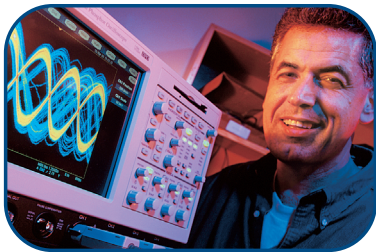


ABC des oscilloscopes



COMPUTING

COMMUNICATIONS

VIDEO

Sommaire

Introduction 3

Intégrité du signal

Ce que signifie l'intégrité du signal 4

Pourquoi l'intégrité du signal est-elle source de problème ? 4

Visualisation des caractéristiques analogiques des signaux numériques 5

L'oscilloscope

Signaux et mesure sur ces signaux 6

Types d'ondes 7

 Ondes sinusoïdales 7

 Ondes carrées et rectangulaires 7

 Ondes en dents de scie et triangulaires 7

 Echelons et impulsions 8

 Signaux périodiques et non périodiques 8

 Signaux synchrones et asynchrones 8

 Ondes complexes 8

Mesures sur un signal 9

 Fréquence et période 9

 Tension 9

 Amplitude 9

 Phase 10

 Mesures sur un signal avec les oscilloscopes numériques 10

Types d'oscilloscopes

Oscilloscopes analogiques 11

Oscilloscopes numériques 12

 Oscilloscopes à mémoire numérique 13

 Oscilloscopes à phosphore numérique 15

 Oscilloscopes à échantillonnage numérique 17

Systèmes et commandes d'un oscilloscope

Commandes du système vertical 18

 Position et volts par division 19

 Couplage d'entrée 19

 Limite de bande passante 20

 Modes d'affichage alterné et découpé 20

Commandes du système horizontal 21

 Commandes d'acquisition 21

 Modes d'acquisition 21

 Lancement et arrêt du système d'acquisition 23

 Echantillonnage 23

 Commandes d'échantillonnage 23

 Méthodes d'échantillonnage 23

 Echantillonnage en temps réel 24

 Echantillonnage en temps réel avec interpolation 25

 Echantillonnage en temps équivalent 25

 Echantillonnage en temps équivalent aléatoire 26

 Echantillonnage en temps équivalent séquentiel 26

 Position et secondes par division 27

 Sélection de la base de temps 27

 Zoom 27

 Mode XY 27

 Axe Z 27

 Mode XYZ 27

Système et commandes de déclenchement 28

 Position de déclenchement 29

 Niveau et pente de déclenchement 30

 Sources de déclenchement 30

 Modes de déclenchement 30

 Couplage de déclenchement 30

 Inhibition du déclenchement 31

Système et commandes d'affichage 31

Autres commandes de l'oscilloscope

 Fonctions de traitement mathématique et de mesure 32

ABC des oscilloscopes

► Livret d'initiation

Pour compléter le système de mesure

Sondes	.33
Sondes passives	.34
Sondes actives et différentielles	.35
Accessoires de sonde	.36

Facteurs de performance

Bande passante	.37
Temps de montée	.38
Fréquence d'échantillonnage	.39
Vitesse de saisie du signal	.40
Longueur d'enregistrement	.40
Capacités de déclenchement	.41
Bits effectifs	.41
Réponse en fréquence	.41
Sensibilité verticale	.41
Vitesse de balayage	.41
Précision du gain	.41
Précision horizontale (base de temps)	.41
Résolution verticale (convertisseur analogique-numérique)	.41
Connectivité	.42
Extensibilité	.43
Convivialité	.44
Sondes	.44

Utilisation de l'oscilloscope

Installation et configuration	.45
Mise à la terre de l'oscilloscope	.45
Mise à la terre de l'utilisateur	.45
Réglages	.46
Emploi des sondes	.46
Branchement de l'attache de terre	.46
Compensation de la sonde	.47

Techniques de mesure

Mesures de tension	.48
Mesures de temps et de fréquence	.49
Mesures de temps de montée et de largeur d'impulsion	.49
Mesures de déphasage	.50
Autres techniques de mesure	.50

Exercices

Partie I

Exercices de vocabulaire	.51
Exercices d'application	.52

Partie II

Exercices de vocabulaire	.53
Exercices d'application	.54

Réponses	.55
----------	-----

Glossaire	.56
-----------	-----

Introduction

La nature se manifeste sous forme d'ondes sinusoïdales, qu'il s'agisse des vagues d'océan, d'un tremblement de terre, d'un bang sonore, d'une explosion, de la propagation du son dans l'air ou de la fréquence naturelle d'un corps en mouvement. Notre univers physique est imprégné d'énergie, de particules en vibration et d'autres forces invisibles. Même la lumière, à la fois onde et corpuscule, possède une fréquence fondamentale que nous percevons comme sa couleur.

Des capteurs permettent de convertir ces forces en signaux électriques qu'il est alors possible d'observer et d'étudier à l'aide d'un oscilloscope. Les oscilloscopes permettent aux chercheurs, ingénieurs, techniciens, enseignants et autres utilisateurs "d'observer" les variations de ces phénomènes au cours du temps.

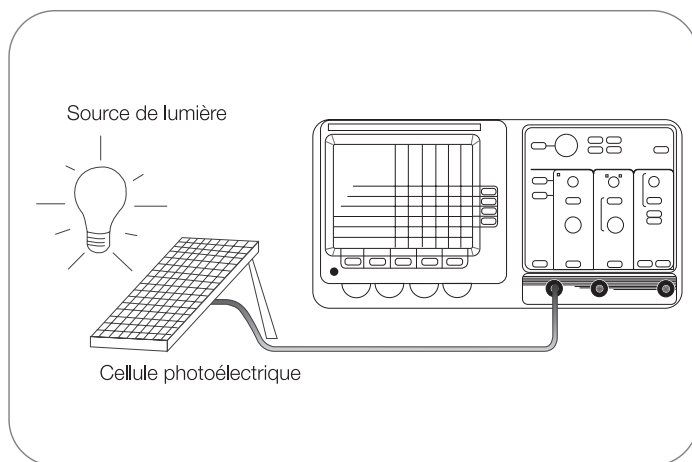
Les oscilloscopes sont des outils indispensables pour tous ceux qui conçoivent, fabriquent ou réparent du matériel électronique. Pour suivre l'évolution rapide du monde actuel, les ingénieurs doivent disposer des meilleurs outils possibles pour résoudre en peu de temps et avec précision leurs problèmes de mesure. Véritables yeux de l'ingénieur, les oscilloscopes sont essentiels pour répondre à ces défis complexes.

L'utilité de l'oscilloscope ne se limite pas au monde de l'électronique. Avec le **transducteur** qui convient, l'oscilloscope peut faire des mesures sur toutes sortes de phénomènes. Le transducteur est un dispositif qui produit un signal électrique sous l'effet d'une autre grandeur physique comme le son, l'effort mécanique, la pression, la lumière ou la chaleur. Par exemple, le microphone est le transducteur qui convertit le son en signal électrique. La figure 1 présente un exemple de données scientifiques recueillies par un oscilloscope.

Les oscilloscopes sont utilisés par toutes sortes de professionnels, des physiciens aux dépanneurs de télévision. L'ingénieur de l'industrie automobile utilise un oscilloscope pour mesurer les vibrations du moteur, tandis que le chercheur médical l'utilise pour mesurer les ondes cérébrales. Les possibilités sont infinies.

Les concepts présentés dans ce livret d'initiation constituent un bon point de départ pour comprendre les principes de fonctionnement et d'utilisation de l'oscilloscope.

Le glossaire figurant à la fin de ce livret d'initiation donne la définition des termes essentiels. Les exercices de vocabulaire et les questions à choix multiple sur les principes et les commandes de l'oscilloscope font de ce livret d'initiation un bon outil pédagogique. Il ne suppose aucune connaissance préalable en électronique ou en mathématique.



► **Figure 1.** Exemple de données scientifiques recueillies par un oscilloscope.

Après avoir lu ce livret d'initiation, vous saurez :

- Décrire le fonctionnement des oscilloscopes ;
- Expliquer les différences entre les oscilloscopes analogiques, à mémoire numérique, à phosphore numérique et à échantillonnage numérique ;
- Décrire les différents types de signaux électriques ;
- Utiliser les commandes de base de l'oscilloscope ;
- Effectuer des mesures simples.

Le manuel qui accompagne votre oscilloscope contient des renseignements plus détaillés sur son fonctionnement pratique. Certains fabricants d'oscilloscopes fournissent également une multitude de notes d'application afin d'aider l'utilisateur à optimiser son instrument pour les mesures propres à ses applications.

Pour tout complément d'information, commentaire ou question concernant le contenu de ce livret d'initiation, veuillez prendre contact avec votre représentant Tektronix ou visiter le site www.tektronix.com.

Intégrité du signal

Ce que signifie l'intégrité du signal

La qualité essentielle de tout bon système d'analyse (l'oscilloscope et ses accessoires) est sa capacité à préserver l'**intégrité du signal**, c'est-à-dire à le reconstituer avec précision. L'oscilloscope fonctionne comme un appareil photo, en saisissant des données visuelles sous forme d'images qu'on peut ensuite examiner et interpréter. L'intégrité du signal dépend alors de trois questions essentielles :

- Chaque image saisie représente-t-elle exactement ce qui s'est produit au moment de la photographie ?
- Cette image est-elle nette ou floue ?
- Combien d'images instantanées précises est-il possible de prendre par seconde ?

La capacité d'un oscilloscope à respecter la meilleure intégrité du signal possible est déterminée par les performances des différents systèmes qui le composent lorsqu'ils fonctionnent ensemble. Les sondes peuvent aussi affecter l'intégrité du signal dans un système de mesure.

Jusqu'à ces dernières années, l'analyse précise du signal ne représentait pas un gros problème pour les concepteurs de systèmes numériques. Ils pouvaient compter sur leurs circuits pour se comporter comme les systèmes booléens qu'ils étaient. Les signaux bruités à état indéterminé n'apparaissaient que dans les systèmes haute vitesse, et c'était donc le problème des concepteurs de matériel RF. La fréquence de commutation des systèmes numériques était peu élevée et les signaux se stabilisaient de façon prévisible.

Les vitesses d'horloge des processeurs ont récemment beaucoup augmenté. Les applications informatiques comme l'infographie tridimensionnelle, la vidéo et les entrées-sorties de serveur nécessitent une très large bande passante. Une grande partie du matériel de télécommunications actuel est basée sur des circuits numériques et requiert donc une bande passante considérable. Il en va de même pour la télévision numérique haute définition. La génération actuelle d'appareils à microprocesseur traite les données à des vitesses atteignant 2, 3, voire 5 G éch./s (giga-échantillons par seconde), tandis que certaines mémoires utilisent des horloges à 400 MHz et des signaux de données caractérisés par des temps de montée de 200 ps.

Qui plus est, cette évolution concerne aussi maintenant les circuits intégrés couramment utilisés dans l'automobile, les magnétoscopes et les unités de commande de machine, pour ne citer que quelques applications. Un processeur tournant à 20 MHz peut très bien présenter des signaux caractérisés par des temps de montée similaires à ceux d'un processeur à 800 MHz. Les concepteurs ont franchi un seuil de performance qui fait de presque tous les appareils des systèmes haute vitesse.

Sans prendre de précaution particulière, des dysfonctionnements des circuits haute vitesse risquent d'apparaître dans des systèmes numériques par ailleurs traditionnels. Lorsqu'un circuit présente des défauts de fonctionnement intermittents ou réagit mal aux tensions et températures extrêmes, il y a de grandes chances qu'il s'agisse de problèmes d'intégrité du signal. Ces problèmes peuvent avoir des répercussions notamment sur la compatibilité électromagnétique, le temps de commercialisation et la fiabilité du produit.

Pourquoi l'intégrité du signal est-elle source de problèmes ?

Examinons quelques causes particulières de dégradation du signal dans les systèmes numériques actuels. Pourquoi ces problèmes de fiabilité sont-ils beaucoup plus fréquents aujourd'hui que dans le passé ?

La réponse est dans la vitesse de variation des signaux. Pour maintenir une intégrité satisfaisante du signal numérique au "bon vieux temps" des vitesses moins élevées, il suffisait de faire attention aux détails tels que la distribution des horloges, la conception du trajet du signal, les effets de charge, les effets de ligne de transmission, les terminaisons de bus, le découplage et la répartition de l'énergie. Ces règles s'appliquent toujours, mais...

Les temps de cycle de bus sont jusqu'à mille fois plus courts que ce qu'ils étaient il y a vingt ans ! Les transactions qui prenaient alors quelques microsecondes se mesurent aujourd'hui en nanosecondes. Pour arriver à ces caractéristiques, il a fallu augmenter également les vitesses de transition : elles sont jusqu'à cent fois plus rapides qu'il y a vingt ans.

Tout cela serait merveilleux si certaines réalités physiques n'avaient pas empêché la technologie des circuits imprimés de progresser au même rythme. Le temps de propagation des bus d'interconnexion des puces est resté à peu près inchangé d'une décennie à l'autre. Bien que la taille des composants se soit considérablement réduite, il reste nécessaire de prévoir sur la carte l'espace nécessaire pour les circuits intégrés, les connecteurs, les composants passifs et, bien entendu, les pistes de bus elles-mêmes. Cet espace impose une certaine distance entre les composants, et le temps nécessaire pour couvrir cette distance limite la vitesse.

Il ne faut pas oublier que la vitesse de transition (le temps de montée) d'un signal numérique est liée à des composantes fréquentielles beaucoup plus élevées que ce que sa seule fréquence de répétition peut indiquer. C'est pour cette raison que certains concepteurs recherchent délibérément des circuits intégrés à temps de montée relativement "long".

Le modèle du circuit à constantes localisées sert depuis toujours de base à la plupart des calculs effectués pour prévoir le comportement du signal dans un circuit. Mais lorsque les temps de montée sont plus de quatre à six fois plus courts que le temps de propagation du signal, ce modèle simple n'est plus applicable.

Les pistes de circuit imprimé d'à peine quinze centimètres de long deviennent des lignes de transmission lorsque les signaux qu'elles transportent présentent des temps de montée de moins de quatre à six nanosecondes, indépendamment du temps de cycle. En fait, on assiste à la création de nouveaux trajets de signal. Ces connexions immatérielles ne sont pas sur le schéma, mais offrent pourtant aux signaux un moyen d'interférer de façon imprévisible.

Dans le même temps, les trajets de signal prévus ne fonctionnent plus comme ils le devraient. Les plans de masse et d'alimentation de la carte, tout comme les pistes de transmission du signal mentionnées plus haut, deviennent inducteurs et se comportent comme des lignes de transmission ; le découplage de l'alimentation subit alors une perte d'efficacité considérable. Les interférences électromagnétiques augmentent sous l'effet de l'élévation des vitesses de transition, qui produit des longueurs d'onde encore plus courtes par rapport au temps de cycle du bus. Ceci augmente la diaphonie.

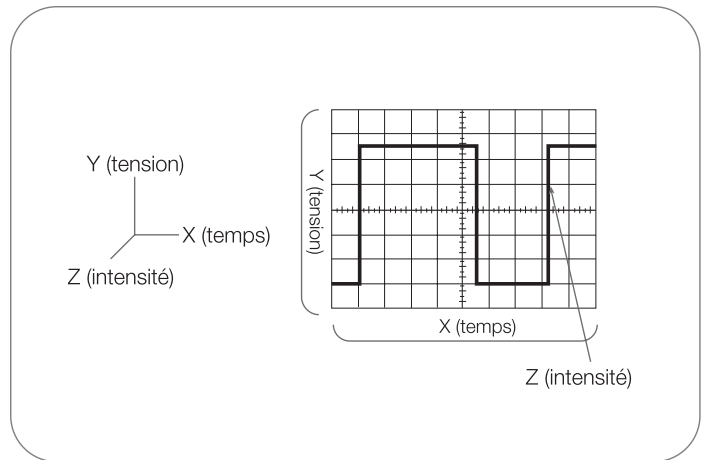
Par ailleurs, la production des vitesses de transition élevées nécessite en général des courants plus élevés qui tendent à causer des rebondissements de potentiel de masse, en particulier sur les bus de grande largeur assurant la commutation simultanée de nombreux signaux. Qui plus est, ce courant plus élevé augmente la quantité d'énergie magnétique rayonnée et, par voie de conséquence, affecte aussi la diaphonie.

Visualisation des caractéristiques analogiques des signaux numériques

Tous les signaux ont un point commun. Ce sont des phénomènes **analogiques** traditionnels. Pour résoudre les problèmes d'intégrité du signal, les concepteurs de systèmes numériques doivent s'aventurer dans le domaine analogique. Et il leur faut pour cela des outils capables de leur montrer les interactions entre les signaux numériques et analogiques.

Les erreurs des systèmes numériques résultent souvent de problèmes d'intégrité du signal analogique. Pour dépister la cause d'un défaut numérique, il faut souvent recourir à un oscilloscope, qui affiche les détails du signal, les fronts et le bruit, détecte les transitoires, et aide l'utilisateur à mesurer avec précision les valeurs temporelles telles que les temps d'établissement et de maintien.

La compréhension de chacun des sous-systèmes composant l'oscilloscope et de la façon de les utiliser contribuera à une plus grande efficacité dans la résolution des problèmes de mesure spécifiques.



► **Figure 2.** Composantes X, Y et Z d'un signal affiché.

L'oscilloscope

Cette section présente l'**oscilloscope** et son fonctionnement.

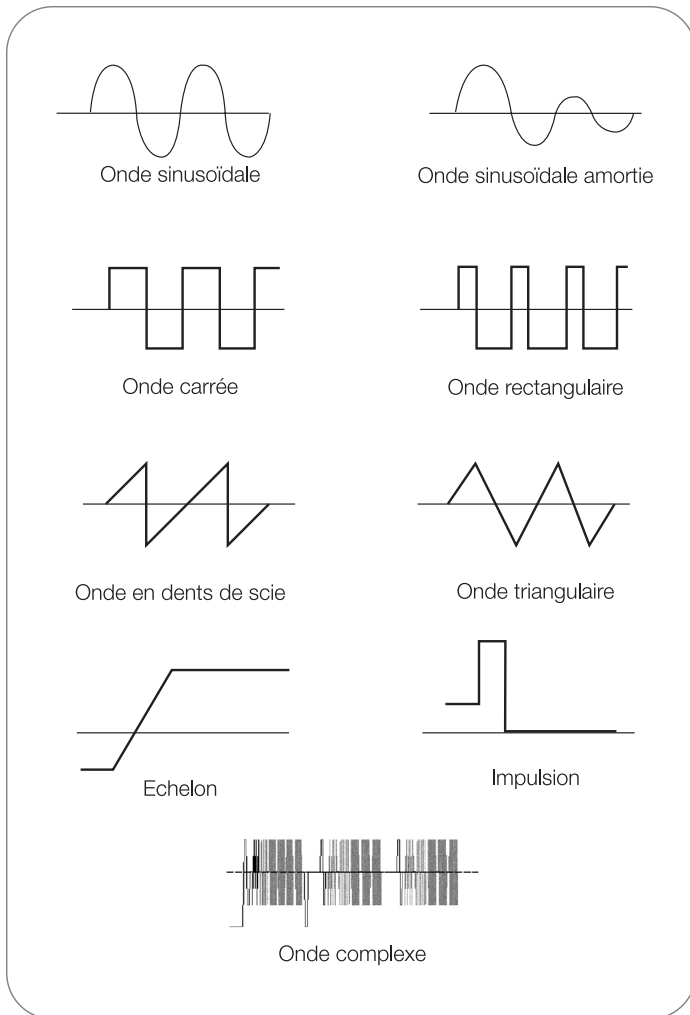
L'oscilloscope est essentiellement un instrument destiné à afficher l'évolution d'un signal électrique. Dans la plupart des applications, cette représentation graphique indique les variations du signal en fonction du temps : l'axe vertical (Y) représente la **tension** et l'axe horizontal (X) représente le **temps**. L'**intensité** ou la luminosité d'affichage est représentée par l'axe Z (voir figure 2).

Cette représentation graphique simple apporte de nombreux renseignements sur le signal, notamment :

- Les valeurs de temps et de tension du signal ;
- La fréquence d'un signal périodique ;
- Les "éléments mobiles" du circuit représenté par le signal ;
- La fréquence d'apparition d'une portion particulière du signal par rapport aux autres ;
- La distorsion éventuelle du signal par un composant défectueux ;
- La part du signal qui correspond à un courant continu (C.C.) ou à un courant alternatif (C.A.) ;
- La valeur de bruit et la variation éventuelle de ce bruit au cours du temps.

ABC des oscilloscopes

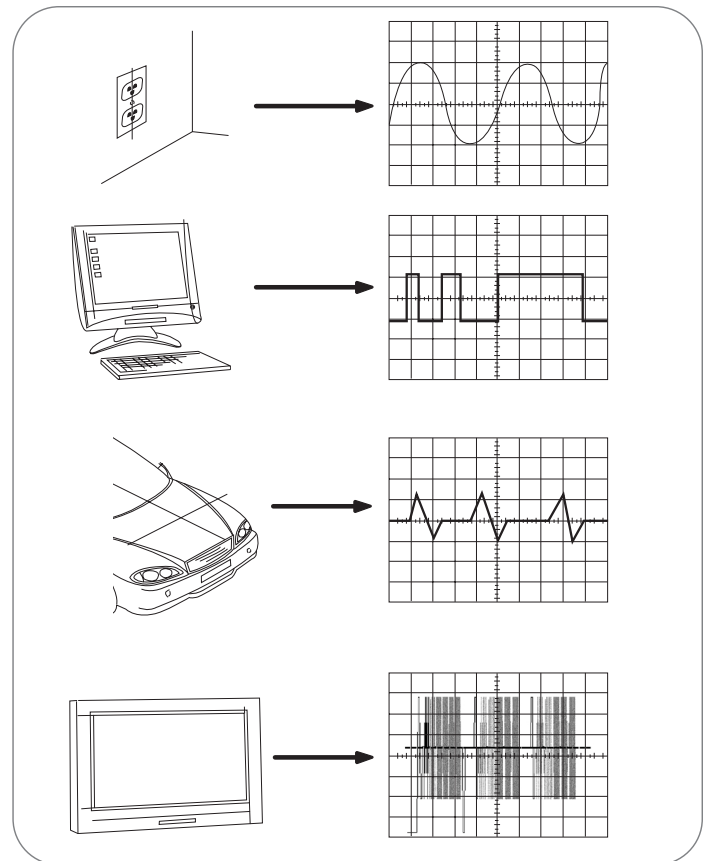
► Livret d'initiation



► **Figure 3.** Formes d'onde courantes.

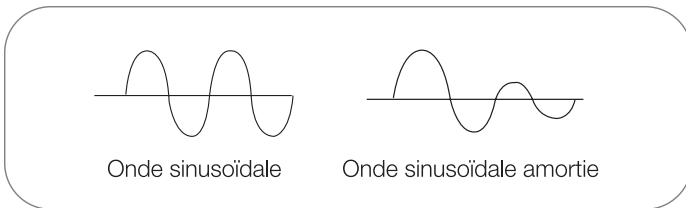
Signaux et mesure sur ces signaux

Le mot **onde** est le terme générique désignant une forme qui se répète au cours du temps. Les ondes sonores, les ondes cérébrales, les vagues de l'océan et les ondes de tension sont toutes des formes récurrentes. L'oscilloscope mesure des ondes de tension. Le **cycle** d'une onde est la partie récurrente de celle-ci. La **forme d'onde** est la représentation graphique d'une onde. Sur la représentation graphique d'une onde de tension, l'axe horizontal représente le temps et l'axe vertical la tension.

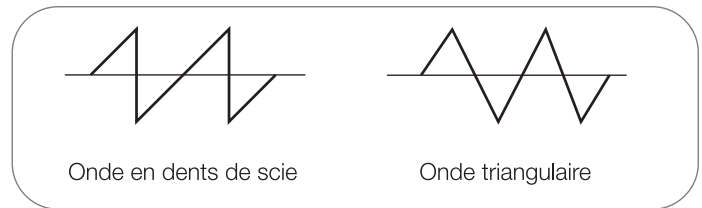


► **Figure 4.** Sources de quelques ondes courantes.

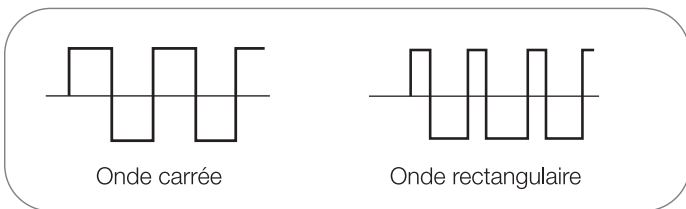
La forme d'onde d'un signal révèle une grande quantité d'informations sur celui-ci. Chaque variation de la hauteur de la forme d'onde indique que la tension a changé. Chaque ligne droite horizontale indique une absence de changement pour la durée correspondant à sa longueur. Les lignes droites diagonales indiquent une variation linéaire, c'est-à-dire une augmentation ou une diminution de tension à vitesse constante. Les angles indiquent des variations soudaines. La figure 3 présente quelques formes d'onde courantes et la figure 4 quelques-unes de leurs sources.



► **Figure 5.** Onde sinusoïdale et onde sinusoïdale amortie.



► **Figure 7.** Onde en dents de scie et onde triangulaire.



► **Figure 6.** Onde carrée et onde rectangulaire.

Types d'ondes

La plupart des ondes appartiennent à l'un des types suivants :

- Ondes sinusoïdales
- Ondes carrées et rectangulaires
- Ondes triangulaires et en dents de scie
- Echelons et impulsions
- Signaux périodiques et non périodiques
- Signaux synchrones et asynchrones
- Ondes complexes

Ondes sinusoïdales

L'**onde sinusoïdale** est la forme d'onde fondamentale pour plusieurs raisons. Elle possède des propriétés mathématiques spécifiques (il s'agit de la courbe sinusoïdale étudiée en cours de trigonométrie). La tension des prises électriques murales varie suivant une onde sinusoïdale. Les signaux de test produits par le circuit oscillant d'un générateur de signaux sont souvent des ondes sinusoïdales. La plupart des sources de courant alternatif (**C.A.**) produisent des ondes sinusoïdales (**C.A.** signifie courant alternatif, associé à la variation alternative de la tension. **C.C.** signifie courant continu, c'est-à-dire courant et tension constants tels qu'en produisent les batteries.)

L'**onde sinusoïdale amortie** est un cas particulier qui peut s'observer lorsque l'amplitude des oscillations d'un circuit s'affaiblit progressivement au cours du temps. La figure 5 présente un exemple d'onde sinusoïdale et d'onde sinusoïdale amortie.

Ondes carrées et rectangulaires

L'**onde carrée** est une autre forme d'onde courante. Elle résulte essentiellement d'une succession de mises sous tension et hors tension du circuit (ou de passages entre deux tensions haute et basse) à intervalles réguliers. Cette onde s'utilise communément pour tester les amplificateurs (les bons amplificateurs augmentent l'amplitude d'un signal carré avec un minimum de distorsion). Les circuits de téléviseur, de récepteurs radio et d'ordinateurs utilisent souvent des ondes carrées comme signaux de synchronisation.

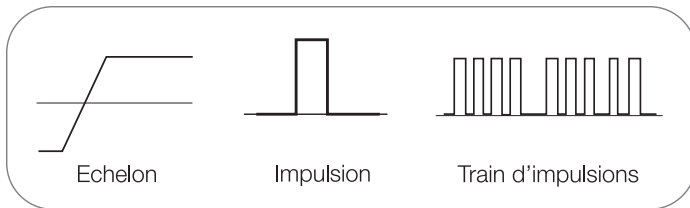
L'**onde rectangulaire** se distingue de l'onde carrée par le fait que les intervalles d'amplitude haute et basse n'ont pas la même durée. Elle joue un rôle particulièrement important dans l'analyse des circuits numériques. La figure 6 présente un exemple d'onde carrée et d'onde rectangulaire.

Ondes en dents de scie et triangulaires

Les **ondes en dents de scie et triangulaires** sont produites par les circuits de régulation linéaire de la tension utilisés notamment pour le balayage horizontal des oscilloscopes analogiques ou le balayage récurrent des téléviseurs. La vitesse des transitions entre les niveaux de tension de ces ondes reste constante. Ces transitions s'appellent des **rampes**. La figure 7 présente une onde en dents de scie et une onde triangulaire.

ABC des oscilloscopes

► Livret d'initiation



► **Figure 8.** Echelon, impulsion et train d'impulsions.

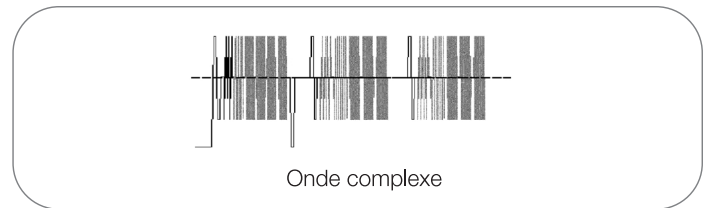
Echelons et impulsions

Les signaux apparaissant rarement ou de façon non périodique tels que les **échelons** et les **impulsions** sont appelés signaux **monocoup** ou **transitoires**. L'échelon indique une variation de tension soudaine, semblable à celle qui se produit lorsqu'on actionne un interrupteur d'alimentation pour mettre un circuit sous tension.

L'impulsion indique une variation de tension soudaine, semblable à celle qui se produit lorsqu'on actionne un interrupteur d'alimentation pour mettre un circuit sous tension avant de le remettre immédiatement hors tension. L'impulsion peut représenter un bit de données transmis dans un circuit d'ordinateur, ou il peut s'agir d'un **parasite** résultant d'un défaut du circuit. Une séquence d'impulsions semblables et rapprochées forme un **train d'impulsions**. Les composants numériques d'un ordinateur communiquent entre eux à l'aide d'impulsions. Les impulsions s'emploient aussi couramment dans le matériel de radiographie et de communication. La figure 8 donne un exemple d'échelon, d'impulsion et de train d'impulsions.

Signaux périodiques et non périodiques

Les signaux récurrents sont appelés **signaux périodiques**, tandis que ceux qui varient constamment sont appelés **signaux non périodiques**. Une image fixe est analogue à un signal périodique, tandis qu'une image animée peut être assimilée à un signal non périodique.



► **Figure 9.** Le signal vidéo composite NTSC est un exemple d'onde complexe.

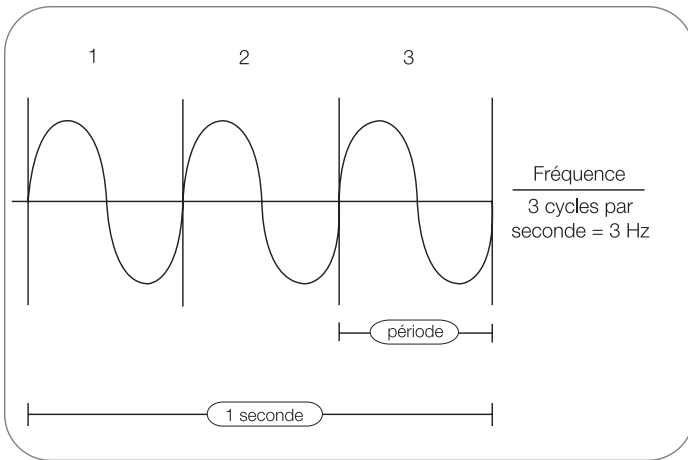
Signaux synchrones et asynchrones

Lorsqu'il existe une relation temporelle entre deux signaux, ces derniers sont dits **synchrones**. Les signaux d'horloge, de données et d'adresses utilisés dans les ordinateurs sont des signaux synchrones.

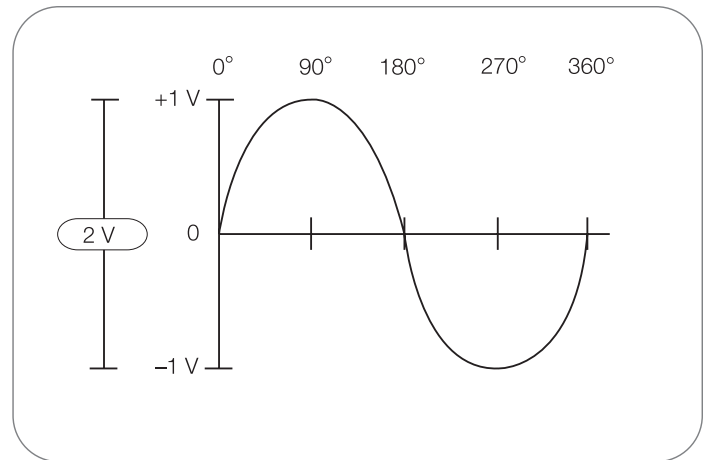
Les signaux entre lesquels il n'existe aucune relation temporelle sont dits **asynchrones**. Comme il n'existe aucune corrélation temporelle entre le fait d'actionner une touche sur un clavier d'ordinateur et l'horloge de ce dernier, ces deux signaux sont considérés comme asynchrones.

Ondes complexes

Certains signaux combinent les caractéristiques des ondes sinusoïdales et carrées, des échelons et des impulsions pour produire des formes d'onde qui constituent un défi pour de nombreux oscilloscopes. L'information peut être encodée dans le signal à la fois sous forme de variations d'amplitude, de phase et de fréquence. Par exemple, bien que le signal de la figure 9 soit un signal vidéo composite ordinaire, il se compose de plusieurs signaux de fréquence élevée à l'intérieur d'une **enveloppe** de fréquence plus basse. Dans cet exemple, le plus important est généralement d'analyser les niveaux relatifs et les relations temporelles des échelons. Il faut disposer d'un oscilloscope capable de saisir l'enveloppe basse fréquence et de représenter les signaux de fréquences plus élevées par dégradé d'intensité de façon à afficher une image globale de leur combinaison qui puisse être interprétée visuellement. Les oscilloscopes analogiques et à phosphore numérique sont les mieux adaptés à la visualisation des ondes complexes telles que les signaux vidéo (figure 9). Leurs écrans fournissent, par dégradé d'intensité, les renseignements sur la fréquence d'apparition, essentiels pour comprendre le comportement réel du signal.



► **Figure 10.** Fréquence et période d'une onde sinusoïdale.



► **Figure 11.** Amplitude et phase en degrés d'une onde sinusoïdale.

Mesures sur un signal

Cette section présente quelques-unes des mesures le plus couramment effectuées avec un oscilloscope, ainsi que les termes correspondants.

Fréquence et période

Lorsqu'un signal se répète, il le fait à une certaine **fréquence**. Celle-ci se mesure en hertz (Hz) ou cycles par seconde. Elle est égale au nombre de répétitions du signal pendant chaque seconde. La durée de chaque cycle du signal récurrent est sa **période**. La période est égale à l'inverse de la fréquence et réciproquement : fréquence = 1/période et période = 1/fréquence. Par exemple, l'onde sinusoïdale de la figure 10 a une fréquence de 3 Hz et une période de 1/3 seconde.

Tension

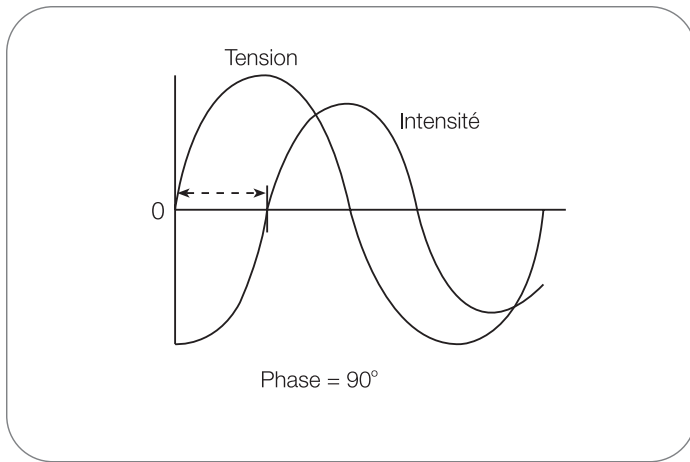
La **tension** est la différence de potentiel électrique (ou la force du signal) entre deux points d'un circuit. En général, un de ces points correspond à la masse (dont le potentiel est de zéro volt), mais ce n'est pas toujours le cas. Il peut s'avérer utile de mesurer la tension entre les crêtes maximum et minimum d'un signal, appelée tension crête-à-crête.

Amplitude

L'**amplitude** correspond généralement à la tension maximum du signal mesurée par rapport à la masse (dont le potentiel est de zéro volt). Le signal de la figure 11 a une amplitude de 1 V et une tension crête-à-crête de 2 V.

ABC des oscilloscopes

► Livret d'initiation



► **Figure 12.** Déphasage.

Phase

La notion de **phase** s'explique plus clairement en examinant une onde sinusoïdale. La variation du niveau de tension des ondes sinusoïdales correspond à un mouvement circulaire. Le cercle comportant 360° , chaque cycle d'un signal sinusoïdal compte 360° (voir figure 11). L'emploi des degrés permet de désigner l'angle de phase d'un signal sinusoïdal pour indiquer la position d'un point du signal par rapport au début de la période.

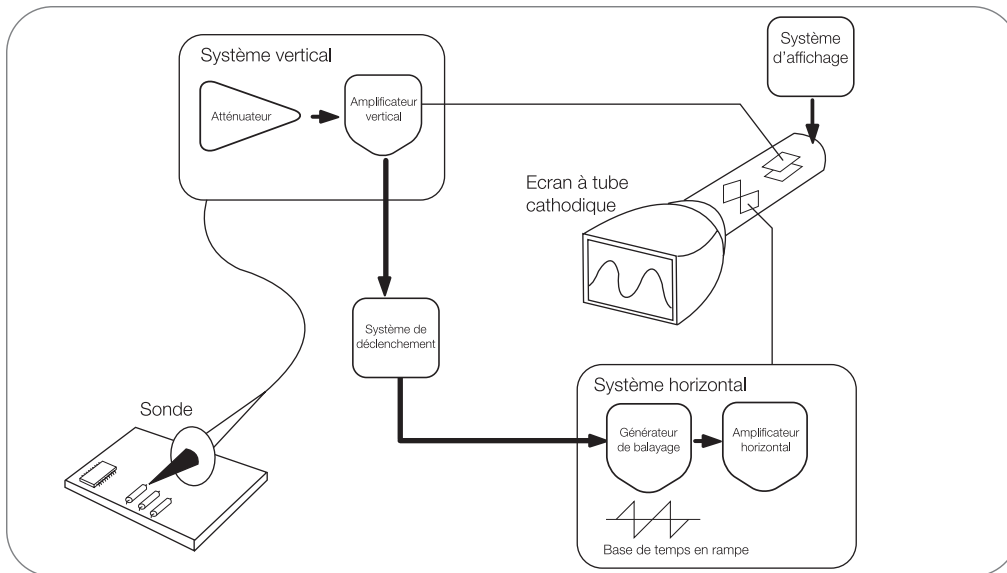
Le **déphasage** est le décalage temporel entre deux signaux semblables par ailleurs. Sur la figure 12, le signal marqué "Intensité" est déphasé de 90° par rapport au signal marqué "tension", puisque les ondes atteignent des points similaires de leurs cycles avec un décalage d'exactly $1/4$ de cycle ($360^\circ/4 = 90^\circ$). Les mesures de déphasage sont courantes en électronique.

Mesures sur un signal avec les oscilloscopes numériques

Les oscilloscopes numériques modernes possèdent des fonctions facilitant les mesures sur signal. Les boutons de leurs faces avant ou les menus affichés à l'écran permettent de sélectionner des mesures entièrement automatisées, notamment pour l'amplitude, la période, les temps de montée ou de descente et bien d'autres paramètres. De nombreux instruments numériques fournissent également des calculs de moyenne, de valeur efficace vraie et de rapport cyclique, ainsi que d'autres opérations mathématiques. Les résultats des mesures automatisées s'affichent sur l'écran en caractères alphanumériques et sont généralement plus précis que ceux qui pourraient s'obtenir avec le réticule.

Certains oscilloscopes à phosphore numérique permettent d'effectuer de façon entièrement automatisée les mesures suivantes :

- Période
- Rapport cyclique +
- Haut
- Fréquence
- Rapport cyclique -
- Bas
- Largeur positive
- Retard
- Minimum
- Largeur négative
- Phase
- Maximum
- Temps de montée
- Largeur de salve
- Suroscillation positive
- Temps de descente
- Crête-à-crête
- Suroscillation négative
- Amplitude
- Moyenne
- Valeur efficace vraie
- Taux d'extinction
- Moyenne sur un cycle
- Valeur efficace du cycle
- Puissance optique moyenne
- Aire du cycle



► **Figure 13.** Architecture d'un oscilloscope analogique.

Types d'oscilloscopes

L'équipement électronique peut se classer selon deux catégories : analogique et numérique. L'équipement **analogique** fonctionne avec des tensions à variation continue, tandis que l'équipement **numérique** fonctionne avec des valeurs binaires discrètes représentant des échantillons de la tension. Le phonographe traditionnel est un appareil analogique, tandis que le lecteur de disques compacts est un appareil numérique.

Les oscilloscopes se répartissent de la même façon entre instruments analogiques et numériques. Ces types d'oscilloscopes conviennent tous les deux pour un grand nombre d'applications. Cependant, chacun possède des caractéristiques particulières qui le rendent plus ou moins adapté à certaines applications. Les oscilloscopes numériques se répartissent à leur tour entre oscilloscopes à mémoire numérique, oscilloscopes à phosphore numérique (DPO) et oscilloscopes à échantillonnage.

Oscilloscopes analogiques

L'oscilloscope **analogique** fonctionne essentiellement en appliquant directement la tension du signal à étudier à l'axe vertical du mouvement d'un faisceau d'électrons se déplaçant de gauche à droite sur l'écran de l'oscilloscope (généralement un **écran à tube cathodique**). La face interne de l'écran est revêtue d'une couche de phosphore qui se met à briller là où elle est frappée par le faisceau d'électrons. Le tube cathodique dévie le faisceau vers le haut ou vers le bas proportionnellement à la tension appliquée tandis qu'il parcourt l'écran de gauche à droite, de façon à y tracer la variation du signal. La luminosité de chaque

point de l'écran est proportionnelle à la fréquence à laquelle il est frappé par le faisceau d'électrons.

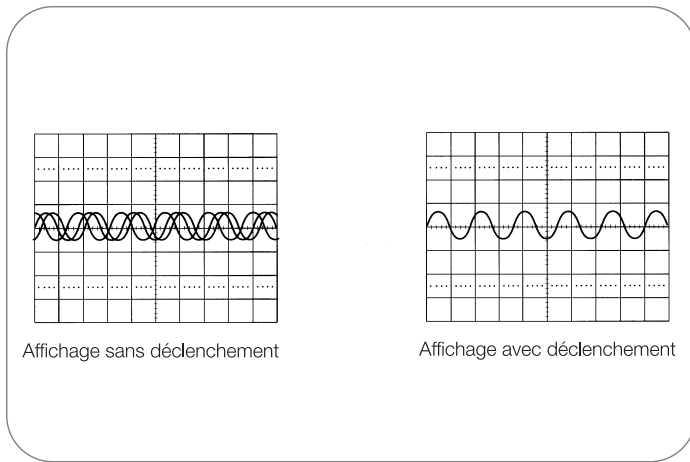
L'écran à tube cathodique limite la plage des fréquences pouvant être affichées par un oscilloscope analogique. Aux très basses fréquences, le signal apparaît comme un point lumineux se déplaçant lentement, ce qui ne permet pas de distinguer clairement la forme de l'onde. Aux fréquences élevées, la limite est déterminée par la **vitesse d'écriture** de l'écran à tube cathodique. Lorsque la fréquence du signal dépasse la vitesse d'écriture de l'écran, la luminosité du tracé affiché est trop faible pour qu'il soit visible. Les oscilloscopes analogiques les plus rapides affichent des fréquences allant jusqu'à environ 1 GHz.

Lorsque la sonde d'un oscilloscope est connectée à un circuit, le signal de tension se propage à travers celle-ci jusqu'à l'entrée du système vertical de l'oscilloscope. La figure 13 montre comment l'oscilloscope analogique affiche le signal mesuré. La tension du signal est réduite par un atténuateur et augmentée par un amplificateur selon le réglage de l'échelle verticale (commande volts/div) choisi par l'utilisateur.

Puis le signal est transmis directement aux plaques de déviation verticale de l'écran à tube cathodique. La tension appliquée à ces plaques de déviation entraîne le déplacement d'un point lumineux sur l'écran. Ce point lumineux est créé par un faisceau d'électrons qui frappe la couche de phosphore luminescent sur la face intérieure de l'écran. Il se déplace vers le haut sous l'effet d'une tension positive et vers le bas sous l'effet d'une tension négative.

ABC des oscilloscopes

► Livret d'initiation



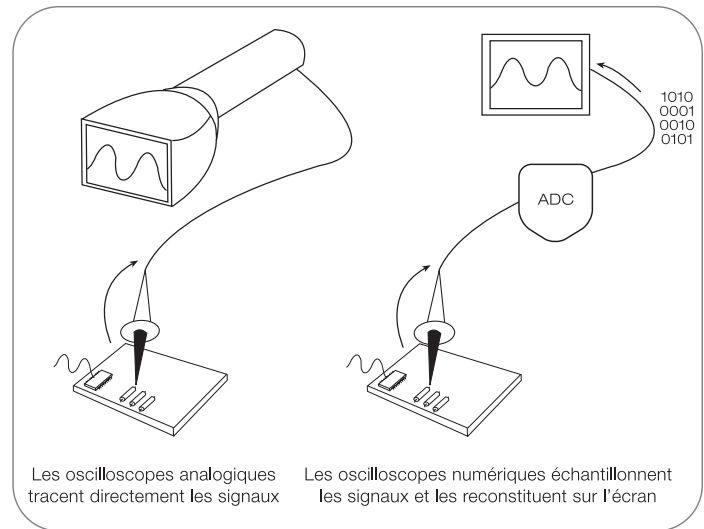
► **Figure 14.** Le déclenchement stabilise un signal répétitif pour en donner une image nette.

Le signal est également transmis au système de déclenchement pour amorcer un **balayage horizontal**. Sous l'effet du système horizontal et de sa base de temps, le point lumineux parcourt l'écran de gauche à droite dans un intervalle de temps particulier. La fréquence élevée de ce balayage fait apparaître le point lumineux en mouvement comme une ligne continue. Aux vitesses les plus élevées, le point peut traverser l'écran jusqu'à 500 000 fois par seconde.

L'action combinée du balayage horizontal et de la déviation verticale trace une représentation graphique du signal sur l'écran. Le déclenchement est nécessaire pour stabiliser un signal répétitif, car il assure que le balayage commencera au même point de ce signal pour fournir une image nette (voir figure 14).

De plus, les oscilloscopes analogiques sont dotés de commandes permettant de régler la focalisation et l'intensité pour obtenir un affichage net et lisible.

Les utilisateurs préfèrent souvent les oscilloscopes analogiques lorsqu'il est important d'afficher rapidement plusieurs signaux en "temps réel", ou au fur et à mesure de leur apparition. L'écran à couche de phosphore de l'oscilloscope analogique se caractérise par son **dégradé d'intensité**, qui augmente la luminosité du tracé des caractéristiques du signal qui se reproduisent le plus souvent. Ce dégradé d'intensité permet de distinguer facilement les détails du signal sur l'écran.



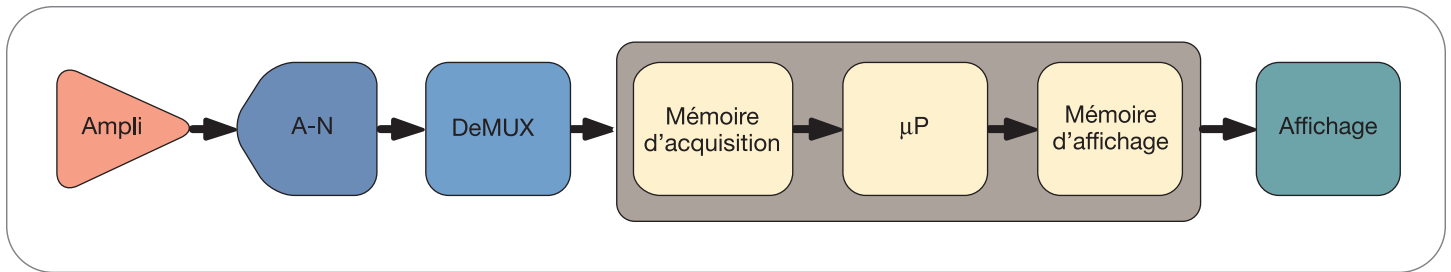
► **Figure 15.** Les oscilloscopes analogiques tracent directement les signaux sur l'écran, tandis que les oscilloscopes numériques les échantillonnent et les reconstituent sur l'écran.

Oscilloscopes numériques

A la différence de l'oscilloscope analogique, l'**oscilloscope numérique** utilise un convertisseur analogique-numérique (CAN) pour transformer la tension mesurée en données numériques. Il acquiert le signal sous la forme d'une série d'échantillons qu'il enregistre jusqu'à ce qu'il en ait recueilli suffisamment. L'oscilloscope numérique reconstitue alors le signal pour l'afficher sur l'écran (voir figure 15).

Les oscilloscopes numériques se répartissent entre oscilloscopes à mémoire numérique, oscilloscopes à phosphore numérique (DPO) et oscilloscopes à échantillonnage.

Grâce à l'approche numérique, l'oscilloscope peut afficher avec une bonne luminosité une image stable et claire pour n'importe quelle fréquence de sa plage. Pour les signaux répétitifs, la bande passante de l'oscilloscope numérique est fonction de la bande passante analogique de ses modules d'entrée, couramment appelée "point -3 dB". Pour les événements monocoup et transitoires tels que les impulsions et les échelons, la bande passante peut être limitée par la fréquence d'échantillonnage de l'oscilloscope. On pourra se reporter à la section **Fréquence d'échantillonnage**, sous **Facteurs de performance** pour plus de détails à ce sujet.



▶ **Figure 16.** L'architecture de traitement en série d'un oscilloscope à mémoire numérique.

Oscilloscopes à mémoire numérique

L'oscilloscope numérique traditionnel est appelé oscilloscope à mémoire numérique. Il repose habituellement sur un écran à affichage ligne par ligne plutôt qu'à phosphore luminescent.

Les oscilloscopes à mémoire numérique permettent de saisir et de visualiser des événements qui peuvent ne s'être produits qu'une fois, appelés transitoires. Les données du signal étant enregistrées sous la forme d'une série de valeurs binaires, elles peuvent être analysées, archivées et imprimées ou faire l'objet de tout autre traitement, sur l'oscilloscope lui-même ou sur un ordinateur externe. La forme d'onde peut être affichée même lorsque le signal n'est plus présent à l'entrée de l'oscilloscope. A la différence des oscilloscopes analogiques, les oscilloscopes à mémoire numérique permettent un stockage permanent et un traitement approfondi du signal. Cependant, ils n'offrent généralement pas de dégradé d'intensité en temps réel et ne peuvent donc pas représenter les différents niveaux d'intensité du signal actif.

Certains des sous-systèmes qui composent l'oscilloscope à mémoire numérique ressemblent à ceux d'un oscilloscope analogique. Cependant, l'oscilloscope à mémoire numérique comprend des sous-systèmes de traitement de données supplémentaires servant à recueillir et afficher les données de la totalité du signal. Il utilise l'architecture de traitement en série décrite ci-après pour saisir le signal et l'afficher sur l'écran (voir figure 16).

Architecture de traitement en série

Comme sur l'oscilloscope analogique, la première étape de traitement à l'entrée d'un oscilloscope à mémoire numérique est un amplificateur vertical. Les commandes verticales permettent d'y régler la position et l'amplitude du signal.

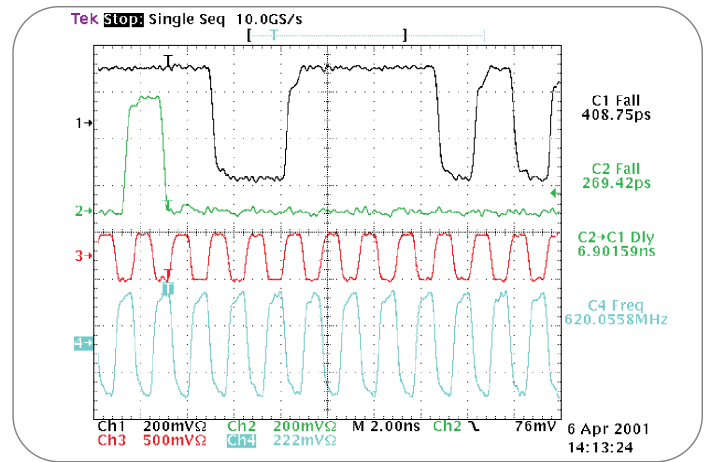
Ensuite, le convertisseur analogique-numérique (CAN) échantillonne le signal à des points discrets dans le temps et convertit la tension du signal à ces points en valeurs numériques appelées **points d'échantillonnage**. Ce procédé est appelé **numérisation** du signal. L'horloge d'échantillonnage du système horizontal détermine la fréquence à laquelle le CAN recueille ces échantillons. Cette **fréquence d'échantillonnage** s'exprime en échantillons par seconde (éch./s).

ABC des oscilloscopes

► Livret d'initiation

Les points d'échantillonnage du CAN sont enregistrés dans la mémoire d'acquisition sous forme de données appelées **échantillons**. Un échantillon peut être le résultat de plusieurs points d'échantillonnage. La séquence d'échantillons saisis forme un enregistrement de signal. Le nombre d'échantillons contenu dans un enregistrement de signal est appelé **longueur d'enregistrement**. Le système de déclenchement détermine les points de début et de fin de l'enregistrement.

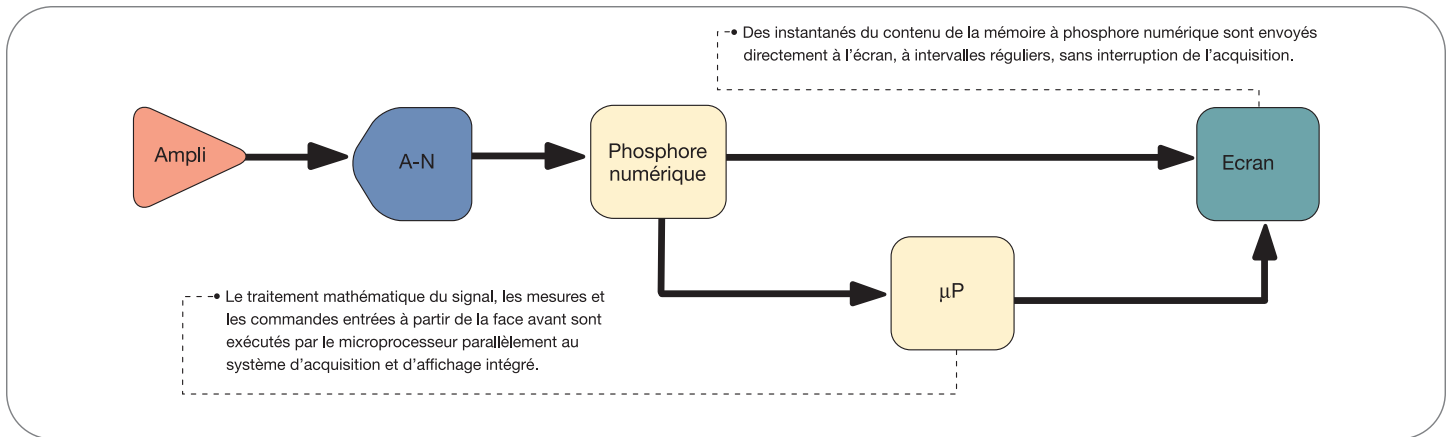
Le signal passe ensuite par un microprocesseur. Celui-ci effectue le traitement du signal, coordonne l'affichage, gère les commandes de la face avant, etc. Puis le signal est envoyé vers la mémoire d'affichage pour être affiché sur l'écran de l'oscilloscope.



► **Figure 17.** Le TDS694C effectue une acquisition monocoup haute vitesse sur plusieurs voies, augmentant les chances de saisie des parasites intermittents et des événements transitoires.

Suivant ses fonctions, l'oscilloscope pourra effectuer d'autres traitements des points d'échantillonnage pour améliorer ou enrichir l'affichage. Il pourra également comporter une fonction de prédéclenchement, qui permet de voir les événements avant le point de déclenchement. La plupart des oscilloscopes numériques actuels offrent aussi un choix de mesures automatiques simplifiant le processus d'analyse.

L'oscilloscope à mémoire numérique est un instrument monocoup et multivoie offrant un haut niveau de performance (voir figure 17). Il convient parfaitement aux applications de conception multivoie haute vitesse, monocoup ou à basse fréquence de répétition. Dans la pratique courante, un concepteur de systèmes numérique examine au moins quatre signaux en même temps, ce qui fait de l'oscilloscope à mémoire numérique un outil essentiel.



► **Figure 18.** L'architecture de traitement parallèle d'un oscilloscope à phosphore numérique (DPO).

Oscilloscopes à phosphore numérique

L'oscilloscope à phosphore numérique (DPO) représente une nouvelle approche de l'architecture des oscilloscopes. Son architecture lui permet de fournir des fonctions d'acquisition et d'affichage exceptionnelles pour reconstruire un signal avec précision.

Alors que l'oscilloscope à mémoire numérique utilise une architecture de traitement en série pour saisir, afficher et analyser les signaux, le DPO exécute ces mêmes fonctions avec une architecture de traitement en parallèle (voir figure 18). L'architecture du DPO réserve des circuits intégrés à application spécifique (ASIC) à l'acquisition de façon à fournir des vitesses de saisie élevées et à offrir ainsi une meilleure qualité de visualisation du signal. Ce niveau de performance augmente la probabilité d'observer les événements transitoires se produisant dans les systèmes numériques, tels que les petites impulsions, les parasites et les erreurs de transition. Cette architecture de traitement en parallèle est décrite ci-après.

Architecture de traitement en parallèle

La première étape de traitement à l'entrée d'un DPO est similaire à celle d'un oscilloscope analogique (amplificateur vertical), tandis que la seconde étape est similaire à celle d'un oscilloscope à mémoire numérique (convertisseur analogique-numérique). Cependant, le DPO se distingue considérablement de ses prédécesseurs aux étapes qui suivent.

Tous les oscilloscopes (analogiques, à mémoire numérique ou à phosphore numérique) présentent un temps d'inhibition au cours duquel l'instrument traite les données acquises le plus récemment, réinitialise le système et attend l'événement de déclenchement suivant. Pendant ce temps, l'oscilloscope est aveugle à toute activité du signal. La probabilité d'observer un événement rare ou se répétant peu souvent diminue lorsque le temps d'inhibition augmente.

Il faut noter qu'il est impossible de déterminer la probabilité de saisie simplement à partir de la fréquence de mise à jour de l'affichage. En se fiant seulement à la fréquence de mise à jour, on risque de s'imaginer à tort que l'oscilloscope saisit toutes les données pertinentes du signal.

Sur un oscilloscope à mémoire numérique, les signaux saisis sont traités en série. La vitesse du microprocesseur constitue alors un goulot d'étranglement, car elle limite la vitesse de saisie du signal.

Le DPO effectue un tramage des données du signal numérisé dans une base de données appelée "phosphore numérique". Tous les trentièmes de seconde (ce qui correspond à peu près à la vitesse de perception de l'oeil humain), un instantané de l'image du signal enregistrée dans cette base de données est envoyé directement au système d'affichage. Ce tramage direct des données du signal et cette copie directe de la base de données vers la mémoire d'affichage éliminent le goulot d'étranglement du traitement des données inhérent aux autres architectures. Ceci produit une mise à jour de l'affichage en "temps actif" améliorée. Les détails du signal, les événements intermittents et les caractéristiques dynamiques du signal sont saisis en temps réel. Le microprocesseur du DPO fonctionne parallèlement à ce système d'acquisition intégré pour gérer l'affichage, automatiser les mesures et contrôler l'instrument sans altérer la vitesse d'acquisition de l'oscilloscope.

ABC des oscilloscopes

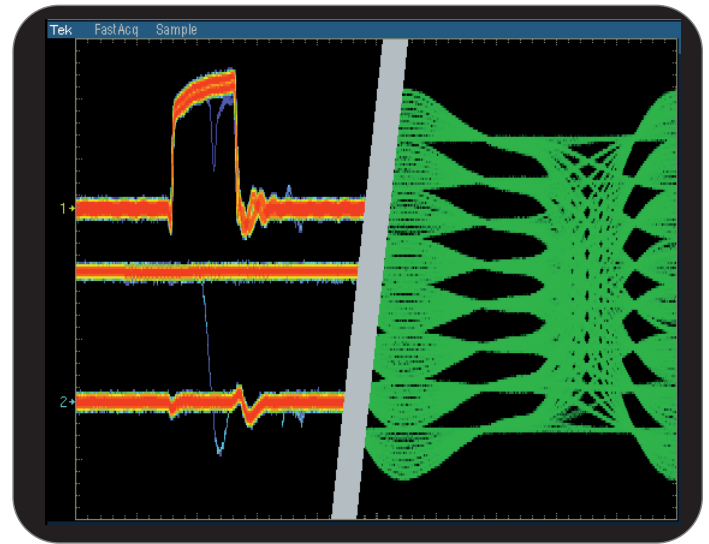
► Livret d'initiation

Le DPO émule fidèlement les meilleures caractéristiques d'affichage d'un oscilloscope analogique, notamment en représentant le signal en trois dimensions (temps, amplitude et distribution de l'amplitude dans le temps), le tout en temps réel.

A la différence de l'affichage de l'oscilloscope analogique, qui repose sur une couche de phosphore physique, celui du DPO utilise un "phosphore numérique" purement électronique : il s'agit en réalité d'une base de données constamment mise à jour. Cette base de données réserve une "cellule" de données distincte pour chaque pixel de l'écran de l'oscilloscope. A chaque saisie du signal (autrement dit à chaque déclenchement de l'oscilloscope), ces données sont projetées sur les cellules de la base de données du phosphore numérique. Lorsqu'une cellule représentant un point de l'écran est "activée" par le signal, elle est renforcée par un incrément d'intensité (tandis que les autres cellules ne le sont pas). Ainsi, les données d'intensité s'accumulent dans les cellules le plus souvent touchées par le signal.

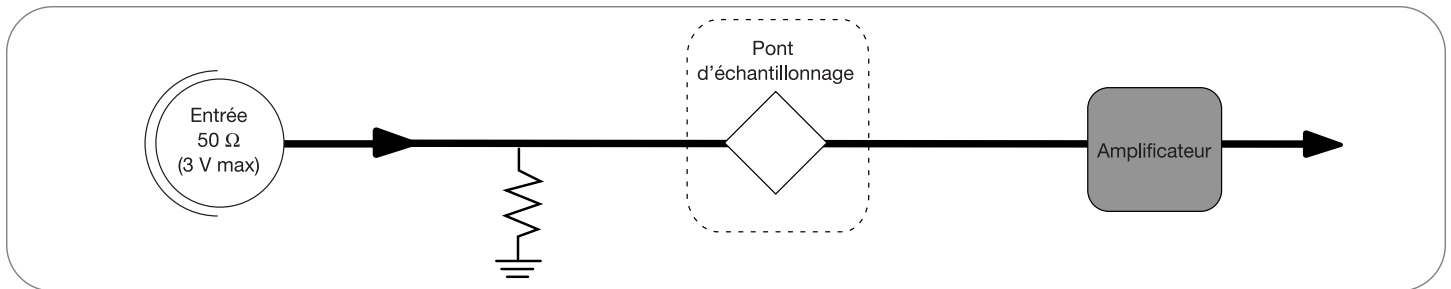
Lorsque le contenu de la base de données du phosphore numérique est envoyé vers l'affichage de l'oscilloscope, l'écran représente le signal avec des zones d'intensité variable suivant la fréquence d'activation de chaque point, ce qui rappelle le dégradé d'intensité d'un oscilloscope analogique. L'affichage du DPO permet également de représenter les variations de fréquence d'apparition par une répartition de couleurs, alors que l'oscilloscope analogique ne le permet pas. Avec un DPO, il devient facile de distinguer un signal qui apparaît pratiquement à chaque déclenchement d'un autre qui n'apparaît par exemple qu'une fois sur cent.

Les oscilloscopes à phosphore numérique (DPO) font tomber la barrière qui sépare les technologies des oscilloscopes analogiques et numériques. Ils conviennent autant à la visualisation des fréquences hautes et basses, des signaux répétitifs, des transitoires, et des variations du signal en temps réel. Seul le DPO fournit la représentation en temps réel de l'intensité (l'axe Z) qui manque aux oscilloscopes à mémoire numérique traditionnels.



► **Figure 19.** Certains DPO peuvent acquérir des millions de signaux en quelques secondes, ce qui augmente considérablement la probabilité de saisir les événements intermittents et de révéler le comportement dynamique du signal.

Le DPO est le meilleur outil polyvalent de conception et de dépannage pour un large éventail d'applications (voir figure 19). Il convient parfaitement aux tests de masque de communication, au dépistage des signaux intermittents dans les systèmes numériques, à la conception numérique répétitive et aux applications de synchronisation.



► **Figure 20.** Architecture d'un oscilloscope à échantillonnage numérique.

Oscilloscopes à échantillonnage numérique

Lors de la mesure des signaux haute fréquence, il se peut que l'oscilloscope ne parvienne pas à recueillir suffisamment d'échantillons en un seul balayage. L'oscilloscope à échantillonnage numérique est l'outil idéal pour saisir avec précision les signaux comportant des composantes fréquentielles très supérieures à la fréquence d'échantillonnage de l'oscilloscope (voir figure 21). Pour les signaux répétitifs, il peut atteindre une bande passante et une synchronisation haute vitesse dix fois supérieures à celles des autres oscilloscopes. La bande passante de certains oscilloscopes à échantillonnage en temps équivalent séquentiel atteint 50 GHz.

Contrairement à celles des oscilloscopes à mémoire numérique et à phosphore numérique, l'architecture de l'oscilloscope à échantillonnage numérique place l'atténuateur et l'amplificateur après le pont d'échantillonnage (voir figure 20). Le signal d'entrée est donc échantillonné avant toute atténuation ou amplification. Il est alors possible d'utiliser un amplificateur à bande passante étroite après le pont d'échantillonnage, car le signal a déjà été amené à une fréquence plus basse par la porte d'échantillonnage ; ceci donne à l'instrument une bande passante beaucoup plus élevée.

Cependant, cette augmentation de la bande passante s'obtient au prix d'une limitation de la plage dynamique de l'oscilloscope à échantillonnage. Comme il n'y a pas d'atténuateur ou d'amplificateur avant la porte d'échantillonnage, il n'y a pas non plus de fonction de mise à l'échelle du signal d'entrée. Le pont d'échantillonnage doit donc pouvoir traiter à tout instant l'intégralité de la plage dynamique du signal d'entrée. En conséquence, la plage dynamique de la plupart des oscilloscopes à échantillonnage est limitée à environ 1 V crête-à-crête. En revanche, les oscilloscopes à mémoire numérique et à phosphore numérique peuvent accepter des amplitudes atteignant 50 à 100 volts.



► **Figure 21.** Ecran de réflectométrie temporelle (TDR) d'un oscilloscope à échantillonnage numérique TDS8000 équipé du module d'échantillonnage à 20 GHz 80E04.

Par ailleurs, des diodes de protection ne peuvent être placées avant le pont d'échantillonnage, car ceci limiterait la bande passante. Cela réduit la tension d'entrée maximale d'un oscilloscope à échantillonnage à environ 3 V, contre 500 V sur les autres oscilloscopes.

ABC des oscilloscopes

► Livret d'initiation



► **Figure 22.** Commandes de la face avant d'un oscilloscope.

Systèmes et commandes d'un oscilloscope

L'oscilloscope se compose essentiellement de quatre systèmes distincts : le système vertical, le système horizontal, le système de déclenchement et le système d'affichage. Une bonne compréhension de chacun de ces systèmes permet d'utiliser l'oscilloscope efficacement pour résoudre des problèmes de mesure particuliers. Il faut garder à l'esprit que chaque système permet à l'oscilloscope de reconstituer un signal avec précision.

Cette section présente sommairement les principaux systèmes et commandes des oscilloscopes analogiques et numériques. Il existe quelques différences entre les commandes des oscilloscopes analogiques et numériques. Par ailleurs, chaque modèle d'oscilloscope peut avoir des commandes supplémentaires non traitées dans cet ouvrage.

Les commandes de la face avant d'un oscilloscope se répartissent en trois blocs principaux marqués **Vertical**, **Horizontal** et **Déclenchement**.

Chaque oscilloscope pourra comporter d'autres blocs de commandes, suivant le modèle et le type (analogique ou numérique), comme le montre la figure 22. On pourra essayer de situer les différentes commandes de la face avant sur la figure 22 et sur un oscilloscope tout en parcourant cette section.

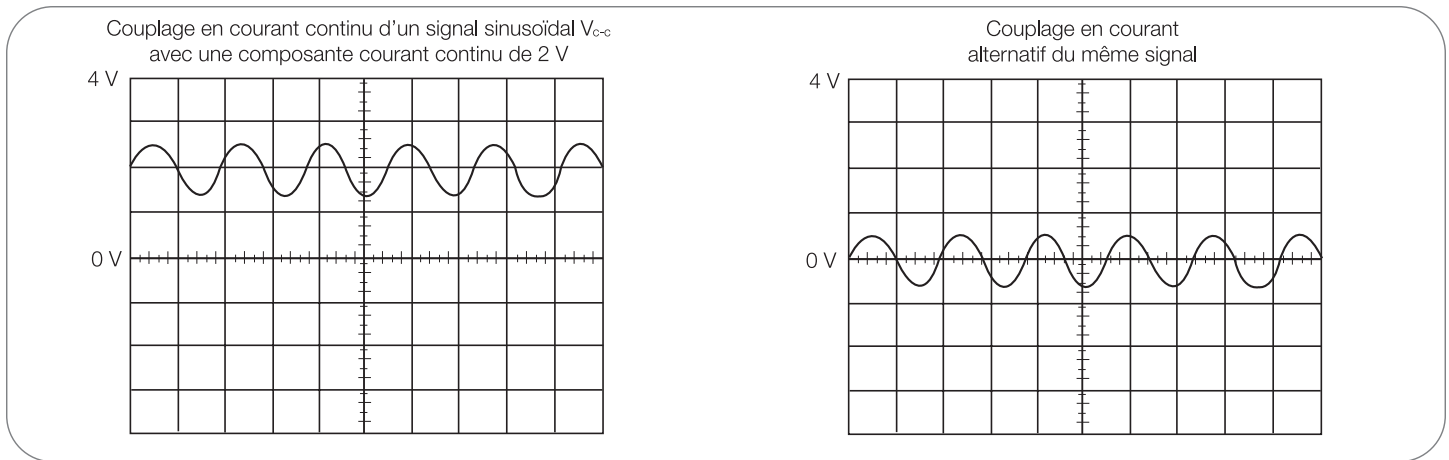
Pour utiliser un oscilloscope, il est nécessaire de régler trois paramètres de base de façon à l'adapter au signal entrant :

- L'**atténuation** ou l'**amplification** du signal (utiliser la commande volts/div pour régler l'amplitude du signal sur la plage de mesure souhaitée).
- La **base de temps** (utiliser la commande sec/div pour régler la durée représentée par chaque division horizontale de l'écran).
- Le **déclenchement** de l'oscilloscope (utiliser le **niveau de déclenchement** pour stabiliser un signal répétitif ou pour déclencher l'oscilloscope sur un seul événement).

Commandes du système vertical

Les réglages verticaux servent à positionner le signal et à le mettre à l'échelle dans le sens vertical. Ils servent également à choisir le couplage d'entrée et d'autres paramètres de conditionnement des signaux présentés plus loin dans cette section. Les réglages verticaux courants sont les suivants :

- Terminaison
 - 1M Ω
 - 50 Ω
- Couplage
 - C.C.
 - C.A.
 - Masse
- Limite de bande passante
 - 20 MHz
 - 250 MHz
 - Pleine
- Position
- Décalage
- Inversion - activée/désactivée
- Echelle
 - 1-2-5
 - Variable
- Zoom



► **Figure 23.** Couplage d'entrée en courants continu et alternatif.

Position et volts par division

La commande de position verticale permet de déplacer le signal vers le haut et vers le bas pour le placer exactement à l'endroit voulu sur l'écran.

Le réglage des volts par division (généralement marqué volts/div) fait varier la taille du signal sur l'écran. Un bon oscilloscope à usage général affiche avec précision des niveaux de signal compris entre quatre millivolts et 40 volts environ.

Le réglage des volts par divisions est un facteur d'échelle. Lorsque cette valeur est réglée sur cinq volts et que le réticule comporte huit divisions verticales, chaque division représente cinq volts et la hauteur totale de l'écran représente 40 volts ; lorsque ce facteur est réglé sur 0,5 volt/div, la hauteur totale de l'écran représente quatre volts ; et ainsi de suite. La tension maximale pouvant être représentée sur l'écran est égale au produit du nombre de divisions verticales par le nombre de volts par division sélectionné. Il faut noter que la sonde utilisée, 1X ou 10X, influence également le facteur d'échelle. Si l'oscilloscope ne le fait pas automatiquement, il faut diviser l'échelle des volts/div par le facteur d'atténuation de la sonde.

L'échelle des volts par division comporte souvent une commande de gain variable ou de réglage précis du gain pour mettre le signal affiché à l'échelle en correspondance avec un nombre entier de divisions. Ces commandes sont utiles pour la mesure des temps de montée.

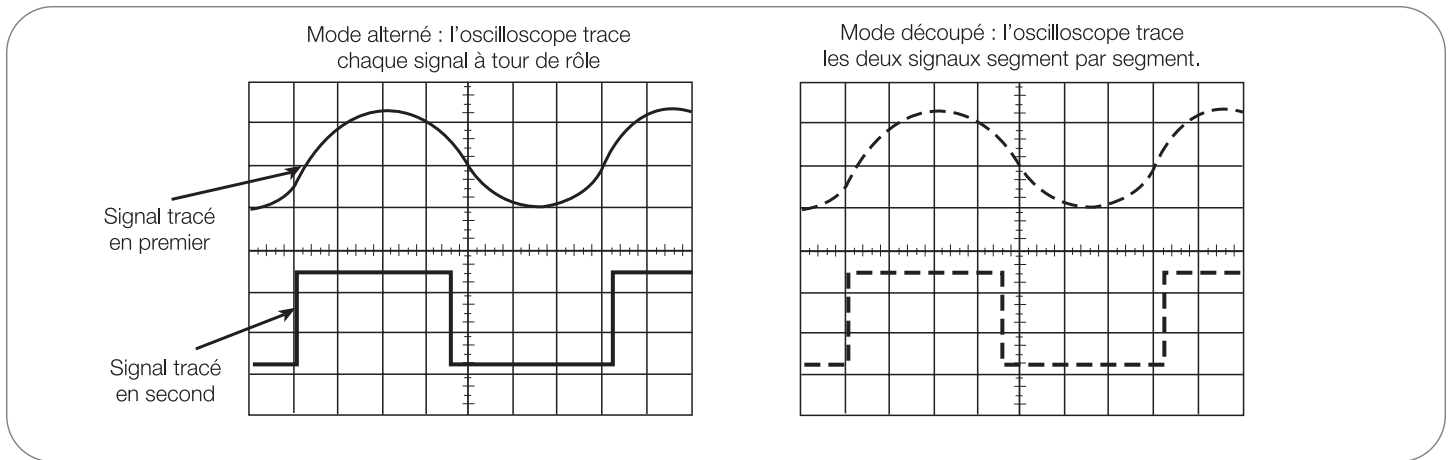
Couplage d'entrée

Le **couplage** est la méthode utilisée pour transférer un signal électrique d'un circuit à un autre. Dans le cas qui nous intéresse, le couplage d'entrée est la connexion entre le circuit testé et l'oscilloscope. Le couplage peut s'effectuer en courant continu (C.C.), en courant alternatif (C.A.) ou à la masse. Le couplage en courant continu montre l'intégralité d'un signal d'entrée. Le couplage en courant alternatif bloque la composante continue d'un signal de façon à le centrer sur la ligne de zéro volt. La figure 23 illustre cette différence. Le couplage en courant alternatif s'avère utile lorsque l'amplitude du signal complet (courant alternatif + courant continu) est trop élevée pour le réglage des volts par division.

Le couplage à la masse déconnecte le signal d'entrée du système vertical, ce qui permet de situer la ligne de zéro volt sur l'écran. Lorsque l'oscilloscope est en mode de déclenchement automatique avec couplage d'entrée à la masse, une ligne horizontale représentant une tension de zéro volt s'affiche sur l'écran. Le passage en alternance du couplage en courant continu au couplage à la masse constitue un moyen pratique de mesurer les niveaux de tension du signal par rapport à la masse.

ABC des oscilloscopes

► Livret d'initiation



► **Figure 24.** Modes d'affichage multivoie.

Limite de bande passante

La plupart des oscilloscopes comportent un circuit limitant leur bande passante. La limitation de la bande passante permet de réduire le bruit qui apparaît parfois sur l'écran et d'obtenir ainsi un signal plus net. Il faut toutefois noter que, en éliminant le bruit de cette manière, la largeur de bande passante est également réduite et les composantes haute fréquence du signal risquent d'être supprimées.

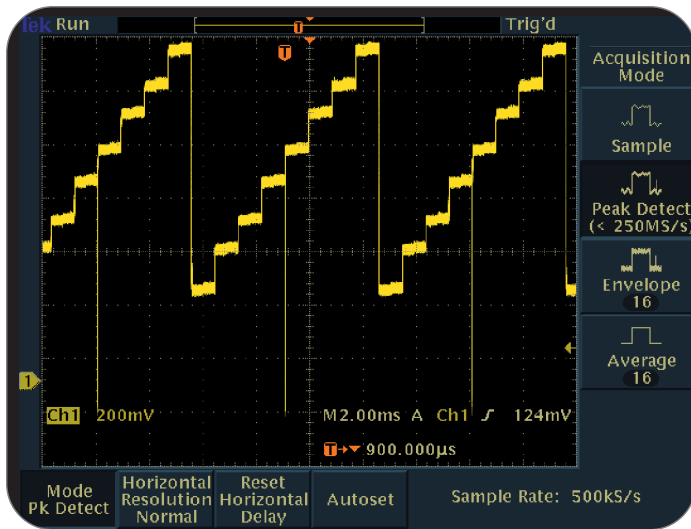
Modes d'affichage alterné et découpé

Les différentes voies des oscilloscopes analogiques s'affichent en **mode alterné** ou en **mode découpé** (beaucoup d'oscilloscopes numériques peuvent afficher plusieurs voies simultanément sans recourir à un de ces modes d'affichage).

En **mode alterné**, les signaux des différentes voies sont tracés à tour de rôle : l'oscilloscope effectue un balayage complet sur la voie 1, puis un balayage complet sur la voie 2 avant de revenir à la voie 1, et ainsi de suite. Ce mode s'utilise avec les signaux de vitesse moyenne à haute, lorsque chaque division représente une durée inférieure ou égale à 0,5 ms.

En **mode découpé**, l'oscilloscope trace chaque signal par petits segments en passant rapidement d'une voie à l'autre. La commutation entre les signaux s'effectue trop rapidement pour être perçue par l'utilisateur, si bien que le tracé de chaque signal semble complet. Ce mode s'utilise généralement avec les signaux lents nécessitant des vitesses de balayage telles que chaque division représente une durée supérieure ou égale à 1 ms.

La figure 24 montre la différence entre ces deux modes. Il est souvent utile de visualiser le signal des deux façons pour choisir celle qui donne la représentation la plus agréable.



► *Figure 25. Exemple de menu d'acquisition.*

Commandes du système horizontal

Le système horizontal d'un oscilloscope est étroitement associé à l'acquisition du signal. Il intervient notamment pour déterminer la fréquence d'échantillonnage et la longueur d'enregistrement. Les réglages horizontaux servent à positionner le signal et à le mettre à l'échelle dans le sens horizontal. Les réglages horizontaux courants sont les suivants :

- Base de temps principale
- Retard
- XY
- Echelle
 - 1-2-5
 - Variable
- Séparation de tracé
- Longueur d'enregistrement
- Résolution
- Fréquence d'échantillonnage
- Position de déclenchement
- Zoom

Commandes d'acquisition

Les oscilloscopes numériques comportent des réglages permettant de déterminer la façon dont le système d'acquisition traite le signal. On pourra examiner les options d'acquisition d'un oscilloscope numérique en parcourant cette section. La figure 25 donne un exemple de menu d'acquisition.

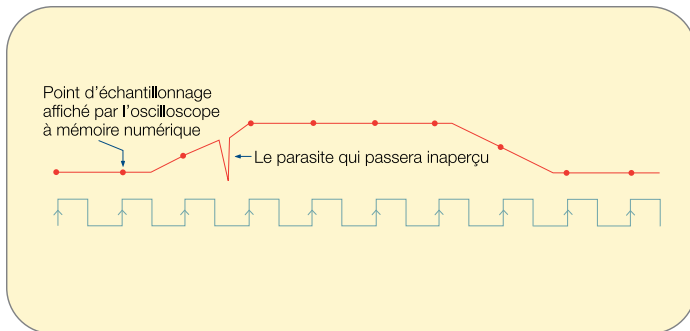
Modes d'acquisition

Les modes d'acquisition déterminent la méthode d'élaboration des échantillons à partir des points d'échantillonnage. Les points d'échantillonnage sont les valeurs numériques provenant directement du convertisseur analogique-numérique (CAN). On appelle **intervalle d'échantillonnage** la durée séparant ces points d'échantillonnage. Les **échantillons** sont les valeurs numériques qui sont enregistrées en mémoire et affichées pour représenter le signal. L'écart de temps entre les échantillons est appelé **intervalle du signal**.

L'intervalle d'échantillonnage et l'intervalle du signal ne sont pas forcément identiques. Il existe plusieurs modes d'acquisition différents dans lesquels un échantillon se compose de plusieurs points d'échantillonnage acquis séquentiellement. De plus, les échantillons peuvent être créés à partir d'un composite de points d'échantillonnage provenant de plusieurs acquisitions, d'où l'existence d'un autre ensemble de modes d'acquisition. Les modes d'acquisition les plus courants sont présentés ci-après.

ABC des oscilloscopes

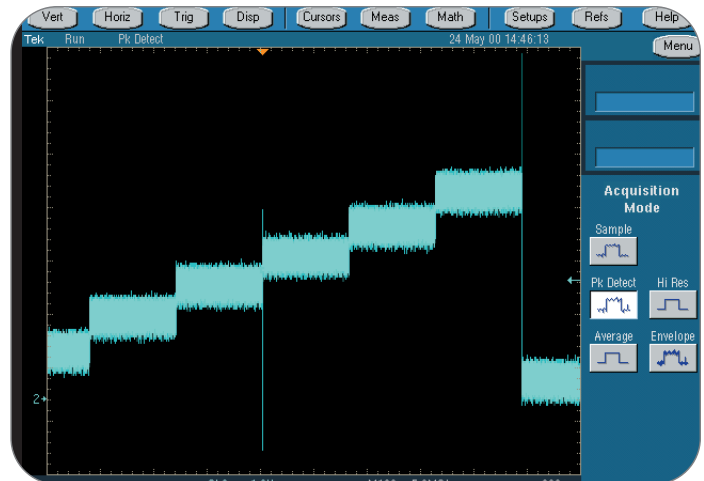
► Livret d'initiation



► **Figure 26.** La fréquence d'échantillonnage varie en fonction du réglage de la base de temps (la fréquence d'échantillonnage diminue lorsque la base de temps diminue). Certains oscilloscopes numériques offrent un mode détection de crête permettant de saisir les transitoires rapides aux vitesses de balayage peu élevées.

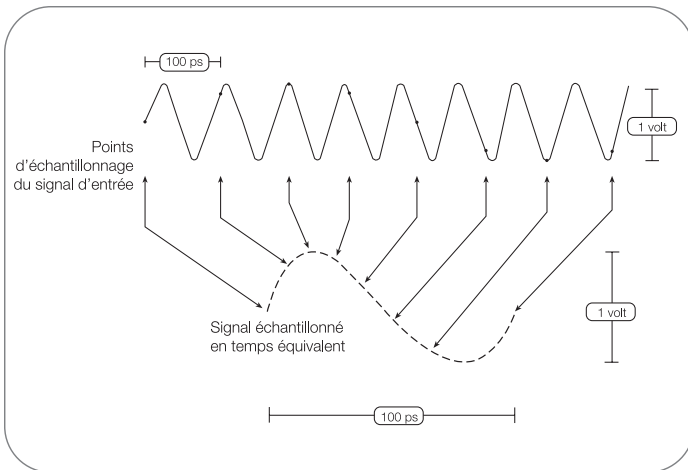
Types de mode d'acquisition

- **Mode échantillon :** Il s'agit du plus simple des modes d'acquisition. L'oscilloscope crée un échantillon en enregistrant un seul point d'échantillonnage au cours de chaque intervalle de signal.
- **Mode détection de crête :** L'oscilloscope enregistre le point de valeur minimum et le point de valeur maximum saisis au cours de deux intervalles de signal et les utilise pour créer les deux échantillons correspondants. Les oscilloscopes numériques en mode détection de crête font tourner le CAN à une fréquence d'échantillonnage élevée, même avec des réglages de base de temps très lents (une base de temps lente donne de longs intervalles de signal), et sont capables de saisir les variations rapides du signal qui se produiraient entre les échantillons en mode échantillon (figure 26). Le mode détection de crête est particulièrement utile pour visualiser les impulsions étroites très espacées dans le temps (figure 27).
- **Mode haute résolution :** Comme le mode détection de crête, ce mode permet d'obtenir plus d'informations lorsque le CAN peut échantillonner le signal plus rapidement que ce qui est requis par le réglage de la base de temps. Dans ce cas, le système établit la moyenne de plusieurs échantillons saisis au cours d'un seul intervalle de signal pour produire un seul échantillon. Il en résulte une diminution du bruit et une amélioration de la résolution pour les signaux lents.



► **Figure 27.** Le mode détection de crête permet aux oscilloscopes de la série TDS7000 de saisir des anomalies transitoires aussi étroites que 100 ps.

- **Mode enveloppe :** Le mode enveloppe est similaire au mode détection de crête, mais il combine les échantillons minimum et maximum de plusieurs acquisitions pour former un signal indiquant leur accumulation respective au cours du temps. On emploie généralement le mode détection de crête pour acquérir les enregistrements qui seront combinés pour former le signal d'enveloppe.
- **Mode moyennage :** En mode moyennage, l'oscilloscope enregistre un seul point d'échantillonnage au cours de chaque intervalle du signal, comme en mode échantillon. Cependant, le système établit ensuite la moyenne des échantillons saisis lors des acquisitions successives pour produire le signal affiché. Ce mode permet de réduire le bruit sans perte de bande passante, mais il requiert un signal répétitif.



► **Figure 28.** Echantillonnage de base. Les points d'échantillonnage sont reliés par interpolation pour produire un signal continu.

Lancement et arrêt du système d'acquisition

L'un des principaux avantages des oscilloscopes numériques est leur capacité à enregistrer les signaux pour les visualiser ultérieurement. A cette fin, la face avant comporte généralement un ou plusieurs boutons permettant de lancer et d'arrêter le système d'acquisition pour permettre à l'utilisateur de prendre le temps d'analyser le signal. Par ailleurs, il peut être nécessaire de régler l'oscilloscope de façon à ce qu'il arrête d'acquérir le signal automatiquement une fois qu'une acquisition est achevée ou après qu'un ensemble d'enregistrements a été transformé en signal d'enveloppe ou en signal moyenné. Cette fonctionnalité est appelée balayage simple ou séquence simple et les commandes correspondantes se situent généralement avec les autres commandes d'acquisition ou avec les commandes de déclenchement.

Echantillonnage

L'**échantillonnage** est le processus de conversion d'une partie du signal d'entrée en un certain nombre de valeurs électriques discrètes permettant de l'enregistrer, de la traiter et de l'afficher. La valeur d'amplitude de chaque point d'échantillonnage est égale à l'amplitude du signal d'entrée à l'instant où le signal est échantillonné.

L'échantillonnage est analogue à une prise de vue instantanée. Chaque prise de vue représente un point particulier de la variation du signal au cours du temps. La mise en séquence de ces instantanés permet de reconstituer le signal d'entrée.

L'oscilloscope numérique utilise cette matrice de points d'échantillonnage pour reconstituer le signal sur l'écran en représentant l'amplitude mesurée sur l'axe vertical et le temps sur l'axe horizontal (voir figure 28).

Le signal d'entrée de la figure 28 se présente sur l'écran comme une série de points. Lorsque ces points sont très espacés et difficiles à interpréter comme un signal, il est possible de les relier par un procédé appelé interpolation. L'interpolation relie les points par des lignes ou des vecteurs. Il existe plusieurs méthodes d'interpolation permettant de produire une représentation précise d'un signal d'entrée continu.

Commandes d'échantillonnage

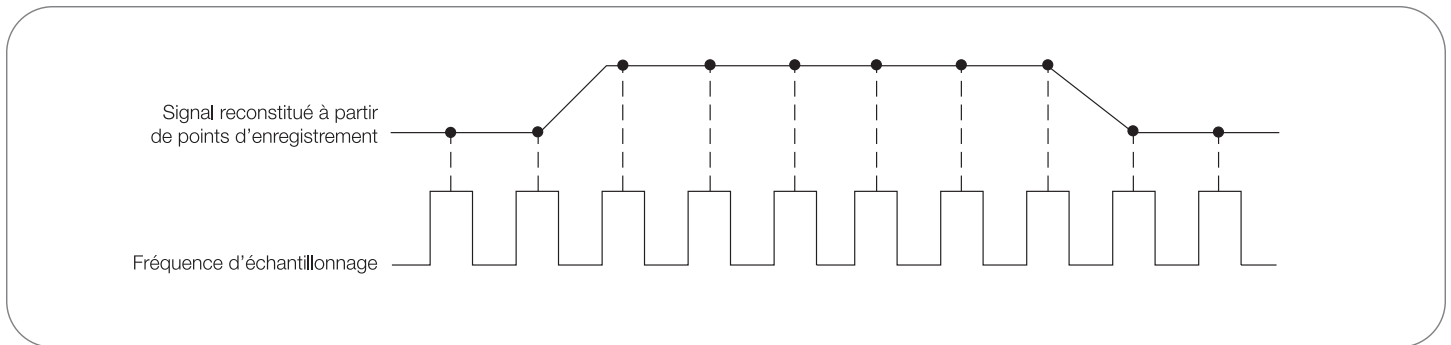
Certains oscilloscopes numériques offrent le choix entre deux méthodes d'échantillonnage : échantillonnage en temps réel ou échantillonnage en temps équivalent. Les commandes d'acquisition de ces oscilloscopes permettent de sélectionner la méthode d'échantillonnage à utiliser pour acquérir les signaux. Il est à noter que ce choix ne change rien lorsque la base de temps est réglée sur une vitesse lente et qu'il n'a d'effet que lorsque le CAN ne peut pas échantillonner le signal assez rapidement pour remplir l'enregistrement d'échantillons en un seul passage.

Méthodes d'échantillonnage

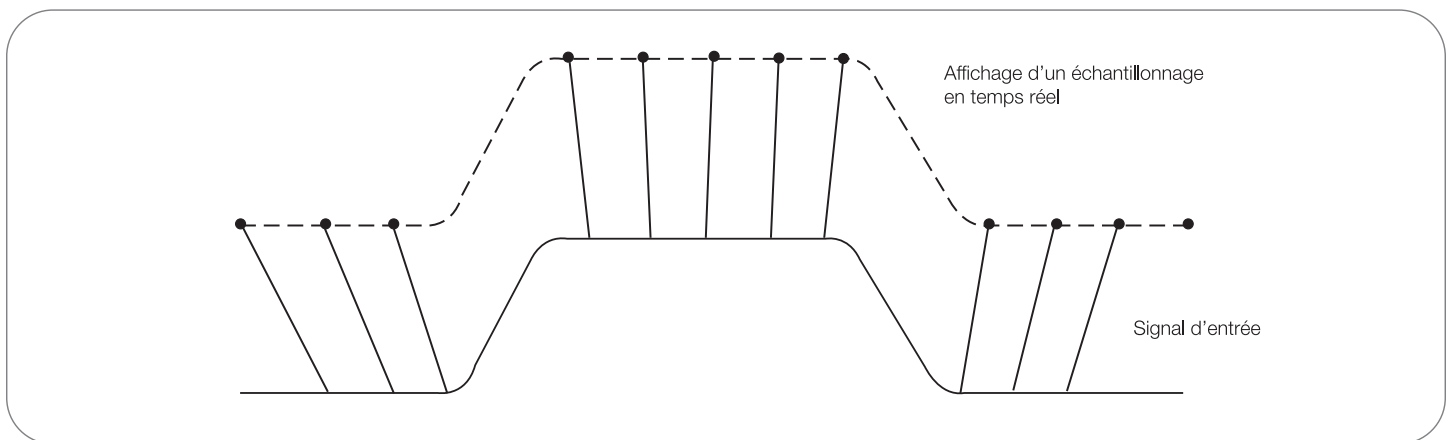
Bien qu'il existe plusieurs mises en oeuvre différentes des techniques d'échantillonnage, les oscilloscopes numériques actuels emploient essentiellement deux méthodes d'échantillonnage : l'échantillonnage en temps réel et l'échantillonnage en temps équivalent. Il existe en outre deux types d'échantillonnage en temps équivalent : aléatoire et séquentiel. Chaque méthode présente des avantages particuliers suivant le type de mesures à effectuer.

ABC des oscilloscopes

► Livret d'initiation



► **Figure 29.** Méthode d'échantillonnage en temps réel.

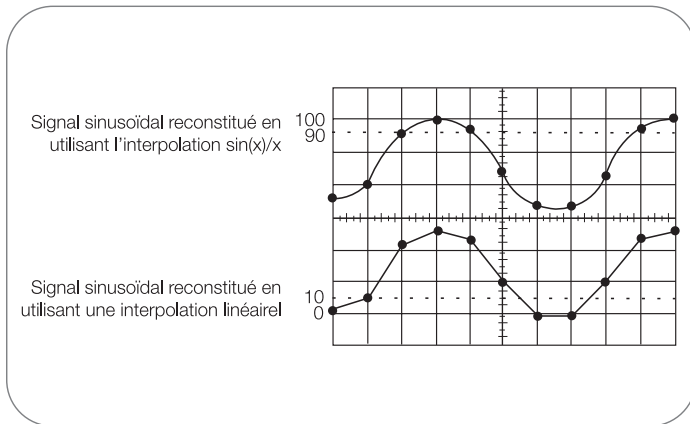


► **Figure 30.** La saisie en temps réel de cette impulsion de 10 ns nécessite une fréquence d'échantillonnage suffisamment élevée pour définir les fronts avec précision.

Echantillonnage en temps réel

L'**échantillonnage en temps réel** convient parfaitement aux signaux de plage de fréquences inférieure à la moitié de la fréquence d'échantillonnage maximum de l'oscilloscope. Dans ce cas, l'oscilloscope peut acquérir en un seul "balayage" un nombre de points largement suffisant pour reconstituer une image précise du signal (voir figure 29). L'échantillonnage en temps réel est le seul moyen de saisir des événements transitoires rapides monocoup avec un oscilloscope numérique.

L'échantillonnage en temps réel constitue un défi majeur pour les oscilloscopes numériques, en raison de la fréquence d'échantillonnage requise pour numériser avec précision les événements transitoires haute fréquence (voir figure 30). Ces événements ne se produisant qu'une seule fois et à des instants imprévisibles, il faut les échantillonner au moment où ils apparaissent. Lorsque la fréquence d'échantillonnage n'est pas assez élevée, les composantes haute fréquence peuvent "se replier" vers une fréquence plus basse et causer ainsi un repliement de spectre de l'affichage. L'échantillonnage en temps réel est compliqué en outre par la nécessité d'avoir une mémoire haute vitesse pour enregistrer le signal numérisé. On pourra se reporter aux sections **Fréquence d'échantillonnage** et **Longueur d'enregistrement**, sous **Facteurs de performance**, pour obtenir plus de détails sur la fréquence d'échantillonnage et la longueur d'enregistrement nécessaires à la caractérisation précise des composantes haute fréquence.



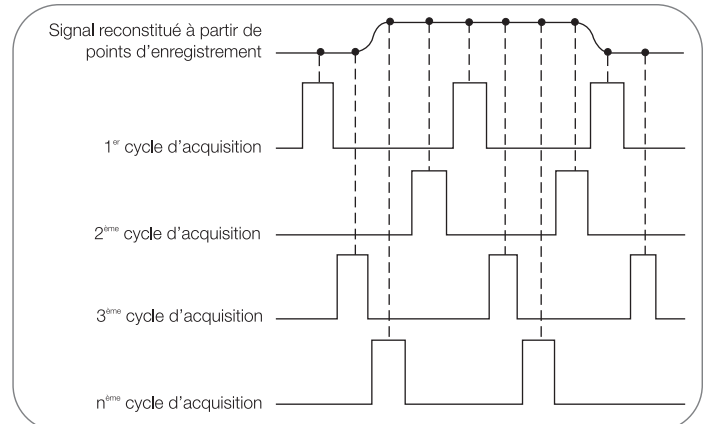
► **Figure 31.** Interpolations linéaire et $\sin(x)/x$.

Echantillonnage en temps réel avec interpolation. Les oscilloscopes numériques saisissent des échantillons de signal discrets pour les afficher. Cependant, un signal représenté sous forme de points peut être difficile à visualiser, en particulier parce que l'oscilloscope ne dispose souvent que de très peu de points pour représenter les composantes haute fréquence du signal. Pour faciliter la visualisation des signaux, les oscilloscopes numériques possèdent généralement des modes d'affichage avec interpolation.

La fonction d'**interpolation** "relie les points" de façon à afficher avec précision un signal qui ne peut être échantillonné que peu de fois par cycle. Lorsqu'il fonctionne en mode d'échantillonnage en temps réel avec interpolation, l'oscilloscope recueille quelques points d'échantillonnage du signal en un seul passage et utilise l'interpolation pour compléter la représentation graphique. Cette technique de traitement permet d'estimer la forme du signal à partir de ces points.

L'interpolation linéaire relie les points d'échantillonnage par des lignes droites. Cette approche est limitée à la reconstitution des signaux à fronts droits tels que les ondes carrées (voir figure 31).

L'interpolation $\sin(x)/x$ est une méthode plus souple qui relie les points d'échantillonnage par des courbes (voir figure 31). Il s'agit d'un procédé mathématique consistant à calculer les points nécessaires pour compléter la représentation du signal dans les intervalles de temps séparant les échantillons réels. Cette forme d'interpolation convient bien pour les formes d'onde incurvées ou irrégulières, qui sont beaucoup plus courantes dans la pratique que les ondes carrées et les impulsions. L'interpolation $\sin(x)/x$ est donc la méthode de choix pour les applications dans lesquelles la fréquence d'échantillonnage est 3 à 5 fois plus élevée que la bande passante du système.



► **Figure 32.** Certains oscilloscopes utilisent l'échantillonnage en temps équivalent pour saisir et afficher les signaux répétitifs très rapides.

Echantillonnage en temps équivalent

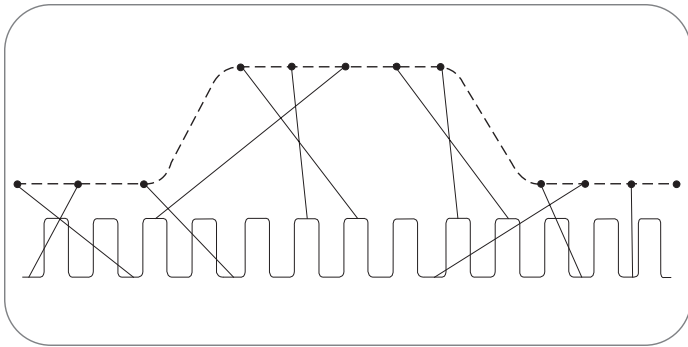
Lors de la mesure des signaux haute fréquence, l'oscilloscope peut être incapable de recueillir suffisamment d'échantillons en un seul passage. L'échantillonnage en temps équivalent sert à acquérir avec précision les signaux dont la fréquence dépasse la moitié de la fréquence d'échantillonnage de l'oscilloscope (voir figure 32). Les numériseurs (échantillonneurs) en temps équivalent profitent du fait que la plupart des événements naturels et artificiels sont répétitifs. L'échantillonnage en temps équivalent reconstruit l'image d'un signal répétitif en saisissant une petite quantité de données à chaque répétition. Le signal se reconstitue lentement comme une guirlande dont les lampes s'allument une par une. Ceci permet à l'oscilloscope de saisir avec précision les signaux présentant des composantes fréquentielles beaucoup plus élevées que la fréquence d'échantillonnage de l'oscilloscope.

Il existe deux types d'échantillonnage en temps équivalent – aléatoire et séquentiel – qui présentent tous deux des avantages particuliers.

L'**échantillonnage en temps équivalent aléatoire** permet d'afficher le signal d'entrée avant le point de déclenchement sans utiliser une ligne à retard. L'**échantillonnage en temps équivalent séquentiel** offre une résolution temporelle et une précision beaucoup plus élevées. Ces deux méthodes d'échantillonnage nécessitent un signal d'entrée répétitif.

ABC des oscilloscopes

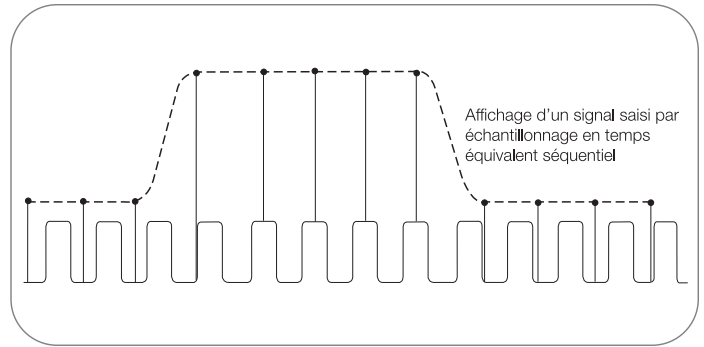
► Livret d'initiation



► **Figure 33.** Dans l'échantillonnage en temps équivalent aléatoire, l'horloge d'échantillonnage est asynchrone par rapport au signal d'entrée et au déclenchement.

Echantillonnage en temps équivalent aléatoire. Les numériseurs (échantillonneurs) en temps équivalent aléatoires utilisent une horloge interne asynchrone par rapport au signal d'entrée et au déclenchement (voir figure 33). Les échantillons sont saisis de façon continue, indépendamment de la position de déclenchement, et affichés en fonction de l'intervalle de temps entre l'échantillon et le déclenchement. Bien que la saisie des échantillons s'effectue séquentiellement, elle est aléatoire par rapport au déclenchement, d'où le nom d'échantillonnage en temps équivalent "aléatoire". Lorsqu'ils sont affichés sur l'écran de l'oscilloscope, les points d'échantillonnage apparaissent à des positions aléatoires sur la représentation du signal.

La capacité d'acquérir et d'afficher des échantillons situés avant le point de déclenchement est le principal avantage de cette technique d'échantillonnage, car elle élimine le besoin de signaux de prédéclenchement externes ou de lignes à retard. Suivant la fréquence d'échantillonnage et la fenêtre temporelle de l'affichage, l'échantillonnage aléatoire permet également l'acquisition de plus d'un échantillon par événement de déclenchement. Cependant, aux vitesses de balayage plus élevées, la fenêtre d'acquisition se rétrécit jusqu'à ce que le numériseur ne puisse plus échantillonner le signal à chaque déclenchement. C'est à ces vitesses de balayage plus élevées que les mesures temporelles très précises s'effectuent le plus souvent et que l'extraordinaire résolution temporelle de l'échantillonneur en temps équivalent séquentiel s'avère le plus utile. La limite de bande passante de l'échantillonnage en temps équivalent aléatoire est inférieure à celle de l'échantillonnage en temps équivalent séquentiel.



► **Figure 34.** Dans l'échantillonnage en temps équivalent séquentiel, le système saisit un seul échantillon pour chaque événement de déclenchement reconnu après un retard incrémenté à l'issue de chaque cycle.

Echantillonnage en temps équivalent séquentiel. L'échantillonneur en temps équivalent séquentiel acquiert un seul échantillon par déclenchement, indépendamment du réglage de la base de temps (temps/div) ou de la vitesse de balayage (voir figure 34). Lorsque le système détecte un événement de déclenchement, il saisit un échantillon après un retard très bref mais bien défini. Lorsque le déclenchement suivant se produit, un petit incrément temporel (Δt) s'ajoute à ce retard et le numériseur saisit un autre échantillon. Ce processus se répète plusieurs fois, le " Δt " s'ajoutant à chaque acquisition précédente, jusqu'à ce que la fenêtre temporelle soit remplie. Les points d'échantillonnage apparaissent en séquence de gauche à droite le long de la représentation du signal sur l'écran de l'oscilloscope.

Sur le plan technique, il est plus facile de générer un " Δt " très bref et très précis que de mesurer avec précision les positions verticale et horizontale d'un échantillon par rapport au point de déclenchement, comme l'exigent les échantillonneurs aléatoires. C'est ce retard mesuré avec précision qui donne aux échantillonneurs séquentiels leur résolution temporelle inégalée. Étant donné qu'avec l'échantillonnage séquentiel l'échantillon est saisi après la détection du niveau de déclenchement, le point de déclenchement ne peut pas être affiché sans une ligne à retard analogique, qui peut à son tour réduire la bande passante de l'instrument. S'il est possible de fournir un prédéclenchement externe, la bande passante ne sera pas altérée.

Position et secondes par division

La commande de position horizontale permet de déplacer le signal vers la gauche et vers la droite pour le placer exactement à l'endroit voulu sur l'écran.

Le réglage des secondes par division (habituellement marqué "sec/div") permet de sélectionner la vitesse à laquelle le signal est dessiné sur l'écran (également appelée base de temps ou vitesse de balayage). Ce réglage est un facteur d'échelle. Lorsqu'on lui donne une valeur de 1 ms, chaque division horizontale représente 1 ms et la largeur totale de l'écran (dix divisions) représente 10 ms. La modification du réglage des secondes par divisions permet d'observer des intervalles de temps plus longs ou plus courts du signal d'entrée.

Comme avec l'échelle verticale volts/div, il est possible de faire varier la résolution de l'échelle de temps horizontale sec/div entre les réglages discrets.

Sélection de la base de temps

Chaque oscilloscope possède une **base de temps** principale. Certains oscilloscopes possèdent également une **base de temps retardée**, dont le balayage peut démarrer (ou être déclenché) par rapport à un moment prédéterminé du balayage de la base de temps principale. L'utilisation d'une base de temps retardée permet soit de visualiser les événements éloignés du point de déclenchement avec une meilleure définition temporelle soit de voir ceux que la base de temps principale ne permet pas de mettre en évidence.

L'emploi d'une base de temps retardée nécessite le réglage d'un retard, ainsi que l'usage éventuel de modes de déclenchement retardé et d'autres réglages non présentés dans ce livret d'initiation. On pourra consulter le manuel fourni avec l'oscilloscope pour obtenir plus de renseignements sur l'emploi de ces fonctions.

Zoom

L'oscilloscope peut comporter des réglages d'agrandissement horizontal spéciaux permettant d'afficher une partie du signal à plus grande échelle. Dans un oscilloscope à mémoire numérique, cette opération s'accomplit sur les données numérisées enregistrées en mémoire.

Mode XY

La plupart des oscilloscopes analogiques possèdent un mode XY permettant d'utiliser un signal d'entrée à la place de la base de temps sur l'axe horizontal. Ce mode de fonctionnement ouvre toute une nouvelle catégorie de techniques de mesure du déphasage, présentées dans la section

Techniques de mesure de ce livret d'initiation.

Axe Z

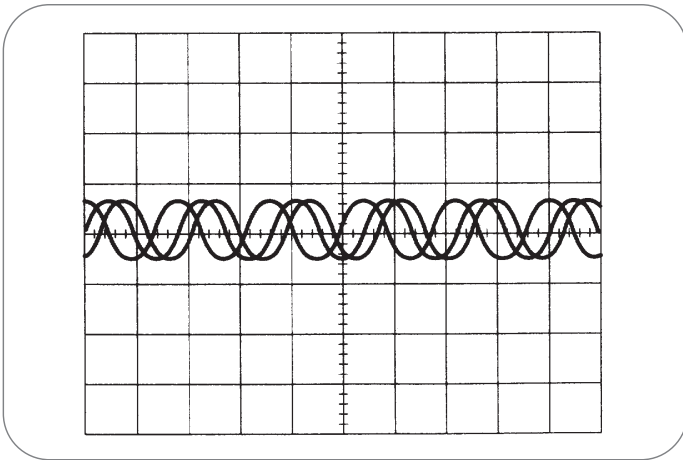
L'oscilloscope à phosphore numérique (DPO) se caractérise par une haute densité d'affichage des échantillons et par sa capacité naturelle à saisir les données d'intensité. Avec son axe d'intensité (axe Z), le DPO fournit un affichage en temps réel tridimensionnel similaire à celui d'un oscilloscope analogique. En examinant le tracé du signal sur un DPO, on remarque des zones plus lumineuses : ce sont celles où le signal apparaît le plus souvent. Cet affichage permet de distinguer facilement la forme d'un transitoire n'apparaissant qu'une fois de temps en temps (l'affichage du signal de base est beaucoup plus lumineux). L'axe Z peut également servir à introduire des signaux spéciaux à l'entrée réservée de l'axe Z pour ajouter au signal affiché des "marqueurs" lumineux à intervalles connus.

Mode XYZ

Certains DPO peuvent utiliser l'entrée Z pour produire un écran XY avec dégradé d'intensité. Dans ce cas, le DPO saisit la valeur instantanée du signal à l'entrée Z et l'utilise pour repérer une portion particulière du signal. Une fois qu'il dispose d'échantillons ainsi repérés, ceux-ci peuvent s'accumuler pour donner un écran à dégradé d'intensité XYZ. Le mode XYZ est tout particulièrement utile à l'affichage des diagrammes polaires couramment utilisés pour tester les appareils de radiocommunication, tels que les diagrammes en constellation.

ABC des oscilloscopes

► Livret d'initiation



► **Figure 35.** Affichage sans déclenchement.

Système et commandes de déclenchement

La fonction de **déclenchement** d'un oscilloscope synchronise le balayage horizontal par rapport au point du signal qui convient, ce qui est essentiel pour caractériser clairement ce dernier. Les commandes de déclenchement permettent de stabiliser les signaux répétitifs et de saisir les signaux monocoup.

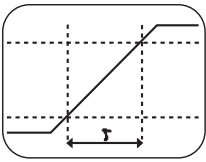
Le déclenchement donne aux signaux répétitifs une apparence statique sur l'écran de l'oscilloscope en affichant sans cesse la même portion du signal d'entrée. On peut imaginer le désordre sur l'écran si chaque balayage commençait à un point différent du signal (voir figure 35).

Le déclenchement sur front, disponible sur les oscilloscopes analogiques et numériques, est le plus simple et le plus courant des types de déclenchement. En dehors du déclenchement sur seuil fourni par les oscilloscopes analogiques et numériques, la plupart des oscilloscopes numériques offrent de nombreux paramètres de déclenchement spécialisés non disponibles sur les instruments analogiques. Ces déclenchements correspondent à des valeurs spécifiques de paramètres sur le signal entrant, qui facilitent la détection d'événement particuliers, par exemple, d'une impulsion plus étroite qu'elle ne devrait l'être. Une telle condition serait impossible à détecter si l'on disposait seulement d'un déclenchement sur seuil de tension.

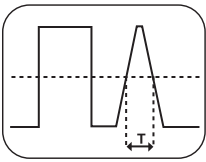
Les commandes de déclenchement évoluées permettent d'isoler des événements particuliers pour optimiser la fréquence d'échantillonnage et la longueur d'enregistrement de l'oscilloscope. Les fonctions de déclenchement évoluées de certains oscilloscopes permettent de définir les conditions de déclenchement de façon hautement sélective. Le déclenchement peut s'effectuer sur des impulsions définies par leur amplitude (telles que les petites impulsions), par leurs caractéristiques temporelles (largeur d'impulsion, parasite, vitesse de montée, temporisation et temps d'établissement et de maintien) et par un état ou mot logique (déclenchement logique).

Les commandes de déclenchement optionnelles de certains oscilloscopes sont spécialement conçues pour l'examen des signaux de communication. L'interface utilisateur intuitive de certains oscilloscopes permet de configurer les paramètres de déclenchement avec une grande souplesse et en peu de temps de façon à maximiser la productivité.

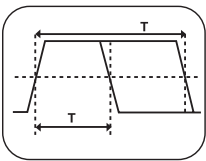
Pour les applications nécessitant un déclenchement sur plus de quatre voies, l'analyseur logique est l'outil idéal. On pourra consulter le livret d'initiation Tektronix intitulé *XYZ's of Logic Analyzers (ABC des analyseurs logiques)* pour obtenir plus de renseignements sur ces précieux instruments de test et de mesure.



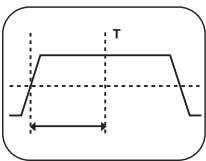
Déclenchement sur vitesse de montée. Les signaux haute fréquence présentant des vitesses de montée plus élevées que prévu ou que nécessaire peuvent émettre une énergie engendrant des problèmes considérables. Le déclenchement sur vitesse de montée surpasse le déclenchement sur front traditionnel en y ajoutant un élément temporel et en permettant de déclencher l'acquisition de façon sélective sur les fronts lents ou rapides.



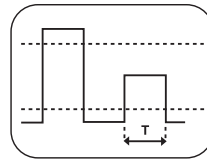
Déclenchement sur parasite. Le déclenchement sur parasite permet de lancer l'acquisition sur les impulsions numériques dont la durée est plus courte ou plus longue qu'une limite de temps définie par l'utilisateur. Cette commande de déclenchement permet d'examiner les causes des parasites aléatoires et leurs effets sur les autres signaux.



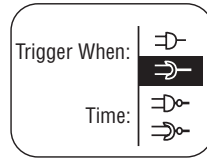
Déclenchement sur largeur d'impulsion. Le déclenchement sur largeur d'impulsion permet de surveiller un signal indéfiniment et de déclencher l'oscilloscope sur la première manifestation d'une impulsion dont la durée (largeur d'impulsion) sort des limites spécifiées.



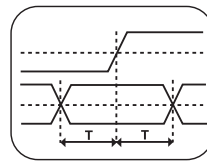
Déclenchement sur temporisation. Le déclenchement sur temporisation permet de déclencher l'oscilloscope sur un événement sans attendre la fin de l'impulsion de déclenchement, après un laps de temps spécifié.



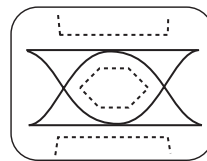
Déclenchement sur petite impulsion. Le déclenchement sur petite impulsion permet de saisir et d'examiner les impulsions qui franchissent un des seuils logiques, mais pas les deux.



Déclenchement logique. Le déclenchement logique permet de déclencher l'oscilloscope sur toute combinaison logique des voies d'entrée disponibles. Il est particulièrement utile pour vérifier le fonctionnement des systèmes numériques.



Déclenchement sur temps d'établissement et de maintien. Seul le déclenchement sur temps d'établissement et de maintien permet de piéger de façon déterministe une violation isolée des temps d'établissement et de maintien qui serait presque certainement insaisissable avec les autres modes de déclenchement. Ce mode de déclenchement facilite la saisie des détails qualitatifs et temporels particuliers d'un signal de données synchrone lorsqu'il ne satisfait pas les spécifications de temps d'établissement et de maintien.



Déclenchements sur signaux de communication. Ces modes de déclenchement offerts en option sur certains modèles d'oscilloscope répondent au besoin d'acquisition d'un large éventail de signaux de communication : AMI (alternate mark inversion, ou signaux bipolaires alternants), CMI (coded mark inversion, ou signaux à inversions codées) et NRZ (non-retour à zéro).

Position de déclenchement

La commande de position de déclenchement horizontal est disponible seulement sur les oscilloscopes numériques. La commande de position de déclenchement se situe parmi les commandes horizontales de l'oscilloscope. Elle correspond en fait à la position horizontale du déclenchement dans l'enregistrement du signal.

En faisant varier la position horizontale de déclenchement, il est possible de saisir le comportement du signal **avant** un événement de déclenchement (**visualisation de prédéclenchement**). Cette commande détermine ainsi la longueur du signal visualisable avant et après un point de déclenchement.

Les oscilloscopes numériques peuvent offrir une visualisation de prédéclenchement parce qu'ils traitent le signal d'entrée sans interruption, qu'il y ait eu un déclenchement ou pas. L'oscilloscope étant traversé par un flux de données constant, le déclenchement sert seulement à indiquer à l'instrument d'enregistrer les données en cours d'acquisition. Par contre, les oscilloscopes analogiques se contentent d'afficher le signal, c'est-à-dire de le tracer sur l'écran à tube cathodique, après que le déclenchement a eu lieu. La visualisation de prédéclenchement n'est donc pas disponible sur les oscilloscopes analogiques, à l'exception d'une faible capacité de prédéclenchement fournie par une ligne à retard dans le système vertical.

La visualisation de prédéclenchement est un précieux auxiliaire de mise au point et de dépannage. En cas de problème intermittent, elle permet de déclencher l'oscilloscope sur le problème pour enregistrer les événements qui le caractérisent et, éventuellement, en trouver la cause.

ABC des oscilloscopes

► Livret d'initiation

Niveau et pente de déclenchement

Les commandes de **niveau** et de **pente de déclenchement** fournissent la définition de base du point de déclenchement et déterminent le mode d'affichage du signal (voir figure 36).

Le circuit de déclenchement se comporte comme un comparateur. Pente et niveau correspondent au sens du comparateur et à la référence appliquée sur sa deuxième entrée.

- La commande de pente détermine si le point de déclenchement se situe sur le front montant ou descendant du signal. Un front montant a une pente positive et un front descendant une pente négative
- La commande de niveau détermine la position du point de déclenchement sur le front

Sources de déclenchement

Le balayage peut être déclenché par bien d'autres sources que le signal affiché :

- Toute voie d'entrée
- Une source externe autre que le signal appliqué à une voie d'entrée
- Le signal de la source d'alimentation
- Un signal défini automatiquement par l'oscilloscope en fonction d'une ou plusieurs voies d'entrée

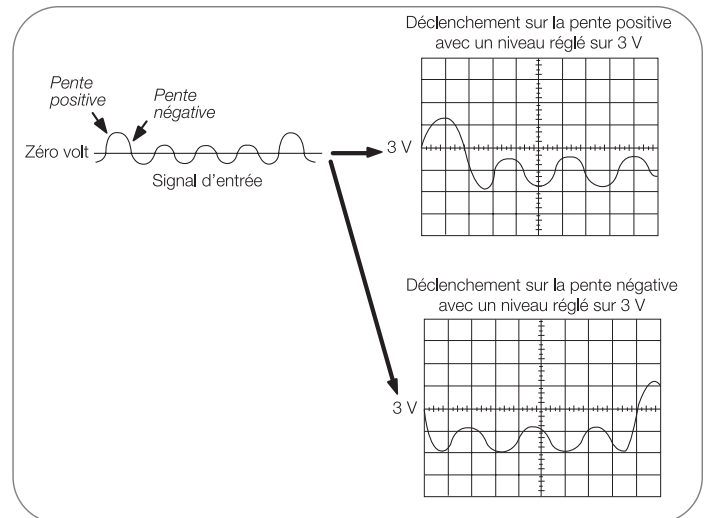
Certains oscilloscopes possèdent une sortie permettant de transmettre le signal de déclenchement à un autre instrument.

Comme l'oscilloscope peut utiliser une autre source de déclenchement, que celle-ci soit affichée ou non, il faut veiller par exemple à ne pas déclencher l'acquisition sur la voie 1 par erreur alors que la voie 2 est affichée.

Modes de déclenchement

Le **mode de déclenchement** détermine si l'oscilloscope acquiert ses données en fonction d'une condition portant sur les paramètres d'un signal. On utilise communément les modes de déclenchement **normal** et **automatique**.

En mode normal, l'oscilloscope amorce le balayage seulement si le signal d'entrée atteint le point de déclenchement établi ; sinon l'écran n'affiche pas de signal (oscilloscope analogique) ou reste figé sur le dernier signal acquis (oscilloscope numérique). Le mode normal peut être déroutant, car le signal peut être invisible au premier abord lorsque la commande de niveau n'est pas réglée convenablement.



► **Figure 36.** Déclenchement sur pentes positive et négative.

En mode automatique, l'oscilloscope balaye le signal même en l'absence de déclenchement. Lorsqu'aucun signal n'est reçu, une horloge interne assure le déclenchement du balayage, de façon à ce que l'affichage ne disparaisse pas quand le signal ne cause pas de déclenchement.

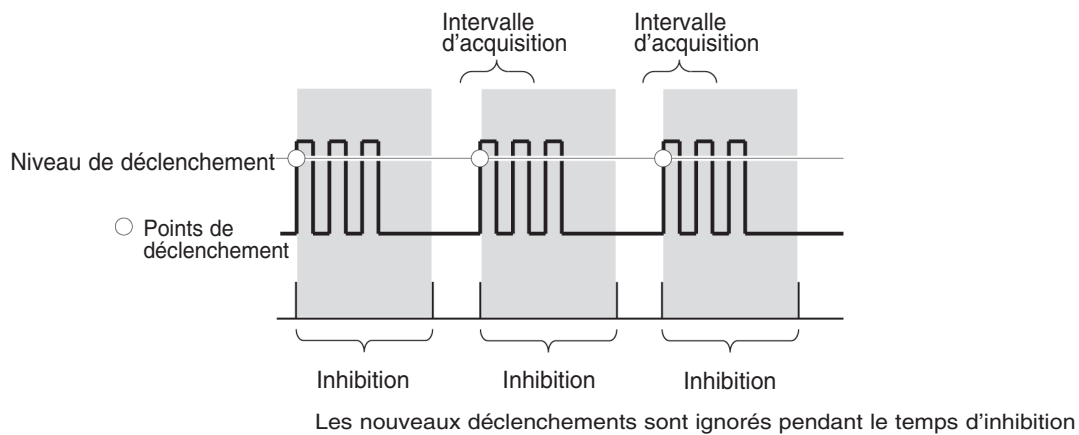
Le mode normal permet de visualiser le signal à examiner de façon continue même lorsque les déclenchements se produisent peu fréquemment. Le mode automatique nécessite moins de réglages.

Certains oscilloscopes possèdent également des modes spéciaux pour les balayages "coup unique", le déclenchement sur signaux vidéo ou le réglage automatique du niveau de déclenchement.

Couplage de déclenchement

De même qu'il est possible de choisir entre le couplage en courant alternatif et le couplage en courant continu pour le système vertical, il est possible de sélectionner le type de couplage utilisé pour le signal de déclenchement.

En plus du couplage en courant alternatif ou continu, l'oscilloscope comporte un couplage de déclenchement en réjection haute fréquence, réjection basse fréquence et réjection de bruit. Ces réglages spéciaux sont utiles pour éliminer le bruit du signal de déclenchement afin de prévenir un déclenchement intempestif.



► **Figure 37.** Inhibition du déclenchement.

Inhibition du déclenchement

Il faut parfois beaucoup d'expertise pour amener un oscilloscope à se déclencher sur la partie correcte d'un signal. Beaucoup d'oscilloscopes possèdent des fonctions spéciales pour faciliter cette tâche.

L'**inhibition** du déclenchement est une période réglable succédant à un déclenchement valide au cours de laquelle l'oscilloscope ne peut pas se déclencher de nouveau. Cette fonctionnalité est utile pour l'acquisition des formes d'onde complexes. La figure 37 montre comment l'inhibition du déclenchement aide à produire une représentation stable.

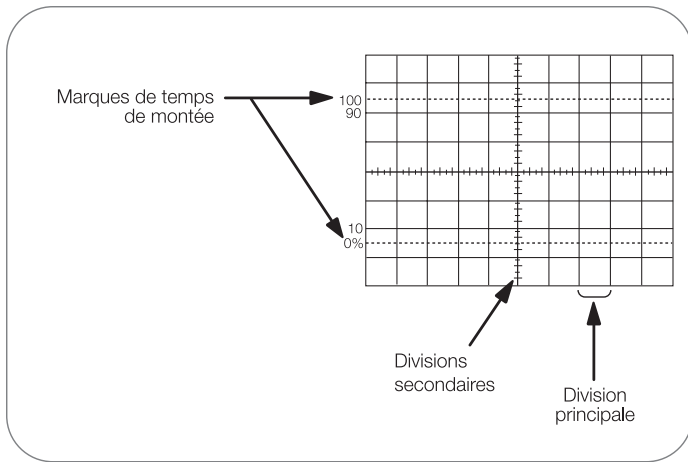
Système et commandes d'affichage

La face avant d'un oscilloscope consiste en un écran d'affichage, des boutons, des touches, des interrupteurs et des voyants servant à commander et à contrôler l'acquisition et l'affichage du signal. Comme indiqué plus haut, les commandes de la face avant se répartissent généralement en trois groupes : **Vertical**, **Horizontal** et **Déclenchement**. La face avant comprend également des connecteurs d'entrée.

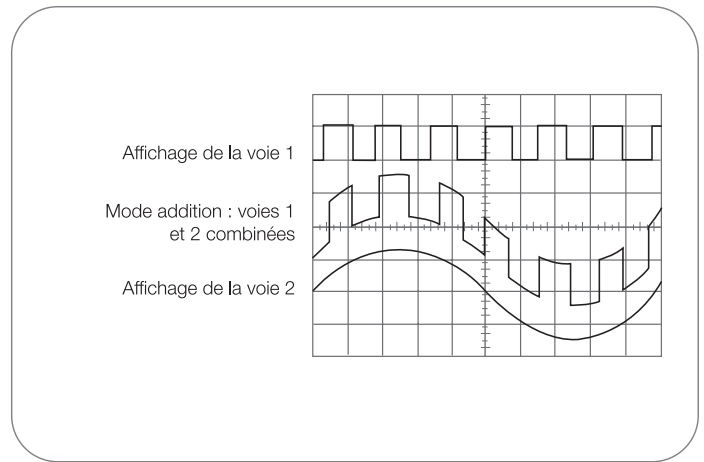
L'écran de l'oscilloscope comporte des marques formant le **réticule**. Chaque ligne verticale ou horizontale constitue une **division principale**. Le réticule forme généralement une grille de 8 divisions sur 10. Le marquage des commandes de l'oscilloscope (volts/div, sec/div, etc.) se rapporte toujours aux divisions principales. Les graduations des axes horizontal et vertical se croisant au centre du réticule (voir figure 38, à la page suivante) sont appelées divisions secondaires. Beaucoup d'oscilloscopes affichent sur l'écran le nombre de volts représenté par chaque division verticale et le nombre de secondes représenté par chaque division horizontale.

ABC des oscilloscopes

► Livret d'initiation



► **Figure 38.** Un réticule d'oscilloscope.



► **Figure 39.** Addition de voies.

Le système d'affichage varie selon que l'oscilloscope est de type analogique ou numérique. Les commandes courantes comprennent notamment les suivantes :

- Une commande d'intensité pour régler la luminosité du signal. Lorsqu'on augmente la vitesse de balayage d'un oscilloscope analogique, il faut également augmenter le niveau d'intensité.
- Une commande de focalisation pour régler la netteté du signal et une commande de rotation de tracé pour aligner le tracé du signal sur l'axe horizontal de l'écran (la position de l'oscilloscope par rapport au champ magnétique terrestre peut fausser l'alignement du signal). Ces commandes peuvent être absentes sur les oscilloscopes numériques, car ils utilisent des écrans à balayage ligne par ligne ou LCD dont l'affichage est entièrement prédéterminé, comme pour les écrans de micro-ordinateur. En revanche, les oscilloscopes analogiques utilisent un écran à balayage cavalier ou vectoriel.
- Sur les DPO et sur certains oscilloscopes à mémoire numérique, un réglage de palette de couleurs pour sélectionner les couleurs du tracé et leurs niveaux de dégradé d'intensité.
- D'autres commandes d'affichage permettent de régler l'intensité de l'éclairage du réticule et d'activer ou désactiver les éléments affichés sur l'écran, tels que les menus.

Autres commandes de l'oscilloscope

Fonctions de traitement mathématique et de mesure

L'oscilloscope peut également comporter des fonctions permettant de traiter les signaux pour en créer de nouveaux. Les oscilloscopes analogiques combinent les signaux, alors que les oscilloscopes numériques produisent de nouveaux signaux mathématiquement. Il est possible d'ajouter ou de soustraire des signaux. Sur les oscilloscopes analogiques, la soustraction peut s'effectuer en appliquant la fonction d'inversion de voie à l'un des signaux, puis en additionnant les deux voies. Les oscilloscopes numériques offrent généralement une fonction spécifique de soustraction. La figure 39 présente la création d'un nouveau signal par combinaison de deux signaux différents.

Grâce à la puissance de leurs processeurs internes, les oscilloscopes numériques offrent de nombreuses fonctions de traitement mathématique avancées : multiplication, division, intégration, transformée de Fourier rapide, etc.

Cette section a présenté les commandes de base de l'oscilloscope nécessaires au débutant. Chaque modèle d'oscilloscope peut comporter d'autres commandes et fonctions, dont les suivantes :

- Mesures paramétriques automatiques
- Curseurs de mesure
- Pavés numériques pour les opérations mathématiques ou la saisie de données
- Fonctions d'impression
- Interfaces permettant de connecter l'oscilloscope à un ordinateur ou directement à l'Internet

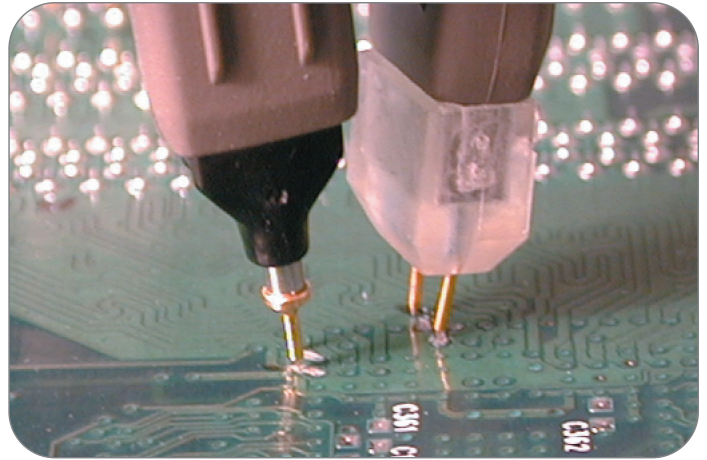
On pourra examiner les autres options disponibles sur l'oscilloscope et lire le manuel qui l'accompagne pour obtenir plus de renseignements sur ces commandes.

Pour compléter le système de mesure

Sondes

Le système de mesure doit comprendre une **sonde** qui fonctionne conjointement avec l'oscilloscope, et la précision des mesures dépend des caractéristiques de celle-ci. Une sonde bien adaptée à l'appareil testé et à l'oscilloscope permet non seulement de fournir à celui-ci un signal intact, mais également de l'amplifier et de le préserver pour obtenir un maximum d'intégrité du signal et de précision dans les mesures.

- **Pour assurer une reconstitution précise du signal, il faut choisir une sonde formant avec l'oscilloscope un système dont la bande passante est au moins cinq fois plus élevée que celle du signal.**



► **Figure 40.** La densité des circuits et des systèmes requiert des sondes de très petite dimension.

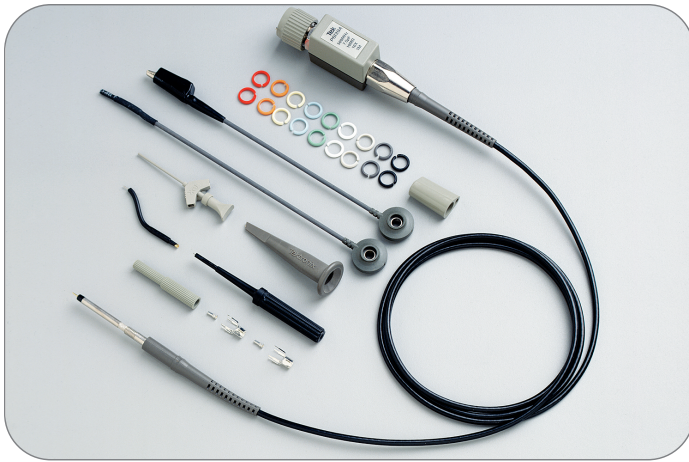
Les sondes deviennent des composants à part entière du circuit, en y introduisant une charge résistive, capacitive et inductive qui altère inévitablement la mesure. Pour que le système fournisse les résultats les plus précis possibles, la charge introduite par la sonde sélectionnée doit être minimale. Un appariement idéal entre la sonde et l'oscilloscope réduit cette charge au minimum et permet ainsi de profiter pleinement de la puissance et des fonctions de l'oscilloscope.

En sélectionnant ce lien essentiel avec l'appareil à tester, il faut également tenir compte de ses dimensions. Les sondes de petite taille permettent d'accéder plus facilement aux circuits particulièrement denses d'aujourd'hui (voir figure 40).

Les paragraphes ci-après présentent les différents types de sonde. Pour obtenir plus de renseignements sur ce composant essentiel du système de mesure, on pourra se reporter au livret d'initiation de Tektronix intitulé *The ABC of Probes (ABC des sondes)*.

ABC des oscilloscopes

► Livret d'initiation



► **Figure 41.** Une sonde passive courante avec ses accessoires.

Sondes passives

Les **sondes passives** offrent une bonne souplesse d'emploi et des capacités de mesure étendues à un prix abordable pour mesurer les niveaux de tension des signaux. L'appariement d'une sonde tension passive et d'une sonde de courant donne une puissance de mesure optimale.

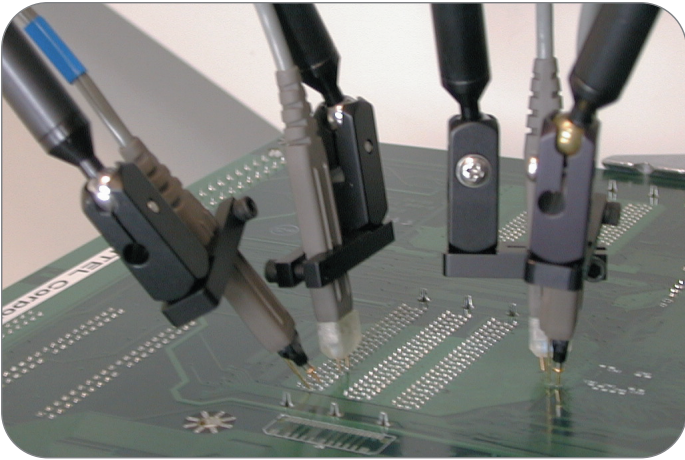
La plupart des sondes passives présentent un certain facteur d'atténuation (10X, 100X, etc.). Par convention, les facteurs d'atténuation sont indiqués en plaçant le X après le facteur (10X), tandis que les facteurs d'amplification sont indiqués en plaçant le X avant le facteur (X10).

La sonde atténuatrice 10X (facteur d'atténuation de 10) réduit la charge du circuit par comparaison avec une sonde 1X et constitue une excellente sonde passive à usage général. La charge du circuit étant plus prononcée pour les sources de signaux de fréquence ou d'impédance plus élevées, il faut veiller à analyser ces problèmes d'interactions entre signal et sonde avant de sélectionner une sonde. La sonde atténuatrice 10X améliore la précision des mesures, mais elle réduit l'amplitude du signal à l'entrée de l'oscilloscope par un facteur de 10.

A cause de cette atténuation du signal, la sonde 10X rend difficile l'observation des signaux dont l'amplitude crête-à-crête est inférieure à dix millivolts. La sonde 1X se distingue de la sonde atténuatrice 10X par l'absence de circuit d'atténuation. Sans ce dispositif, la sonde introduit plus d'interférences dans le circuit testé. Il faut donc utiliser la sonde atténuatrice 10X comme sonde à usage général, mais disposer d'une sonde 1X pour mesurer les signaux à basse vitesse et à basse amplitude. Certaines sondes possèdent une fonctionnalité particulièrement pratique permettant d'alternier entre les facteurs d'atténuation 1X et 10X en bout de sonde. Lorsqu'on utilise ce type de sonde, il faut veiller à utiliser le bon réglage avant d'effectuer les mesures.

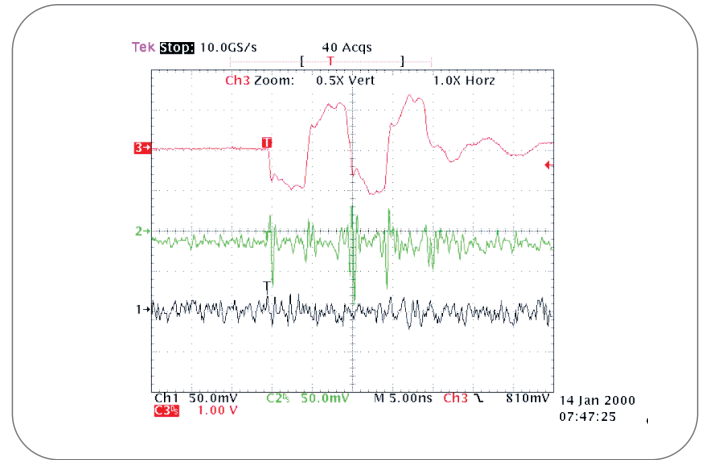
Beaucoup d'oscilloscopes détectent le facteur d'atténuation de la sonde utilisée et ajustent l'affichage en conséquence. Cependant, sur certains oscilloscopes, il faut indiquer le type de sonde utilisé ou effectuer la lecture avec le réglage correspondant de la commande volts/div (1X ou 10X).

La sonde atténuatrice 10X fonctionne en maintenant un équilibre entre ses propriétés électriques et celles de l'oscilloscope. Avant d'utiliser la sonde atténuatrice 10X, il faut ajuster cet équilibre en fonction du modèle d'oscilloscope utilisé. Ce réglage, appelé "compensation de la sonde" est présenté de façon plus détaillée à la section **Utilisation de l'oscilloscope** de ce livret d'initiation.



► **Figure 42.** Les sondes haute performance sont essentielles pour mesurer les vitesses d'horloge et de front élevées qui caractérisent les bus d'ordinateur et les lignes de transmission de données d'aujourd'hui.

Les sondes passives constituent une excellente solution à usage général. Cependant, elles ne peuvent pas mesurer les signaux avec précision lorsque les temps de montée sont extrêmement brefs et introduisent une charge excessive dans les circuits sensibles. L'augmentation constante des fréquences d'horloge et des vitesses de transition nécessite l'emploi de sondes plus rapides présentant moins d'effets de charge. Les sondes **actives** et **différentielles** haute vitesse constituent des solutions idéales pour la mesure des signaux haute vitesse ou différentiels.



► **Figure 43.** Les sondes différentielles peuvent séparer le bruit de mode commun du contenu du signal examiné dans les applications haute vitesse et basse tension d'aujourd'hui, ce qui est particulièrement important alors que le niveau des signaux numériques continue de descendre en dessous des seuils de bruit habituels des circuits intégrés.

Sondes actives et différentielles

Avec l'augmentation de la vitesse des signaux et la baisse de la tension des circuits logiques, il devient de plus en plus difficile d'obtenir des mesures précises. La fidélité des signaux et la charge des circuits sont devenues des problèmes cruciaux. Une solution de mesure complète adaptée à ces nouvelles contraintes doit comporter des sondes dont la vitesse et la fidélité sont à la hauteur des performances de l'oscilloscope (voir figure 42).

Les sondes **actives** et **différentielles** utilisent des circuits intégrés conçus spécialement pour préserver le signal pendant l'accès et la transmission à l'oscilloscope de façon à assurer son intégrité. Pour la mesure des signaux caractérisés par des temps de montée très courts, une sonde active ou différentielle haute vitesse donnera des résultats plus précis.

ABC des oscilloscopes

► Livret d'initiation



► **Figure 44.** L'interface TekConnect™ de Tektronix préserve l'intégrité du signal jusqu'à 10 GHz et au-delà pour satisfaire les besoins de mesure des signaux à large bande passante actuels et futurs.

Accessoires de sonde

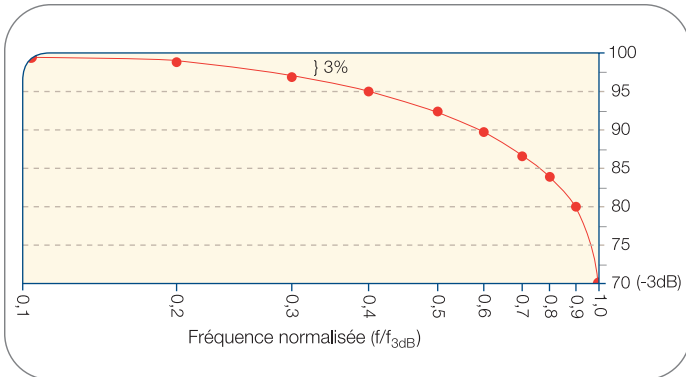
Beaucoup d'oscilloscopes actuels offrent des fonctions automatisées spéciales intégrées aux connecteurs d'entrée et de couplage de sonde. Avec les interfaces de sonde intelligentes, l'oscilloscope est informé du facteur d'atténuation de la sonde au moment de la connexion, ce qui lui permet d'en tenir compte dans les mesures et de mettre l'affichage à l'échelle correspondante. Certaines interfaces de sonde reconnaissent également le type de sonde (passive, active ou courant). L'interface sert de source d'alimentation en courant continu pour les sondes. Les sondes actives, qui possèdent leurs propres circuits tampons et amplificateurs, nécessitent ce type d'alimentation.



► **Figure 45.** Les adaptateurs SureFoot™ des séries SF200A et SF500 de Tektronix se caractérisent par un embout de faible longueur permettant d'établir une connexion fiable avec une broche particulière d'un circuit intégré.

De plus, il existe des conducteurs de masse et des embouts de sonde améliorant l'intégrité du signal pour la mesure des signaux haute vitesse. Les adaptateurs de conducteur de masse offrent une certaine souplesse d'espacement entre les connexions du conducteur de masse et de l'embout de sonde à l'appareil testé, tout en maintenant de très faibles longueurs entre l'embout et l'appareil.

Pour plus d'informations sur les accessoires de sonde, on pourra consulter le livret d'initiation Tektronix intitulé *The ABC of Probes (ABC des sondes)*.



► **Figure 46.** La bande passante de l'oscilloscope est la fréquence à laquelle un signal d'entrée sinusoïdal est atténué à 70,7 % de son amplitude vraie (point -3 dB).

Facteurs de performance

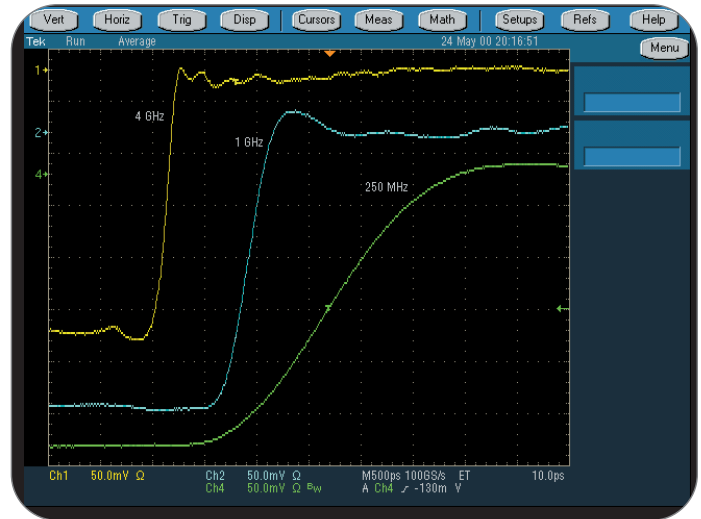
Comme indiqué plus haut, l'oscilloscope est analogue à un appareil photo qui saisit des images du signal qu'il est ensuite possible d'examiner et d'interpréter. La vitesse de l'obturateur, les conditions d'éclairage, l'ouverture et l'indice ASA de la pellicule interviennent tous dans la capacité de l'appareil à saisir une image nette et précise. Tout comme ses systèmes de base, les facteurs de performance d'un oscilloscope ont un impact considérable sur sa capacité à assurer l'intégrité du signal requise.

L'apprentissage d'un nouveau savoir-faire nécessite souvent celui d'un nouveau vocabulaire. Ceci reste vrai pour l'utilisation d'un oscilloscope. Cette section présente quelques termes de mesure et de performance utiles. Ils servent à exprimer les critères essentiels pour choisir l'oscilloscope qui convient à une application. En comprenant bien ces termes, l'utilisateur est à même d'évaluer et de comparer les différents modèles d'oscilloscope.

Bande passante

La **bande passante** détermine la capacité fondamentale d'un oscilloscope à mesurer un signal. La capacité de l'oscilloscope à afficher le signal avec précision diminue au fur et à mesure que la fréquence du signal augmente. Ce facteur indique la plage de fréquences que l'oscilloscope peut mesurer avec précision.

La bande passante nominale de l'oscilloscope est la fréquence à laquelle un signal d'entrée sinusoïdal est atténué à 70,7 % de l'amplitude vraie du signal, ou au point -3 dB sur une échelle logarithmique (voir figure 46).



► **Figure 47.** La précision de la reproduction du signal dépend directement de la bande passante de l'oscilloscope, comme l'indiquent ces représentations d'un signal saisi avec des bandes passantes de 250 MHz, 1 GHz et 4 GHz.

S'il ne possède pas une bande passante adéquate, l'oscilloscope ne peut pas détecter les variations haute fréquence : la courbe d'amplitude est déformée, les fronts disparaissent et les détails sont perdus. Si la bande passante est insuffisante, les fonctions, les options et les accessoires de l'oscilloscope sont inutiles.

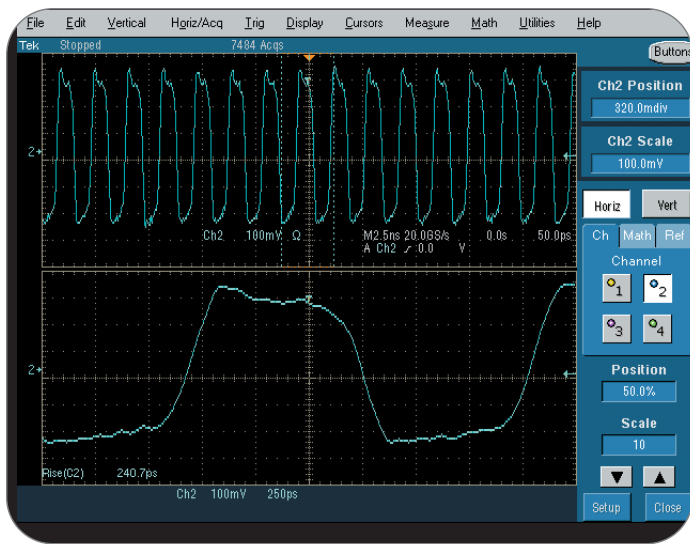
- **Règle de sélection de la bande passante**
Bande passante de l'oscilloscope requise = Composante fréquentielle maximum du signal mesuré x 5

Pour déterminer la bande passante nécessaire à l'oscilloscope afin de caractériser avec précision l'amplitude du signal, il faut multiplier par cinq la fréquence de sa composante fréquentielle la plus élevée.

Un oscilloscope sélectionné suivant cette règle donnera une erreur de mesure inférieure à $\pm 2\%$ (généralement suffisante pour les applications actuelles). Cependant, lorsque la vitesse du signal augmente, il peut ne pas être possible d'appliquer cette règle. Il faut toujours garder à l'esprit qu'une plus grande bande passante donne normalement une représentation plus précise du signal (voir figure 47).

ABC des oscilloscopes

► Livret d'initiation



► **Figure 48.** Caractérisation du temps de montée d'un signal numérique haute vitesse.

Temps de montée

Dans l'univers du numérique, les mesures de temps de montée sont cruciales. Le temps de montée est un facteur encore plus important lorsqu'il s'agit de mesurer des signaux numériques tels que les impulsions et les échelons. Le temps de montée de l'oscilloscope doit être suffisamment bref pour saisir avec précision les détails des transitions rapides.

Le **temps de montée** détermine la plage de fréquences utile d'un oscilloscope. Pour calculer le temps de montée de l'oscilloscope requis pour un type de signal, on utilise l'équation suivante :

$$\text{Temps de montée de l'oscilloscope requis} = \frac{\text{Temps de montée le plus court du signal mesuré}}{5}$$

Famille de circuits logiques	Temps de montée type du signal	Bande passante du signal (calculée)
TTL	2 ns	175 MHz
CMOS	1,5 ns	230 MHz
GTL	1 ns	350 MHz
LVDS	400 ps	875 MHz
ECL	100 ps	3,5 GHz
GaAs	40 ps	8,75 GHz

► **Figure 49.** Certaines familles de circuits logiques produisent par nature des temps de montée plus courts que d'autres.

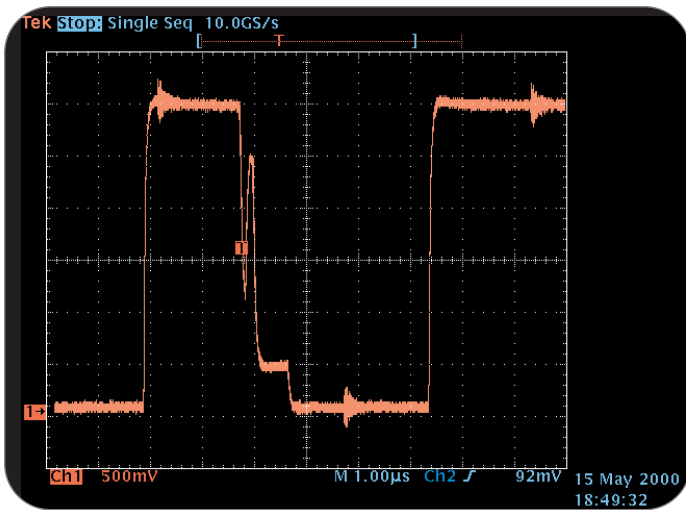
Il est à noter que cette règle de sélection du temps de montée de l'oscilloscope est similaire à celle de la bande passante. Comme dans le cas de la bande passante, il n'est pas toujours possible de respecter cette règle à cause des vitesses extrêmes atteintes par les signaux actuels. Il ne faut jamais oublier qu'un oscilloscope caractérisé par un temps de montée plus court saisira avec plus de précision les détails cruciaux des transitions rapides.

Dans certaines applications, il arrive qu'on ne connaisse que le temps de montée d'un signal. Il existe une constante liant la bande passante et le temps de montée de l'oscilloscope selon l'équation suivante :

$$\text{Bande passante} = \frac{k}{\text{Temps de montée}}$$

où k est une valeur comprise entre 0,35 et 0,45, en fonction de la forme de la courbe de réponse en fréquence de l'oscilloscope et de sa réponse au temps de montée de l'impulsion. Cette valeur est généralement de 0,35 avec les oscilloscopes de bande passante inférieure à 1 GHz, tandis qu'elle se situe entre 0,40 et 0,45 pour les oscilloscopes de bande passante supérieure à 1 GHz.

Certaines familles de circuits logiques produisent par nature des temps de montée plus courts que d'autres (voir figure 49).



► **Figure 50.** Une fréquence d'échantillonnage plus élevée offre une plus haute résolution du signal qui permet d'observer à coup sûr les événements intermittents.

Fréquence d'échantillonnage

La **fréquence d'échantillonnage**, exprimée en échantillons par seconde (éch./s), est le nombre d'instantanés (ou échantillons) du signal que l'oscilloscope numérique saisit par unité de temps ; elle est analogue à la vitesse de prise de vues d'une caméra. L'augmentation de la fréquence d'échantillonnage d'un oscilloscope augmente la résolution et le niveau de détail du signal affiché et réduit le risque de manquer des informations ou des événements cruciaux (voir figure 50). La fréquence d'échantillonnage minimum peut également constituer un facteur important lorsqu'il s'agit d'observer de façon prolongée un signal variant lentement au cours du temps. En général, la fréquence d'échantillonnage affichée varie en fonction des modifications apportées au réglage de l'échelle horizontale pour maintenir un nombre constant d'échantillons dans l'enregistrement de signal affiché.

Pour calculer la fréquence d'échantillonnage requise par une application, on utilise différentes techniques suivant le type de signaux à mesurer et la méthode de reconstitution du signal employée par l'oscilloscope.

Pour reconstituer un signal avec précision et prévenir le repliement de spectre, il faut l'échantillonner à une fréquence supérieure à deux fois sa composante fréquentielle la plus élevée (selon le théorème de Nyquist). Cette règle suppose cependant une longueur d'enregistrement infinie et un signal continu. Puisqu'aucun oscilloscope n'offre une longueur d'enregistrement infinie et que, par définition, les parasites ne sont pas continus, une fréquence d'échantillonnage égale à seulement deux fois la composante fréquentielle la plus élevée du signal est généralement insuffisante.

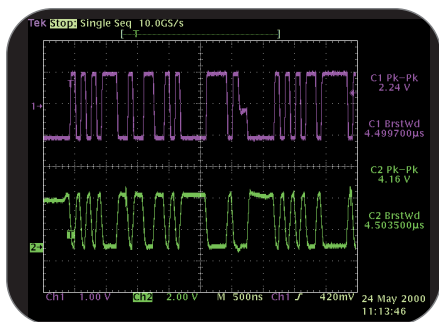
Dans la pratique, la reconstitution précise d'un signal dépend à la fois de la fréquence d'échantillonnage et de la méthode d'interpolation utilisée pour compléter le signal entre les échantillons saisis. Certains oscilloscopes permettent de choisir entre l'interpolation $\sin(x)/x$, pour mesurer les signaux sinusoïdaux, et l'interpolation linéaire, pour mesurer les autres types de signal (signaux carrés, impulsions, etc.).

- **Pour obtenir une reconstitution précise avec l'interpolation $\sin(x)/x$, la fréquence d'échantillonnage de l'oscilloscope doit être supérieure ou égale à 2,5 fois la composante fréquentielle la plus élevée du signal. Avec l'interpolation linéaire, la fréquence d'échantillonnage doit être supérieure ou égale à 10 fois la composante fréquentielle la plus élevée du signal.**

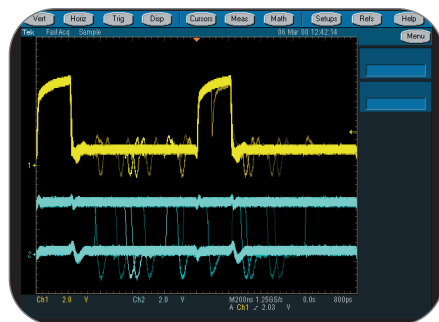
Certains systèmes de mesure caractérisés par des fréquences d'échantillonnage allant jusqu'à 20 G éch./s et des bandes passantes atteignant 4 GHz ont été optimisés pour saisir les événements très rapides, monocoup et transitoires en suréchantillonnant le signal jusqu'à cinq fois sa bande passante.

ABC des oscilloscopes

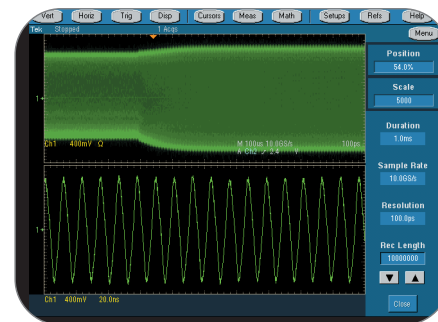
► Livret d'initiation



► **Figure 51.** L'oscilloscope à mémoire numérique constitue une solution idéale pour les applications de conception numérique multivoie faisant intervenir des signaux haute vitesse non répétitifs.



► **Figure 52.** Le DPO offre un niveau supérieur de visualisation et de compréhension du comportement du signal en apportant des vitesses de saisie considérablement plus élevées et un affichage tridimensionnel, ce qui en fait le meilleur outil polyvalent de conception, de mise au point et de dépannage pour un large éventail d'applications.



► **Figure 53.** La saisie des détails haute fréquence de cette porteuse modulée à 85 MHz requiert un échantillonnage haute résolution (100 ps), alors que la visualisation de l'intégralité de l'enveloppe de modulation du signal nécessite l'acquisition d'un segment de longue durée (1 ms). En utilisant une grande longueur d'enregistrement (10 Mo), l'oscilloscope peut afficher les deux.

Vitesse de saisie du signal

Tous les oscilloscopes battent des paupières. C'est-à-dire qu'ils ouvrent les yeux un certain nombre de fois par seconde pour saisir le signal et les ferment entre-temps. Ce nombre est la **vitesse de saisie du signal**, qui s'exprime en signaux par seconde. Alors que la fréquence d'échantillonnage indique le nombre d'échantillons de signal d'entrée acquis par unité de temps, pendant une répétition ou un cycle du signal, la vitesse de saisie du signal indique le nombre de répétitions ou de cycles du signal acquis par unité de temps.

La vitesse de saisie du signal varie considérablement suivant le type et le niveau de performance de l'oscilloscope. Les oscilloscopes caractérisés par une grande vitesse de saisie du signal apportent beaucoup plus d'informations visuelles sur le comportement du signal et augmentent largement la probabilité de saisir en peu de temps les anomalies transitoires telles que la gigue, les petites impulsions, les parasites et les erreurs de transition (voir figures 51 et 52).

L'architecture de traitement en série des oscilloscopes à mémoire numérique leur permet de saisir de 10 à 5 000 signaux par seconde. Certains de ces oscilloscopes offrent un mode spécial qui saisit très rapidement un très grand nombre d'enregistrements successifs dans une mémoire d'acquisition de taille importante permettant momentanément une augmentation de la vitesse de saisie du signal. Chaque acquisition est alors suivie d'un temps mort important nécessaire au traitement des signaux acquis, ce qui réduit la probabilité de saisie des événements rares et intermittents.

La plupart des oscilloscopes à phosphore numérique (DPO) utilisent une architecture de traitement en parallèle pour fournir une vitesse de saisie du signal infiniment plus élevée. Certains peuvent acquérir des millions de signaux en quelques secondes, ce qui augmente considérablement la probabilité de saisie des événements aléatoires, et permet de visualiser plus rapidement les défauts du signal. Qui plus est, la capacité des DPO à acquérir et afficher en temps réel trois dimensions du signal (amplitude, temps et distribution de l'amplitude dans le temps) permet de mieux observer et comprendre le comportement de ce dernier.

Longueur d'enregistrement

La **longueur d'enregistrement** est le nombre de points composant un enregistrement de signal complet. Elle détermine la quantité de données pouvant être saisie sur chaque voie. L'oscilloscope ne pouvant enregistrer qu'un nombre limité d'échantillons, la durée du signal enregistré sera inversement proportionnelle à la fréquence d'échantillonnage de l'oscilloscope.

$$\text{Intervalle de temps} = \frac{\text{Longueur d'enregistrement}}{\text{Fréquence d'échantillonnage}}$$

Les oscilloscopes modernes permettent de sélectionner la longueur d'enregistrement pour optimiser le niveau de détails en fonction de l'application. L'analyse d'un signal sinusoïdal extrêmement stable peut nécessiter seulement une longueur d'enregistrement de 500 points, mais la recherche des causes des anomalies temporelles dans un flux de données numériques complexes peut nécessiter plus d'un million de points pour une longueur d'enregistrement donnée.

Capacités de déclenchement

La fonction de **déclenchement** d'un oscilloscope synchronise le balayage horizontal par rapport au point spécifié du signal ; elle est essentielle pour caractériser le signal. Les commandes de déclenchement permettent de stabiliser les signaux répétitifs et de saisir les signaux monocoup.

Pour obtenir un complément d'informations sur les capacités de déclenchement, on pourra se reporter à la section **Déclenchement**, sous **Facteurs de performance**.

Bits effectifs

Les **bits effectifs** constituent une mesure de la capacité d'un oscilloscope numérique à reconstituer avec précision la forme d'un signal sinusoïdal. Cette mesure compare l'erreur effective de l'oscilloscope à celle d'un numériseur "idéal" théorique. Les erreurs réelles incluant le bruit et la distorsion, il est nécessaire de spécifier la fréquence et l'amplitude du signal d'entrée.

Réponse en fréquence

La bande passante seule ne suffit pas à assurer qu'un oscilloscope est capable de saisir un signal haute fréquence avec précision. La conception des oscilloscopes vise à obtenir un type particulier de réponse en fréquence appelé **temps de propagation de groupe à uniformité maximale (Maximally Flat Envelope Delay ou MFED)**. Une réponse en fréquence de ce type offre une restitution hautement fidèle des impulsions avec un minimum d'oscillation et de suroscillation. L'oscilloscope numérique étant composé d'amplificateurs, d'atténuateurs, de CAN, d'interconnexions et de relais véritables, la réponse MFED est un but théorique qu'on peut seulement approcher. La fidélité des impulsions varie considérablement en fonction du modèle et du fabricant (la figure 46 illustre ce concept).

Sensibilité verticale

La **sensibilité verticale** indique la capacité de l'amplificateur vertical à amplifier un signal faible. Elle se mesure généralement en millivolts (mV) par division. La plus petite tension détectée par un oscilloscope à usage général se situe habituellement aux alentours de 1 mV par division verticale de l'écran.

Vitesse de balayage

La **vitesse de balayage** indique la rapidité avec laquelle le tracé peut parcourir l'écran de l'oscilloscope pour permettre à l'utilisateur de voir les détails fins du signal. Elle s'exprime en secondes par division.

Précision du gain

La **précision du gain** indique avec quelle précision le système vertical atténue ou amplifie un signal. Elle s'exprime habituellement en pourcentage d'erreur.

Précision horizontale (base de temps)

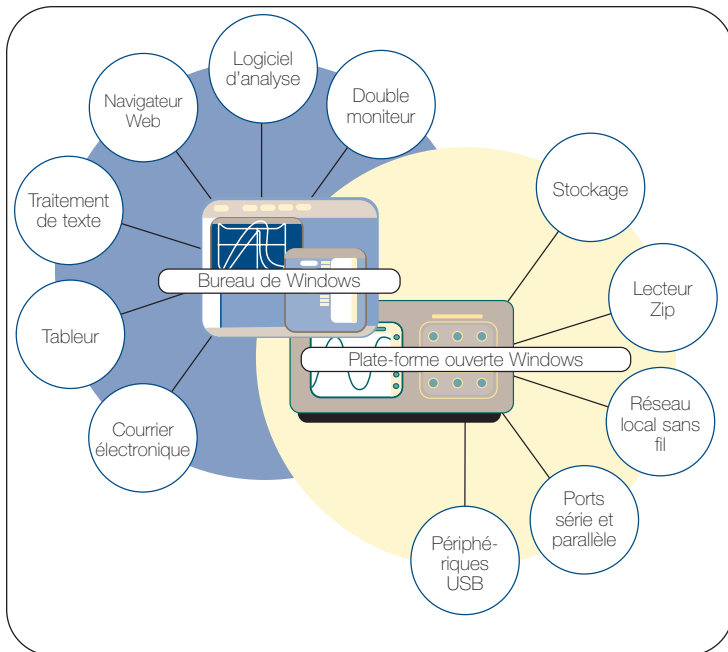
La précision **horizontale**, ou précision de la **base de temps**, indique avec quelle précision le système horizontal affiche la position temporelle du signal. Elle s'exprime habituellement en pourcentage d'erreur.

Résolution verticale (convertisseur analogique-numérique)

La résolution verticale du CAN, et donc de l'oscilloscope numérique, indique avec quelle finesse il peut convertir les tensions du signal d'entrée en valeurs numériques. La résolution verticale se mesure en bits. Certaines techniques de calcul permettent d'améliorer la résolution effective, comme dans le cas du mode d'acquisition haute résolution. On pourra se reporter à la section **Commandes du système horizontal**, sous **Systèmes et commandes d'un oscilloscope**.

ABC des oscilloscopes

► Livret d'initiation



► **Figure 54.** L'oscilloscope TDS7000 assure la connexion de l'équipement et la communication entre les utilisateurs pour économiser du temps et augmenter la productivité globale du groupe.

Connectivité

Le besoin d'analyser les résultats de mesure demeure essentiel. Celui de produire des documents et de partager l'information et les résultats de mesure facilement et fréquemment sur des réseaux de communication haute vitesse prend de plus en plus d'importance.

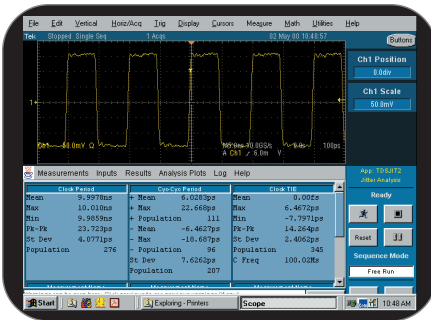
La connectivité d'un oscilloscope ouvre des possibilités d'analyse avancée et simplifie la production de documents et le partage des résultats. Des interfaces standard (GPIB, RS-232, USB, Ethernet) et des modules de communication réseau permettent à certains oscilloscopes d'offrir un large éventail de fonctions et de commandes.



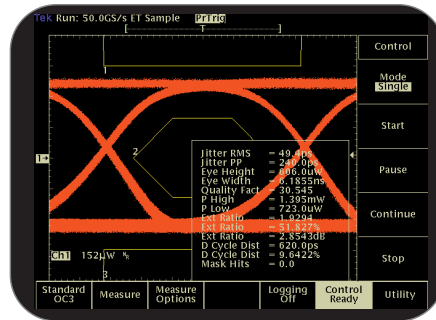
► **Figure 55.** L'oscilloscope TDS3000 offre toute une gamme d'interfaces de communication : port parallèle Centronics standard, et modules Ethernet/RS-232, GPIB/RS-232 et VGA/RS-232 optionnels.

Avec certains oscilloscopes haut de gamme, l'utilisateur peut également :

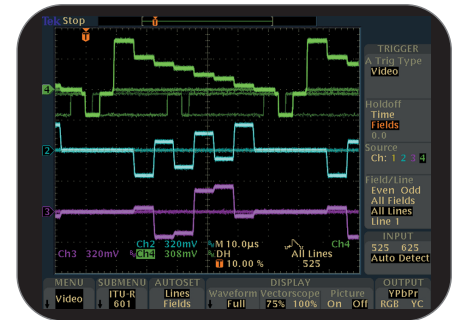
- Créer, modifier et partager des documents sur l'oscilloscope tout en travaillant avec l'instrument dans son propre environnement ;
- Accéder aux moyens d'impression et de partage de fichier d'un réseau ;
- Accéder au bureau de Windows® ;
- Exécuter les logiciels d'analyse et de documentation d'autres fournisseurs ;
- Se connecter aux réseaux ;
- Accéder à l'Internet ;
- Envoyer et recevoir des messages électroniques.



▶ **Figure 56.** Le progiciel optionnel TDSJIT2 pour les oscilloscopes de la série TDS7000 est conçu spécialement pour répondre aux besoins de mesure de gigue des concepteurs de systèmes numériques haute vitesse d'aujourd'hui.



▶ **Figure 57.** Lorsqu'il est équipé du module d'application TDSCEM1, un oscilloscope de la série TDS7000 permet d'effectuer des tests de masque de communication.



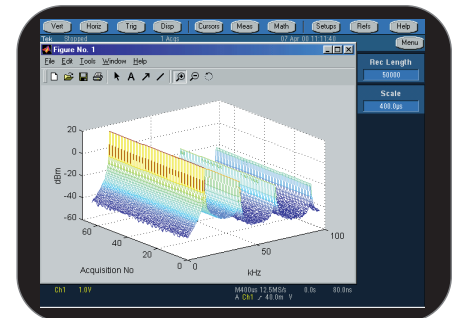
▶ **Figure 58.** Le module vidéo TDS3SDI transforme un oscilloscope de la série TDS3000 en outil de mise au point et dépannage vidéo rapide et complet.

Extensibilité

Un oscilloscope doit pouvoir s'adapter aux besoins de l'utilisateur et à leur évolution. Avec certains oscilloscopes, l'utilisateur peut :

- ▶ Ajouter de la mémoire aux voies pour analyser de plus grandes longueurs d'enregistrement ;
- ▶ Ajouter des fonctions de mesure propres à une application ;
- ▶ Compléter la puissance de l'oscilloscope par un large éventail de sondes et de modules ;
- ▶ Utiliser les applications d'analyse et de productivité pour Windows d'autres fournisseurs ;
- ▶ Ajouter des accessoires (batteries, kits de montage en baie, etc.).

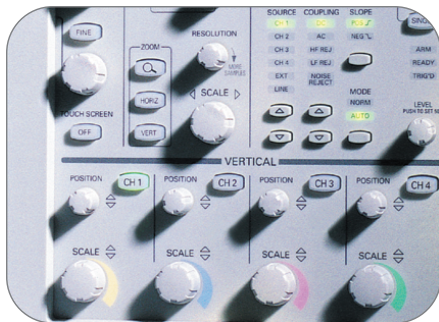
Des modules d'application et des logiciels permettent de transformer l'oscilloscope en outil d'analyse hautement spécialisé capable d'exécuter des fonctions telles que l'analyse de gigue, l'analyse temporelle, la vérification de sous-ensemble mémoire de microprocesseur, les tests de conformité aux normes de communication, les mesures d'unités de disque dur, les mesures vidéo, les mesures de puissance, etc.



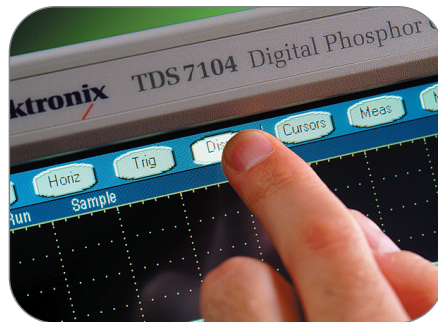
▶ **Figure 59.** Les logiciels de productivité et d'analyse avancée tels que MATLAB® peuvent s'installer sur l'oscilloscope TDS7000 pour exécuter l'analyse du signal directement sur l'instrument.

ABC des oscilloscopes

► Livret d'initiation



► **Figure 60.** Des boutons de type analogique traditionnels permettent de régler la position, l'échelle, l'intensité et d'autres paramètres.



► **Figure 61.** L'écran tactile résout naturellement le problème de l'encombrement des tables et des chariots tout en donnant accès à des boutons écran faciles à distinguer.



► **Figure 62.** Les fenêtres de commande graphiques permettent d'accéder aux fonctions les plus sophistiquées avec assurance et facilité.

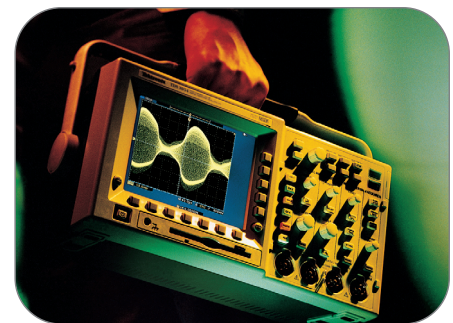
Convivialité

Pour aider l'utilisateur à obtenir un maximum d'efficacité et de productivité, les oscilloscopes doivent être conviviaux. De même qu'il existe plusieurs types d'automobilistes, il n'existe pas d'utilisateur d'oscilloscope type. Certains utilisent depuis très longtemps les instruments traditionnels, tandis que d'autres ont grandi à l'époque de Windows® et d'Internet. La satisfaction d'une population d'utilisateurs si diverse exige une grande souplesse dans le mode d'utilisation.

Baucoup d'oscilloscopes parviennent à concilier performance et simplicité en offrant à l'utilisateur plusieurs modes d'utilisation. Les boutons de la face avant fournissent des commandes réservées aux réglages verticaux et horizontaux et aux commandes de déclenchement. Une interface utilisateur graphique utilisant de nombreuses icônes aide à comprendre et à utiliser intuitivement les fonctions avancées de l'instrument. L'écran tactile résout le problème de l'encombrement des tables et chariots tout en donnant accès à des boutons écran faciles à distinguer. L'aide en ligne offre un manuel de référence intégré particulièrement commode. Cette intuitivité de l'interface permet même à l'utilisateur occasionnel de se sentir aussi à l'aise aux commandes de l'oscilloscope qu'au volant de sa voiture, tandis qu'elle offre aux utilisateurs chevronnés un accès facile aux fonctions les plus évoluées de l'instrument. Qui plus est, il existe de nombreux oscilloscopes portatifs fonctionnant efficacement dans une grande variété d'environnements, au laboratoire comme sur le terrain.

Sondes

La sonde est un composant essentiel du système de mesure qui doit assurer l'intégrité du signal et permettre à l'utilisateur de profiter pleinement de la puissance et des performances de l'oscilloscope. Pour obtenir plus de renseignements à ce sujet, on pourra se reporter à la section **Pour compléter le système de mesure**, sous **Systèmes et commandes de l'oscilloscope**, ou au livret d'initiation de Tektronix intitulé *The ABC of Probes (ABC des sondes)*.



► **Figure 63.** La portabilité de certains oscilloscopes permet de les utiliser efficacement dans un grand nombre d'environnements.

Utilisation de l'oscilloscope

Installation et configuration

Cette section présente sommairement la façon de configurer l'oscilloscope avant l'emploi, notamment de le mettre à la terre, d'initialiser les réglages et de compenser la sonde.

La mise à la terre est une étape importante de l'installation de l'instrument qu'il faut accomplir correctement avant de commencer à effectuer des mesures ou analyser un circuit. La mise à la terre de l'oscilloscope protège l'utilisateur contre les chocs électriques dangereux, tandis que celle de l'utilisateur lui-même protège les circuits contre les dommages.

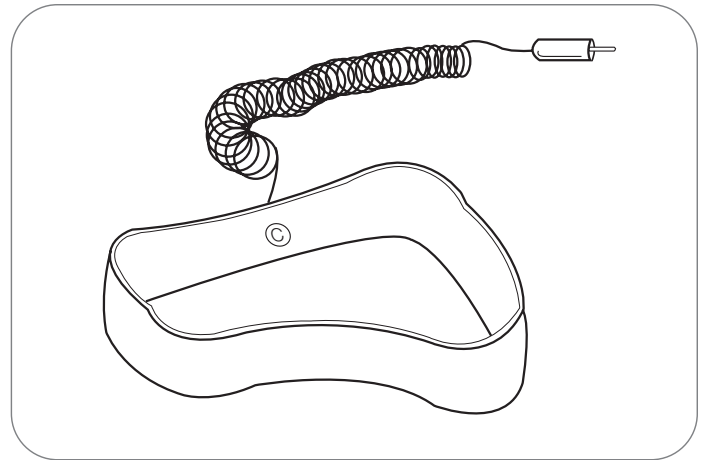
Mise à la terre de l'oscilloscope

La mise à la terre de l'oscilloscope consiste à le raccorder à un point de référence électriquement neutre tel qu'une prise de terre. Pour mettre l'oscilloscope à la terre, il suffit de brancher son cordon d'alimentation à trois fils sur une prise de courant avec mise à la terre.

La mise à la terre de l'oscilloscope est une mesure de sécurité indispensable. Si un courant de tension élevée est transmis au boîtier d'un oscilloscope sans mise à la terre, tous les éléments de ce boîtier, y compris les boutons qui semblent isolés, peuvent donner un choc électrique. En revanche, lorsque l'oscilloscope est mis à la terre correctement, ce courant s'échappe vers la terre par le conducteur prévu à cet effet plutôt que par le corps de l'utilisateur.

La mise à la terre est également nécessaire pour assurer la précision des mesures effectuées avec l'oscilloscope. Les circuits à tester et l'oscilloscope doivent partager une mise à la terre commune.

Certains oscilloscopes ne nécessitent pas de raccordement à une prise de terre, car leurs boîtiers et leurs commandes sont isolés de façon à protéger l'utilisateur contre les chocs électriques.



▶ **Figure 64.** Bracelet de mise à la terre.

Mise à la terre de l'utilisateur

Pour travailler sur des circuits intégrés, l'utilisateur doit également se mettre à la terre. Les circuits intégrés comportent des voies de conduction de très petite taille pouvant être endommagées par l'électricité statique accumulée dans le corps de l'utilisateur. Ce dernier risque de détériorer irrémédiablement un circuit intégré coûteux simplement en marchant sur de la moquette ou en enlevant son pull-over avant de toucher les contacts du composant. Pour prévenir cela, l'utilisateur doit porter un bracelet de mise à la terre (voir figure 64). Cet accessoire évacue la charge statique du corps vers la terre.

ABC des oscilloscopes

► Livret d'initiation

Réglages

Après avoir branché l'oscilloscope, il faut régler les commandes de la face avant. Comme indiqué plus haut, la face avant comprend habituellement trois blocs de commandes principaux marqués Vertical, Horizontal et Déclenchement. Elle peut également comporter d'autres blocs suivant le modèle et le type d'oscilloscope (analogique ou numérique).

Il faut ensuite repérer les connecteurs d'entrée de l'oscilloscope pour y raccorder les sondes. La plupart des oscilloscopes comptent au moins deux voies d'entrée pouvant chacune afficher un signal sur l'écran. Les instruments multivoies sont utiles pour comparer les signaux.

Certains oscilloscopes possèdent des boutons de réglage automatique (AUTOSET) ou de réglage par défaut (DEFAULT) permettant d'adapter les paramètres au signal en une seule étape. Lorsque l'oscilloscope ne possède pas cette fonctionnalité, il est utile de régler les commandes sur les positions de base avant d'effectuer les mesures.

Pour régler l'oscilloscope sur les positions de base, il faut suivre les étapes suivantes :

- Sélectionner l'affichage de la voie 1 ;
- Mettre les commandes de position et d'échelle verticales (volts/division) en position médiane ;
- Désactiver la commande de variation des volts par division ;
- Désactiver tous les réglages d'agrandissement ;
- Mettre le couplage d'entrée de la voie 1 sur C.C. ;
- Mettre l'instrument en mode de déclenchement automatique ;
- Régler la source de déclenchement sur la voie 1 ;
- Désactiver ou baisser à fond l'inhibition du déclenchement ;
- Régler la commande d'intensité (le cas échéant) sur un niveau de visualisation nominal ;
- Régler la commande de focalisation (le cas échéant) de façon à obtenir un affichage net ;
- Mettre les commandes de position et d'échelle horizontales (temps/division) en position médiane.

On consultera le manuel de l'oscilloscope pour obtenir des procédures plus détaillées. La section **Systèmes et commandes de l'oscilloscope** de ce livret d'initiation présente les commandes de l'oscilloscope de façon plus approfondie.

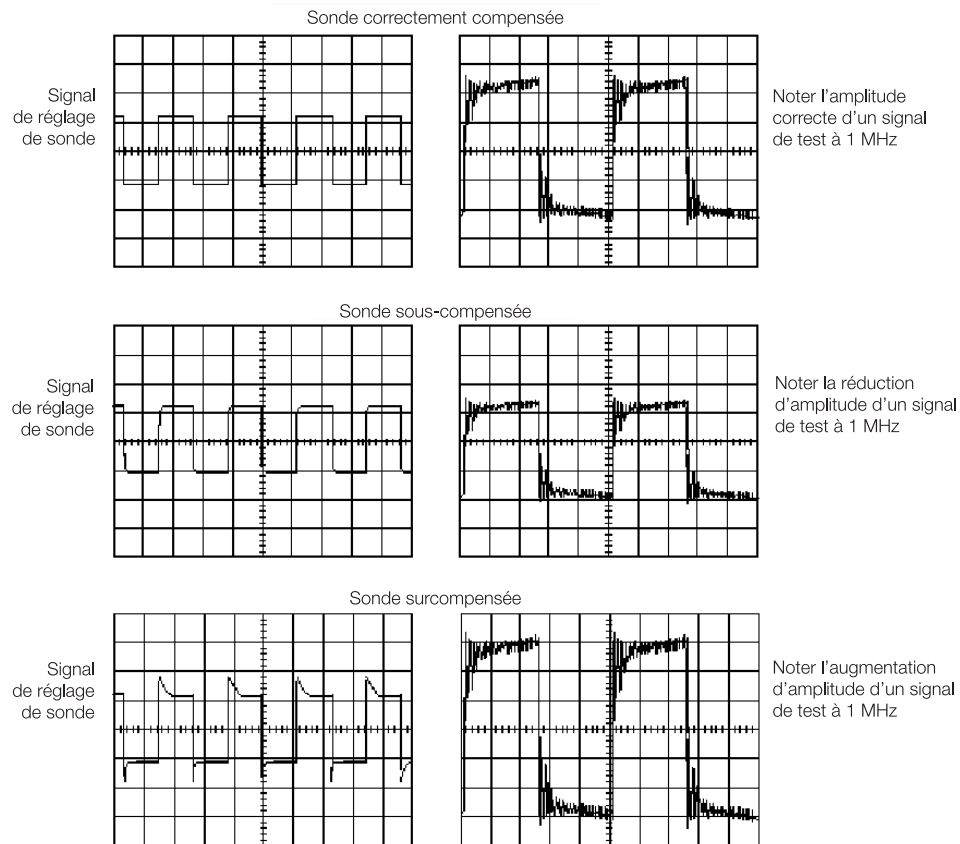
Emploi des sondes

L'oscilloscope est alors prêt au branchement d'une sonde. Une sonde bien adaptée à l'oscilloscope permettra de profiter pleinement de sa puissance et de ses performances en assurant l'intégrité du signal mesuré.

Pour obtenir plus de renseignements à ce sujet, on pourra se reporter à la section **Pour compléter le système de mesure** sous **Systèmes et commandes de l'oscilloscope** ou au livret d'initiation de Tektronix intitulé *ABC des sondes*.

Branchement de l'attache de terre

La mesure d'un signal nécessite deux connexions : celle du bout de sonde et la mise à la terre. Les sondes comportent une attache à pince crocodile destinée à être raccordée à la masse du circuit testé. Dans la pratique, on fixe cette attache de terre à un conducteur de masse connu du circuit, tel que le châssis métallique d'un amplificateur audio à réparer, avant de mettre le bout de la sonde en contact avec un point de test du circuit.



► **Figure 65.** Effets d'une mauvaise compensation de la sonde.

Compensation de la sonde

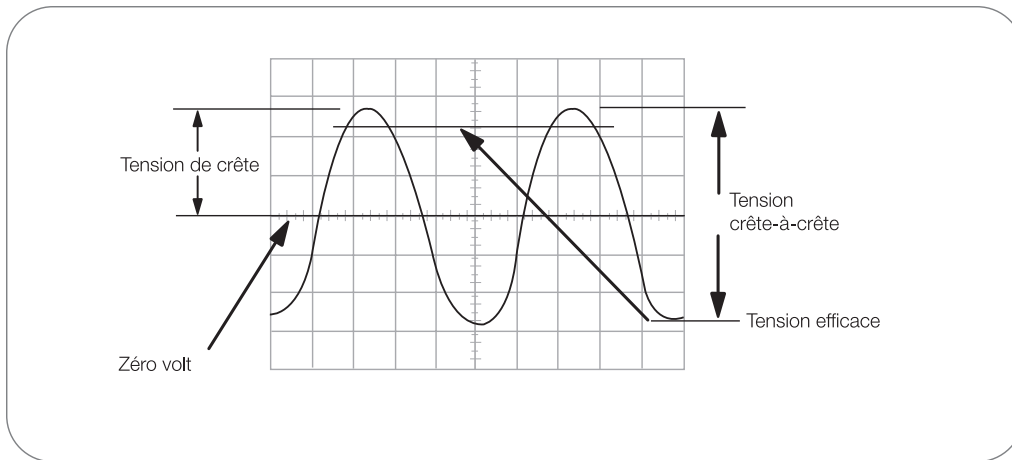
Les sondes de tension à atténuation passive doivent être compensées en fonction de l'oscilloscope. Avant d'utiliser une sonde passive, il est nécessaire de la compenser, c'est-à-dire d'harmoniser ses propriétés électriques avec celles de l'oscilloscope utilisé. Il faut prendre l'habitude de compenser la sonde à chaque fois que l'on se prépare à utiliser l'oscilloscope. Une sonde mal réglée peut fausser les mesures. La figure 65 montre les effets d'une sonde mal compensée sur l'acquisition d'un signal de test à 1 MHz.

La face avant de la plupart des oscilloscopes comporte un connecteur de sortie fournissant un signal de référence carré pour compenser la sonde. La compensation de la sonde s'effectue selon les étapes suivantes :

- Raccorder la sonde à une voie verticale ;
- Connecter le bout de la sonde à la sortie de compensation fournissant le signal de référence carré ;
- Raccorder l'attache de terre de la sonde à la terre ;
- Visualiser le signal de référence carré ;
- Régler la sonde de façon à ce que les coins du signal carré soient à angles droits.

ABC des oscilloscopes

► Livret d'initiation



► **Figure 66.** Tension de crête (V_c) et tension crête-à-crête (V_{c-c}).

La sonde à compenser doit toujours être équipée de tous les embouts et accessoires qui seront utilisés et être connectée à la voie verticale sur laquelle elle sera utilisée. Ceci permet d'assurer que l'ensemble de mesures aura les mêmes caractéristiques électriques au moment où les mesures seront effectuées.

Techniques de mesure

Cette section présente les techniques de mesure de base. Les deux plus élémentaires sont les mesures de tension et de temps. Presque toutes les autres mesures sont basées sur ces deux techniques fondamentales.

Les techniques présentées ci-après servent à effectuer des mesures visuelles sur l'écran de l'oscilloscope. Il s'agit d'une pratique courante avec les instruments analogiques, qui peut aussi s'avérer utile pour interpréter "d'un coup d'oeil" les écrans des oscilloscopes numériques.

Il est à noter que la plupart des oscilloscopes numériques comportent des outils de mesure automatique. Une bonne maîtrise des techniques de mesure manuelles présentées ici aidera l'utilisateur à comprendre et à vérifier les mesures automatiques des oscilloscopes numériques. Les mesures automatiques sont présentées plus loin dans cette section.

Mesures de tension

La **tension** est la différence de potentiel électrique, exprimée en volts, entre deux points d'un circuit. En général, un de ces points correspond à la masse (dont le potentiel est de zéro volt), mais ce n'est pas toujours le cas. Il peut s'avérer utile de mesurer la tension entre les points maximum et minimum d'un signal, appelée tension crête-à-crête.

L'oscilloscope est essentiellement un instrument de mesure de tension. Une fois que la tension a été mesurée, les autres grandeurs peuvent être obtenues par le calcul. Par exemple, la loi d'Ohm stipule que la tension entre deux points d'un circuit est égale au produit de l'intensité par la résistance. Lorsqu'on connaît la valeur de deux de ces grandeurs, on peut donc calculer la troisième par la formule suivante :

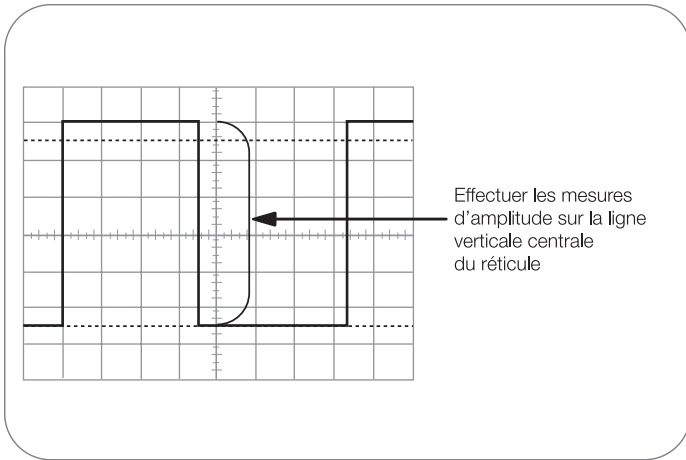
► **Tension = Intensité x Résistance**

$$\text{Intensité} = \frac{\text{Tension}}{\text{Résistance}}$$

$$\text{Résistance} = \frac{\text{Tension}}{\text{Intensité}}$$

Calcul de la puissance : Puissance = Tension x Intensité

Il est également commode de connaître la formule de calcul de la puissance : la puissance d'un signal en courant continu est égale au produit de la tension par l'intensité. Les calculs sont plus complexes pour les signaux en courant alternatif, mais ici l'important est de noter que la mesure de la tension est la première étape dans le calcul des autres grandeurs. La figure 70 montre la mesure d'une tension de crête (V_c) et d'une tension crête-à-crête (V_{c-c}).



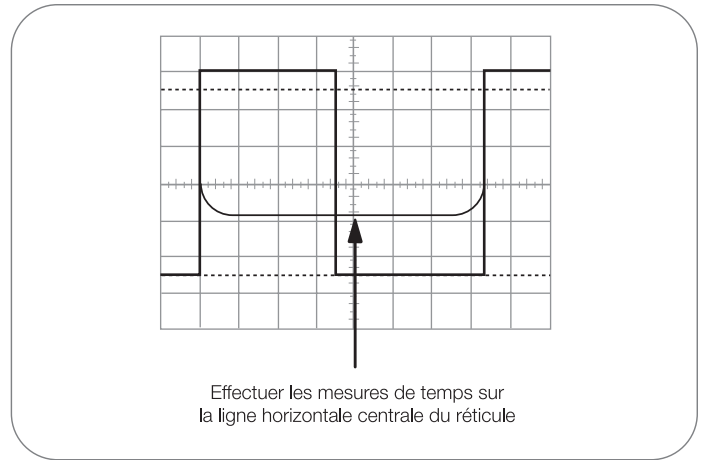
► **Figure 67.** Mesure de la tension sur la ligne verticale centrale du réticule.

La plus simple des méthodes de mesure de tension consiste à compter le nombre de divisions correspondant à la hauteur du signal sur l'échelle verticale de l'oscilloscope. Les meilleures mesures de tension s'obtiennent en réglant l'échelle verticale du signal de façon à ce qu'il couvre presque toute la hauteur de l'écran (voir figure 67). L'utilisation d'une plus grande surface d'écran permet d'effectuer des mesures visuelles plus précises.

Baucoup d'oscilloscopes affichent sur l'écran des **curseurs** permettant de mesurer les signaux automatiquement, sans avoir à compter les graduations du réticule. Ces curseurs sont simplement des lignes que l'utilisateur positionne sur l'écran. Deux curseurs horizontaux peuvent être déplacés vers le haut et vers le bas pour encadrer l'amplitude d'un signal afin de mesurer sa tension, tandis que deux curseurs verticaux peuvent être déplacés vers la droite et vers la gauche pour les mesures de temps. Les valeurs de tension et de temps correspondant à leurs positions s'affichent sur l'écran.

Mesures de temps et de fréquence

L'échelle horizontale de l'oscilloscope permet d'effectuer des mesures temporelles, notamment de période et de largeur d'impulsion. La fréquence est l'inverse de la période. Il suffit donc de mesurer la période et de diviser le nombre un par la valeur obtenue pour obtenir celle de la fréquence. Comme les mesures de tension, les mesures de temps sont plus précises lorsqu'on règle l'affichage de la portion du signal à mesurer de façon à couvrir une grande partie de l'écran (voir figure 68).



► **Figure 68.** Mesure du temps sur la ligne horizontale centrale du réticule.

Mesures de temps de montée et de largeur d'impulsion

Dans beaucoup d'applications, les détails de la forme d'une impulsion sont importants. Les impulsions peuvent être déformées et causer le mauvais fonctionnement d'un circuit numérique, et les caractéristiques temporelles des impulsions d'un train d'impulsions jouent souvent un rôle important.

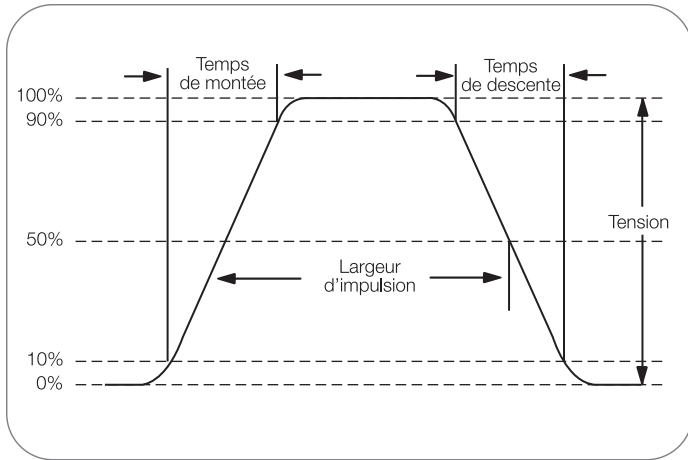
Les mesures d'impulsions essentielles sont la **largeur d'impulsion** et le **temps de montée de l'impulsion**. Le **temps de montée** est le temps pris par une impulsion pour passer d'une tension basse à une tension haute. Par convention, le temps de montée se mesure entre les points situés à 10 et 90 % de l'amplitude de l'impulsion. Ceci élimine les irrégularités aux extrémités des transitions de l'impulsion. La largeur d'impulsion est le temps pris par l'impulsion pour effectuer sa montée et redescendre à son niveau initial. Par convention, elle se mesure à 50 % de la tension maximum de l'impulsion. La figure 69 (page suivante) présente ces points de mesure.

Les mesures d'impulsion nécessitent souvent un réglage fin du déclenchement. Pour devenir expert dans l'art de saisir des impulsions, il faut apprendre à utiliser l'inhibition du déclenchement et à régler l'oscilloscope numérique pour saisir des données de prédéclenchement, comme indiqué dans la section **Systèmes et commandes d'un oscilloscope**.

L'agrandissement horizontal est également utile pour la mesure des impulsions, car il permet d'examiner les détails fins d'une impulsion rapide.

ABC des oscilloscopes

► Livret d'initiation

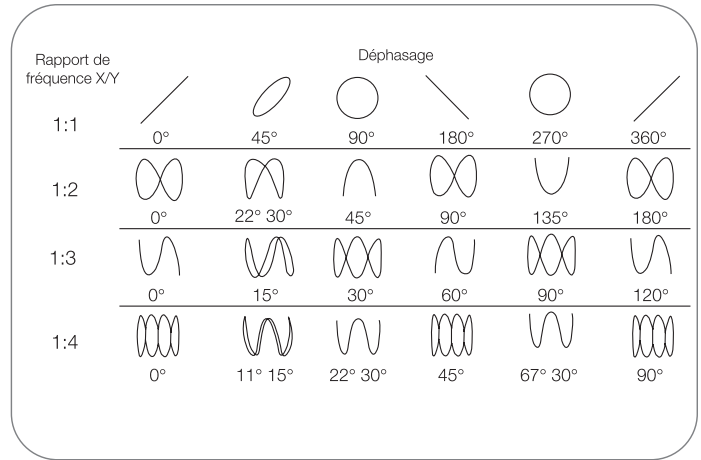


► **Figure 69.** Points de mesure du temps de montée et de la largeur d'impulsion.

Mesures de déphasage

Le déphasage – c'est-à-dire le décalage temporel entre deux signaux périodiques et souvent identiques – peut se mesurer en utilisant le mode XY. Cette technique de mesure consiste à faire entrer un signal dans le système vertical comme de coutume, puis d'en faire entrer un autre dans le système horizontal. Ce mode est appelé XY parce que les axes X et Y représentent tous deux des tensions. Le signal résultant de ce dispositif est appelé courbe de Lissajous (du nom du physicien français Jules Antoine Lissajous). La forme de cette courbe permet d'observer la différence de phase entre les deux signaux, ainsi que leur rapport de fréquence. La figure 70 présente des courbes de Lissajous pour différents déphasages et rapports de fréquence.

La technique de mesure XY provient des oscilloscopes analogiques. Les oscilloscopes à mémoire numérique peuvent avoir du mal à créer des écrans XY en temps réel. Certains oscilloscopes à mémoire numérique créent une image XY en accumulant des points de données déclenchés au cours du temps, puis en affichant deux voies sous forme d'écran XY.



► **Figure 70.** Courbes de Lissajous.

En revanche, les DPO sont capables d'acquérir et d'afficher une véritable image XY en temps réel, à partir d'un flux continu de données numérisées. Ils peuvent également afficher une image XYZ en intensifiant certaines zones de l'écran. A la différence des écrans équipant les oscilloscopes numériques, ceux des oscilloscopes analogiques ont généralement une limite de bande passante de quelques mégahertz.

Autres techniques de mesure

Cette section a présenté les techniques de mesure essentielles. Il existe d'autres techniques de mesure nécessitant la configuration de l'oscilloscope pour tester des composants électriques sur une chaîne de montage, saisir des signaux transitoires éphémères, etc. Les techniques de mesure utilisées varient suivant l'application, mais ce livret d'initiation apporte suffisamment d'informations pour démarrer. Le lecteur pourra s'exercer directement sur l'oscilloscope et lire la documentation de celui-ci pour que son emploi lui devienne naturel.

Exercices

Cette section contient des exercices portant sur le vocabulaire et l'application du contenu de ce livret. Elle se divise en deux parties.

▶ La partie I porte sur les sections suivantes :

L'oscilloscope

Facteurs de performance

▶ La partie II porte sur les sections suivantes :

Systèmes et commandes d'un oscilloscope

Utilisation de l'oscilloscope

Techniques de mesure

Vérifiez que vous avez bien assimilé le contenu de ces sections en effectuant ce petit test. Les réponses figurent à la page 55.

Partie I

▶ L'oscilloscope

▶ Facteurs de performance

Exercices de vocabulaire : inscrire la lettre représentant chaque définition de la colonne de droite à côté du numéro du terme correspondant dans la colonne de gauche.

Terme	Définition
1. __ Acquisition	A Unité employée pour mesurer la différence de potentiel électrique.
2. __ Analogique	B Mesure de performance, mesurée en bits, indiquant la précision d'un CAN.
3. __ Bande passante	C Terme utilisé pour désigner l'écart (en degré) de la période d'un signal par rapport à un autre.
4. __ Phosphore numérique	D Nombre de répétitions d'un signal par seconde.
5. __ Fréquence	E Durée du cycle d'une onde.
6. __ Parasite	F Valeur numérique enregistrée représentant la tension d'un signal à un instant particulier sur l'écran.
7. __ Période	G Forme d'onde courante caractérisée par un front montant, une certaine largeur et un front descendant.
8. __ Phase	H Mesure de performance indiquant la vitesse de transition du front montant d'une impulsion.
9. __ Impulsion	I Circuit de l'oscilloscope régulant la vitesse de balayage.
10. __ Echantillon	J Parasite intermittent dans un circuit.
11. __ Temps de montée	K Signal mesuré par l'oscilloscope qui n'apparaît qu'une seule fois.
12. __ Point d'échantillonnage	L Recueil, traitement et enregistrement en mémoire des points d'échantillonnage provenant du CAN.
13. __ Mémoire numérique	M Qui fonctionne avec des changements de valeur continus.
14. __ Base de temps	N Oscilloscope numérique saisissant trois dimensions du signal en temps réel.
15. __ Transitoire	O Oscilloscope numérique avec traitement en série.
16. __ Résolution du CAN	P Plage de fréquences du signal sinusoïdal définie au point -3dB.
17. __ Volt	Q Données brutes fournies par un CAN servant à calculer et afficher les échantillons.

Partie I

► L'oscilloscope

► Facteurs de performance

Exercice d'application

Encerclez la réponse qui convient le mieux à chaque énoncé. Attention : pour certains énoncés, il y a plusieurs réponses correctes.

1. Un oscilloscope permet de :

- a. Calculer la fréquence d'un signal.
- b. Trouver les composants électriques défectueux.
- c. Analyser les détails du signal.
- d. Tout ce qui précède.

2. La différence entre les oscilloscopes analogiques et numériques est que :

- a. Les oscilloscopes analogiques n'ont pas de menus affichés à l'écran.
- b. Les oscilloscopes analogiques appliquent une tension mesurée directement au système d'affichage, tandis que les oscilloscopes numériques convertissent d'abord la tension en valeurs numériques.
- c. Les oscilloscopes analogiques mesurent des données analogiques, tandis que les oscilloscopes numériques mesurent des données numériques.
- d. Les oscilloscopes analogiques n'ont pas de système d'acquisition.

3. Le bloc de commande "Vertical" d'un oscilloscope sert à :

- a. Acquérir des points d'échantillonnage avec un CAN.
- b. Amorcer un balayage horizontal.
- c. Régler la luminosité de l'écran.
- d. Atténuer ou amplifier le signal d'entrée.

4. La commande de base de temps de l'oscilloscope sert à :

- a. Régler l'échelle verticale.
- b. Indiquer l'heure courante.
- c. Régler la durée représentée par la largeur de l'écran (par l'axe horizontal).
- d. Envoyer une impulsion d'horloge à la sonde.

5. Sur un écran d'oscilloscope :

- a. La tension est représentée sur l'axe vertical et le temps sur l'axe horizontal.
- b. Un tracé en diagonale rectiligne indique que la tension varie à un taux constant.
- c. Un tracé horizontal uniforme indique que la tension est constante.
- d. Tout ce qui précède est vrai.

6. Toutes les ondes récurrentes ont les propriétés suivantes :

- a. Une fréquence mesurée en hertz.
- b. Une période mesurée en secondes.
- c. Une bande passante mesurée en hertz.
- d. Tout ce qui précède.

7. Si on analyse des circuits d'ordinateur avec un oscilloscope, on rencontrera probablement les types de signaux suivants :

- a. Trains d'impulsions.
- b. Signaux de rampe.
- c. Ondes sinusoïdales.
- d. Tout ce qui précède.

8. Pour évaluer les performances d'un oscilloscope analogique, il faut tenir compte de :

- a. La bande passante.
- b. La sensibilité verticale.
- c. La résolution du CAN.
- d. La vitesse de balayage.

9. La différence entre les oscilloscopes à mémoire numérique et les oscilloscopes à phosphore numérique (DPO) est que :

- a. Les oscilloscopes à mémoire numérique ont une bande passante plus large.
- b. Les DPO saisissent trois dimensions du signal en temps réel.
- c. Les oscilloscopes à mémoire numérique ont un écran couleur.
- d. Les oscilloscopes à mémoire numérique saisissent plus de détails du signal.

Partie II

- ▶ Systèmes et commandes d'un oscilloscope
- ▶ Utilisation de l'oscilloscope
- ▶ Techniques de mesure

Exercices de vocabulaire : inscrire la lettre représentant chaque définition de la colonne de droite à côté du numéro du terme correspondant dans la colonne de gauche.

Terme	Définition
1. __ Mode moyennage	A Interaction accidentelle entre la sonde et l'oscilloscope d'une part et le circuit testé d'autre part entraînant la déformation du signal.
2. __ Charge du circuit	B Conducteur évacuant le courant électrique vers la terre.
3. __ Compensation	C Mode d'échantillonnage dans lequel l'oscilloscope numérique recueille autant d'échantillons que possible lorsque le signal apparaît, puis le reconstitue sur l'écran en utilisant une interpolation si nécessaire.
4. __ Couplage	D Mode d'échantillonnage dans lequel l'oscilloscope numérique reconstitue l'image d'un signal répétitif en saisissant un petit échantillon de données à chaque répétition.
5. __ Prise de terre	E Dispositif qui convertit en signal électrique une grandeur physique particulière telle que le son, la pression, l'effort ou l'intensité lumineuse.
6. __ En temps équivalent	F Dispositif de test servant à introduire un signal dans une entrée de circuit.
7. __ Réticule	G Technique de traitement utilisée par les oscilloscopes numériques pour éliminer le bruit dans le signal affiché.
8. __ Interpolation	H Méthode de raccordement de deux circuits.
9. __ Temps réel	I Technique de traitement consistant à "relier les points" pour estimer la forme d'un signal à partir de quelques points d'échantillonnage.
10. __ Générateur de signaux	J Grille affichée sur l'écran de l'oscilloscope pour mesurer les tracés.
11. __ Balayage simple	K Mode de déclenchement qui lance le balayage une seule fois et doit être réinitialisé pour se déclencher sur un autre événement de déclenchement.
12. __ Transducteur	L Réglage des sondes atténuatrices 10X qui harmonise les propriétés électriques de la sonde avec celles de l'oscilloscope.

Partie II

► **Systèmes et commandes d'un oscilloscope**

► **Utilisation de l'oscilloscope**

► **Techniques de mesure**

► **Systèmes et commandes d'un oscilloscope**

► **Utilisation de l'oscilloscope**

► **Techniques de mesure**

Exercice d'application

Encercler la réponse qui convient le mieux à chaque énoncé. Attention : pour certains énoncés, il y a plusieurs réponses correctes.

1. Pour utiliser un oscilloscope en toute sécurité, il faut :

- a. Mettre l'oscilloscope à la terre avec un cordon d'alimentation à trois fils adapté.
- b. Apprendre à reconnaître les composants électriques présentant des risques particuliers.
- c. Eviter de toucher les contacts non isolés d'un circuit testé, même lorsqu'il est hors tension.
- d. Faire tout ce qui précède.

2. La mise à la terre de l'oscilloscope est nécessaire :

- a. Par mesure de sécurité.
- b. Afin d'obtenir un point de référence pour effectuer les mesures.
- c. Pour aligner le tracé par rapport à l'axe horizontal de l'écran.
- d. Pour toutes les raisons qui précèdent.

3. La charge du circuit est due à :

- a. Un signal d'entrée de tension trop élevée.
- b. L'interaction entre la sonde et l'oscilloscope d'une part et le circuit testé d'autre part.
- c. Une sonde atténuatrice 10X non compensée.
- d. L'application d'un poids trop élevé sur le circuit.

4. La compensation de la sonde est nécessaire pour :

- a. Harmoniser les propriétés électriques de la sonde atténuatrice 10X avec celles de l'oscilloscope.
- b. Eviter d'endommager le circuit testé.
- c. Améliorer la précision des mesures.
- d. Tout ce qui précède.

5. La commande de rotation du tracé sert à :

- a. Mettre les signaux à l'échelle sur l'écran.
- b. Détecter les signaux sinusoïdaux.
- c. Aligner le tracé du signal par rapport à l'axe horizontal de l'écran sur un oscilloscope analogique.
- d. Mesurer la largeur d'impulsion.

6. Le réglage des volts par division sert à :

- a. Mettre le signal à l'échelle verticalement.
- b. Positionner le signal verticalement.
- c. Atténuer ou amplifier un signal d'entrée.
- d. Régler le nombre de volts représenté par chaque division.

7. Le fait de sélectionner le couplage d'entrée vertical à la masse :

- a. Interrompt l'introduction du signal d'entrée dans l'oscilloscope.
- b. Fait apparaître une ligne horizontale avec déclenchement automatique.
- c. Permet de situer la ligne de zéro volt sur l'écran.
- d. Entraîne tout ce qui précède.

8. Le déclenchement est nécessaire pour :

- a. Stabiliser les signaux répétitifs sur l'écran.
- b. Saisir les signaux monocoup.
- c. Marquer un point particulier dans une acquisition.
- d. Tout ce qui précède.

9. La différence entre les modes de déclenchement normal et automatique est la suivante :

- a. En mode normal, l'oscilloscope effectue un seul balayage et arrête l'acquisition.
- b. En mode normal, l'oscilloscope n'amorce le balayage que s'il détecte un point de déclenchement dans le signal ; sinon, l'écran reste vide.
- c. En mode automatique, l'oscilloscope effectue un balayage constant même sans être déclenché.
- d. Tout ce qui précède.

10. Le mode d'acquisition offrant la meilleure réduction du bruit dans un signal répétitif est :

- a. Le mode échantillon.
- b. Le mode détection de crête.
- c. Le mode enveloppe.
- d. Le mode moyennage.

11. Les deux mesures les plus élémentaires effectuées avec un oscilloscope sont :

- a. Les mesures de temps et de fréquence.
- b. Les mesures de temps et de tension.
- c. Les mesures de tension et de largeur d'impulsion.
- d. Les mesures de largeur d'impulsion et de déphasage.

12. Si l'échelle des volts par division est réglée sur 0,5, le signal le plus ample pouvant s'afficher sur un écran (de 8 divisions sur 10) a une tension de :

- a. 62,5 millivolts crête-à-crête.
- b. 8 volts crête-à-crête.
- c. 4 volts crête-à-crête.
- d. 0,5 volt crête-à-crête.

13. Si l'échelle des secondes par division est réglée sur 0,1 ms, la largeur de l'écran représente :

- a. 0,1 ms.
- b. 1 ms.
- c. 1 seconde.
- d. 0,1 kHz.

14. Par convention, la largeur d'impulsion se mesure :

- a. A 10 % de la tension crête-à-crête (c-c) de l'impulsion.
- b. A 50 % de la tension crête-à-crête (c-c) de l'impulsion.
- c. A 90 % de la tension crête-à-crête (c-c) de l'impulsion.
- d. A 10 et 90 % de la tension crête-à-crête (c-c) de l'impulsion.

15. Si l'écran reste vierge lorsqu'une sonde est connectée au circuit testé, il faut :

- a. Vérifier le réglage d'intensité de l'écran.
- b. Vérifier que la voie affichée par l'oscilloscope est bien celle sur laquelle la sonde est branchée.
- c. Passer en mode de déclenchement automatique, car le mode normal donne un écran vide.
- d. Mettre le couplage d'entrée vertical en courant alternatif et régler l'échelle des volts par division sur sa valeur maximum, car un signal en courant continu de tension élevée peut dépasser le haut ou le bas de l'écran.
- e. Vérifier que la sonde n'est pas court-circuitée et qu'elle est bien mise à la terre.
- f. Vérifier que l'oscilloscope est réglé pour se déclencher sur la voie d'entrée utilisée.
- g. Tout ce qui précède.

Réponses

Voici les réponses à tous les exercices des sections précédentes.

Partie I : réponses de l'exercice de vocabulaire

1. L	5. D	9. G	13. O
2. M	6. J	10. F	14. I
3. P	7. E	11. H	15. K
4. N	8. C	12. Q	16. B
			17. A

Partie I : réponses de l'exercice d'application

1. D	3. D	5. D	7. A
2. B,D	4. C	6. A,B	8. A,B,D
			9. B

Partie II : réponses de l'exercice de vocabulaire

1. G	4. H	7. J	10. F
2. A	5. B	8. I	11. K
3. L	6. D	9. C	12. E

Partie II : réponses de l'exercice d'application

1. D	5. C	9. B,C	13. B
2. A,B	6. A,C,D	10. D	14. B
3. B	7. D	11. B	15. G
4. A,C	8. D	12. C	

Glossaire

Amplification – Augmentation de l'amplitude du signal pendant sa transmission d'un point à un autre.

Amplitude – Grandeur d'une variation d'un signal. En électronique, l'amplitude correspond habituellement à la tension ou à la puissance.

Analyseur logique – Instrument utilisé pour visualiser la succession des états logiques de nombreux signaux numériques. Il analyse les données numériques et peut les représenter comme exécution logicielle en temps réel, valeurs de flux de données, séquences d'états, etc.

Atténuation – Diminution de l'amplitude d'un signal pendant sa transmission d'un point à un autre.

Axe des Z – Dimension de l'affichage d'un oscilloscope représentée par les variations de luminosité du tracé affiché.

Balayage – Passage horizontal du faisceau d'électrons de la gauche à la droite de l'écran à tube cathodique d'un oscilloscope.

Balayage horizontal – Action du système horizontal entraînant le tracé du signal.

Balayage simple – Mode de déclenchement effectuant une seule acquisition du signal, puis arrêtant la saisie.

Bande passante – Plage de fréquences, généralement limitée par le point -3 dB.

Base de temps – Circuit de l'oscilloscope régulant la vitesse de balayage. La base de temps se règle par la commande des secondes par division.

Base de temps retardée – Base de temps dont le balayage peut démarquer (ou être déclenché) par rapport à un moment prédéterminé du balayage de la base de temps principale. Elle permet de visualiser les événements plus clairement et de voir des événements qui ne seraient pas visibles en utilisant seulement le balayage de la base de temps principale.

Bits effectifs – Mesure de la capacité d'un oscilloscope numérique à reconstituer avec précision la forme d'un signal sinusoïdal. Cette mesure compare l'erreur réelle de l'oscilloscope à celle d'un numériseur "idéal".

Bruit – Tension ou intensité parasites dans un circuit électrique.

Charge – Interaction non prévue de la sonde et de l'oscilloscope avec le circuit testé qui entraîne une distorsion du signal.

Charge du circuit – Interaction non prévue de la sonde et de l'oscilloscope avec le circuit testé qui entraîne une distorsion du signal.

Compensation – Réglage des sondes atténuatrices passives qui équilibre la capacité de la sonde et celle de l'oscilloscope.

Convertisseur analogique-numérique (CAN) – Circuit électronique numérique qui convertit un signal électrique en valeurs binaires discrètes.

Couplage – Méthode de connexion de deux circuits. Les circuits raccordés par un fil sont couplés directement (C.C.) ; les circuits raccordés par un condensateur ou un transformateur sont couplés indirectement (C.A.).

Courant alternatif (C.A.) – Courant dont la tension et l'intensité varient de façon répétitive au cours du temps. Désigne également un type de couplage du signal.

Courant continu (C.C.) – Courant de tension et d'intensité constante. Désigne également un type de couplage du signal.

Curseur – Marqueur affiché sur l'écran pouvant être aligné sur un signal pour effectuer des mesures plus précises.

Déclenchement – Lancement du balayage horizontal de l'oscilloscope lorsqu'une condition est satisfaite.

Dégradé d'intensité – Information sur la fréquence d'apparition, essentielle pour observer et comprendre le comportement réel du signal.

Déphasage – Décalage temporel entre deux signaux semblables par ailleurs.

Détection de crête – Mode d'acquisition disponible sur les oscilloscopes numériques qui permet d'observer des détails du signal risquant de passer inaperçus autrement. Il est particulièrement utile pour visualiser les impulsions étroites très espacées dans le temps.

Division – Graduations du réticule de l'écran de l'oscilloscope.

Echantillon – Valeur numérique représentant la tension d'un signal à un instant particulier. Les échantillons sont calculés à partir des points d'échantillonnage et enregistrés en mémoire.

Echantillonnage – Conversion d'une portion d'un signal d'entrée en une série de valeurs électriques discrètes destinées à être stockées, traitées et affichées par l'oscilloscope. Il en existe deux types : échantillonnage en temps réel et échantillonnage en temps équivalent.

Echantillonnage en temps équivalent – Mode d'échantillonnage dans lequel l'oscilloscope reconstitue l'image d'un signal répétitif en saisissant une petite quantité de données à chaque répétition. Il existe deux types d'échantillonnage en temps équivalent : aléatoire et séquentiel.

Echantillonnage en temps réel – Mode d'échantillonnage dans lequel l'oscilloscope recueille autant d'échantillons que possible en une acquisition déclenchée. Convient parfaitement aux signaux dont la plage de fréquences est inférieure à la moitié de la fréquence d'échantillonnage maximum de l'oscilloscope.

Ecran – Surface d'affichage servant au tracé du signal.

Enveloppe – Contour des points les plus hauts et les plus bas acquis au cours de plusieurs répétitions du signal affiché.

Focalisation – Commande de l'oscilloscope agissant sur le faisceau d'électrons de l'écran à tube cathodique pour régler la netteté de l'écran.

Forme d'onde (signal) – Représentation graphique des variations d'une tension au cours du temps.

Fréquence – Nombre de répétitions d'un signal en une seconde. Se mesure en hertz (cycles par seconde). La fréquence est l'inverse de la période.

Fréquence d'échantillonnage – Fréquence à laquelle un oscilloscope numérique saisit un échantillon du signal, exprimée en échantillons par seconde (éch./s).

Générateur de signaux – Instrument de test servant à injecter un signal à l'entrée d'un circuit. La sortie du circuit est ensuite analysée par un oscilloscope.

Gigahertz (GHz) – Unité de fréquence valant 1 000 000 000 hertz.

Hertz (Hz) – Unité de fréquence représentant un cycle par seconde.

Impulsion – Forme d'onde courante caractérisée par un front montant rapide, une certaine largeur et un front descendant rapide.

Inhibition du déclenchement – Commande permettant de régler l'intervalle de temps succédant à un déclenchement valide pendant lequel l'oscilloscope ne peut pas se déclencher.

Intégrité du signal – Précision de la restitution d'un signal, déterminée par les systèmes et facteurs de performance de l'oscilloscope et par la sonde utilisée pour acquérir le signal.

Interpolation – Technique de traitement consistant à "relier les points" pour estimer la forme d'un signal rapide à partir d'un nombre limité de points d'échantillonnage. Il existe deux types d'interpolation : linéaire et $\sin(x)/x$.

Kilohertz (kHz) – Unité de fréquence valant 1 000 hertz.

Largeur d'impulsion – Temps pris par l'impulsion pour effectuer sa montée et redescendre à son niveau initial. Par convention, elle se mesure à 50 % de sa tension maximum.

Longueur d'enregistrement – Nombre d'échantillons utilisés pour créer un enregistrement de signal.

Masse –

1. Conducteur par lequel un appareil ou circuit électrique est raccordé à la terre pour établir et maintenir un niveau de tension de référence.
2. Point de référence de la tension d'un circuit.

Méga-échantillons par seconde (M éch./s) – Unité de fréquence d'échantillonnage égale à un million d'échantillons par seconde.

Mégahertz (MHz) – Unité de fréquence valant 1 000 000 hertz.

Microseconde (μ s) – Unité de temps valant 0,000001 seconde.

Milliseconde (ms) – Unité de temps valant 0,001 seconde.

Mode alterné – Mode de fonctionnement de l'affichage dans lequel l'oscilloscope finit de tracer une voie avant de commencer à en tracer une autre.

Mode d'acquisition – Mode de production des échantillons à partir des points d'échantillonnage. Il peut s'agir notamment des modes échantillon, détection de crête, haute résolution, enveloppe et moyennage.

Mode découpé – Mode de fonctionnement de l'affichage dans lequel l'oscilloscope trace séquentiellement de courts segments de chaque voie de façon à afficher plusieurs signaux sur l'écran simultanément.

Mode de déclenchement – Mode déterminant si l'oscilloscope doit ou non tracer un signal lorsqu'il ne détecte pas d'événement de déclenchement. Il y a deux modes de déclenchement communs : normal et automatique.

Monocoup – Qualifie un signal n'apparaissant qu'une seule fois sur l'écran de l'oscilloscope (également appelé événement transitoire).

Moyennage – Technique de traitement utilisée par les oscilloscopes numériques pour réduire le bruit dans un signal affiché.

Nanoseconde (ns) – Unité de temps valant 0,000000001 seconde.

Niveau de déclenchement – Niveau de tension que doit atteindre le signal de la source de déclenchement pour que le circuit de déclenchement amorce un balayage.

ABC des oscilloscopes

► Livret d'initiation

Numériser – Traitement effectué par un convertisseur analogique-numérique (CAN) dans le système horizontal, consistant à échantillonner un signal à des points discrets du temps et à convertir sa tension en ces points en valeurs numériques appelées points d'échantillonnage.

Onde – Terme générique désignant une forme qui se répète au cours du temps. Les types d'onde courants comprennent notamment les ondes sinusoïdales, carrées, rectangulaires, en dents de scie, triangulaires, périodiques, non périodiques, synchrones et asynchrones, ainsi que les échelons et les impulsions.

Oscilloscope – Instrument servant à visualiser les variations de tension au cours du temps. Le terme oscilloscope dérive du verbe "osciller", car cet instrument est souvent utilisé pour mesurer des tensions oscillantes.

Oscilloscope à échantillonnage numérique – Type d'oscilloscope numérique utilisant une méthode d'échantillonnage en temps équivalent pour saisir et afficher les échantillons d'un signal. Il convient parfaitement pour saisir avec précision les signaux comportant des composantes fréquentielles beaucoup plus élevées que la fréquence d'échantillonnage de l'oscilloscope.

Oscilloscope à mémoire numérique – Oscilloscope numérique effectuant l'acquisition des signaux par échantillonnage numérique (en utilisant un convertisseur analogique-numérique). Il emploie une architecture de traitement en série pour réguler l'acquisition, l'interface utilisateur et l'écran d'affichage tramé.

Oscilloscope analogique – Instrument qui affiche la représentation d'un signal d'entrée en l'appliquant (après l'avoir conditionné et amplifié) à l'axe vertical d'un faisceau d'électrons traversant un écran à tube cathodique horizontalement de gauche à droite. Ce faisceau crée un tracé lumineux en frappant une couche de phosphore recouvrant la face interne de l'écran à tube cathodique.

Oscilloscope à phosphore numérique (DPO) – Type d'oscilloscope numérique simulant les caractéristiques d'affichage d'un oscilloscope analogique tout en offrant les avantages d'un oscilloscope numérique traditionnel (stockage du signal, mesures automatiques, etc.). Le DPO emploie une architecture de traitement en parallèle pour envoyer le signal vers un écran tramé affichant les caractéristiques du signal par dégradé d'intensité en temps réel. Le DPO affiche les signaux en trois dimensions : amplitude, temps et distribution de l'amplitude dans le temps.

Oscilloscope numérique – Type d'oscilloscope utilisant un convertisseur analogique-numérique (CAN) pour convertir la tension mesurée en données numériques. Il en existe trois types : oscilloscopes à mémoire numérique, à phosphore numérique et à échantillonnage numérique.

Parasite – Erreur haute vitesse intermittente dans un circuit.

Pente – Rapport entre une distance verticale et une distance horizontale sur un graphe ou un écran d'oscilloscope. Une pente positive augmente de gauche à droite, tandis qu'une pente négative diminue de gauche à droite.

Pente de déclenchement – Pente que doit atteindre un signal source de déclenchement pour que le circuit de déclenchement amorce un balayage.

Période – Durée du cycle d'une onde. La période est l'inverse de la fréquence.

Phase – Ecart temporel, mesuré en degrés, entre le début d'un cycle et celui du cycle suivant.

Point d'échantillonnage – Donnée brute provenant d'un CAN utilisée pour le calcul des échantillons.

Précision du gain – Précision avec laquelle le système vertical atténue ou amplifie un signal, habituellement représentée par un pourcentage d'erreur.

Précision horizontale (base de temps) – Précision avec laquelle le système horizontal affiche la dimension temporelle d'un signal, habituellement représentée par un pourcentage d'erreur.

Prise de terre – Conducteur permettant aux courants électriques de s'échapper vers la terre.

Rampes – Transitions entre les niveaux de tension d'ondes sinusoïdales caractérisées par une vitesse constante.

Réponse en fréquence – Représentée graphiquement par une courbe (courbe de Bode), elle caractérise la variation en amplitude de la réponse en sortie d'un amplificateur ou d'un atténuateur à un signal sinusoïdal d'amplitude constante en fonction de la fréquence de celui-ci sur une plage déterminée.

Résolution verticale (convertisseur analogique-numérique) – Précision avec laquelle un convertisseur analogique-numérique (CAN) d'oscilloscope numérique peut convertir les tensions d'entrée en valeurs numériques, mesurée en bits. Certaines techniques de calcul, notamment celle du mode d'acquisition haute résolution, peuvent améliorer la résolution effective.

Réticule – Grille affichée sur l'écran pour mesurer les traces de l'oscilloscope.

Sensibilité verticale – Indication de la capacité d'un amplificateur vertical à amplifier un signal faible. Elle se mesure habituellement en millivolts (mV) par division.

Signal analogique – Signal dont la tension varie de façon continue.

Signal carré – Forme d'onde courante composée d'une séquence d'impulsions carrées.

Signal numérique – Signal dont les échantillons de tension sont représentés par des valeurs binaires discrètes.

Signal sinusoïdal – Forme d'onde courante bien définie mathématiquement.

Sonde – Organe d'entrée d'un oscilloscope, comportant généralement une pointe métallique destinée à établir un contact électrique avec un élément du circuit testé, un fil à connecter à la masse de référence du circuit et un câble souple pour transmettre le signal et la terre à l'oscilloscope.

Temps de montée – Temps pris par le front avant d'une impulsion pour passer de la valeur basse à la valeur haute de celle-ci. Le temps de montée se mesure habituellement entre 10 et 90 % de l'amplitude de l'impulsion.

Tension – Différence de potentiel électrique entre deux points, mesurée en volts.

Tension crête-à-crête (V_{c-c}) – Tension mesurée entre les points de niveau maximum et minimum d'un signal.

Tension de crête (V_c) – Niveau de tension maximum mesuré par rapport à un point de référence de valeur zéro.

Tracé – Forme tracée sur l'écran à tube cathodique par le mouvement du faisceau d'électrons.

Train d'impulsions – Séquence d'impulsions semblables et rapprochées.

Tramé – Type d'affichage (ligne par ligne).

Transducteur – Dispositif qui convertit en signal électrique une grandeur physique particulière telle que le son, la pression, l'effort ou l'intensité lumineuse.

Transitoire – Signal n'apparaissant qu'une seule fois sur l'écran de l'oscilloscope (également appelé événement monocoup).

Tube cathodique – Tube à faisceau d'électrons permettant de diriger le faisceau vers un écran luminescent et d'en faire varier à la fois la position et l'intensité pour produire une forme visible. Le tube d'image d'un téléviseur est tube cathodique.

Visualisation de prédéclenchement – Capacité d'un oscilloscope numérique à saisir le comportement du signal avant un événement de déclenchement. Détermine la longueur du signal visualisable à la fois avant et après un point de déclenchement.

Vitesse de balayage – Équivalente à la base de temps.

Vitesse de saisie du signal – Vitesse à laquelle l'oscilloscope acquiert des signaux, exprimée en signaux par seconde.

Vitesse d'écriture – Capacité d'un oscilloscope analogique à fournir une trace visible de la variation d'un signal entre deux points. Cette capacité est restreinte pour les signaux à faible fréquence de répétition caractérisés par des détails rapides, tels que les signaux logiques.

Volt – Unité de mesure de la différence de potentiel électrique.

ABC des oscilloscopes

▶ Livret d'initiation

Notes :

Autres livrets d'initiation disponibles auprès de Tektronix :

An Overview of Signal Source Technology and Applications (Vue d'ensemble des technologies de génération de signaux et de leurs applications)

ABCs of Probes (ABC des sondes)

Introduction to Logic Analysis: A Hardware Debug Tutorial (Introduction à l'analyse logique : guide de mise au point du matériel)

The XYZs of Logic Analyzers (ABC des analyseurs logiques)

UMTS Protocols and Protocol Testing (Protocoles et tests de protocole UMTS)

GPRS Protocol Testing in the Wireless World (Tests de protocole GPRS dans l'univers du cellulaire)

Troubleshooting cdmaOne™ BTS Transmitters in the Field (Dépannage des émetteurs cdmaOne™ BTS sur le terrain)

Interference Testing (Tests d'interférence)

SDH Telecommunications Standards (Normes de télécommunications SDH)

SONET Telecommunications Standards (Normes de télécommunications SONET)

DWDM Performance and Conformance Testing (Tests de performance et de conformité DWDM)

A Guide to Picture Quality Measurements (Guide des mesures de qualité de l'image)

A Guide to MPEG Fundamentals (Guide d'initiation aux normes MPEG)

A Guide to Standard and High-definition Digital Video Measurements (Guide des mesures vidéo numérique haute définition et standard)

Customer Service Traceability (Traçabilité du service d'assistance clientèle)

► www.tektronix.com

Oscilloscopes

Analyseurs logiques

Générateurs de signaux

Équipement de test de télécommunications

Équipement de test de télévision

Sondes

Accessoires

Autres équipements de test et de mesure

Contacteur Tektronix à

Afrique du Sud (27 11) 254-8360

Allemagne +49 (221) 94 77 400

Australie et Nouvelle-Zélande 61 (2) 9888-0100

Autriche, Europe de l'Est et centrale, Grèce, Turquie, Malte et Chypre +43 2236 8092 0

Belgique +32 (2) 715 89 70

Brésil et Amérique du Sud 55 (11) 3741-8360

Canada 1 (800) 661-5625

Danemark +45 (44) 850 700

Espagne et Portugal +34 91 372 6000

Etats-Unis 1 (800) 426-2200

Finlande +358 (9) 4783 400

France et Afrique du Nord +33 1 69 86 81 81

Hong Kong (852) 2585-6688

Inde (91) 80-2275577

Italie +39 (2) 25086 501

Japon (Sony/Tektronix Corporation) 81 (3) 3448-3111

Mexique, Amérique centrale et Caraïbes 52 (5) 666-6333

Norvège +47 22 07 07 00

Pays-Bas +31 23 56 95555

Pays d'Asie (65) 356-3900

République populaire de Chine 86 (10) 6235 1230

République de Corée 82 (2) 528-5299

Royaume-Uni et Irlande +44 (0) 1344 392000

Suède +46 8 477 65 00

Suisse +41 (41) 729 36 40

Taiwan 886 (2) 2722-9622

A partir d'autres régions, s'adresser à : Tektronix, Inc.

1 (503) 627-1924



Copyright © 2001, Tektronix, Inc. Tous droits réservés. Les produits Tektronix font l'objet de divers brevets, américains et étrangers, émis et en attente. Les informations contenues dans cette publication se substituent à toutes celles fournies dans tous documents précédents. Sous réserve de modification de prix et de spécifications techniques. TEKTRONIX et TEK sont des marques déposées de Tektronix, Inc. Tous les autres noms mentionnés sont des marques de service, des marques commerciales ou des marques déposées de leur société respective.
05/01 HB/PG 03F-8605-2

Tektronix