de la permittivité  $\epsilon_r$ .

L'écran capacitif est formé par une matrice d'électrodes. Chacune a sa valeur propre de capacité  $C_0$  (fig.1.9.b).

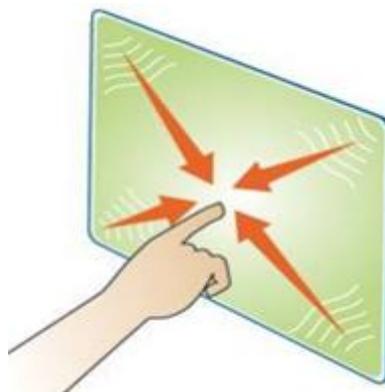
Lorsqu'un objet conducteur approche de l'électrode, la capacité mesurée croit. La capacité du doigt  $C_T$  (conducteur) se rajoute. La capacité totale du système devient équivalente à une capacité parallèle

( $C_0 // C_T$ ). Par conséquent, la proximité ou le contact du doigt de l'électrode peut être détectée par le changement de la capacité parallèle équivalente (fig.1.9.c).

## **1.2.2. Technologie capacitive de surface**

### **1.2.2.1. Surface tactile**

Dans le cas de cette technologie, la dalle tactile est constituée d'un substrat en verre sur lequel un film d'électrodes transparent (ITOs) est placé. Une faible tension électrique est appliquée aux quatre électrodes mises en place dans les quatre coins de l'écran tactile, générant ainsi un champ électrique uniforme à travers tout l'écran (fig.1.10).



**Figure.1.10. Ecran tactile capacitif surfacique [1.15]**

### **1.2.2.2. Principe d'acquisition**

Quand un humain touche l'écran, des charges électriques lui sont transférées ce qui crée une chute de tension. Pour chacune des quatre électrodes, placées aux coins de l'écran, l'amplitude du courant qui la traverse est inversement proportionnelle à la distance qui la sépare du point du toucher. Le contrôleur, connecté à la surface tactile, exploite la mesure de ces amplitudes pour en extraire les coordonnées du point de contact [1.16].

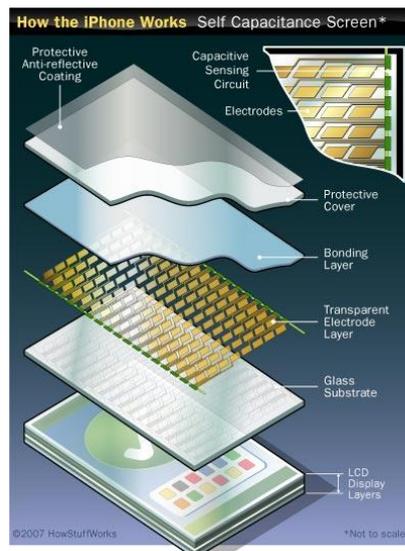
Cette technique capacitive est la plus ancienne. Elle date des années 90 [1.17]. Mais, elle a été utilisée récemment (en 2014) pour la réalisation d'un système portable qui se branche facilement pour convertir l'écran de n'importe quel ordinateur en une surface tactile [1.18].

## **1.2.3. Technologie capacitive matricielle projetée**

Pour les technologies matricielles, deux techniques de mesures sont utilisables : la capacité intrinsèque et la capacité mutuelle. La différence entre les deux réside dans la structure de l'écran matriciel ainsi que la manière de mesurer la capacité.

### **1.2.3.1. Capacité intrinsèque (Self capacitance)**

#### **1.2.3.1.1. Surface tactile**



**Figure.1.11. Structure d'un écran tactile à capacité intrinsèque [1.19]**

Un écran tactile à capacité intrinsèque (fig.1.11) est composé par la superposition de plusieurs couches transparentes. La matrice d'électrodes transparentes (« Transparent Electrode Layer ») est l'élément de base de cette structure. Toutes les électrodes de cette matrice sont reliées au système d'acquisition pour être alimentées en courant. Cette couche est protégée par un verre : rigide (dans le cas des téléphones portables) ou souple.

Cette technologie se basant sur la mesure de la capacité intrinsèque, a été utilisée pour des systèmes flexibles et portables fabriqués avec des fibres polyester élastique et de haute conductivité qui permettent de détecter la proximité ou le contact du doigt (ou de n'importe quel objet conducteur) [1.20].

#### **1.2.3.1.2. Principe d'acquisition**

Dans cette configuration, le capteur a une certaine valeur de capacité mesurée par rapport à son plan de masse [1.21]. Les lignes du champ électrique peuvent être présentes dans la partie au-dessus du capteur. Quand un objet conducteur tel que le doigt entre en contact avec la zone où sont réparties les lignes de champ, il les perturbe en rajoutant sa capacité, ce qui engendre l'augmentation de la capacité du capteur (« Electrostatic field caused by touch », fig.1.12).

Le contrôleur, connecté à l'écran tactile, mesure régulièrement la capacité de chaque électrode de cette matrice (« Continuous rescanning of capacitive signals », fig.1.12). Un changement brusque dans sa valeur est détecté. Il permet de localiser le point de toucher. C'est une méthode d'adressage matriciel qui est utilisée pour la détermination du couple de coordonnées (x,y) qui correspond à la position du toucher. Elle sera présentée dans une partie suivante (1.2.3.3).

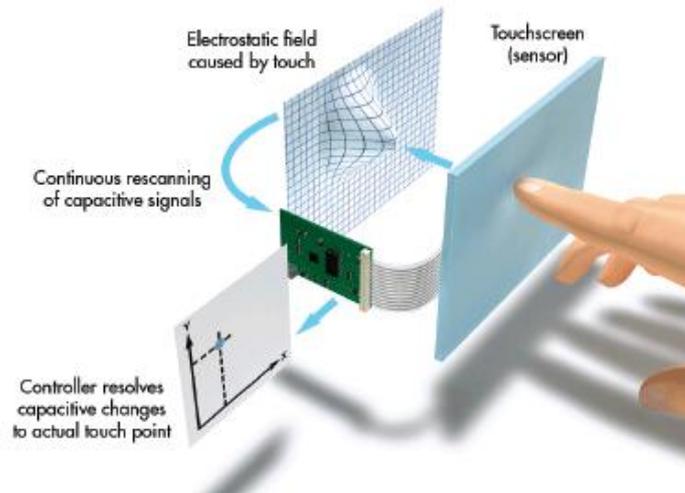


Figure.1.12. Synoptique explicatif du principe de localisation

### 1.2.3.2. Capacité mutuelle (Mutual capacitance)

#### 1.2.3.2.1. Surface tactile

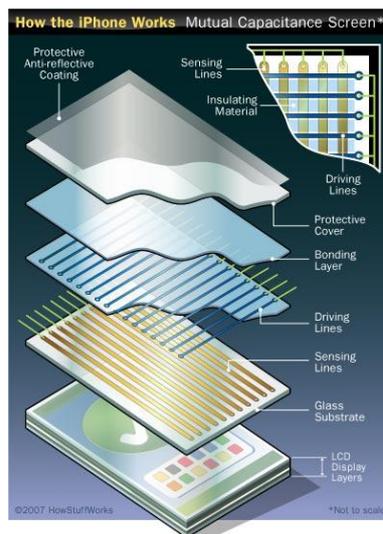


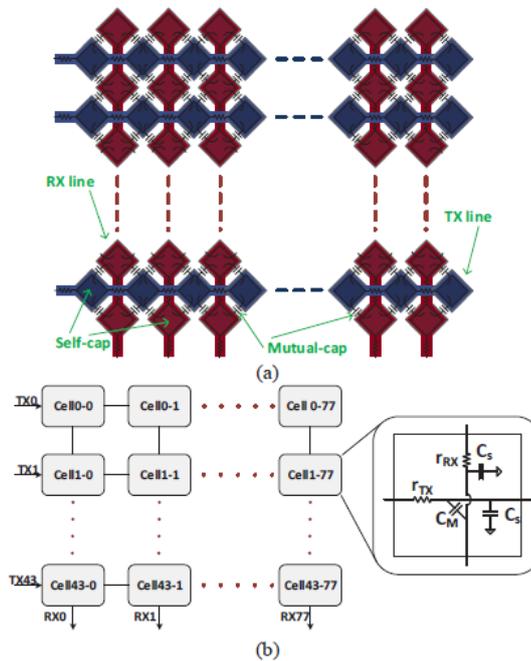
Figure.1.13. Structure d'un écran tactile à capacité mutuelle [1.19]

C'est la technologie capacitive la plus récente. Dans ce système tactile, la même structure globale d'un écran capacitif est maintenue (fig.1.11). Mais la matrice d'électrodes est remplacée plutôt par la superposition de deux couches conductrices avec un isolant d'épaisseur très fine qui les sépare (fig.1.13). La première couche est formée par les électrodes de l'axe des abscisses TX (« Driving Lines », fig.1.13). L'autre est formée par les électrodes des ordonnées TY (« Sensing Lines », Fig.1.13). Les électrodes TX et TY se croisent pour former une matrice.

#### 1.2.3.2.2. Principe d'acquisition

Lorsque l'objet conducteur (doigt) touche la surface, la capacité mutuelle  $C_M$  (fig.1.14.b) entre l'électrode représentant l'abscisse et celle qui correspond à l'ordonnée change. Le système

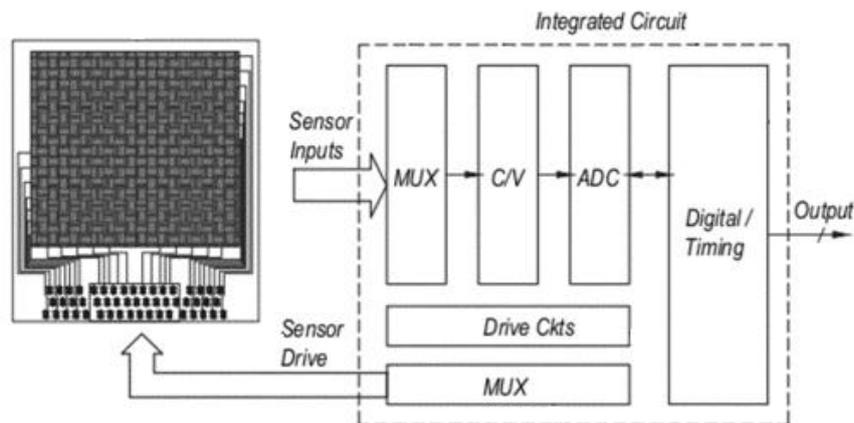
d'acquisition détecte les points de contact ainsi que leurs coordonnées quand il vérifie pour quelles électrodes la capacité mutuelle change.



**Figure.1.14. Modèle de l'écran capacitif à capacités mutuelles : (a) Structure, (b) Circuit électrique modélisant les capacités mutuelles entre électrodes [1.22]**

### 1.2.3.3. Adressage matriciel et localisation

La circuit d'acquisition qui assure la localisation du toucher dans les écrans matriciels est basée généralement sur le multiplexage pour l'adressage d'un élément de la matrice et la détermination de ses coordonnées (x,y).



**Figure.1.15. Synoptique complet d'adressage pour un système tactile matriciel [1.23]**

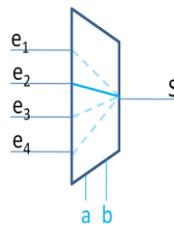
La fig.1.15 montre un exemple de synoptique complet de système de localisation matriciel. Il inclut un multiplexeur qui connecte séquentiellement les différentes électrodes sensibles à un convertisseur capacité / tension (C/V : Capacitance/ Voltage). Ce composant est suivi un convertisseur analogique

numérique (ADC : Analog Digital Converter) et une unité de contrôle numérique (Digital/ Timing) qui permet de calculer la position en coordonnées (x,y).

Le multiplexeur a le rôle de base dans ce circuit d'adressage (fig.1.15). C'est lui qui permet de choisir un seul couple de coordonnées (x,y) parmi toutes ses entrées.

Son fonctionnement, simple pour un petit nombre d'entrées, est expliqué dans ce qui suit.

En effet, le multiplexeur permet de faire passer tous les signaux analogiques venant de différentes entrées dans une seule voie (S) en sélectionnant une entrée parmi N. Si le multiplexeur possède N entrées analogiques (N=4, fig.1.16),  $\log_2(N)$  est le nombre d'entrées de sélection (a et b, fig.1.16) qui sont mis en place pour assurer le passage d'un seul signal. Le schéma d'un multiplexeur à quatre entrées est modélisé par la fig.1.16.



**Figure.1.16. Schéma d'un multiplexeur 4x1**

Il est important de noter que chaque augmentation du nombre d'entrées du multiplexeur complique son schéma ainsi que l'équation régissant sa sortie.

## **1.2.4. Innovations**

### **1.2.4.1. Technologies et surfaces tactiles**

Plusieurs propositions innovantes sont basées sur la technologie capacitive. Une structure de capacité projetée a été par exemple choisie pour la réalisation d'un écran transparent et souple qui a été breveté par des chercheurs de Samsung Mobile Display [1.24]. C'est un capteur qui est basé sur un substrat très fin ayant une épaisseur allant de 0.005mm à 0.05mm et qui contient une des trois substances, polyméthyl méthacrylate (PMMA), acryl et polyster (PET). La même structure a été utilisée avec un autre processus de fabrication [1.25] en superposant les différentes couches qui forment le capteur avec la photolithographie. Les deux couches de l'électrode sont des couches IZO (Indium-doped Zinc Oxide) et la couche qui les sépare est un isolant très fin SU-8 2007 (fabriqué et commercialisé par Microchem. Co).

La technologie capacitive n'a pas servi à concevoir, uniquement, des écrans tactiles. Mais, elle a été aussi utilisée dans des capteurs portables souples et extensibles fabriqués à partir d'un mélange de fibres polyster et d'autres d'acier inoxydable ayant une conductivité très importante [1.21].

Et du point de vue écrans tactiles, cette technologie est très répandue dans la fabrication des écrans des téléphones portables tactiles [1.26]. Elle est même utilisée pour des écrans souples transparents [1.22, 1.24, 1.25, 1.27].

#### **1.2.4.2. Système d'acquisition**

Pour les réalisations sur des surfaces larges, le temps de réponse de ce type d'écran reste lent et le niveau de bruit élevé à cause du nombre élevé d'électrodes. Par conséquent, des travaux de recherche ont été menés afin de remédier à ces deux problèmes. Par exemple, la méthode de détection différentielle [1.28, 1.29] est une méthode qui effectue une mesure différentielle amplifiée des deux électrodes adjacentes au lieu du prélèvement de la valeur absolue de la capacité intrinsèque et de la capacité mutuelle dans les systèmes basiques [1.26]. Plus récemment, en 2015, la méthode de la commande simultanée, a été implémentée pour l'obtention d'une bonne vitesse de balayage [1.30, 1.31]. C'est une technique de balayage de surface qui consiste en deux étapes. La première est la commande simultanée et la deuxième est la détection différentielle (appelée en anglais CDDS Concurrent Driving Differential Sensing). Toutes les lignes émettrices Tx (qui correspondent aux lignes) sont commandées simultanément par des impulsions de polarités opposées. Ensuite, les lignes réceptrices Rx (qui correspondent aux colonnes) qui ont été touchées sont déterminées par une détection différentielle. L'avantage de cette méthode est qu'elle annule le signal de mode commun et elle ne laisse que le signal différentiel en appliquant des excitations d'impulsions opposées. Ainsi, la partie majeure du signal de bruit est éliminée en supprimant le signal de mode commun et par la suite le rapport signal sur bruit (SNR Signal Noise Ratio) s'améliore.

En 2016, une autre méthode innovante a été utilisée pour être appliquée à un écran large à capacité mutuelle projetée. Elle est basée sur les signaux OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing avec une réception TDM (Time Division Multiplexer) qui lit tous les canaux de l'écran tactile [1.22].

#### **1.2.5. Avantages et inconvénients**

La technologie capacitive présente quelques inconvénients. Par exemple, un écran capacitif ne détecte pas le contact ou la présence d'un objet non conducteur tel que le stylet.

Mais, cette technologie offre beaucoup d'avantages qui lui permettent de se démarquer. Il sera exposé plus tard, dans l'étude comparative entre les différentes technologies tactiles, que la technologie capacitive a pu occuper autour de 70% du marché des écrans tactiles ces dernières années.

Cela est expliqué par son coût faible et son intégration facile par rapport à d'autres technologies (qui seront présentées dans ce qui suit). La surface tactile capacitive est, également, caractérisée par sa durabilité, sa sensibilité et sa bonne résolution.

Par ailleurs, c'est une technologie qui a été utilisée dans des systèmes tactiles souples et plusieurs méthodes d'acquisition ont été proposées afin de résoudre le problème de réactivité dans le cas d'écrans de grande surface.

### 1.3. Technologie acoustique

#### 1.3.1. Surface tactile

Un écran tactile à onde acoustique [1.32] appelé aussi SAW (Surface Acoustic Wave) est composé d'une couche de verre avec des transducteurs piézo-électriques émetteurs, récepteurs et réflecteurs. Ils sont non visibles par l'utilisateur et placés sur les bords de la surface tactile. Les transducteurs émetteurs convertissent un signal électrique en ondes acoustiques qui sont générées pour parcourir toute la surface tactile, elles sont ensuite réfléchies par changement de direction d'un angle de 90° et enfin capturées par les transducteurs récepteurs (fig.1.17). Ces derniers reconvertissent l'onde en signal électrique pour créer une carte numérique de l'écran tactile.

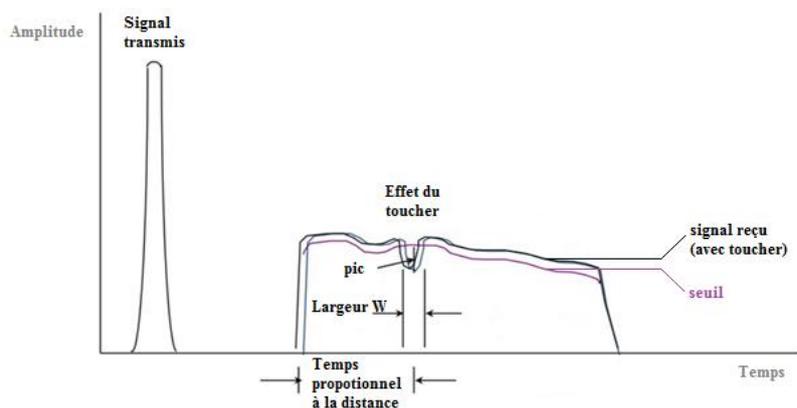


Figure.1.17. Structure d'un écran acoustique [1.33]

#### 1.3.2. Principe d'acquisition

Quand l'utilisateur touche l'écran, une partie de l'onde acoustique est absorbée. Un contact est identifié quand, au niveau des deux axes, un pic apparaît dans le signal reçu ayant une amplitude en dessous d'un certain seuil prédéfini par le contrôleur (fig.1.18). Le contact d'un objet mou (bout du doigt, doigt ganté, caoutchouc, etc.) avec la surface de verre est plus adapté avec ce type d'écran. Il permet d'assurer l'absorption de la quantité suffisante de l'énergie de l'onde acoustique pour descendre en dessous du seuil. Le pic observé dans le signal reçu (fig.1.18) est localisé dans l'axe temporel. Un temps de propagation lui est associé. Il est transmis au contrôleur pour extraire la position du toucher.

Un signal est traité pour chacune de ses coordonnées X et Y. Un adressage matriciel (1.2.3.3.) est ensuite appliqué pour l'extraction du couple correspondant à la position du toucher.

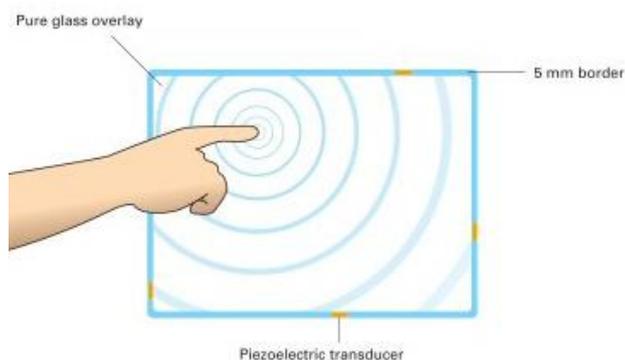


**Figure.1.18. Schéma descriptif de l'effet du doigt sur le signal acoustique reçu [1.34]**

### 1.3.3. Innovations

Dans ce qui précède, c'est la détection acoustique de base qui est présentée. Les premiers travaux de recherche sur cette version datent des années 80 [1.32], et ils ont été améliorés, par exemple, en diminuant les pertes acoustiques avec des substrats transparents spéciaux [1.35] et en augmentant la résolution tout en rajoutant l'option du toucher multiple [1.36].

Actuellement, de nouveaux concepts sont développés comme la technique de la reconnaissance d'impulsion acoustique (APR : Acoustic Pulse Recognition) [1.37]. Elle est basée sur un écran en verre avec quatre transducteurs piézo-électriques connectés chacun sur un côté. Ces derniers permettent de détecter l'onde acoustique générée quand un touché se produit (fig.1.19). Cette onde est ensuite convertie en signal électrique qui est comparé à un profil acoustique pré-codé pour chaque position sur le verre.



**Figure.1.19. Ecran acoustique se basant sur l'APR [1.37]**

La forme, non matricielle, de ce type d'écran représente un avantage par rapport à celle de l'écran acoustique conventionnel. Avoir que quatre transducteurs piézo-électriques simplifie énormément l'intégration et le traitement des données de localisation.

Cet écran a été commercialisé récemment (en 2014) par « ELO touch solutions » [1.37].

Par ailleurs, il est intéressant de mentionner que, récemment, une technologie bio-acoustique a été exploitée pour assurer la détection du contact peau-à-peau [1.38]. Le système proposé consiste en deux

unités : une de vibration et une autre de détection. Elles sont conçues sous la forme de bracelets pour être portées autour du poignet. La première personne porte l'unité « vibreur ». Elle est basée sur un moteur (FM34F, Tokyo Parts Industrial, co., ltd) qui génère un signal élastique (acoustique) lorsqu'il est alimenté avec un courant continu de 3V. Ce signal se propage dans le corps de l'utilisateur. Les ondes ne se transmettent à la seconde personne que lors d'un contact des deux peaux. L'amplitude des ondes reçues (par l'unité receptrice) dépend de la surface de contact.

#### 1.3.4. Avantages et inconvénients

La technologie acoustique est basée sur un écran tactile composé d'une unique couche de verre. Un tel écran offre une bonne clarté et luminosité de l'image, en plus, ce verre résiste bien aux rayures, il est durable et il fonctionne bien même avec de profondes éraflures. La résolution de ce système tactile est grande et sa réaction est rapide. Mais, ses deux gros problèmes sont le coût très élevé et la difficulté de son intégration.

Par ailleurs, un critère de base visé par ce travail ne peut pas être assuré par l'écran acoustique. En effet, les ondes acoustiques sont bien étudiées pour balayer une surface plane, il est alors compliqué d'utiliser une version souple de cet écran tactile. Cela pose un problème quant au déplacement des ondes.

### 1.4. Technologie infrarouge

#### 1.4.1. La technologie infrarouge (IR) basique

##### 1.4.1.1. Surface tactile

Le principe d'un écran tactile infrarouge ressemble à celui de l'écran acoustique sauf que les transducteurs piézo-électriques sont remplacés, dans ce cas, par un dispositif de LED-IR et de photo-détecteurs qui jouent respectivement les rôles d'émetteurs/récepteurs (fig.1.20).

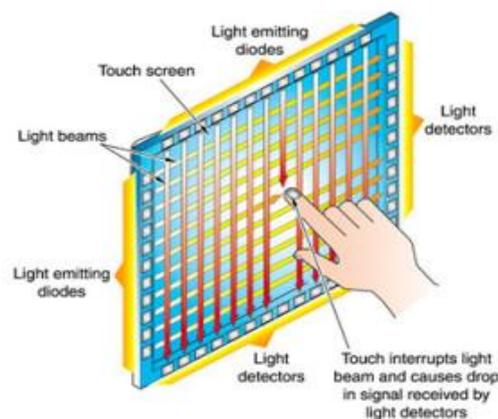


Figure.1.20. Ecran tactile infrarouge [1.39]

La version basique de la technologie infrarouge n'est pas récente, elle a été brevetée en 1989 [1.40]. La structure de l'écran tactile est détaillée dans ce qui suit.

Sur deux des quatre bords de l'écran sont disposés des émetteurs infrarouges, et sur les deux autres sont disposés les récepteurs. Leur nombre varie en fonction de la précision de localisation désirée. Ils doivent être très bien placés pour que le faisceau IR qui part de l'émetteur arrive exactement là où est situé le récepteur.

### 1.4.1.2. Principe d'acquisition

Lorsque l'écran est au repos, les rayons infrarouges arrivent normalement sur leurs récepteurs. Ce système (émetteurs/ récepteurs) est placé au-dessus de la surface tactile. Au toucher, le rayon infrarouge est interrompu juste avant le contact avec l'écran. Le récepteur infrarouge est, dans ce cas, obstrué. Par conséquent, un pic dans l'intensité du signal reçu apparaît (fig.1.21). Si l'amplitude de ce pic est inférieure au seuil fixé par le contrôleur, le récepteur envoie une notification à ce dernier pour qu'il détermine les coordonnées du point de contact.

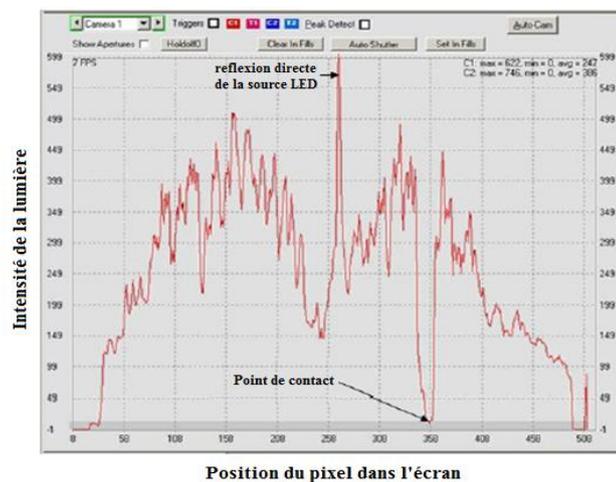


Figure.1.21. Effet du doigt sur le signal infrarouge reçu

Le système de localisation est alors un système matriciel ayant comme critère de choix le dépassement d'un seuil prédéfini au niveau du récepteur (photo détecteur). Un seul couple de coordonnées (x,y) satisfait ce critère. Il correspond à la position du toucher. La méthode d'adressage matricielle (1.2.3.3) est alors appliquée pour la localisation de ce toucher.

C'est la version basique de la technologie infrarouge. Elle est basée sur une structure matricielle d'émetteurs/ récepteurs. D'autres structures et méthodes de localisation seront présentées dans les parties suivantes.

## 1.4.2. La technologie optique d'imagerie infrarouge

### 1.4.2.1. Surface tactile

Un autre système tactile se basant plutôt sur l'imagerie infrarouge a été présenté plus tard dans les travaux de recherche. La structure change. Ce système est basé sur, uniquement, deux capteurs d'imagerie infrarouge placés aux deux coins supérieurs de l'écran tactile [1.41]. Ils jouent le rôle d'émetteur de rayons infrarouges ainsi que de capteur d'images. Des rubans rétro-réfléchissants sont placés sur les trois autres cotés de l'écran. (fig.1.22)

#### 1.4.2.2. Principe d'acquisition

Des rayons infrarouges sont émis par les capteurs. Ces rayons sont réfléchis par les rubans retro-réfléchissants et reviennent à leur source. Lorsque l'utilisateur touche l'écran tactile, les rayons infrarouges vont être bloqués et ne reviennent pas aux capteurs. Une ombre va alors apparaître au niveau du point de contact et l'angle, entre ce dernier et les deux capteurs, est mesuré comme le montre la figure.1.22. Ensuite, les coordonnées du point de toucher sont extraites par triangulation.

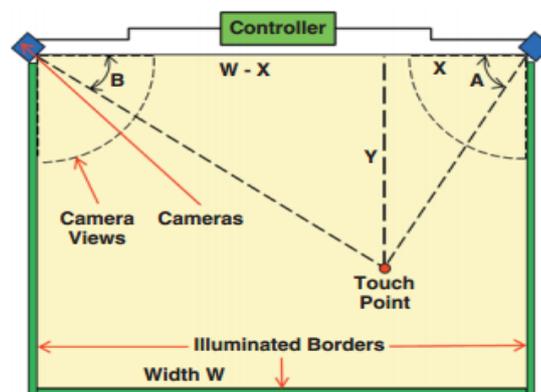


Figure.1.22. Ecran tactile d'imagerie infrarouge

Ce qui est intéressant, c'est que cette technologie a été exploitée pour la conception d'un écran LCD tactile de grande taille (52") [1.42] et à toucher multiple.

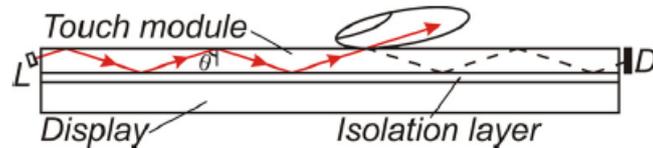
#### 1.4.3. La technologie du guide d'onde

Cette technologie est aussi appelée, détection de dispersion plane (PSD : Planar Scatter Detection).

Le faisceau lumineux est injecté à l'intérieur du guide d'ondes pour le parcourir en mode de réflexion totalement interne (TIR : Total Internal Reflection). (fig.1.23)

Au toucher, le faisceau lumineux est perturbé par l'objet en contact avec la surface supérieure du guide et il est alors dispersé au niveau de ce point (fig.1.23). Ce qui reste est détecté après au bord du guide d'onde. Des algorithmes de détection très avancés sur la lumière détectée sont utilisés pour la détermination de la position du contact [1.43].

C'est une technique qui a été utilisée non seulement dans la localisation du toucher en contact avec la surface mais aussi dans la détection de sa présence aux voisinages [1.44, 1.45]. Elle ne nécessite même pas le contact du doigt avec la surface pour le détecter.



**Figure.1.23. Ecran optique PSD**

Le même principe (TIR) a été utilisé par les ingénieurs de recherche de « Perceptive Pixel » qui fait la conception des écrans tactiles à touches multiples. Lorsqu'un utilisateur touche un écran TIR, son doigt réfléchit la lumière et des caméras placées à l'arrière de l'écran détectent ce faisceau lumineux réfléchi [1.46].

#### **1.4.4. Avantages et inconvénients**

Comme pour l'écran acoustique, la présence d'une seule couche de verre engendre une excellente luminosité et une bonne clarté de l'écran tactile IR. En plus, il permet même, de détecter très facilement la proximité d'un toucher ou de n'importe quel objet comme le stylet. En outre, les faisceaux infrarouges sont situés au-dessus de la surface. Ainsi, le système tactile ne nécessite pas une grande pression pour la détection du toucher. Il assure à la fois la bonne sensibilité et la durabilité de l'écran.

Mais, ces écrans infrarouges présentent un grand inconvénient. Ils ne peuvent pas être déformables car c'est une technologie qui est basée sur des faisceaux lumineux qui sont émis par des LED pour atteindre des photo-détecteurs. La distorsion du substrat bloque son fonctionnement.

Par ailleurs, le système d'acquisition est basé sur le dispositif LED-IR/photo détecteurs placé en dessus de la surface en verre. Cela a un effet de dégradation sur la précision de localisation ainsi que la résolution dans certains cas comme l'exposition à une lumière forte comme le soleil et la détection de n'importe quel objet qui bloque les rayons lumineux, tels que les insectes et la poussière.

En outre, ce dispositif présente lui-même quelques inconvénients qu'il faut prendre en considération. D'une part, pour assurer une bonne résolution, même dans une surface de taille moyenne, un grand nombre de LED et de photo détecteurs doit être envisagé. Le prix de ces derniers étant pas abordable, le système coûte souvent cher. Par conséquent, le coût augmente exponentiellement pour une surface très grande. D'autre part, la mise de ce système d'émetteurs/récepteurs n'est pas simple. Ils doivent être parfaitement linéaires sinon leur bon fonctionnement n'est pas assuré.

Tous ces problèmes sont reliés à la structure matricielle de l'écran IR basique. Ils n'apparaissent pas dans le cas des deux technologies « d'imagerie IR » et « du guide d'onde » qui ont été déjà exploités pour la réalisation de grandes surfaces [1.42, 1.46].

## 1.5. Technologies basées sur le traitement d'image

### 1.5.1. Principe de détection et localisation

Pour cette catégorie de technologies tactiles, une caméra est placée soit en face soit derrière l'écran tactile. Elle récupère des images pour les traiter ensuite et en extraire la position du contact du doigt avec la surface tactile. Différents algorithmes de traitement d'image ont été développés.

Un premier procédé de localisation [1.47] consiste à utiliser un système de détection de lumière embarqué qui permet de transformer une surface ordinaire éclairée par projection en une surface d'affichage sensible au toucher (fig.1.24).

La première étape est la détection de la présence de la main. L'approximation de sa position est assurée à travers les pixels ayant des amplitudes dépassant un seuil prédéfini. La main apparaît plus brillante que son ombre ainsi que l'arrière plan.

La deuxième étape est la détection des bouts des doigts. L'extraction du contour de la main et la détection des bouts du doigt à partir de la courbure de ce contour.

La dernière étape consiste à la détection du toucher, ou le contact du doigt avec la surface. L'algorithme de traitement d'image appliqué est l'homographie. C'est un calcul de la différence de Hamming entre deux pixels avec et sans présence du bout du doigt. Si cette valeur est inférieure à un certain seuil, c'est qu'il y a un contact entre le doigt et la surface.

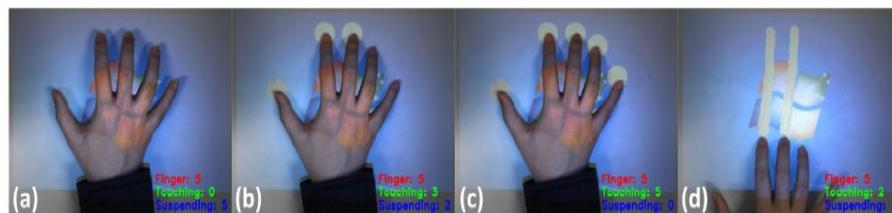


Figure.1.24. Transformer un écran de projection en écran tactile [1.47]

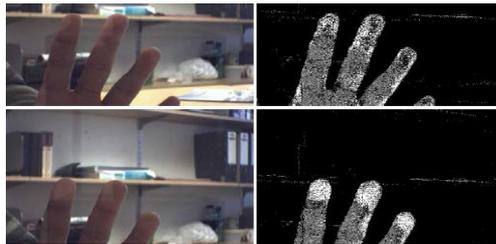
Une autre technique de traitement d'image est basée sur le changement de la couleur de l'ongle [1.48]. Un système de détection d'ongle utilise un algorithme de segmentation et une opération de détection de contour puis un traitement de l'image du bout du doigt est appliqué. Il quantifie la répartition de la couleur dans l'ongle et informe sur la pression exercée par le doigt. (fig.1.25)



Figure.1.25. Détermination de la pression exercée à partir de la couleur de l'ongle [1.48]

Un dernier système de détection [1.48] utilise les images données par une caméra placée derrière une feuille de verre non-réfléchissant qui représente l'écran tactile (fig.1.26). L'algorithme de localisation vise à faire la distinction entre trois cas différents :

- l'environnement sans la présence de la main,
- l'environnement avec la présence de la main de l'utilisateur avec une peau normale sans contact avec le verre
- la chair comprimée contre la surface du verre qui apparaît lorsque l'utilisateur touche la surface.



**Figure.1.26. Images de la camera placée derrière le verre non réfléchissant [1.48]**

### **1.5.2. Avantages et inconvénients**

Ces méthodes sont toutes basées sur des algorithmes de traitement d'image permettant de détecter le toucher sur des écrans très larges. Elles nécessitent l'installation d'une caméra ou plus pour la récupération d'images. L'algorithme correspondant localise le toucher à partir du traitement de ces images. L'avantage de ces méthodes c'est qu'elles peuvent être appliquées à n'importe quel écran plan quelle que soit la taille de sa surface. Elles sont alors une bonne solution pour des écrans tactiles très larges et elles assurent une bonne sensibilité. La réactivité du système tactile ainsi que sa durabilité sont reliés aux caméras utilisées et leurs performances.

L'intégration du système d'acquisition n'est pas compliquée puisqu'elle consiste à bien placer les caméras et les relier aux contrôleurs qui intègrent l'algorithme de localisation.

L'inconvénient de cette technologie est qu'elle n'assure pas la localisation du toucher sur des surfaces souples.

## **1.6. Comparaison entre les technologies tactiles existantes**

A partir de ce qui a été présenté précédemment dans la partie « Avantages et inconvénients » de chaque technologie tactile, des tableaux récapitulatifs sont établis dans cette partie. Ils représentent une comparaison de toutes les technologies tactiles présentées en se basant sur les critères fixés dès le début du chapitre:

- Ecran tactile (tab.1.2):
  - Sensibilité

- Durabilité
- Luminosité
- Résolution
- Souplesse
- Système d'acquisition (tab.1.3) :
  - Facilité d'intégration
  - Simplicité de contrôle
  - Réactivité et temps de réponse.

Lettre	Signification
E	Elevé
M	Moyen
F	Faible
I	Inexistant

**Tableau.1.1. Symboles utilisés**

Technologie \ Critère	Sensibilité	Durabilité	Luminosité	Résolution	Souplesse
Résistif	F	F	F	E	E
Capacitif surfacique	M	M	E	M	E
Capacitif projeté	E	E	M	M	E
Acoustique	E	E	E	E	I
Infrarouge	E	E	E	E	I

**Tableau.1.2. Technologies tactiles Vs. critères de la surface sensitive**

Technologie \ Critère	Facilité d'intégration	Simplicité de contrôle	Réactivité (temps de réponse)
Résistif	E	E	F
Capacitif surfacique	M	E	M
Capacitif projeté	E	M	E
Acoustique	F	M	E
Infrarouge basique	F	M	E
Optique PSD	M	M	E
Traitement d'images	M	F	M

**Tableau.1.3. Technologies tactiles Vs. critères du système d'acquisition**

En ce qui concerne la surface sensitive, la meilleure luminosité est assurée par les structures qui ne nécessitent pas la superposition de plusieurs couches. Les écrans acoustiques et infrarouges viennent alors en tête de classement (tab.1.2). Mais le problème de ces deux derniers, c'est qu'ils n'offrent pas la possibilité de créer une surface souple et conformable. En effet, l'onde envoyée par les émetteurs (acoustiques ou infrarouges) ne peut pas atteindre les récepteurs si la surface est déformée. Cela

représente, dans ce cas, un grand inconvénient éliminatoire puisque la souplesse est un critère de base dans ce travail.

Bien que la technologie résistive soit la plus simple du point de vue intégration et contrôle (tab.1.3), sa surface tactile vient en dernier lieu. Sa sensibilité est faible et, en plus, elle peut être endommagée facilement (tab.1.2). C'est pour ces limites que cette technologie, qui a connu un grand essor entre 2007 et 2010, est en train de subir une régression énorme dans le marché des écrans tactiles devant la technologie capacitive (fig.1.27). C'est logique puisque cette dernière assure une meilleure qualité de la surface tactile avec une bonne sensibilité et durabilité. En outre, son intégration est beaucoup plus simple que d'autres technologies telles que la technologie acoustique et infrarouge.

La technologie très répandue ces dernière années est capacitive projetée « P-cap » (fig.1.27). Par rapport à la technologie capacitive surfacique, P-cap offre une meilleure qualité de surface tactile ainsi que de meilleures performances. Cela est très clair dans les deux tableaux (tab.1.2 et tab.1.3).

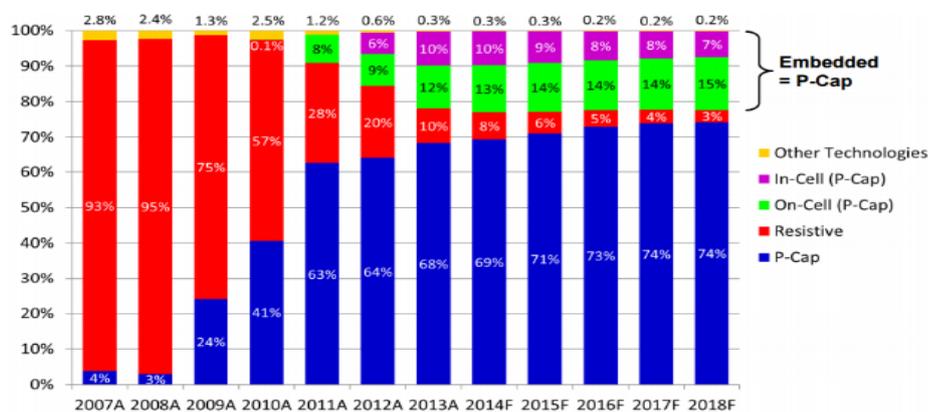


Figure.1.27. Pourcentage du marché occupé par chaque technologie tactile [1.49]

Par ailleurs, dans ce travail de thèse, un autre critère de base doit être étudié. C'est la taille de la surface tactile. Une étude du marché a permis d'établir un classement des différentes technologies disponibles par rapport à la taille de l'écran.

Technologie \ Taille	Petit (2'' – 10'')	Moyen (10'' – 30'')	Grand (30'' – 150'')
Résistif	E	M	I
Capacitif surfacique	F	E	I
Capacitif projeté	E	M	F
Acoustique	I	E	F
Infrarouge basique	I	E	M
Optique PSD	I	I	E
Traitement d'images	I	I	E

Tableau.1.4. Technologies tactiles Vs. taille de l'écran sensible

Le tableau tab.1.4 montre que deux technologies sont utilisées actuellement pour les grandes surfaces. La technologie « optique PSD » qui est basée sur les faisceaux infrarouges et la technologie

« traitement d'images » qui récupère les images des caméras placées devant ou derrière l'écran pour les traiter et localiser le toucher. Le problème de ces deux technologies c'est que toutes les deux ne peuvent pas être utilisées avec des surfaces conformables et souples. Donc, elles ne satisfont pas tous les critères voulus.

Les résultats des comparaisons précédentes ont permis de sélectionner la technologie capacitive projetée comme étant la meilleure technologie qui correspond à tous les critères de base qui ont été fixés. Mais, la surface à concevoir doit avoir une autre spécificité : Elle est très large.

C'est là où apparaît le problème de la technologie capacitive projetée. C'est un système matriciel. C'est-à-dire, la complexité de connexion et d'acquisition des données suite au multiplexage augmente avec le nombre d'électrodes et donc la surface de l'écran tactile. Ainsi, pour une grande surface, le système tactile devient compliqué et coûteux.

C'est pour cette raison que de nouvelles solutions d'extraction de la position du toucher ont été proposées. Elles permettent d'accélérer le temps de balayage et de réduire le facteur de bruit. Mais, le nombre d'écrans capacitifs de grande taille reste toujours limité (tab.1.4). Ces algorithmes de localisation ne résolvent pas la complexité et le coût élevé de la connectique de la surface sensitive au système d'acquisition. Un nombre énorme de fils doit être envisagé.

Une surface tactile à port unique est alors forcément la meilleure solution pour un écran de surface très large. Le concept fondamental du système tactile proposé sera présenté dans la partie suivante.

## **1.7. Concept de capteur tactile distribué**

L'objectif de ce travail de thèse est de concevoir un capteur tactile distribué sur une grande surface et conformable sur des objets 3D. Il est basé sur une dalle tactile monoport basée sur un guide d'onde et un circuit d'acquisition compact (fig.1.34).

### **1.7.1. Dalle tactile**

La spécificité de la surface sensitive proposée est qu'elle peut être connectée au système d'acquisition via un seul et unique port. Cela présente un grand avantage par rapport à ce qui existe sur le marché. La plupart des technologies présentées sont basées sur des écrans matriciels. Ils sont connectés à l'aide de nombreux fils aux systèmes d'acquisition. La résolution de ces écrans dépend du nombre d'électrodes et donc du nombre des lignes et colonnes. Pour une résolution donnée, le nombre d'électrodes par unité de longueur doit être maintenu. C'est-à-dire que dans le cas où la taille de l'écran augmente, le nombre d'électrodes est multiplié. Pour une surface tactile de très grande taille, augmenter considérablement le nombre d'électrodes revient à augmenter le coût ainsi que la complexité de localisation à cause du nombre d'interconnexion et du multiplexage. Et, c'est là où apparaît l'avantage d'avoir un unique port de connexion.

La base technologique de cette surface sensible est un guide d'onde (ligne de transmission) sur substrat souple sur lequel circule un signal Radio-Fréquence (fig.1.34). La détection d'un toucher sur une ligne de transmission sera détaillée dans le chapitre 2 (partie: 2.1.).

La localisation du toucher revient à la détermination de la position à laquelle un évènement se produit sur une ligne de transmission. Une méthode traditionnelle de localisation d'évènements sur un guide d'onde imprimé est la TDR (Time Domain Reflectometry). Elle est présentée dans la partie suivante.

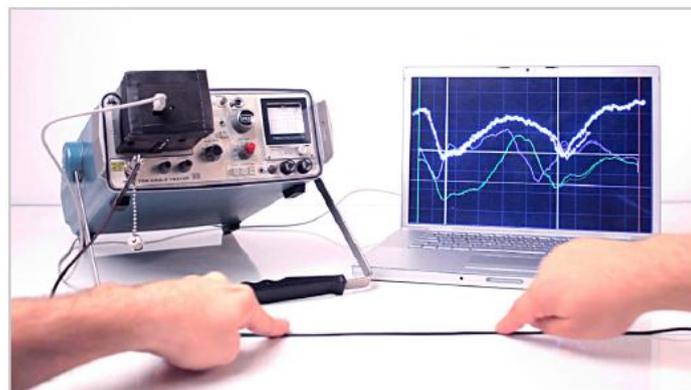
### **1.7.2. Méthode de localisation traditionnelle (TDR: Time Domain Reflectometry)**

Le principe de la reflectométrie temporelle (TDR) est présenté dans l'«annexe A».

Cette méthode de localisation d'évènement sur un guide d'onde permet de mesurer et représenter le profil d'impédance tout au long d'une ligne de transmission. Toutes les discontinuités électriques, comme celle de l'impédance caractéristique, peuvent être détectées.

En se basant sur ce principe, les chercheurs [1.50, 1.51] ont conçu des systèmes tactiles. Le support tactile est basé sur un guide d'onde. Quand un toucher est appliqué à ce dernier, il perturbe la continuité de l'impédance. Cela est dû à la perturbation locale du champ électromagnétique.

Le système tactile complet a été testé (fig.1.28). Le banc expérimental est constitué d'une ligne de transmission reliée à un réflectomètre qui joue le rôle de système d'acquisition. Ce dernier permet de détecter la discontinuité de l'impédance permettant de localiser le toucher. La figure 1.28 montre la présence de deux pics dans la réponse mesurée par le réflectomètre. Ils correspondent à deux désadaptations locales de la ligne de transmission dues aux deux touchers effectués. Une relation entre le temps de retard de chaque pic et la distance permet d'extraire la position du toucher.



**Figure.1.28. Ligne de transmission avec deux touchers connectée au réflectomètre Tektronix1502 [1.51]**

Cette technique a été utilisée pour la réalisation d'une grande variété d'applications tactiles [1.51, 1.52] telles que rendre sensibles au toucher les cordes d'une guitare, utiliser une bande de revêtement

adhésive pour rendre des objets sensibles au toucher, rendre sensible aux pas le carrelage du sol, porter un bracelet extensible tactile... etc.

Mais, cette méthode présente un inconvénient majeur: Dans le cas d'une localisation centimétrique, il s'agit de traiter des impulsions très fines (sur des nano secondes). Gérer de tels signaux hauts en fréquence nécessite des composants qui assurent le fonctionnement dans des intervalles de fréquence dans les GHz et une électronique à haute résolution.

### 1.7.3. Méthode proposée (HDL : Harmonic Detection and Location)

Pour localiser le doigt sur la dalle tactile, nous avons développé une méthode de localisation alternative à la méthode TDR. C'est une méthode de réflectométrie fréquentielle « Annexe A » que nous avons baptisée HDL (Harmonic Detection and Location). Elle utilise un signal sinusoïdal autour de 100 MHz, sur bande étroite et elle permet l'exploitation d'une électronique d'acquisition compact, de faible complexité et à cout modéré.

Un synoptique simplifié du principe du système tactile global proposé est représenté par la fig.1.29. Le système d'acquisition compact commande le circuit en fréquence en générant des signaux sinusoïdaux. Au niveau de la dalle, une partie de chaque signal incident est réfléchi à cause de la présence du doigt sur la ligne. Une analyse harmonique du signal réfléchi reçu au port d'entrée permet de localiser le toucher.

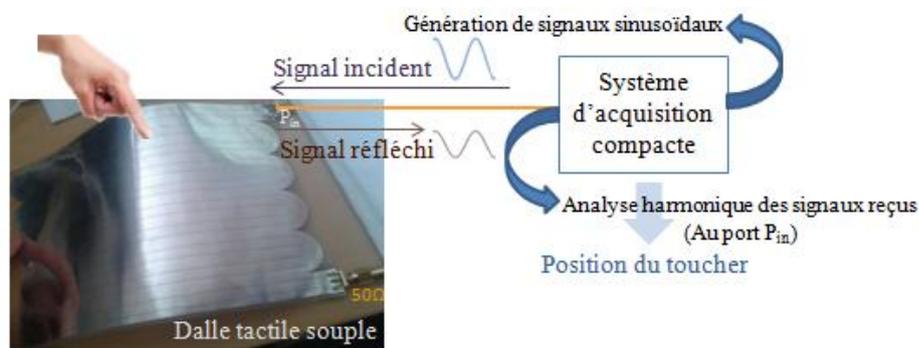


Figure.1.29. Synoptique complet du système tactile proposé

Cette méthode de localisation de toucher s'apparente à la méthode FDR (Frequency Domain Reflectometry). Détecter une discontinuité au niveau du profil d'impédance de la ligne revient à la détection d'un évènement perturbateur : le toucher.

La présentation du principe de base de la méthode HDL ainsi que la validation du concept proposé sur la base de simulations et de mesures ont été les points de départ de la thèse [1.53].

L'intérêt de cette partie est d'expliquer la différence entre les deux méthodes de localisation TDR et HDL dans le cas d'une détection centimétrique.

En effet, la différence principale entre les deux méthodes réside dans les signaux générés et traités. La TDR est basée sur des impulsions très fines qui se propagent sur des nanosecondes (qui correspondent à des GHz en fréquence) alors que la méthode HDL exploite des signaux sinusoïdaux (fig.1.29) plus faciles à manipuler et à traiter. Cela permet de travailler dans une bande de fréquence réduite. Ce qui représente un grand avantage du point de vue coût et simplicité du système d'acquisition.

En outre, la méthode d'analyse du signal au port d'entrée de la ligne n'est pas la même. HDL est basée sur une étude harmonique de la phase du signal réfléchi assurée par un circuit d'acquisition intégré et compact (fig.1.29) détaillé dans le chapitre 3.

Un tableau comparatif entre les deux méthodes TDR et HDL est représenté par tab.1.5 pour récapituler tous ces points de différence.

Méthode	TDR	HDL
<b>Définition</b>	<b>Time Domain Reflectometry</b> Méthode traditionnelle pour la localisation d'un évènement sur un guide d'ondes	<b>Harmonic Detection and Location</b> Méthode harmonique proposée
<b>Principe</b>	Mesure du temps de propagation entre les deux impulsions incidente et réfléchie.	Mesure du déphasage entre les deux signaux sinusoïdaux incident et réfléchi.
<b>Bande de fréquence</b>	De l'ordre du GHz	[10,300] MHz
<b>Système d'acquisition</b>	Encombrant Complexe	Intégré Simple

Tableau.1.5. Tableau comparatif entre les deux méthodes de localisation TDR et HDL

## 1.8. Synthèse

Ce chapitre était dédié à la présentation des différentes technologies tactiles qui sont disponibles actuellement. Leurs structures, principes de détection ainsi que les systèmes d'acquisition permettant de localiser le toucher ont été présentés. La structure de chaque surface sensitive a permis d'évaluer chaque technologie par rapport à une liste de critères préalablement choisis : sensibilité, durabilité, luminosité, résolution et souplesse. Ensuite, en partant des synoptiques complets des systèmes tactiles ainsi que des algorithmes de localisation qui leurs sont associés, une comparaison de performances a été établie. Elle a soulignée la réactivité, la simplicité d'intégration et la facilité de contrôle pour chaque type de système.

Cette analyse de ce qui existe comme technologies tactiles a permis de démontrer que les technologies qui assurent les meilleures performances sont celles qui sont basées sur des structures matricielles d'électrodes sensibles. La souplesse étant un critère de base, certaines technologies (acoustiques et infrarouges) ont été éliminées à cause de la difficulté de leur fonctionnement avec des écrans conformables.

Mais, un autre problème de ces technologies matricielles a été noté. C'est le nombre énorme d'électrodes et donc de connexions que nécessiterait une interface de grande surface. Une augmentation de surface entraîne l'augmentation, non seulement des coûts de production mais aussi de la complexité d'acquisition.

Une solution très pratique était alors de proposer une technologie à unique port d'accès. La surface tactile est un guide d'onde sur substrat souple et la méthode de localisation est une analyse harmonique basée sur l'étude du signal au port d'entrée de la dalle souple. Nous l'avons appelée HDL (Harmonic Detection and Location). Elle représente une alternative à la méthode TDR (Time Domain Reflectometry) et elle nécessite des valeurs de fréquences faibles (autour de 100MHz) et une bande étroite. Son système d'acquisition est compact, simple et à bas coût.

Une étude approfondie de la surface tactile sera l'objet du deuxième chapitre. Sa modélisation, sa conception ainsi que sa réalisation seront détaillés. Le troisième chapitre présentera ensuite les fondamentaux de la méthode de localisation ainsi le système et l'algorithme d'acquisition.