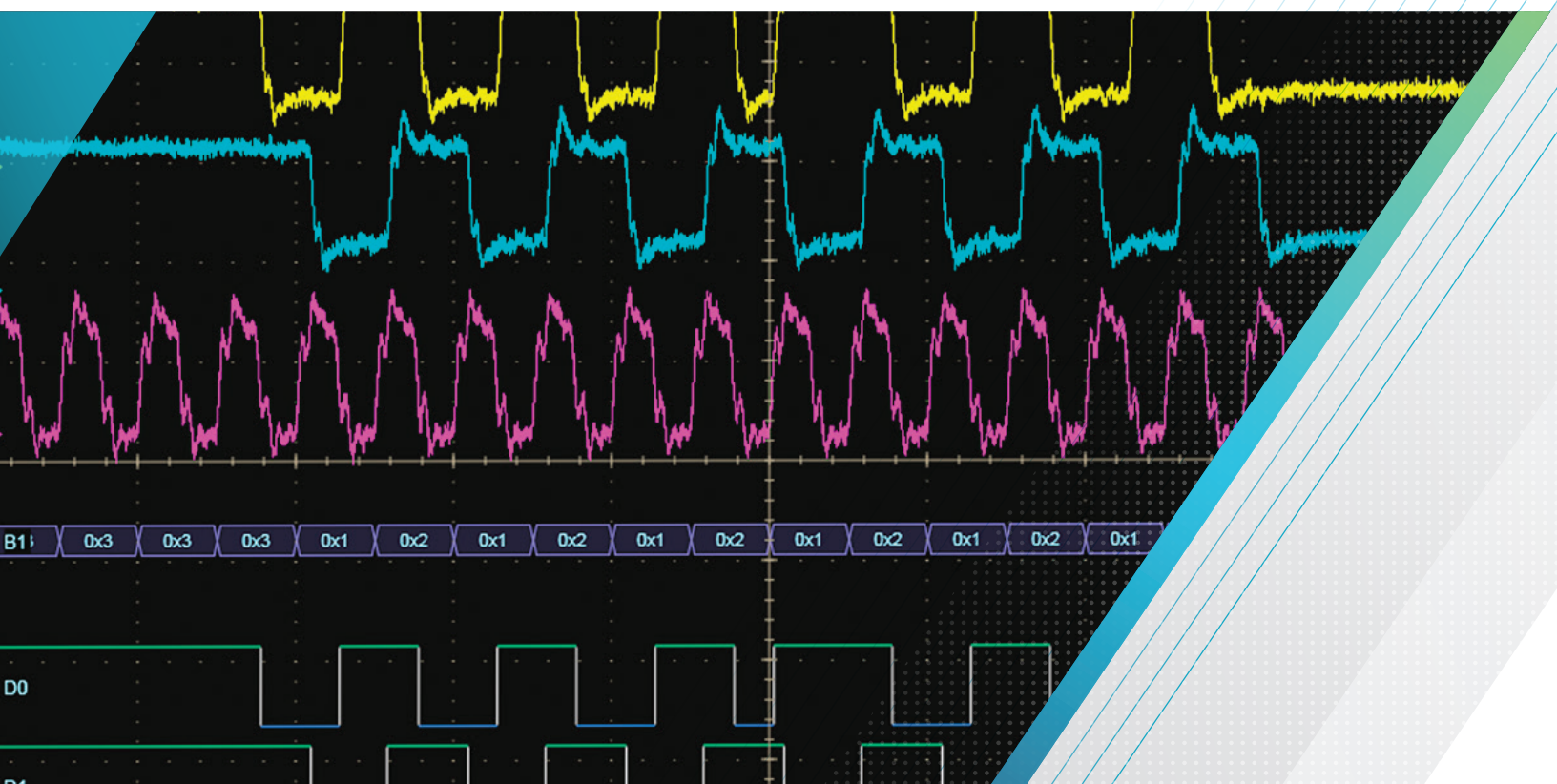


# L'ABC des oscilloscopes

## DOCUMENT D'INTRODUCTION



# Table des matières

<b>Introduction</b> .....	<b>4</b>	<b>Généralités sur l'instrument et réglages</b> .....	<b>19-32</b>
<b>Intégrité du signal</b> .....	<b>5-6</b>	Réglages verticaux .....	20
L'importance de l'intégrité du signal.....	5	Position et volts par division .....	20
Pourquoi l'intégrité du signal est-elle un problème? .....	5	Paramétrage du canal d'entrée .....	20
Visualiser les origines analogiques des signaux numériques .....	6	Limite de la bande passante .....	20
<b>L'oscilloscope</b> .....	<b>7-12</b>	Améliorations apportées sur la réponse fréquentielle de l'oscilloscope.....	21
Comprendre les formes d'onde et les mesures intégrées à l'oscilloscope .....	7	Réglages horizontaux .....	21
Types d'ondes.....	8	Réglages d'acquisition .....	21
Ondes sinusoïdales.....	9	Modes d'acquisition .....	21
Signaux carrés.....	9	Réglages horizontaux courants: .....	21
Signaux en dents de scie et triangulaires.....	9	Types de modes d'acquisition .....	22
Fonctions impulsions/pulse.....	9	Démarrage et arrêt de l'acquisition .....	22
Signaux périodiques et aperiodiques.....	9	Fréquence d'échantillonnage .....	23
Signaux synchrones et asynchrones.....	9	Réglages concernant la fréquence d'échantillonnage .....	23
Signaux plus complexes .....	10	Méthode d'échantillonnage en temps réel.....	23
Mesures sur des formes d'onde .....	11	Méthode d'échantillonnage en temps équivalent .....	25
Fréquence et période .....	11	Position et secondes par division .....	27
Potentiels.....	11	Sélection de la base temporelle.....	27
Amplitude .....	11	Grossissement/Déplacement .....	27
Phase .....	11	Recherche .....	27
Mesures de formes d'onde avec des oscilloscopes numériques.....	12	Mode XY .....	27
<b>Les différents types d'oscilloscopes</b> .....	<b>13 - 18</b>	Axe Z .....	27
Oscilloscopes à mémoire numérique.....	13	Mode XYZ avec DPO et affichage de l'enregistrement XYZ .....	27
Oscilloscopes numériques à phosphore .....	15	Différents réglages du système de déclenchement d'acquisition.....	28
Oscilloscopes à domaine mixte .....	17	Position du déclencheur.....	30
Oscilloscopes à signaux mixtes .....	17	Niveau et pente de déclenchement .....	30
Oscilloscopes à échantillonnage numérique .....	18	Modes de déclenchement .....	31
		Couplage du déclenchement .....	31
		Temporisation du déclenchement (Holdoff) .....	31
		Système d'affichage et commandes.....	32
		Autres réglages.....	32
		Opérations mathématiques et de mesure.....	32
		Timing numérique et acquisitions d'état.....	32

<b>Le système d'acquisition.....</b>	<b>33 - 36</b>	<b>Utilisation de l'oscilloscope .....</b>	<b>44 - 45</b>
Probes .....	33	Mise à la terre .....	44
Sondes passives.....	34	Réglage des commandes .....	44
Sondes actives et différentielles.....	35	Étalonnage de l'instrument .....	45
Sondes logiques.....	35	Connexion des sondes .....	45
Autres sondes à usage spécifique .....	36	Compensation des sondes .....	45
Accessoires pour sondes.....	36	<b>Techniques de mesure avec un oscilloscope .....</b>	<b>47 - 48</b>
<b>Considérations à prendre en compte relatives</b>		Mesures de tension .....	47
<b>à la performance.....</b>	<b>36-43</b>	Mesures de temps et de fréquence .....	48
Bande passante .....	36	Mesures de la largeur d'impulsion	
Temps de montée .....	37	et du temps de montée.....	48
Fréquence d'échantillonnage .....	38	Mesures du déphasage .....	49
Taux d'acquisition des formes d'onde .....	39	Autres techniques de mesure.....	49
Nombre de points enregistrés .....	39	<b>Exercices écrits .....</b>	<b>50 - 55</b>
Capacités de déclenchement .....	40	Partie I	
Bits effectifs .....	40	A: Exercice de vocabulaire .....	50
Réponse fréquentielle .....	40	B: Exercice d'application .....	51
Sensibilité verticale .....	40	Partie II	
Vitesse de balayage .....	40	A: Exercice de vocabulaire .....	52
Précision du gain .....	40	B: Exercice d'application .....	53
Précision horizontale (base temporelle).....	40	Réponses .....	55
Résolution verticale		<b>Glossaire .....</b>	<b>56 - 59</b>
(convertisseur analogique-numérique) .....	40		
Résolution temporelle (MSO) .....	41		
Connectivité .....	41		
Extensibilité .....	41		
Facilité d'utilisation .....	43		

## Introduction

Les ondes sinusoïdales sont partout dans la nature : vagues, tremblements de terre, bang sonique, explosions, ondes sonores dans l'air, ou encore fréquence naturelle d'un corps en mouvement. L'énergie, les particules en vibration et d'autres forces invisibles sont omniprésentes dans notre environnement physique. Même la lumière, qui est à la fois une particule et une onde, a sa propre fréquence fondamentale que nous pouvons observer à travers sa couleur.

Des capteurs peuvent convertir ces forces en signaux électriques que vous pouvez observer étudier à l'aide d'un oscilloscope. Les oscilloscopes permettent aux scientifiques, aux ingénieurs, aux techniciens, aux professeurs et à d'autres professionnels de « visualiser » des événements qui évoluent au cours du temps.

Les oscilloscopes sont des outils indispensables pour tous ceux et celles qui conçoivent, produisent ou réparent des équipements électroniques. À une époque aussi effrénée que la nôtre, les ingénieurs doivent disposer des meilleurs outils disponibles pour pouvoir réaliser des mesures rapides et précises. Les oscilloscopes sont les yeux de l'ingénieur, et ils jouent donc un rôle crucial pour répondre aux défis de mesure d'aujourd'hui.

L'utilité d'un oscilloscope ne se limite pas au monde de l'électronique. Associé à un capteur adapté, un oscilloscope peut mesurer toutes sortes de phénomènes. Un capteur est un dispositif qui crée un signal électrique en réponse à des stimuli physiques, comme le son, la contrainte mécanique, la pression, la lumière ou encore la chaleur. Un microphone est un capteur qui convertit le son en un signal électrique. La Figure 1 montre un exemple de données scientifiques qui peuvent être recueillies par un oscilloscope.

Les oscilloscopes sont utilisés par des professionnels allant des physiciens aux techniciens réparateurs. Un ingénieur dans l'automobile utilise un oscilloscope pour corréliser des données analogiques issues de capteurs avec des données électroniques envoyées par l'unité de contrôle d'un moteur. Un chercheur en médecine utilise un oscilloscope pour mesurer les ondes cérébrales. Les possibilités sont infinies.

Les concepts présentés dans ce document introductif vous donneront les clés pour bien comprendre les bases de fonctionnement et de l'utilisation des oscilloscopes.

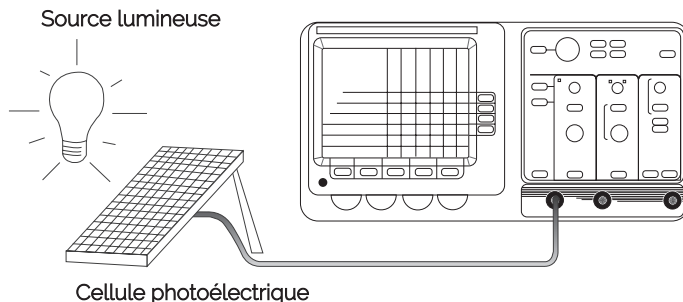


Figure 1. Exemple de données scientifiques collectées par un oscilloscope.

Le glossaire situé à la fin de ce document comprend les définitions des termes techniques employés. Le vocabulaire ainsi que les exercices composés de questions à choix multiples sur la théorie et l'utilisation des oscilloscopes font de ce document un très bon support de cours. Aucune connaissance préalable en mathématiques ou en électronique n'est requise.

Après avoir lu ce document introductif, vous saurez:

- Décrire le principe de fonctionnement des oscilloscopes
- Décrire les différences entre les modèles d'oscilloscopes
- Décrire les types de formes d'onde électriques
- Comprendre l'utilisation de base d'un oscilloscope
- Prendre des mesures simples

Le manuel d'utilisation fourni avec votre oscilloscope vous donnera de plus amples détails sur l'utilisation de votre oscilloscope en pratique. Certains fabricants d'oscilloscopes proposent également de nombreux documents spécifiques pour vous aider à optimiser votre oscilloscope en fonction de votre champ d'utilisation.

Si vous avez besoin d'aide, ou que vous avez des questions ou des commentaires au sujet du contenu de ce document introductif, contactez simplement votre représentant Tektronix, ou visitez [www.tektronix.com](http://www.tektronix.com).

## Intégrité du signal

### L'importance de l'intégrité du signal

L'élément essentiel de tout bon oscilloscope est sa capacité à reproduire une forme d'onde avec précision : c'est ce que l'on appelle l'intégrité du signal. Un oscilloscope peut être comparé à un appareil photo qui capture des images de signal que nous pouvons ensuite observer et interpréter. L'intégrité du signal soulève plusieurs questions centrales.

- Lorsque l'on capture une image, s'agit-il d'une reproduction fidèle de ce qui s'est réellement produit?
- L'image est-elle nette ou floue?
- Combien d'images précises peut-on capturer chaque seconde?

L'ensemble des systèmes et des performances d'un oscilloscope participent à lui donner la capacité d'offrir la meilleure intégrité du signal possible. Les sondes ont également un effet sur l'intégrité du signal d'un système de mesure.

La problématique de l'intégrité du signal affecte de nombreuses disciplines de conception en électronique. Mais jusqu'à une période récente, ce n'était pas un réel problème pour les concepteurs numériques. Ils pouvaient se fier au fait que leurs conceptions logiques se comportent comme les circuits booléens qu'elles étaient. Les signaux indéterminés et à fort niveau de bruit apparaissaient surtout dans des conceptions à haute vitesse, qui étaient surtout la prérogative des concepteurs dans le domaine des radiofréquences. Les systèmes numériques étaient plus lents et les signaux se stabilisaient de façon prévisible.

Mais la fréquence des processeurs s'est très fortement accélérée. Les applications informatiques comme la 3D, la vidéo et les entrées/sorties des serveurs requièrent une bande passante très élevée. La grande majorité des équipements de télécommunications sont aujourd'hui numériques, et nécessitent également une bande passante importante. C'est également le cas de la télévision en haute définition. Les microprocesseurs actuels peuvent traiter des données à des vitesses allant jusqu'à 2, 3 ou même 5 GS/s (gigaéchantillons par seconde), tandis que certains dispositifs de mémoire DDR3 utilisent des fréquences supérieures à 2 GHz et des signaux de données dont le temps de montée n'est que de 35 ps.

Cette accélération s'est également répandue dans des circuits intégrés fréquemment utilisés dans les domaines de l'automobile, de l'électronique grand public et des contrôleurs de machines, pour n'en citer que quelques-uns.

Un processeur cadencé à 20 MHz pourrait avoir des signaux dont les temps de montée sont similaires à ceux d'un processeur cadencé à 800 MHz. Les concepteurs ont franchi un palier de performances qui implique que presque toutes leurs conceptions sont désormais à haute vitesse.

En l'absence de certaines précautions, des problèmes relatifs à la haute vitesse peuvent survenir dans des conceptions numériques classiques. Si un circuit génère des erreurs intermittentes, ou s'il rencontre des erreurs pour des valeurs extrêmes de tension et de température, il est probable que cela s'explique par un défaut d'intégrité du signal. Tout cela risque de compromettre les délais de commercialisation, la fiabilité des produits, la conformité CEM, et bien d'autres aspects. Ces problèmes liés à la haute vitesse peuvent également nuire à l'intégrité d'un flux de données en série dans un système, ce qui nécessite alors de corrélérer des schémas spécifiques dans les données avec les caractéristiques observées des formes d'onde à haute vitesse.

### Pourquoi l'intégrité du signal est-elle un problème?

Évoquons maintenant certains des facteurs de dégradation du signal dans les conceptions modernes. Pourquoi ce problème est-il aujourd'hui bien plus récurrent que dans le passé ?

L'explication se trouve dans la vitesse. Dans le passé, la conservation d'une intégrité acceptable d'un signal numérique nécessitait de prêter attention à des détails comme la distribution d'horloge, le cheminement du signal, les marges de bruit, les effets de charge, les effets de ligne de transmission, les terminaisons de bus, le découplage et la distribution de courant. Toutes ces règles sont toujours d'actualité, mais...

Les temps de cycle des bus sont jusqu'à mille fois plus rapides qu'il y a 20 ans. Des transactions qui duraient par le passé plusieurs microsecondes se mesurent désormais en nanosecondes. Pour parvenir à cette amélioration, les vitesses périphériques se sont elles aussi accélérées : elles sont jusqu'à 100 fois plus rapides qu'il y a vingt ans.

Cependant, certaines réalités physiques ont empêché la technologie des circuits imprimés de suivre le rythme de cette évolution.

Le temps de propagation des bus inter-puces est resté pratiquement inchangé au fil des décennies. Les géométries se sont certes réduites, mais il est toujours nécessaire de prévoir de l'espace sur le circuit imprimé pour les circuits intégrés, les connecteurs, les composants passifs et, bien sûr, le tracé du bus lui-même. Ces surfaces augmentent les distances, et qui dit distance dit temps : l'ennemi de la vitesse.

Il faut se souvenir que la vitesse périphérique (le temps de montée) d'un signal numérique peut porter des composantes à la fréquence bien plus élevée que ce que la vitesse de répétition pourrait laisser penser. C'est pour cela que certains concepteurs privilégient les circuits intégrés dont le temps de montée est relativement lent.

Le modèle de circuit regroupé a toujours été la base de la plupart des calculs utilisés pour prédire le comportement des signaux dans un circuit. Mais lorsque la vitesse périphérique est plus de quatre à six fois supérieure au délai de propagation du signal, le modèle simple de circuit regroupé ne s'applique plus.

Les pistes de circuits imprimés d'à peine 15 cm de long deviennent des lignes de transmission lorsqu'elles sont alimentées par des signaux présentant des vitesses périphériques inférieures à quatre à six nanosecondes, quelle que soit la fréquence du cycle. De fait, de nouveaux chemins de signaux sont créés. Ces connexions intangibles ne figurent pas sur les schémas, mais confèrent néanmoins aux signaux un moyen de s'influencer mutuellement de manière imprévisible.

Il arrive même que les erreurs introduites par la combinaison sonde/instrument puissent générer un effet significatif sur le signal mesuré. Toutefois, en appliquant la formule de la "racine carrée de la somme des carrés" à la valeur mesurée, il est possible de déterminer si le dispositif testé est proche d'une défaillance du temps de montée/descente. De plus, les oscilloscopes récents utilisent des techniques de filtrage spécialisées pour éliminer les effets du système de mesure sur le signal, en affichant les temps périphériques et les autres caractéristiques du signal.

Parallèlement, les chemins de signaux prévus ne fonctionnent pas comme ils le devraient. Les plans de masse et les plans d'alimentation, comme les tracés de signaux décrits ci-dessus, deviennent inductifs et se comportent comme des lignes de transmission. Le découplage de l'alimentation perd en efficacité. Les interférences électromagnétiques augmentent car les vitesses périphériques plus élevées produisent des longueurs d'onde plus courtes par rapport à la longueur du bus. La diaphonie augmente.

De plus, les vitesses périphériques élevées nécessitent des courants généralement plus importants pour être générées. Les courants plus élevés ont tendance à provoquer un rebond à la masse, en particulier sur les bus larges dans lesquels de nombreux signaux sont commutés simultanément. En outre, un courant plus élevé augmente le rayonnement magnétique et par conséquent la diaphonie.

### Visualiser les origines analogiques des signaux numériques

Quel est le point commun de toutes ces caractéristiques ? Il s'agit de phénomènes analogiques classiques. Pour résoudre les problèmes d'intégrité du signal, les concepteurs numériques doivent travailler dans le domaine analogique. Et pour ce faire, ils ont besoin d'outils capables de leur montrer les interactions entre les signaux numériques et analogiques.

Les erreurs numériques trouvent souvent leur origine dans un défaut d'intégrité du signal analogique. Pour trouver la cause du dysfonctionnement numérique, il est souvent nécessaire de se tourner vers un oscilloscope, qui peut afficher les détails de la forme d'onde, les périphéries et le bruit, détecter et afficher les phénomènes transitoires et vous aider à mesurer précisément les relations temporelles telles que les temps d'établissement et de retenue. Les oscilloscopes modernes peuvent contribuer à simplifier le processus de dépannage en se déclenchant sur des modèles spécifiques dans des flux de données parallèles ou en série et en affichant le signal analogique qui correspond dans le temps à un événement donné.

En comprenant chacun des systèmes de votre oscilloscope et en apprenant à les utiliser, vous pourrez utiliser efficacement celui-ci pour relever votre défi de mesure particulier.

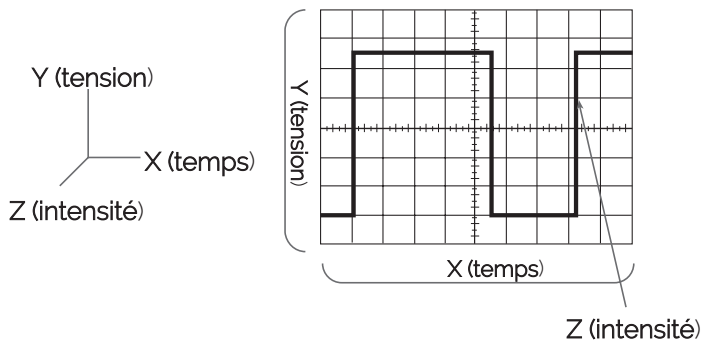


Figure 2. Composantes X, Y et Z d'une forme d'onde affichée.

## L'oscilloscope

Qu'est-ce qu'un oscilloscope et comment fonctionne-t-il? Cette section a pour but de répondre à ces questions fondamentales.

Un oscilloscope est un dispositif permettant d'afficher un graphe: il dessine une représentation graphique d'un signal électrique. Pour la plupart des applications, le graphe représente l'évolution du signal au cours du temps: l'axe vertical (Y) représente la tension et l'axe horizontal (X) représente le temps. L'intensité ou la luminosité de l'affichage est parfois appelée l'axe Z, comme indiqué dans la Figure 2. Sur les oscilloscopes DPO, l'axe Z peut être représenté à l'écran par un dégradé de couleurs, comme on peut le voir sur la Figure 3.

Ce simple graphe peut représenter de nombreuses informations concernant un signal, telles que:

- Les valeurs de temps et de tension d'un signal
- La fréquence d'un signal oscillant
- Les « parties en mouvement » d'un circuit représentées par le signal
- La fréquence à laquelle une portion spécifique du signal survient par rapport aux autres portions
- La distorsion éventuelle du signal par un composant défectueux
- Le caractère direct (DC) ou alternatif (AC) du courant du signal
- La quantité de bruit dans le signal et l'évolution du bruit dans le temps

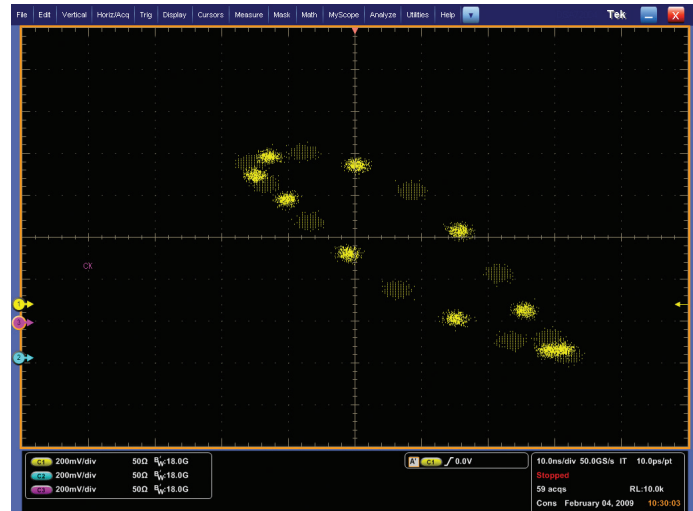


Figure 3. Deux schémas de fréquence décalés avec gradation de l'intensité sur l'axe Z.

## Comprendre les formes d'onde et les mesures intégrées à l'oscilloscope

Le nom générique d'un modèle qui se répète dans le temps est une onde: les ondes sonores, les ondes cérébrales, les ondes océaniques et les ondes de tension sont toutes des modèles récurrents. Un oscilloscope mesure les ondes de tension. Rappelez-vous, comme mentionné précédemment, que les phénomènes physiques tels que les vibrations ou la température ou les phénomènes électriques tels que le courant ou la puissance peuvent être convertis en une tension par un capteur. Le cycle d'une onde est la partie de l'onde qui se répète. Une forme d'onde est une représentation graphique d'une onde. Une forme d'onde de tension montre le temps sur l'axe horizontal et la tension sur l'axe vertical.

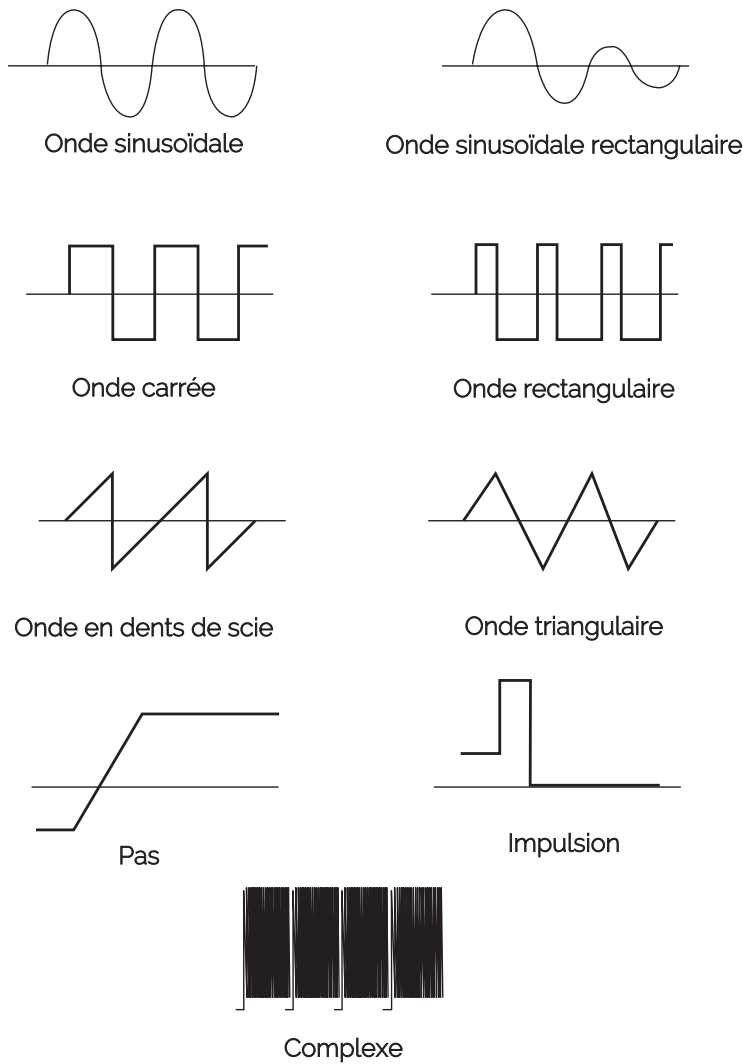


Figure 4. Formes d'onde courantes

Les formes d'onde fournissent de nombreuses informations sur un signal. Dès que vous observez un changement dans la hauteur de la forme d'onde, vous savez que la tension a changé. Une ligne horizontale plane indique qu'il n'y a pas de changement pendant la période considérée. Les lignes diagonales régulières indiquent un changement linéaire, c'est à dire une augmentation ou une diminution de la tension à un rythme régulier. Des angles aigus sur une forme d'onde indiquent un changement soudain. La Figure 4 montre des formes d'onde courantes et la Figure 5 présente les sources de ces formes d'onde courantes.

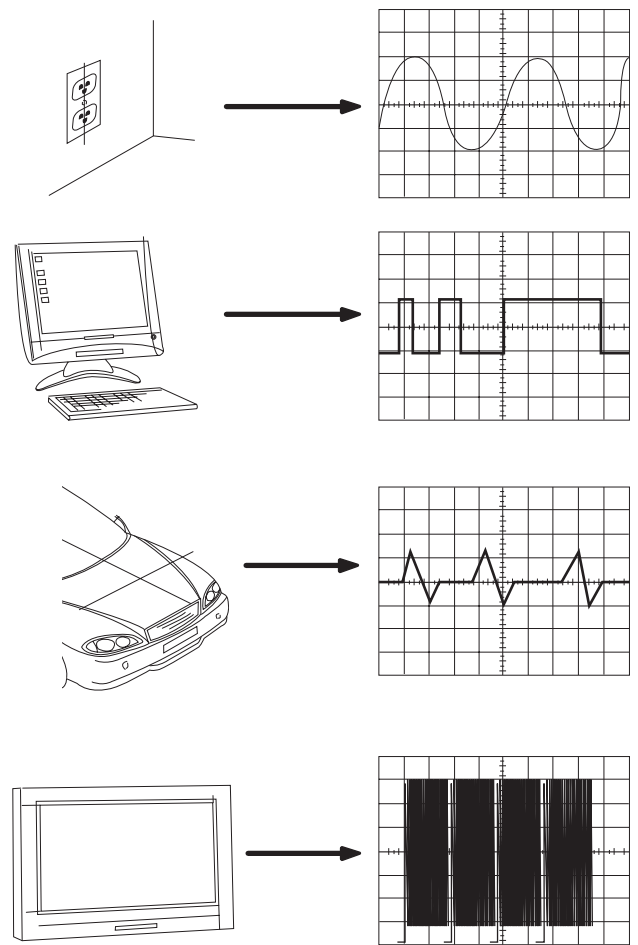


Figure 5. Sources des formes d'onde courantes

## Types d'ondes

On peut classer la plupart des ondes dans les catégories suivantes :

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



## Ondes sinusoïdales

L'onde sinusoïdale est une forme d'onde fondamentale pour plusieurs raisons. Elle possède des propriétés mathématiques harmonieuses : c'est cette même forme d'onde que vous avez peut-être étudiée en cours de trigonométrie. La tension dans vos prises électriques varie avec une forme d'onde sinusoïdale. Les signaux de test produits par le circuit d'oscillation d'un générateur de signaux sont souvent sinusoïdaux. La plupart des sources de courant alternatif ou AC produisent des ondes sinusoïdales (AC signifie courant alternatif, bien que la tension soit également alternative. DC signifie courant direct, ce qui implique un courant et une tension stables et continus, comme ce que produit une pile).

L'onde sinusoïdale atténuée est un cas particulier que vous pourriez observer dans un circuit dont l'oscillation décroît avec le temps.

## Signaux carrés

L'onde carrée est une autre forme d'onde très répandue. Fondamentalement, une onde carrée est une tension qui s'allume et s'éteint (ou qui passe du haut au bas) à intervalles réguliers. C'est une onde de référence pour tester les amplificateurs, car les bons amplificateurs augmentent l'amplitude d'une onde carrée avec un minimum de distorsion. Les circuits de télévision, de radio et d'ordinateurs utilisent souvent des ondes carrées pour leurs signaux de synchronisation.

L'onde rectangulaire est semblable à l'onde carrée, mais les intervalles de temps haut et bas ne sont pas de même longueur. Elle est particulièrement importante pour l'analyse des circuits numériques.

## Signaux en dents de scie et triangulaires

Les ondes en dents de scie et triangulaires proviennent de circuits conçus pour contrôler les tensions de manière linéaire, comme le balayage horizontal d'un oscilloscope analogique ou le balayage de trame d'un téléviseur. Les transitions entre les niveaux de tension de ces ondes s'opèrent à un rythme constant. Ces transitions sont appelées rampes.

## Fonctions impulsions/pulse

Les signaux tels que les pas et les impulsions qui se produisent rarement, ou de manière non périodique, sont appelés signaux ponctuels ou transitoires. Un pas indique une variation soudaine de la tension, similaire à la variation de tension que vous observeriez si vous actionniez un interrupteur électrique.

Une impulsion indique un changement soudain de la tension, similaire aux changements de tension observable si l'on allume puis éteint un interrupteur électrique. Une impulsion peut représenter un bit d'information circulant dans un circuit informatique ou une défaillance ou un dysfonctionnement dans un circuit. Un ensemble d'impulsions qui se déplacent ensemble est un train d'impulsions. Les composants numériques d'un ordinateur communiquent entre eux à l'aide d'impulsions. Ces impulsions peuvent se présenter sous la forme d'un flux de données en série ou de plusieurs lignes de signaux utilisées pour représenter une valeur dans un bus de données parallèle. Les impulsions sont également courantes dans les équipements de radiographie, les radars et les équipements de communication.

## Signaux périodiques et apériodiques

Les signaux récurrents sont appelés signaux périodiques, tandis que les signaux qui varient constamment sont appelés signaux apériodiques. Une image fixe est comparable à un signal périodique, tandis qu'une image en mouvement équivaut à un signal non périodique.

## Signaux synchrones et asynchrones

Lorsqu'il existe une relation temporelle entre deux signaux, ces signaux sont dits synchrones. Les signaux d'horloge, de données et d'adressage dans un ordinateur sont un exemple de signaux synchrones.

Le terme asynchrone est utilisé pour décrire les signaux entre lesquels il n'existe pas de relation temporelle. Comme il n'existe aucune corrélation temporelle entre l'action de presser une touche du clavier d'un ordinateur et l'horloge de l'ordinateur, ces deux signaux sont considérés comme étant asynchrones.

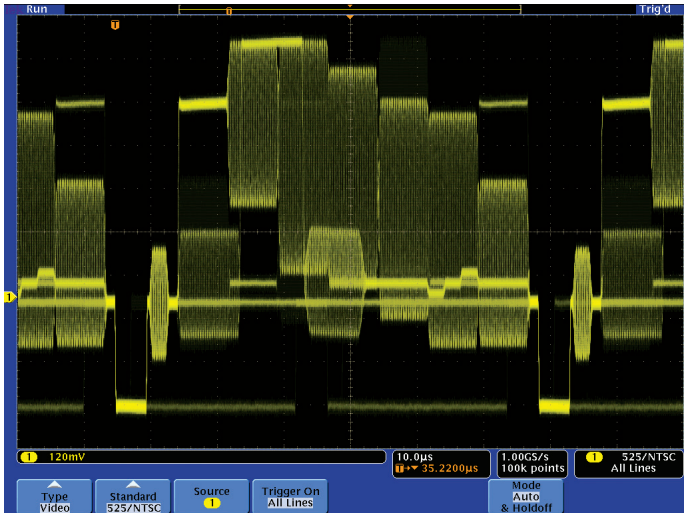


Figure 6. Un signal vidéo composite NTSC est un exemple d'onde complexe

### Signaux plus complexes

Certaines formes d'onde combinent les caractéristiques des ondes sinusoïdales et carrées, ainsi que des pas et des impulsions pour produire des formes d'onde complexes. Les informations du signal peuvent être intégrées sous la forme de variations d'amplitude, de phase et/ou de fréquence. Par exemple, le signal de la Figure 6 est un signal vidéo composite ordinaire, composé de nombreux cycles de formes d'onde à haute fréquence intégrés dans une enveloppe à basse fréquence.

Dans cet exemple, le point le plus important est de comprendre les niveaux relatifs et les relations temporelles entre les pas. Pour visualiser ce signal, vous avez besoin d'un oscilloscope qui capture l'enveloppe de basse fréquence et incorpore les ondes de plus haute fréquence avec une gradation de l'intensité pour pouvoir observer la combinaison de ces dernières sous forme d'image interprétable visuellement. Les oscilloscopes numériques à phosphore sont les plus adaptés à la visualisation d'ondes complexes, comme les signaux vidéo, illustrés à la figure 6. Leurs écrans fournissent les informations nécessaires sur la fréquence d'apparition, ou la gradation de l'intensité, qui sont indispensables pour appréhender le comportement de la forme d'onde.

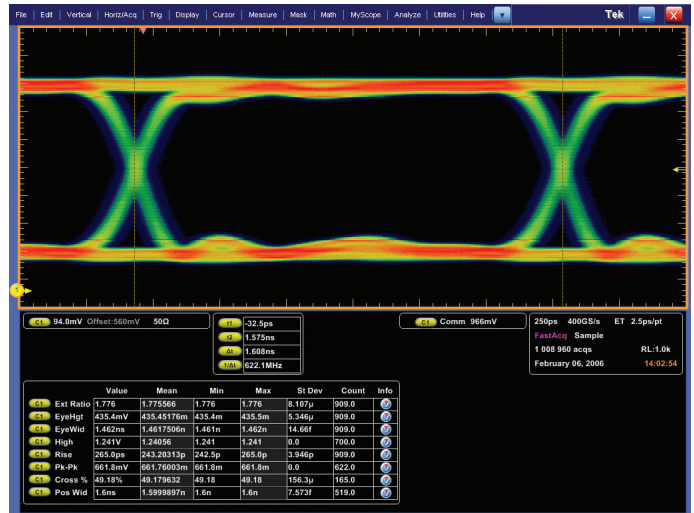


Figure 7. Diagramme en œil de données en série à 622 Mb/s

Certains oscilloscopes permettent d'afficher des formes d'onde complexes d'une manière particulière. Par exemple, les données de télécommunications peuvent être affichées sous la forme d'un diagramme en œil ou d'un diagramme de constellation.

Les signaux de données numériques de télécommunications peuvent être affichés sur un oscilloscope sous la forme d'un type particulier de forme d'onde appelé diagramme en œil. Ce nom provient de la ressemblance de la forme d'onde avec une série d'yeux, comme le montre la Figure 7. Les diagrammes en œil sont produits lorsque les données numériques d'un récepteur sont échantillonnées et appliquées à l'entrée verticale, tandis que le débit de données est utilisé pour déclencher le balayage horizontal. Le diagramme en œil affiche un bit ou un intervalle individuel de données avec toutes les transitions périphériques et tous les états possibles superposés en une seule vue globale.

Un diagramme de constellation est la représentation d'un signal modulé par un schéma de modulation numérique tel que la modulation d'amplitude en quadrature ou la modulation par déplacement de phase.

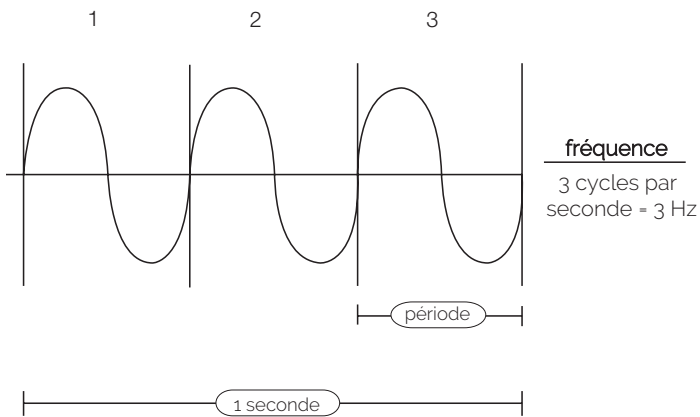


Figure 8. Fréquence et période d'une onde sinusoïdale

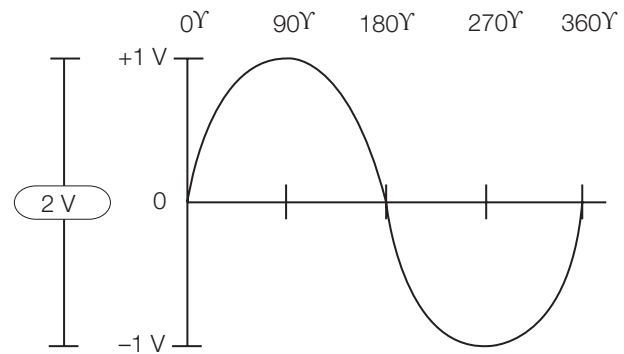


Figure 9. Amplitude et degrés d'une onde sinusoïdale

## Mesures sur des formes d'onde

De nombreux termes techniques sont employés pour décrire les types de mesures effectués avec un oscilloscope. Cette section présente les mesures les plus courantes ainsi que les termes associés.

### Fréquence et période

Si un signal est répété, il a une fréquence. La fréquence est mesurée en Hertz (Hz) et correspond au nombre de répétitions du signal se produisant en une seconde, ou nombre de cycles par seconde. Un signal récurrent possède également une période, qui correspond au temps que prend le signal pour compléter un cycle. La période et la fréquence sont réciproques, de sorte que  $1/\text{période}$  est égal à la fréquence et  $1/\text{fréquence}$  est égal à la période. Par exemple, l'onde sinusoïdale représentée sur la Figure 8 a une fréquence de 3 Hz et une période d' $1/3$  de seconde.

### Potentiels

La tension est le potentiel électrique, ou la force du signal, entre deux points d'un circuit. Généralement, l'un de ces points est la terre, soit zéro volt, mais ce n'est pas toujours le cas. On peut vouloir mesurer la tension entre la crête maximale et la crête minimale d'une forme d'onde, ce que l'on appelle la tension crête-à-crête.

### Amplitude

L'amplitude désigne la valeur de la tension entre deux points d'un circuit. L'amplitude fait généralement référence à la tension maximale d'un signal mesurée à partir de la terre, ou zéro volt. La forme d'onde illustrée sur la Figure 9 a une amplitude de 1 V et une tension crête-à-crête de 2 V.

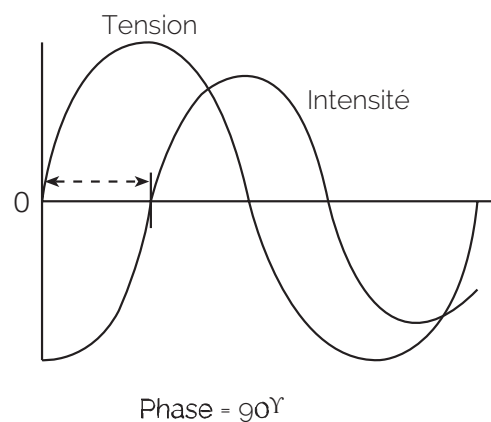


Figure 10. Changement de phase

### Phase

La phase peut facilement être illustrée en observant une onde sinusoïdale. Le niveau de tension des ondes sinusoïdales est basé sur un mouvement circulaire. Étant donné qu'un cercle comporte 360°, un cycle d'une onde sinusoïdale comporte également 360°, comme le montre la Figure 9. En utilisant les degrés, vous pouvez vous référer à l'angle de phase d'une onde sinusoïdale pour décrire la durée de la période écoulée.

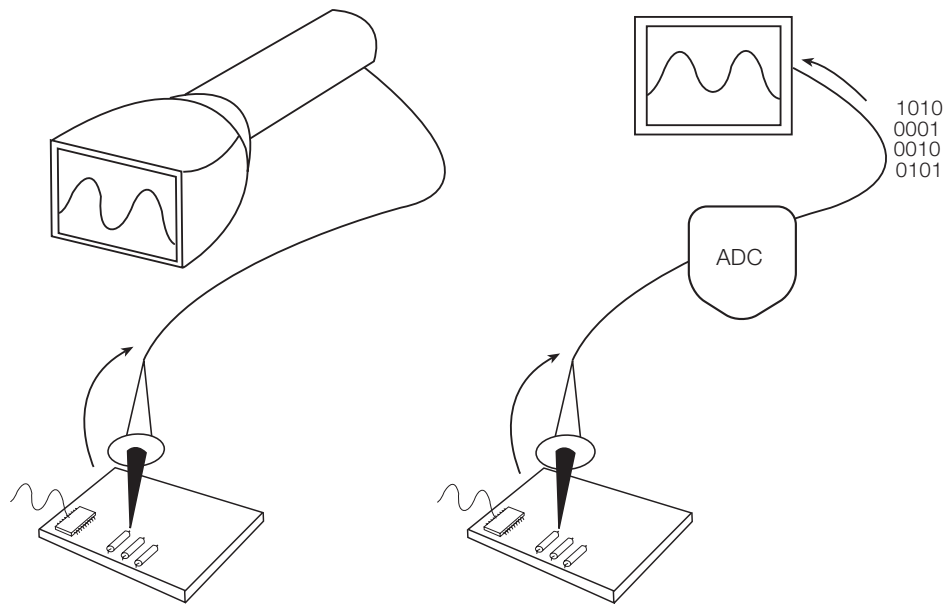
Le déphasage correspond à la différence de synchronisation entre deux signaux similaires. La forme d'onde de la Figure 10 intitulée « courant » est dite déphasée de 90° par rapport à la forme d'onde libellée « tension », car les ondes atteignent des points similaires dans leurs cycles à exactement  $1/4$  de cycle d'intervalle ( $360^\circ/4 = 90^\circ$ ). Les déphasages sont courants en électronique.

## Mesures de formes d'onde avec des oscilloscopes numériques

Les oscilloscopes numériques modernes sont dotés de fonctions facilitant les mesures de formes d'onde. Ils disposent de boutons en façade et/ou de menus à l'écran à partir desquels vous pouvez sélectionner des mesures entièrement automatisées. Celles-ci incluent l'amplitude, la période, le temps de montée/descente, et bien d'autres encore. De nombreux instruments numériques permettent également de calculer la moyenne et la valeur efficace, le rapport cyclique ainsi que d'autres opérations mathématiques. Les mesures automatiques apparaissent sous forme de relevés alphanumériques à l'écran. En général, ces mesures sont plus précises que celles que l'on peut obtenir en interprétant directement le graticule.

### Exemples de mesures de formes d'onde automatisées

- Période
- Fréquence
- Largeur +
- Largeur -
- Temps de montée
- Temps de chute
- Amplitude
- Taux d'extinction
- Puissance optique médiane
- Cycle de travail +
- Cycle de travail -
- Délai
- Phase
- Largeur de rafale
- Crête-à-crête
- Médiane
- Médiane de cycle
- Zone de cycle
- Haut
- Bas
- Minimum
- Maximum
- Dépassement +
- Dépassement -
- Courant efficace
- Cycle de courant efficace
- Gigue



Les oscilloscopes analogiques tracent les signaux

Les oscilloscopes numériques échantillonnent les signaux et créent des affichages

**Figure 11.** Les oscilloscopes analogiques tracent les signaux, tandis que les oscilloscopes numériques échantillonnent les signaux et créent des affichages

## Les différents types d'oscilloscopes

Les équipements électroniques peuvent être classés en deux catégories : les équipements analogiques et les équipements numériques. Les appareils analogiques fonctionnent avec des tensions variables en continu, tandis que les appareils numériques fonctionnent avec des nombres binaires isolés qui représentent des échantillons de tension. Un phonographe est un appareil analogique, tandis qu'un lecteur de CD est un appareil numérique.

Les oscilloscopes peuvent être classés de la même manière puisqu'ils peuvent être analogiques ou numériques. Contrairement à un oscilloscope analogique, un oscilloscope numérique utilise un convertisseur analogique-numérique (CAN) pour convertir la tension mesurée en informations numériques. Il acquiert la forme d'onde sous la forme d'une série d'échantillons, et stocke ces échantillons jusqu'à ce qu'il en accumule suffisamment pour décrire une forme d'onde. L'oscilloscope numérique réassemble ensuite la forme d'onde pour l'afficher sur l'écran, comme le montre la Figure 11.

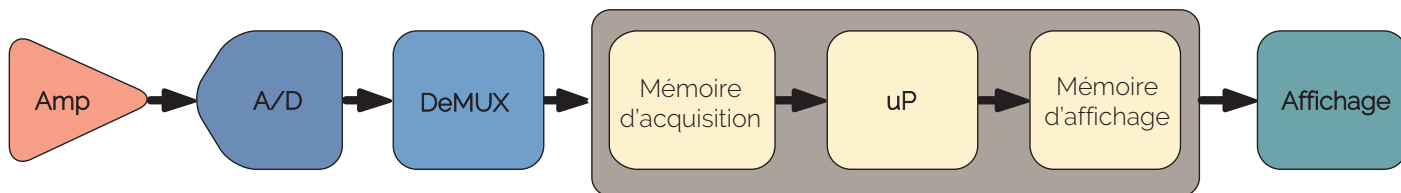
Les oscilloscopes numériques peuvent être classés en oscilloscopes à stockage numérique (DSO), oscilloscopes à phosphore numérique (DPO), oscilloscopes à signaux mixtes (MSO) et oscilloscopes à échantillonnage numérique.

Cette approche numérique fait que l'oscilloscope peut afficher n'importe quelle fréquence dans sa plage supportée de façon stable, lumineuse et claire. Pour les signaux récurrents, la bande passante de l'oscilloscope numérique

est fonction de la bande passante analogique des composants frontaux de l'oscilloscope, ce que l'on appelle communément le point -3 dB. Pour les événements isolés et transitoires, comme les pulsations et les pas, la bande passante peut être limitée par la fréquence d'échantillonnage de l'oscilloscope. Consultez la section Fréquence d'échantillonnage dans la section Considérations à prendre en compte relatives à la performance pour en savoir plus.

## Oscilloscopes à mémoire numérique

Un oscilloscope numérique classique est connu sous le nom d'oscilloscope à mémoire numérique (DSO). Son affichage repose généralement sur un écran matriciel plutôt que sur le phosphore lumineux que l'on trouve dans les anciens oscilloscopes analogiques. Les oscilloscopes à mémoire numérique (DSO) permettent de capturer et de visualiser des événements qui peuvent ne survenir qu'une seule fois, appelés événements transitoires. Les informations de la forme d'onde étant stockées sous forme numérique comme une série de valeurs binaires, elles peuvent être analysées, archivées, imprimées et traitées de diverses manières, par l'oscilloscope lui-même ou sur un ordinateur séparé. La forme d'onde peut être continue ou non. Elle peut être affichée même lorsque le signal disparaît. Contrairement aux oscilloscopes analogiques, les oscilloscopes à mémoire numérique permettent de stocker les signaux de façon permanente et de traiter les formes d'onde de manière approfondie. Cependant, les DSO ne disposent généralement pas d'une gradation de l'intensité en temps réel. Ils ne peuvent donc pas représenter des niveaux d'intensité variables dans le signal en temps réel.



**Figure 12.** L'architecture de traitement en série d'un oscilloscope à mémoire numérique (DSO)

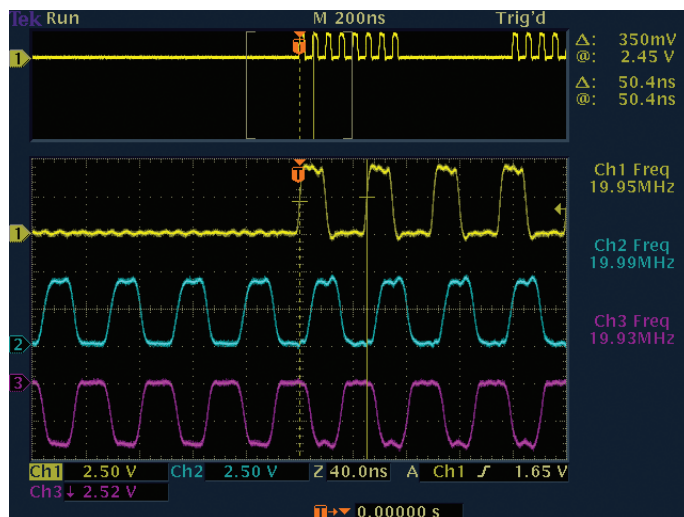
Une partie des sous-systèmes qui composent les DSO sont similaires à ceux des oscilloscopes analogiques. Cependant, les DSO contiennent des sous-systèmes de traitement des données complémentaires qui sont utilisés pour collecter et afficher les données relatives à l'ensemble de la forme d'onde. Un DSO utilise une architecture de traitement en série pour capturer et afficher un signal sur son écran, comme le montre la Figure 12. Une description de cette architecture de traitement en série est présentée ci-dessous.

### Architecture de traitement en série

Tout comme un oscilloscope analogique, le premier étage (d'entrée) d'un DSO est un amplificateur vertical. Les commandes verticales vous permettent de régler l'amplitude et la plage de position à cet étage. Le convertisseur analogique-numérique (CAN) du système horizontal échantillonne ensuite le signal à des points distincts dans le temps et convertit la tension du signal de ces points en valeurs numériques appelées points d'échantillonnage. Ce processus est désigné sous le nom de numérisation d'un signal.

L'horloge d'échantillonnage du système horizontal détermine la fréquence à laquelle l'ADC prélève un échantillon. Cette fréquence est appelée fréquence d'échantillonnage et est exprimée en échantillons par seconde (S/s). Les points d'échantillonnage de l'ADC sont stockés dans la mémoire d'acquisition en tant que points de forme d'onde. Plusieurs points d'échantillonnage peuvent constituer un point de forme d'onde. L'ensemble des points de forme d'onde constitue un enregistrement de forme d'onde. Le nombre de points de forme d'onde utilisés pour créer un enregistrement de forme d'onde est appelé longueur d'enregistrement. Le système de déclenchement détermine les points de départ et d'arrêt de l'enregistrement.

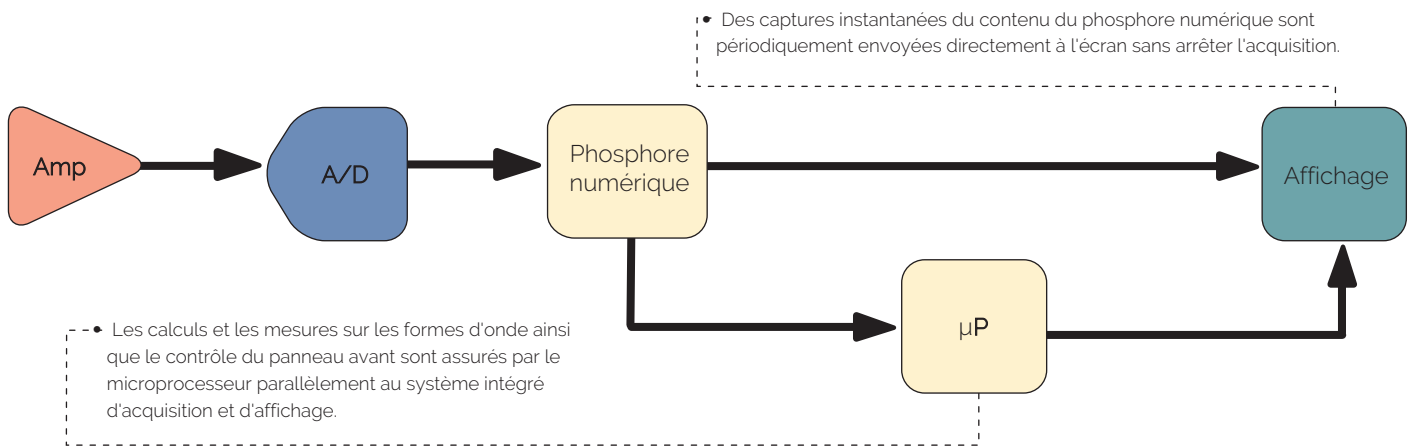
Le trajet du signal du DSO comprend un microprocesseur par lequel passe le signal mesuré avant d'arriver à l'écran. Ce microprocesseur traite le signal, coordonne les opérations d'affichage, gère les commandes du panneau frontal, etc. Le signal passe ensuite par la mémoire d'affichage avant d'être affiché sur l'écran de l'oscilloscope.



**Figure 13.** L'oscilloscope à mémoire numérique fournit une acquisition rapide sur de multiples canaux pour mieux capturer les événements isolés et transitoires difficiles à observer.

En fonction des caractéristiques de votre oscilloscope, un traitement supplémentaire des points d'échantillonnage peut avoir lieu, afin d'améliorer l'affichage. Un pré-déclenchement peut aussi être disponible, ce qui vous permet de visualiser les événements précédant le point de déclenchement. La plupart des oscilloscopes numériques actuels proposent également des mesures paramétriques automatiques, ce qui simplifie le processus de mesure.

Comme le montre la Figure 13, un DSO offre des performances élevées dans un instrument multicanaux à acquisition unique. Les DSO sont idéaux pour les applications de conception multicanaux à haut débit et à faible taux de répétition ou à acquisition unique. Dans le domaine de la conception numérique, un ingénieur examine souvent quatre signaux simultanément ou même davantage, faisant du DSO un compagnon essentiel.



**Figure 14.** L'architecture de traitement parallèle d'un oscilloscope à phosphore numérique (DPO)

## Oscilloscopes numériques à phosphore

L'oscilloscope numérique à phosphore (DPO) offre une nouvelle approche de l'architecture des oscilloscopes. Cette architecture permet à un DPO d'offrir des capacités d'acquisition et d'affichage uniques pour reconstruire un signal avec précision.

Alors qu'un DSO utilise une architecture de traitement en série pour capturer, afficher et analyser les signaux, un DPO utilise une architecture de traitement en parallèle pour réaliser ces fonctions, comme le montre la Figure 14. L'architecture DPO consacre un dispositif ASIC spécifique à l'acquisition d'images de formes d'onde, ce qui permet de capturer des formes d'onde à un taux élevé et donc de mieux visualiser les signaux. Ces performances accroissent la probabilité d'observer les événements transitoires qui se produisent dans les systèmes numériques, tels que les impulsions d'exécution, les défauts et les erreurs transitoires. Elles permettent également de disposer de capacités d'analyse plus poussées. Cette architecture de traitement parallèle est décrite ci-dessous.

### Architecture de traitement parallèle

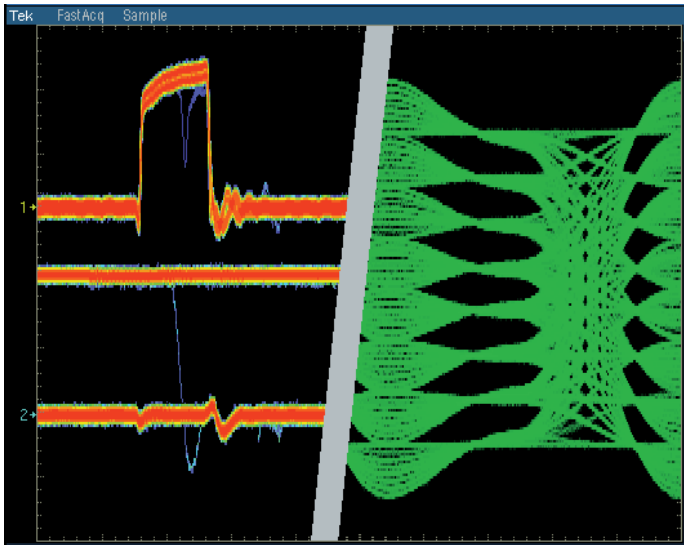
Le premier étage (d'entrée) d'un DPO est semblable à celui d'un oscilloscope analogique puisqu'il s'agit d'un amplificateur vertical. Son deuxième étage est similaire à celui d'un DSO : il s'agit d'un CAN. Mais le DPO diffère considérablement de ses prédécesseurs après l'étape de conversion analogique-numérique.

Pour tout oscilloscope (analogique, DSO ou DPO), il existe toujours un temps d'arrêt pendant lequel l'instrument traite les données les plus récemment acquises, réinitialise le système et attend le prochain événement déclencheur. Pendant ce temps, l'oscilloscope est incapable de détecter une quelconque activité du signal. Les chances de détecter un événement peu fréquent ou à faible répétition diminuent à mesure que ce temps de pause augmente.

Il convient de noter qu'il est impossible de déterminer la probabilité de capture en observant simplement la fréquence de mise à jour de l'affichage. En se fiant uniquement à la fréquence de mise à jour, on risque de croire que l'oscilloscope capture toutes les données pertinentes sur la forme d'onde, alors que ce n'est pas le cas.

L'oscilloscope à mémoire numérique traite les formes d'onde capturées en série. La vitesse de son microprocesseur constitue un goulot d'étranglement dans ce processus car elle limite la fréquence de capture des formes d'onde. Le DPO numérise les données des formes d'onde dans une base de données de phosphore numérique. Tous les 1/30e de seconde, c'est-à-dire aussi vite que peut le percevoir l'œil humain, un instantané de l'image du signal stocké dans la base de données est transmis directement au système d'affichage. Ce traçage direct des données de forme d'onde, et cette copie directe vers la mémoire de l'écran à partir de la base de données, élimine le goulot d'étranglement du traitement des données inhérent aux autres architectures. Il en résulte une mise à jour de l'affichage plus rapide et en « temps réel ». Les particularités du signal, les événements intermittents et les caractéristiques dynamiques du signal sont capturés en temps réel. Le microprocesseur du DPO travaille en parallèle avec ce système d'acquisition intégré pour gérer l'affichage, les mesures et le contrôle de l'instrument, de sorte que ce système n'affecte pas la vitesse d'acquisition de l'oscilloscope.

Un DPO reproduit fidèlement les meilleurs aspects de l'affichage d'un oscilloscope analogique, en affichant le signal en trois dimensions : temps, amplitude et distribution de l'amplitude dans le temps, le tout en temps réel.



**Figure 15.** Certains DPO peuvent acquérir des millions de formes d'onde en quelques secondes, augmentant fortement la probabilité de capturer des événements intermittents et insaisissables tout en révélant le comportement dynamique du signal.

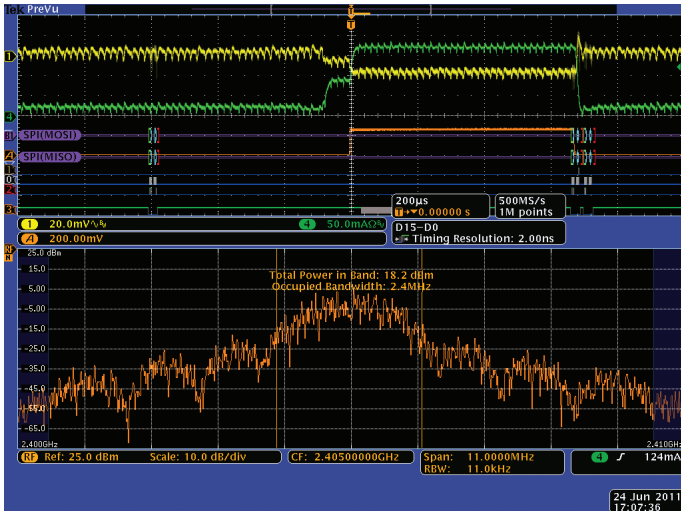
Contrairement à un oscilloscope analogique qui utilise le phosphore chimique, un DPO utilise un phosphore numérique purement électronique qui est en réalité une base de données continuellement mise à jour. Cette base de données contient une "cellule" d'information distincte pour chaque pixel de l'écran de l'oscilloscope. Chaque fois qu'une forme d'onde est capturée (en d'autres termes, chaque fois que l'oscilloscope se déclenche), elle est mise en correspondance avec les cellules de la base de données du phosphore numérique. Chaque cellule qui représente un point de l'écran et qui est touchée par la forme d'onde est enrichie d'informations sur l'intensité, tandis que les autres cellules ne le sont pas. Ainsi, les informations d'intensité s'accumulent dans les cellules où la forme d'onde passe le plus souvent.

Lorsque la base de données de phosphore numérique est transmise à l'écran de l'oscilloscope, l'affichage révèle des zones de forme d'onde intensifiées, proportionnellement à la fréquence d'apparition du signal en chaque point. Le résultat est comparable aux caractéristiques de gradation d'intensité d'un oscilloscope analogique. Le DPO permet également d'afficher les informations de fréquence d'occurrence variable à l'écran avec des contrastes de couleurs, contrairement à un oscilloscope analogique. Avec un DPO, il est facile de voir la différence entre une forme d'onde qui se produit pratiquement à chaque déclenchement et une autre qui se manifeste par exemple une fois sur cent déclenchements.

Les oscilloscopes à phosphore numérique (DPO) éliminent la frontière entre les oscilloscopes analogiques et numériques. Ils conviennent aussi bien à la visualisation des hautes que des basses fréquences, des formes d'onde répétitives, des phénomènes transitoires et des variations du signal en temps réel. Seul un DPO offre un axe Z (intensité) en temps réel, qui fait défaut aux DSO classiques.

Un DPO est idéal pour les utilisateurs qui ont besoin du meilleur outil de conception et de dépannage à vocation générale pour un large éventail d'applications, comme le montre la Figure 15. Un DPO est idéal pour les analyses avancées, les tests de masques de communication, le débogage numérique de signaux intermittents, la conception numérique répétitive et les applications de synchronisation.



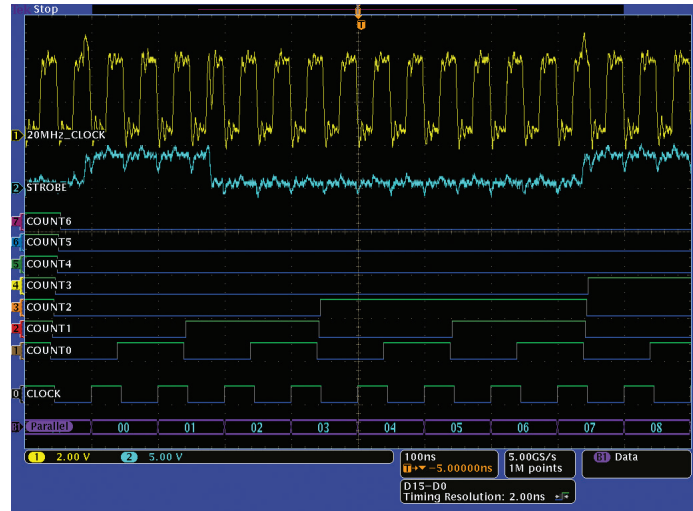


**Figure 16.** Affichage en corrélation temporelle des lignes de contrôle SPI (MOSI) et (MISO) du microprocesseur d'une radio Zigbee avec les mesures du courant et de la tension du drainage du circuit intégré de la radio, et du spectre pendant la mise sous tension.

## Oscilloscopes à domaine mixte

Un oscilloscope à domaine mixte (MDO) combine un analyseur de spectre RF avec un MSO ou un DPO pour permettre la visualisation corrélée de signaux des domaines numérique, analogique et RF. Par exemple, le MDO vous permet de visionner des représentations corrélées dans le temps de signaux de protocole, d'état logique, analogiques et RF dans une conception intégrée. Cela raccourcit considérablement la durée d'observation et les incertitudes de mesure entre des événements inter-domaines.

Le fait de connaître le délai entre une commande du microprocesseur et un événement RF dans une conception RF embarquée simplifie les configurations de test et permet de réaliser des mesures complexes sur le plan de travail. Pour les radios intégrées, comme la conception Zigbee illustrée sur la Figure 16, on peut déclencher l'activation de l'événement RF et visualiser la latence des lignes de commande SPI décodées du contrôleur du microprocesseur, le courant et la tension de drainage lors de la mise sous tension, et tous les événements de spectre qui en résultent. En un seul affichage, vous obtenez une vue corrélée dans le temps de tous les domaines de la radio : protocole (numérique), analogique et RF.



**Figure 17.** Le MSO offre 16 canaux numériques intégrés, permettant d'observer et d'analyser des signaux analogiques et numériques corrélés dans le temps.

## Oscilloscopes à signaux mixtes

L'oscilloscope à signaux mixtes (MSO) combine les performances d'un DPO avec les fonctions de base d'un analyseur logique à 16 canaux, notamment le décodage et le déclenchement des protocoles de bus parallèle/série. Les canaux numériques du MSO traitent le signal numérique comme un signal logique haut ou bas, tout comme le fait un circuit numérique. Cela signifie que tant que la résonance, le dépassement et le rebond à la masse ne provoquent pas de transitions logiques, ces particularités analogiques ne posent pas de problème au MSO. Tout comme un analyseur logique, un MSO utilise une tension de seuil pour déterminer si le signal est logiquement haut ou bas.

Le MSO est un outil privilégié pour déboguer rapidement les circuits numériques grâce à son déclenchement numérique efficace, sa capacité d'acquisition haute résolution et ses outils d'analyse. On peut plus rapidement identifier la source de nombreux problèmes numériques en analysant les représentations analogiques et numériques du signal, comme le montre la Figure 17, ce qui fait du MSO l'outil de référence pour la vérification et le débogage des circuits numériques.

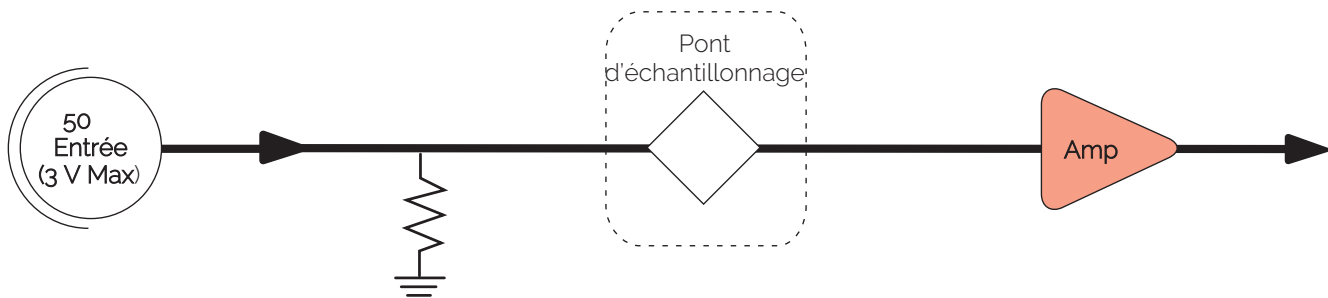


Figure 18. L'architecture de traitement parallèle d'un oscilloscope numérique à phosphore (DPO).

## Oscilloscopes à échantillonnage numérique

Contrairement aux architectures des oscilloscopes à mémoire numérique et à phosphore numérique, celle de l'oscilloscope numérique à échantillonnage inverse la position de l'atténuateur/amplificateur et du pont d'échantillonnage, comme le montre la Figure 18. Le signal d'entrée est échantillonné avant toute atténuation ou amplification. Un amplificateur à faible bande passante peut alors être utilisé après le pont d'échantillonnage car le signal a déjà été converti à une fréquence plus basse par la porte d'échantillonnage, ce qui permet d'obtenir un instrument dont la bande passante est beaucoup plus élevée.

La contrepartie de cette bande passante étendue est la limitation de la plage dynamique de l'oscilloscope à échantillonnage. Comme il n'y a pas d'atténuateur/amplificateur en amont de la porte d'échantillonnage, il n'est pas possible de changer l'échelle de l'entrée. Le pont d'échantillonnage doit être capable de gérer à tout moment toute la plage dynamique de l'entrée. Par conséquent, la plage dynamique de la plupart des oscilloscopes à échantillonnage est limitée à environ 1 V crête-à-crête. Les oscilloscopes à mémoire numérique et à phosphore numérique peuvent quant à eux gérer de 50 à 100 volts.

De plus, il est impossible de placer des diodes de protection en amont du pont d'échantillonnage, car cela limiterait la bande passante. La tension d'entrée sécuritaire pour un oscilloscope à échantillonnage est donc limitée à environ 3 V, contre 500 V pour les autres types d'oscilloscopes.

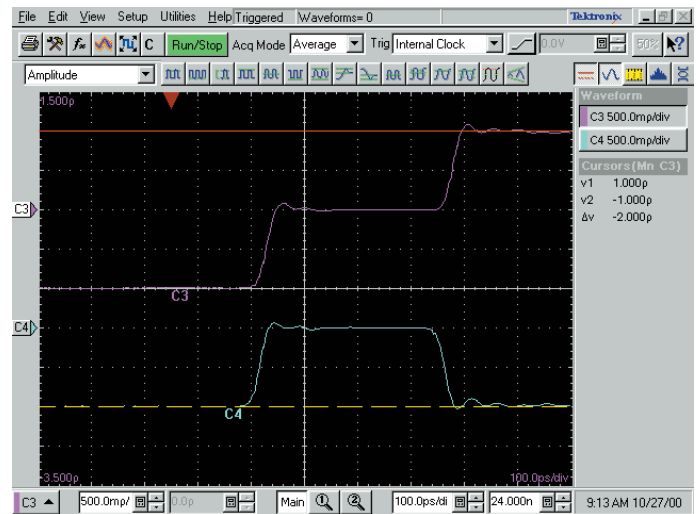


Figure 19. Affichage de la réflectométrie temporelle (TDR) à partir d'un échantillonnage numérique.

Pour mesurer des signaux à haute fréquence, il est possible que le DSO ou le DPO n'ait pas la capacité de collecter suffisamment d'échantillons en un seul balayage. Un oscilloscope à échantillonnage numérique est un outil idéal pour capturer avec précision des signaux dont les composantes de fréquence sont beaucoup plus élevées que la fréquence d'échantillonnage de l'oscilloscope, comme le montre la Figure 19. Ce type d'oscilloscope est capable de mesurer des signaux dont la fréquence est dix fois supérieure que tout autre oscilloscope. Il peut atteindre une bande passante et une synchronisation à grande vitesse dix fois supérieures à celles des autres oscilloscopes pour les signaux répétitifs. Les oscilloscopes à échantillonnage séquentiel en temps équivalent sont disponibles avec des bandes passantes allant jusqu'à 80 GHz.

## Généralités sur l'instrument et réglages

Cette section décrit succinctement les systèmes et commandes de base des oscilloscopes analogiques et numériques. Certaines commandes diffèrent entre les oscilloscopes analogiques et numériques. Votre oscilloscope possède probablement des commandes complémentaires qui ne seront pas mentionnées ici.

Un oscilloscope de base se compose de quatre systèmes différents : le système vertical, le système horizontal, le système de déclenchement et le système d'affichage. Il est important de comprendre chacun de ces systèmes pour pouvoir utiliser efficacement l'oscilloscope afin de répondre à vos besoins spécifiques en matière de mesure. Rappelez-vous que chaque système participe à la représentation précise d'un signal par l'oscilloscope.

Le panneau avant d'un oscilloscope est divisé en trois sections principales : verticale, horizontale et déclenchement. Votre oscilloscope peut avoir d'autres sections, selon son modèle et son type. Au fur et à mesure de la lecture de cette section, essayez de localiser ces sections de la façade sur la Figure 20 et sur votre oscilloscope.

Lorsque vous utilisez un oscilloscope, vous devez ajuster trois paramètres de base pour prendre en compte un signal entrant :

- Vertical: L'atténuation ou l'amplification du signal. Utilisez la commande volts/div pour ajuster l'amplitude du signal afin d'atteindre la plage de mesure souhaitée.
- Horizontal: La base temporelle. Utilisez le contrôle sec/div pour définir la durée de chaque division représentée horizontalement à l'écran.
- Déclenchement: Le déclenchement de l'oscilloscope. Utilisez le niveau de déclenchement pour stabiliser un signal récurrent, ou pour se déclencher lors de la survenue d'un événement donné.

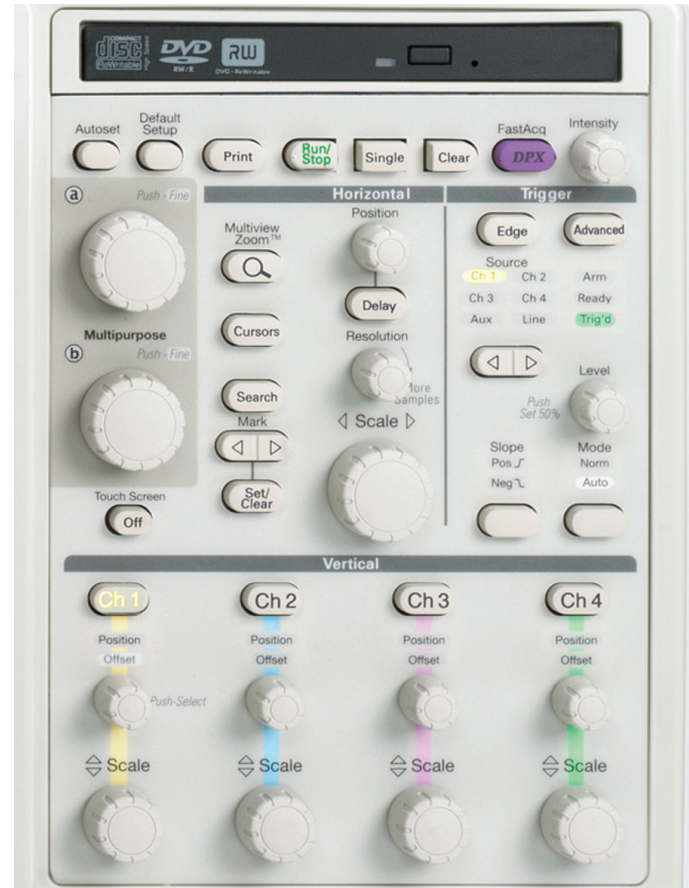


Figure 20. Panneau de contrôle avant d'un oscilloscope.

### Les commandes verticales courantes comprennent notamment:

- Terminaison
  - 1M ohm
  - 50 ohm
- Couplage
  - DC
  - AC
  - GND
- Bande passante
  - Limite
  - Amélioration
- Position
- Décalage
- Inversion – On/Off
- Échelle
  - Fixe
  - Variable

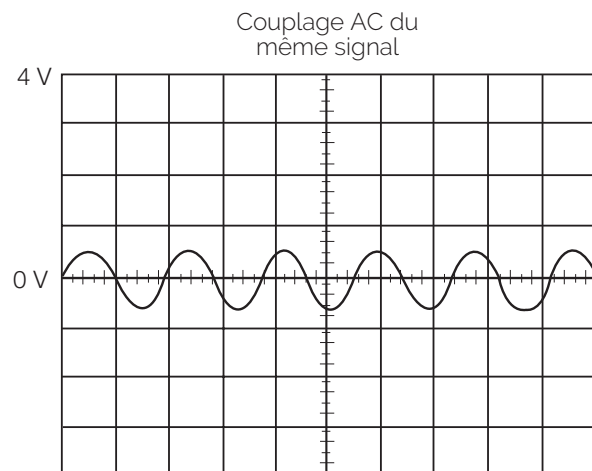
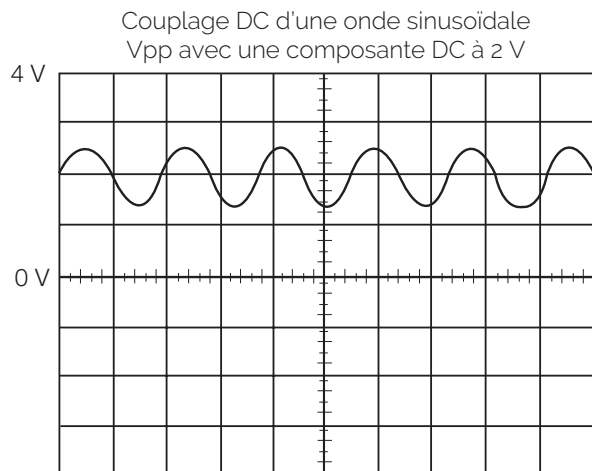


Figure 21. Couplage d'entrée AC et DC

## Réglages verticaux

Les réglages verticaux sont utilisés pour positionner et mettre à l'échelle la forme d'onde sur l'axe vertical, définir le couplage d'entrée, et ajuster d'autres paramètres de traitement du signal.

### Position et volts par division

La commande de position verticale vous permet de déplacer la forme d'onde vers le haut et vers le bas, pour la placer exactement là où vous le souhaitez à l'écran.

Le paramètre de volts par division (généralement noté volts/div) est un facteur d'échelle qui fait varier la taille de la forme d'onde à l'écran. Si le paramètre volts/div est de 5 volts, chacune des huit divisions verticales représente 5 volts et l'écran complet peut afficher 40 volts de bas en haut, si l'on suppose que le graticule comporte huit divisions principales. Si le réglage est de 0,5 volt/div, l'écran peut afficher 4 volts de bas en haut, et ainsi de suite. La tension maximale que vous pouvez afficher sur l'écran est le réglage de volts/div multiplié par le nombre de divisions verticales. Notez que la sonde que vous utilisez, selon qu'elle soit 1X ou 10X, influence également le facteur d'échelle. Vous devez diviser l'échelle en volts/div par le facteur d'atténuation de la sonde si l'oscilloscope ne le fait pas.

Souvent, l'échelle volts/div est dotée d'un gain variable ou d'un contrôle de gain fin pour mettre à l'échelle un signal affiché à un certain nombre de divisions. Utilisez cette commande pour faciliter la mesure du temps de montée.

## Paramétrage du canal d'entrée

Le couplage fait référence à la méthode utilisée pour raccorder un signal électrique d'un circuit à un autre. Dans ce cas, le couplage d'entrée est la connexion de votre circuit de test à l'oscilloscope. Le couplage peut être réglé sur DC, AC ou la masse. Le couplage DC montre la totalité d'un signal d'entrée. Le couplage AC bloque la composante DC d'un signal de sorte que vous puissiez voir la forme d'onde centrée sur zéro volt. La Figure 21 illustre cette différence. Le réglage de couplage AC est utile lorsque le signal complet (courant alternatif + courant continu) est trop puissant pour le réglage volts/div.

Le réglage de mise à la terre déconnecte le signal d'entrée du système vertical, ce qui vous permet de voir où se trouve la valeur de zéro volt à l'écran. Avec le couplage d'entrée à la masse et le mode de déclenchement automatique, vous voyez une ligne horizontale sur l'écran qui représente zéro volt. Le passage du courant continu à la masse et inversement est un moyen pratique de mesurer les niveaux de tension du signal par rapport à la masse.

## Limite de la bande passante

La plupart des oscilloscopes possèdent un circuit qui limite la bande passante de l'oscilloscope. En limitant la bande passante, vous réduisez le bruit qui apparaît parfois sur la forme d'onde affichée, ce qui permet d'obtenir un affichage plus propre du signal. Notez que, tout en éliminant le bruit, la limite de la bande passante peut également réduire ou éliminer le contenu du signal à haute fréquence.

## Améliorations apportées sur la réponse fréquentielle de l'oscilloscope

Certains oscilloscopes fournissent un filtre d'égalisation arbitraire DSP qui sert à améliorer la réponse des canaux de l'oscilloscope. Ce filtre élargit la bande passante, atténue la réponse des canaux de l'oscilloscope, améliore la linéarité de phase, et permet de mieux associer les différents canaux. Il réduit aussi le temps de montée et améliore la réponse de pas du domaine temporel.

## Réglages horizontaux

Le système horizontal d'un oscilloscope est étroitement lié à l'acquisition d'un signal d'entrée : la fréquence d'échantillonnage et la longueur d'enregistrement figurent parmi les facteurs à prendre en compte. Les commandes horizontales sont utilisées pour positionner et mettre à l'échelle la forme d'onde sur l'axe horizontal.

## Réglages d'acquisition

Les oscilloscopes numériques comportent des paramètres qui vous permettent de contrôler la façon dont le système d'acquisition traite un signal. Examinez les options d'acquisition de votre oscilloscope numérique pendant que vous lisez cette section. La Figure 22 vous montre un exemple de menu d'acquisition.

## Modes d'acquisition

Les modes d'acquisition contrôlent la façon dont les points de forme d'onde sont produits à partir des points d'échantillonnage. Les points d'échantillonnage sont les valeurs numériques dérivées directement du convertisseur analogique-numérique (ADC). L'intervalle d'échantillonnage correspond à la durée entre ces points d'échantillonnage. Les points de forme d'onde sont les valeurs numériques qui sont stockées en mémoire et affichées pour construire la forme d'onde. La différence de valeur temporelle entre les points de forme d'onde est appelée l'intervalle de forme d'onde.

### Les réglages horizontaux courants comprennent:

- Base temporelle
- XY
- Échelle
- Séparation de tracé
- Longueur d'enregistrement
- Résolution
- Fréquence d'échantillonnage
- Position de déclenchement
- Grossissement/déplacement
- Recherche

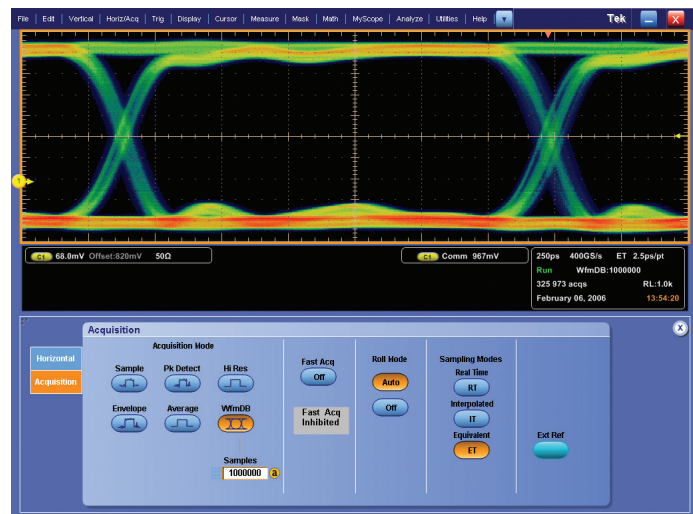
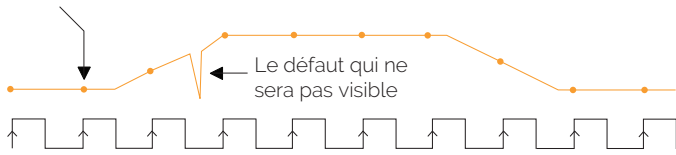


Figure 22. Exemple de menu d'acquisition.

L'intervalle d'échantillonnage et l'intervalle de la forme d'onde peuvent ou non être identiques. De plus, les points de la forme d'onde peuvent être créés à partir d'un ensemble de points d'échantillons provenant d'acquisitions multiples, ce qui constitue un autre type de mode d'acquisition. Vous trouverez ci-dessous une description des modes d'acquisition les plus couramment utilisés.

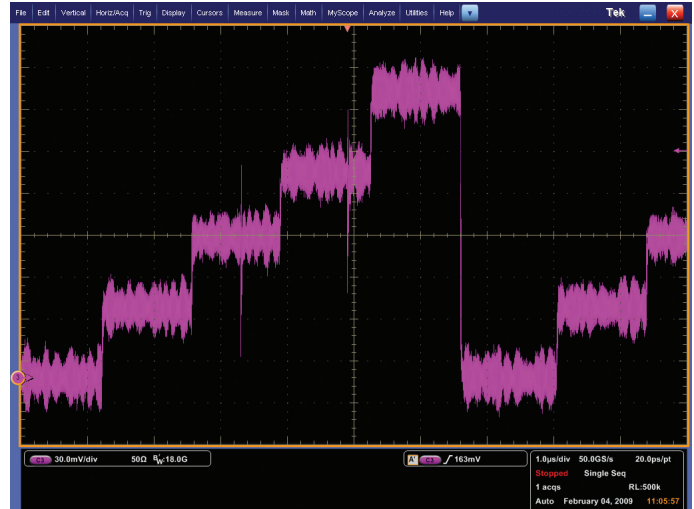
Point échantillonné  
affiché par le DSO



**Figure 23.** La fréquence d'échantillonnage varie en fonction des réglages de la base temporelle : plus le réglage de la base temporelle est lent, plus la fréquence d'échantillonnage diminue. Certains oscilloscopes numériques offrent un mode de détection de crête pour capturer les événements transitoires rapides à une vitesse de balayage lente.

## Types de modes d'acquisition

- **Mode échantillon :** Il s'agit du mode d'acquisition le plus simple. L'oscilloscope crée un point de forme d'onde en enregistrant un point d'échantillon durant chaque intervalle de forme d'onde.
- **Mode détection de crête :** L'oscilloscope enregistre les points d'échantillonnage de valeur minimale et maximale pris pendant deux intervalles de forme d'onde et utilise ces échantillons comme les deux points de forme d'onde correspondants. Les oscilloscopes numériques dotés du mode de détection de crête exécutent le CAN à une fréquence d'échantillonnage rapide, même avec des réglages de base de temps très lents (les réglages de base de temps lents se traduisent par de longs intervalles de forme d'onde) et sont capables de capturer les changements rapides du signal qui se produiraient entre les points de forme d'onde en mode d'échantillonnage, comme le montre la Figure 23. Le mode de détection de crête est particulièrement utile pour voir des impulsions étroites très espacées dans le temps, comme le montre la Figure 24.
- **Mode haute résolution :** Comme la détection de crête, le mode haute résolution est un moyen d'obtenir plus d'informations lorsque l'ADC peut échantillonner plus rapidement que ne le requiert le réglage de la base de temps. Dans ce cas, plusieurs échantillons pris dans un intervalle de forme d'onde sont moyennés ensemble pour produire un point de forme d'onde. Il en résulte une diminution du bruit et une amélioration de la résolution pour les signaux à faible vitesse. L'avantage du mode haute résolution par rapport à la moyenne est que le mode haute résolution peut être utilisé même sur un événement à prise unique.
- **Mode Enveloppe :** Le mode Enveloppe est similaire au mode de détection de crête. Cependant, en mode enveloppe, les points de forme d'onde minimum et maximum de plusieurs acquisitions sont combinés pour former une forme d'onde qui montre l'accumulation min/max dans le temps. Le mode de détection de crête est généralement utilisé pour acquérir les enregistrements qui sont combinés pour former la forme d'onde de l'enveloppe.

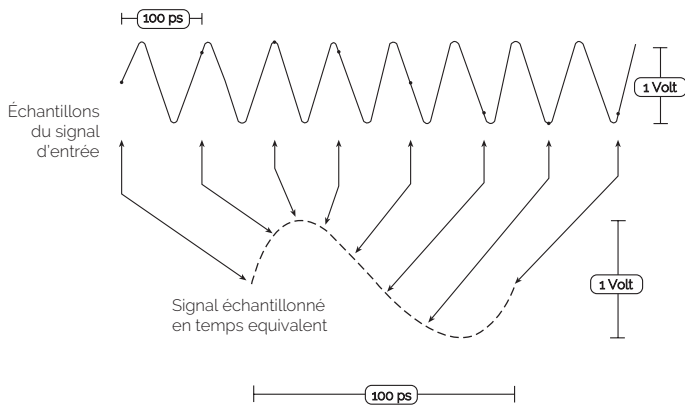


**Figure 24.** Le mode de détection de crête permet à l'oscilloscope de capturer des anomalies ponctuelles et transitoires.

- **Mode Moyenne :** En mode moyenne, l'oscilloscope enregistre un point d'échantillonnage pendant chaque intervalle de forme d'onde comme en mode échantillon. Cependant, les points de forme d'onde provenant d'acquisitions consécutives sont ensuite agrégés pour produire la forme d'onde finale affichée. Le mode moyenne réduit le bruit sans perte de bande passante, mais nécessite un signal répétitif.
- **Mode base de données de formes d'onde :** En mode base de données de formes d'onde, l'oscilloscope accumule une base de données de formes d'onde qui fournit un tableau tridimensionnel d'amplitude, de temps et de comptage.

## Démarrage et arrêt de l'acquisition

L'un des principaux avantages des oscilloscopes numériques est leur capacité à stocker les formes d'onde pour les visualiser ultérieurement. Pour ce faire, on trouve généralement un ou plusieurs boutons sur le panneau avant qui permettent de démarrer et d'arrêter le système d'acquisition afin de pouvoir analyser les formes d'onde au moment voulu. De plus, l'oscilloscope peut si nécessaire s'arrêter automatiquement après la fin d'une acquisition ou après qu'un ensemble d'enregistrements ait été transformé en une enveloppe ou une forme d'onde moyenne. Cette fonction est communément appelée balayage unique ou séquence unique et ses commandes se trouvent généralement soit avec les autres commandes d'acquisition, soit avec les commandes de déclenchement.



**Figure 25.** Échantillonnage élémentaire, montrant que les points d'échantillonnage sont reliés par interpolation pour produire une forme d'onde continue.

## Fréquence d'échantillonnage

L'échantillonnage est le processus de conversion d'une partie d'un signal d'entrée en un certain nombre de valeurs électriques discrètes à des fins de stockage, de traitement et/ou d'affichage. L'amplitude de chaque point échantillonné est égale à l'amplitude du signal d'entrée à l'instant où le signal est échantillonné.

L'échantillonnage revient à prendre des instantanés. Chaque instantané correspond à un moment précis de la forme d'onde. Ces instantanés peuvent ensuite être disposés dans l'ordre approprié dans le temps afin de reconstruire le signal d'entrée.

Dans un oscilloscope numérique, un réseau de points échantillonnés est reconstitué sur un écran avec l'amplitude mesurée sur l'axe vertical et le temps sur l'axe horizontal, comme illustré à la Figure 25.

La forme d'onde d'entrée de la Figure 25 apparaît comme une série de points à l'écran. Si les points sont très espacés et difficiles à interpréter en tant que forme d'onde, ils peuvent être reliés par un processus appelé interpolation.

L'interpolation relie les points avec des lignes, ou des vecteurs. Il existe un certain nombre de méthodes d'interpolation qui peuvent être utilisées pour produire une représentation précise d'un signal d'entrée continu.

## Réglages concernant la fréquence d'échantillonnage

Certains oscilloscopes numériques vous offrent le choix de la méthode d'échantillonnage - soit un échantillonnage en temps réel, soit un échantillonnage en temps équivalent. Les commandes d'acquisition disponibles avec ces oscilloscopes vous permettront de sélectionner une méthode d'échantillonnage pour acquérir les signaux. Notez que ce choix ne fait aucune différence pour les réglages de base de temps lente et n'a d'effet que lorsque l'ADC ne peut pas échantillonner assez rapidement pour remplir l'enregistrement de points de forme d'onde en un seul passage. Chaque méthode d'échantillonnage présente des avantages distincts, en fonction du type de mesures effectuées.

Des commandes sont généralement disponibles sur les oscilloscopes modernes pour vous donner le choix entre trois modes de fonctionnement de la base de temps horizontale. Si vous explorez simplement les signaux et que vous voulez interagir avec un signal en direct, vous utiliserez le mode automatique ou interactif par défaut. Celui-ci vous fournit la fréquence de mise à jour de l'affichage la plus réactive. Si vous voulez une mesure précise et le taux d'échantillonnage en temps réel le plus élevé qui vous donnera la plus grande précision de mesure, alors le mode Taux d'échantillonnage constant est plus approprié. Il maintiendra le taux d'échantillonnage le plus élevé et fournira la meilleure résolution en temps réel. Le dernier mode est appelé mode Manuel car il assure un contrôle direct et indépendant de la fréquence d'échantillonnage et de la longueur d'enregistrement.

## Méthode d'échantillonnage en temps réel

L'échantillonnage en temps réel est idéal pour les signaux dont la gamme de fréquences est inférieure à la moitié de la fréquence d'échantillonnage maximale de l'oscilloscope. Dans ce cas, l'oscilloscope peut acquérir plus qu'assez de points en un « balayage » de la forme d'onde pour construire une image précise, comme le montre la Figure 26. L'échantillonnage en temps réel est le seul moyen de capturer des signaux transitoires rapides et ponctuels, avec un oscilloscope numérique.

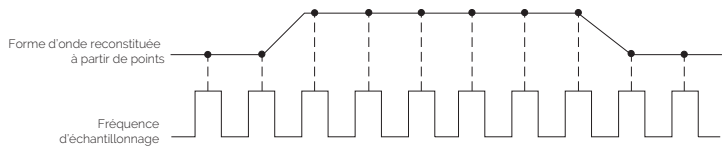


Figure 26. Méthode d'échantillonnage en temps réel.

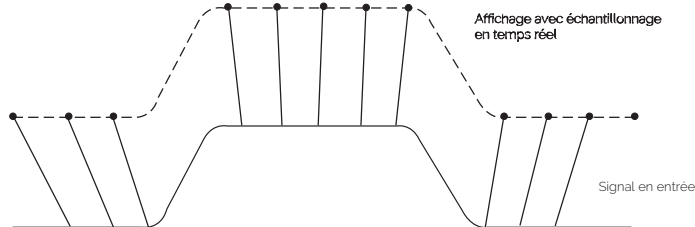


Figure 27. Pour capturer cette pulsation d'une durée de 10 ns en temps réel, la fréquence d'échantillonnage doit être suffisamment élevée pour que les contours soient bien définis.

L'échantillonnage en temps réel constitue le plus grand défi pour les oscilloscopes numériques du fait de la fréquence d'échantillonnage nécessaire pour numériser avec précision les événements transitoires à haute fréquence, comme le montre la Figure 27. Ces événements ne se produisent qu'une seule fois et doivent être échantillonnés dans le même laps de temps où ils se produisent.

Si la fréquence d'échantillonnage n'est pas assez élevée, les composantes à haute fréquence peuvent se « replier » sur une fréquence plus basse, provoquant un aliasing à l'écran, comme le montre la Figure 28. En outre, l'échantillonnage en temps réel est encore plus compliqué en raison de la mémoire haute vitesse nécessaire pour stocker la forme d'onde une fois qu'elle est numérisée. Veuillez vous reporter aux sections Fréquence d'échantillonnage et Longueur d'enregistrement dans la section Considérations à prendre en compte relatives à la performance pour plus de détails concernant la fréquence d'échantillonnage et la longueur d'enregistrement nécessaires pour caractériser avec précision les composantes haute fréquence.

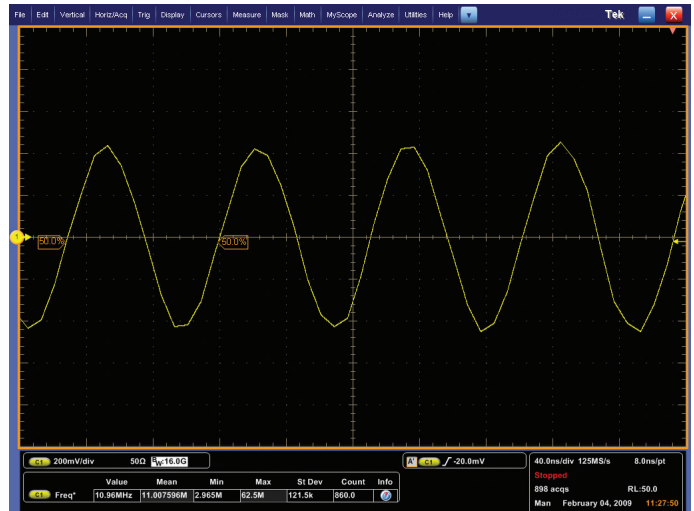


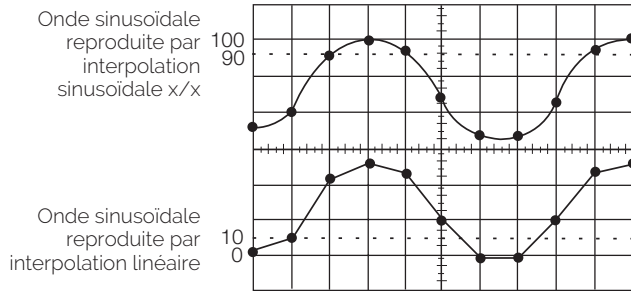
Figure 28. Le sous-échantillonnage d'une onde sinusoïdale crée des effets d'aliasing.

### Echantillonnage en temps réel avec interpolation

Les oscilloscopes numériques prélèvent des échantillons isolés du signal qui peuvent être affichés. Cependant, il peut être difficile de visualiser le signal représenté sous forme de points, notamment parce qu'il peut n'y avoir que quelques points représentant les parties haute fréquence du signal. Pour faciliter la visualisation des signaux, les oscilloscopes numériques disposent généralement de modes d'affichage par interpolation.

Pour simplifier, l'interpolation « relie les points » de sorte qu'un signal qui n'est échantillonné que quelques fois par cycle puisse être affiché avec précision. En utilisant l'échantillonnage en temps réel avec interpolation, l'oscilloscope collecte quelques points d'échantillonnage du signal en un seul passage en mode temps réel et utilise l'interpolation pour combler les lacunes. L'interpolation est une technique de traitement utilisée pour estimer l'aspect de la forme d'onde à partir de quelques points.





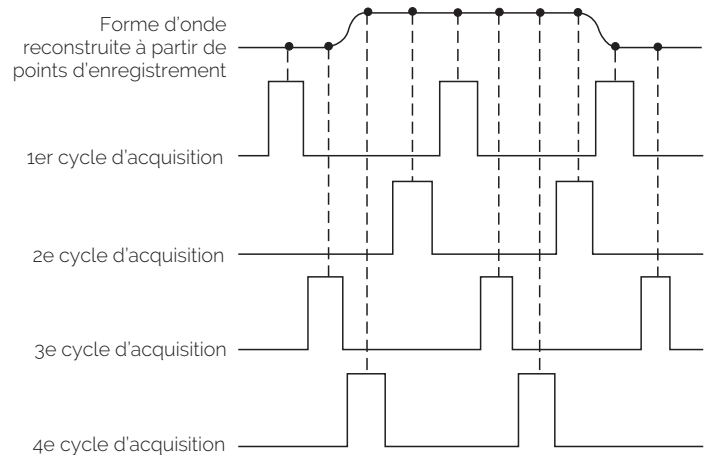
**Figure 29.** Interpolation linéaire et sinusoidale  $x/x$ .

L'interpolation linéaire relie les points d'échantillonnage par des lignes droites. Cette approche est limitée à la reconstruction de signaux rectilignes, comme l'illustre la Figure 29. Cela se prête mieux aux ondes carrées.

L'interpolation sinusoidale  $x/x$ , plus polyvalente, relie les points d'échantillonnage à des courbes, comme illustré à la figure 29. L'interpolation sinusoidale  $x/x$  est un procédé mathématique dans lequel des points sont calculés pour combler le temps entre les échantillons réels. Cette forme d'interpolation se prête aux formes de signaux courbes et irrégulières, qui sont bien plus courantes dans le monde réel que les ondes carrées et les impulsions pures. Par conséquent, l'interpolation sinusoidale  $x/x$  est la méthode privilégiée pour les applications où la fréquence d'échantillonnage est de 3 à 5 fois supérieure à la bande passante du système.

### Méthode d'échantillonnage en temps équivalent

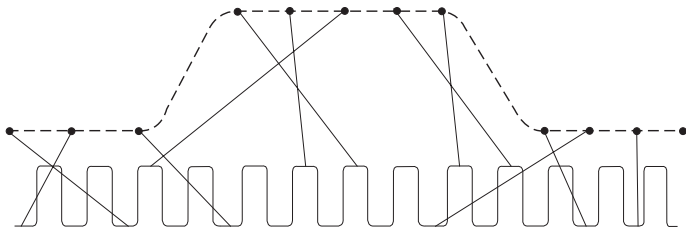
Lors de la mesure de signaux haute fréquence, l'oscilloscope peut ne pas être en mesure de collecter suffisamment d'échantillons en un seul balayage. L'échantillonnage en temps équivalent peut être utilisé pour acquérir avec précision des signaux dont la fréquence dépasse la moitié de la fréquence d'échantillonnage de l'oscilloscope, comme illustré à la Figure 30.



**Figure 30.** Certains oscilloscopes utilisent l'échantillonnage en temps équivalent pour capturer et afficher des signaux répétitifs très rapides.

Les numériseurs (échantillonneurs) à temps équivalent tirent parti du fait que la plupart des événements naturels et artificiels sont répétitifs. L'échantillonnage en temps équivalent construit une image d'un signal répétitif en capturant une petite partie des informations de chaque répétition. La forme d'onde s'accumule lentement comme une guirlande lumineuse, s'illuminant une à une. Cela permet à l'oscilloscope de capturer avec précision des signaux dont les composantes de fréquence sont beaucoup plus élevées que la fréquence d'échantillonnage de l'oscilloscope.

Il existe deux types de méthodes d'échantillonnage en temps équivalent : aléatoire et séquentielle. Chacune a ses avantages. L'échantillonnage aléatoire en temps équivalent permet l'affichage du signal d'entrée avant le point de déclenchement, sans l'utilisation d'une ligne à retard. L'échantillonnage séquentiel en temps équivalent offre une résolution temporelle et une précision bien supérieures. Tous deux nécessitent que le signal d'entrée soit répétitif.

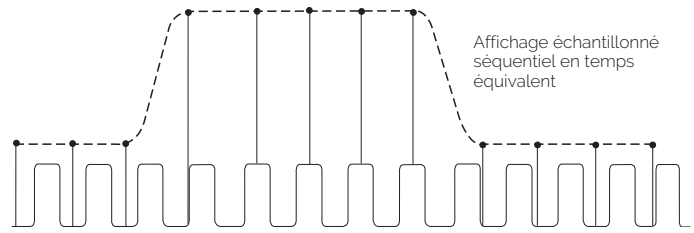


**Figure 31.** Dans l'échantillonnage aléatoire en temps équivalent, l'horloge d'échantillonnage fonctionne de manière asynchrone par rapport au signal d'entrée et au déclenchement.

### Échantillonnage aléatoire en temps équivalent

Les numériseurs (échantillonneurs) à temps équivalent aléatoire utilisent une horloge interne qui fonctionne de manière asynchrone par rapport au signal d'entrée et au déclenchement du signal, comme l'illustre la Figure 31. Les échantillons sont capturés en continu, indépendamment de la position du déclencheur, et sont affichés en fonction de la différence de temps entre l'échantillon et le déclencheur. Bien que les échantillons soient pris séquentiellement dans le temps, ils sont aléatoires par rapport au déclencheur - d'où le nom d'échantillonnage "aléatoire" en temps équivalent. Les points d'échantillonnage apparaissent de manière aléatoire le long de la forme d'onde lorsqu'ils sont affichés sur l'écran de l'oscilloscope.

Le principal avantage de cette technique d'échantillonnage est la possibilité d'acquérir et d'afficher des échantillons avant le point de déclenchement, ce qui élimine la nécessité de signaux de pré-déclenchement externes ou de lignes de délai. Selon la fréquence d'échantillonnage et la fenêtre temporelle de l'affichage, l'échantillonnage aléatoire peut également permettre d'acquérir plus d'un échantillon par événement déclenché. Cependant, à des vitesses de balayage plus rapides, la fenêtre d'acquisition se réduit jusqu'à ce que le numériseur ne puisse pas échantillonner à chaque déclenchement. C'est à ces vitesses de balayage plus rapides que des mesures de temps très précises sont souvent effectuées et que la résolution temporelle extraordinaire de l'échantillonneur séquentiel à temps équivalent est la plus avantageuse. La limite de la bande passante pour l'échantillonnage aléatoire en temps équivalent est inférieure à celle de l'échantillonnage séquentiel en temps.



**Figure 32.** Dans l'échantillonnage séquentiel en temps équivalent, un unique échantillon est prélevé pour chaque déclencheur reconnu après un délai qui augmente à chaque cycle.

### Échantillonnage séquentiel en temps équivalent

L'échantillonneur séquentiel à temps équivalent acquiert un échantillon par déclenchement, indépendamment du réglage temps/division ou de la vitesse de balayage, comme illustré à la Figure 32. Lorsqu'un déclencheur est détecté, un échantillon est prélevé après un délai très court, mais bien défini. Lorsque le déclenchement suivant se produit, un petit incrément de temps -  $\Delta t$  - est ajouté à ce délai et le numériseur prélève un autre échantillon. Ce processus est répété de nombreuses fois, avec un «  $\Delta t$  » ajouté à chaque acquisition précédente, jusqu'à ce que la fenêtre temporelle soit remplie. Les points d'échantillonnage apparaissent de gauche à droite en séquence le long de la forme d'onde lorsqu'ils sont affichés sur l'écran de l'oscilloscope.

D'un point de vue technique, il est plus facile de générer un «  $\Delta t$  » très court et très précis que de mesurer avec précision les positions verticale et horizontale d'un échantillon par rapport au point de déclenchement, comme le requièrent les échantillonneurs aléatoires. Ce retard mesuré avec précision est ce qui confère aux échantillonneurs séquentiels leur résolution temporelle inégalée. Étant donné qu'avec l'échantillonnage séquentiel, l'échantillon est prélevé après la détection du niveau de déclenchement, le point de déclenchement ne peut pas être affiché sans une ligne à retard analogique, ce qui peut, à son tour, réduire la largeur de bande de l'instrument. Si un pré-déclenchement externe peut être fourni, la bande passante ne sera pas affectée.

## Position et secondes par division

Le réglage de la position horizontale permet de déplacer la forme d'onde vers la gauche et la droite, exactement là où vous souhaitez qu'elle apparaisse à l'écran.

Le réglage des secondes par division (généralement noté sec/div) vous permet de sélectionner la fréquence à laquelle la forme d'onde est dessinée à l'écran (également appelée base temporelle ou vitesse de balayage). Ce paramètre est un facteur d'échelle. Si le réglage est de 1 ms, chaque division horizontale représente 1 ms et la largeur totale de l'écran représente 10 ms, soit dix divisions. La modification du réglage sec/div vous permet d'observer des intervalles de temps plus longs ou plus courts du signal d'entrée.

Comme pour l'échelle verticale volts/div, l'échelle horizontale sec/div peut avoir une temporisation variable, ce qui vous permet de régler l'échelle de temps horizontale entre les réglages discrets.

## Sélection de la base temporelle

Votre oscilloscope possède une base temporelle, qui est généralement appelée base temporelle principale. De nombreux oscilloscopes disposent également de ce que l'on appelle une base temporelle différée qui est une base temporelle avec un balayage qui peut commencer (ou être déclenché) à un instant prédéterminé du balayage de la base temporelle principale. L'utilisation d'un balayage de base temporelle différé vous permet de visualiser plus clairement les événements et de repérer des événements qui ne sont pas visibles uniquement avec le balayage de la base temporelle principale.

La base temporelle différée nécessite le réglage d'une durée de décalage et l'utilisation éventuelle de modes de déclenchement différé et d'autres réglages non décrits dans ce document introductif. Consultez le manuel fourni avec votre oscilloscope pour apprendre à utiliser ces fonctions.

## Grossissement/Déplacement

Votre oscilloscope peut disposer de réglages de grossissement horizontal spéciaux qui vous permettent d'afficher une section agrandie de la forme d'onde à l'écran. Certains oscilloscopes ajoutent des fonctions de déplacement à celles de grossissement. Les boutons sont utilisés pour régler le facteur ou l'échelle de grossissement et le déplacement de la loupe de grossissement sur la forme d'onde.

## Recherche

Certains oscilloscopes offrent des fonctions de recherche et de marquage, vous permettant de naviguer rapidement dans de longues acquisitions à la recherche d'événements personnalisés.

## Mode XY

La plupart des oscilloscopes possèdent un mode XY qui vous permet d'afficher un signal d'entrée, plutôt que la base de temps, sur l'axe horizontal. Ce mode de fonctionnement ouvre un tout nouveau domaine de techniques de mesure du déphasage, expliqué dans la section Techniques de mesure de ce manuel.

## Axe Z

Un oscilloscope à phosphore numérique (DPO) possède une densité d'échantillons d'affichage élevée et une capacité innée à capturer des informations d'intensité. Grâce à son axe d'intensité (axe Z), le DPO est capable de fournir un affichage tridimensionnel en temps réel similaire à celui d'un oscilloscope analogique. Lorsque vous regardez le tracé de la forme d'onde sur un DPO, vous pouvez voir des zones éclairées, c'est-à-dire les zones où un signal apparaît le plus souvent. Cet affichage permet de distinguer facilement la forme de base du signal d'un transitoire qui ne se produit qu'une fois de temps en temps - le signal de base apparaît beaucoup plus brillant. L'une des applications de l'axe Z consiste à envoyer des signaux temporisés spéciaux dans l'entrée Z séparée pour créer des points de "marquage" mis en évidence à des intervalles connus dans la forme d'onde.

## Mode XYZ avec DPO et affichage de l'enregistrement XYZ

Certains DPO peuvent utiliser l'entrée Z pour créer un affichage XY avec gradation de l'intensité. Dans ce cas, le DPO échantillonne la valeur des données instantanées à l'entrée Z et utilise cette valeur pour nuancer une partie précise de la forme d'onde. Une fois les échantillons qualifiés, ceux-ci peuvent s'accumuler, ce qui donne un affichage XYZ avec gradation d'intensité. Le mode XYZ est particulièrement utile pour afficher les motifs polaires couramment utilisés pour tester les dispositifs de communication sans fil, comme un diagramme de constellation, par exemple. Une autre méthode d'affichage des données XYZ est l'affichage des enregistrements XYZ. Dans ce mode, les données de la mémoire d'acquisition sont utilisées plutôt que la base de données du DPO.

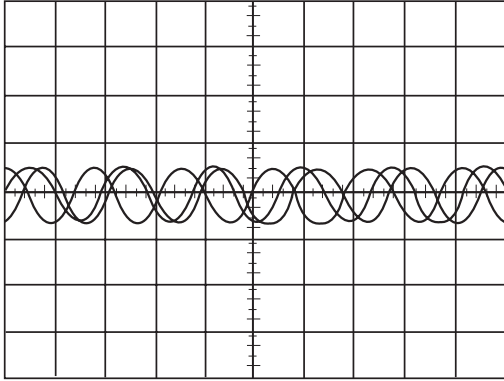


Figure 33. Affichage sans déclenchement.

## Différents réglages du système de déclenchement d'acquisition

La fonction de déclenchement d'un oscilloscope synchronise le balayage horizontal à un point donné du signal, ce qui est essentiel pour pouvoir bien le caractériser. Le réglage du déclenchement permet de stabiliser les formes d'onde répétitives et de capturer des formes d'onde ponctuelles. Le déclencheur fait apparaître les formes d'onde répétitives de manière statique à l'écran de l'oscilloscope en affichant de manière répétée la même portion du signal d'entrée. En effet, on peut imaginer le désordre qui apparaîtrait à l'écran si chaque balayage commençait à un point différent du signal, comme l'illustre la Figure 33.

Le déclenchement périphérique, disponible sur les oscilloscopes analogiques et numériques, est le type de déclenchement le plus courant. En plus du déclenchement sur seuil proposé par les oscilloscopes analogiques et numériques, la plupart des oscilloscopes numériques offrent de nombreux réglages de déclenchement spécialisés qui ne sont pas proposés par les instruments analogiques. Ces déclencheurs répondent à des conditions particulières du signal entrant, ce qui facilite la détection, par exemple, d'une impulsion plus courte qu'elle ne devrait l'être. Une telle condition serait impossible à détecter avec un simple déclencheur à seuil de tension.

Les commandes de déclenchement avancées vous permettent d'isoler des événements spécifiques intéressants afin d'optimiser la fréquence d'échantillonnage et la durée d'enregistrement de l'oscilloscope. Les capacités de déclenchement avancées de certains oscilloscopes vous offrent un contrôle très précis. Vous pouvez déclencher sur des impulsions définies par l'amplitude (telles que les impulsions d'élan), qualifiées par le temps (largeur d'impulsion, dysfonctionnement, vitesse de balayage, réglage et maintien, temps mort), et délimitées par un état ou un modèle logique (déclenchement logique).

D'autres fonctions de déclenchement avancées comprennent:

- **Déclenchement par verrouillage de motif :** Le déclenchement par verrouillage de motif ajoute une nouvelle dimension au déclenchement de motif en série NRZ en permettant à l'oscilloscope de prendre des acquisitions synchronisées d'un long motif de test en série avec une excellente précision de la base temporelle. Le déclenchement par verrouillage de motif peut être utilisé pour supprimer la gigue aléatoire de longs motifs de données en série. Les effets de transitions binaires particulières peuvent être étudiés, et le calcul de la moyenne peut être utilisé avec le test de masque.
- **Déclenchement de motifs en série :** Le déclenchement de motif en série peut être utilisé pour déboguer les architectures en série. Il fournit un déclenchement sur le motif série d'un flux de données série NRZ avec récupération d'horloge intégrée et corrèle les événements sur la couche physique et la couche de liaison. L'instrument peut récupérer le signal d'horloge, identifier les transitions et vous permettre de définir les mots codés souhaités pour la capture du déclencheur de modèle série.
- **Déclenchement A & B :** Certains systèmes de déclenchement offrent plusieurs types de déclenchement uniquement sur un événement unique (événement A), avec une sélection de déclenchement retardé (événement B) limitée au déclenchement de type front et, souvent, ils ne fournissent pas de moyen de réinitialiser la séquence de déclenchement si l'événement B ne se produit pas. Les oscilloscopes modernes peuvent fournir une suite complète de types de déclenchement avancés sur les déclencheurs A et B, une qualification logique pour contrôler quand rechercher ces événements, et un déclenchement de réinitialisation pour recommencer la séquence de déclenchement après un temps, un état ou une transition spécifiés, de sorte que même les événements des signaux les plus complexes peuvent être capturés.
- **Déclenchement par recherche et marquage :** Les déclencheurs matériels surveillent un type d'événement à la fois, mais la recherche peut rechercher plusieurs types d'événements simultanément. Par exemple, il est possible de rechercher des violations du temps d'établissement ou de maintien sur plusieurs canaux. Des marques individuelles peuvent être placées par la recherche pour indiquer les événements qui répondent aux critères de recherche.
- **Correction du déclenchement :** Comme les systèmes de déclenchement et d'acquisition de données partagent des chemins différents, il existe un certain délai inhérent entre la position du déclencheur et les données acquises. Il en résulte un décalage et une gigue de déclenchement. Avec un système de correction du déclenchement, l'instrument ajuste la position du déclenchement et compense la différence de délai entre le chemin du déclenchement et le chemin d'acquisition des données. Cela permet d'éliminer pratiquement toute gigue de déclenchement au point de déclenchement. Dans ce mode, le point de déclenchement peut être utilisé comme référence de mesure.

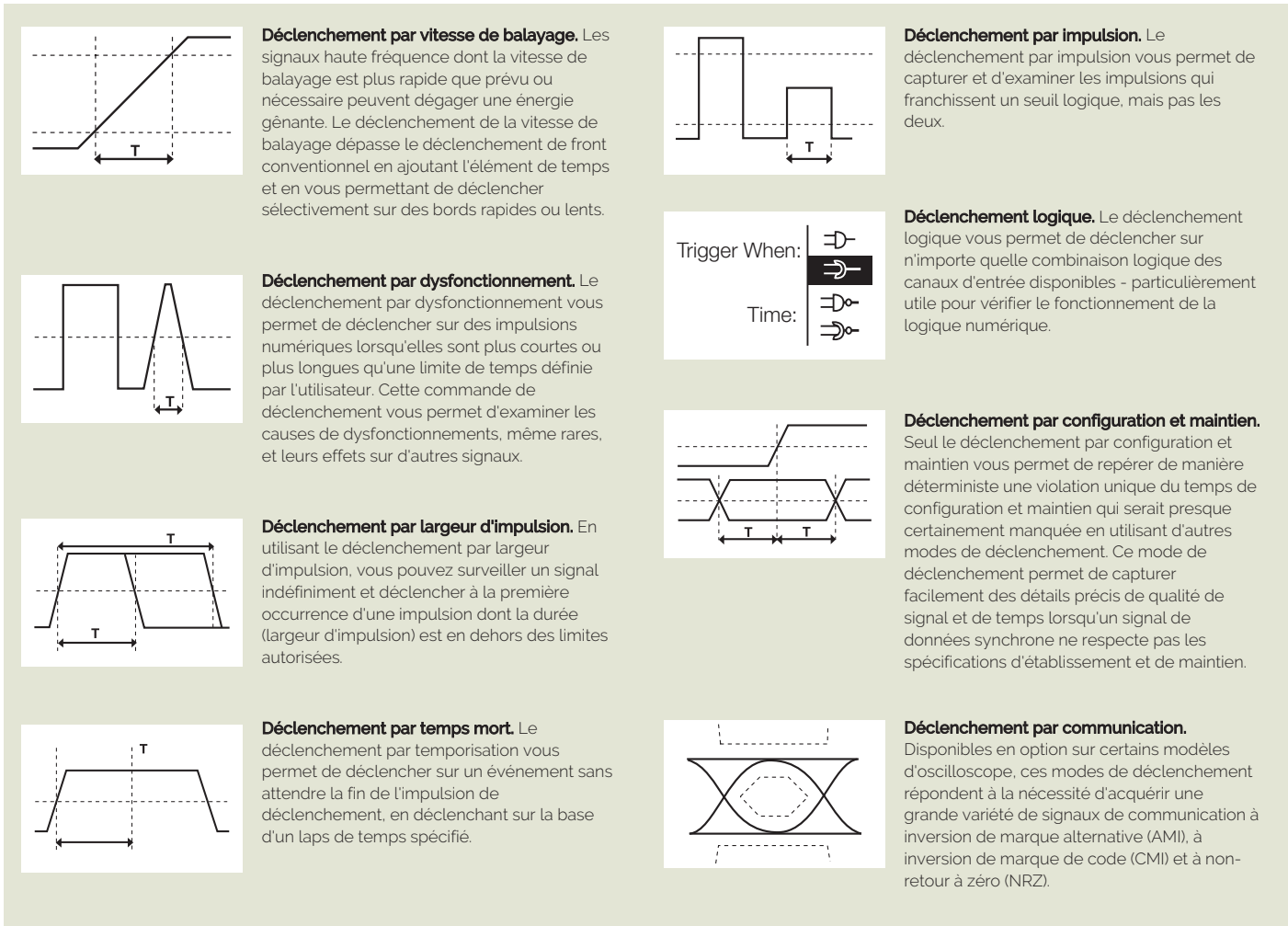


Figure 34. Types de déclenchements courants.

- **Déclenchement en série sur des signaux standards spécifiques I2C, CAN, LIN, etc.** Certains oscilloscopes offrent la possibilité de se déclencher sur des types de signaux spécifiques pour les signaux de données en série standards tels que CAN, LIN, I2C, SPI, et autres. Le décodage de ces types de signaux est également disponible sur de nombreux oscilloscopes actuels.
- **Déclenchement par bus parallèles.** Plusieurs bus parallèles peuvent être définis et affichés en même temps pour visualiser facilement les données de bus parallèles décodées dans le temps. En spécifiant quels canaux sont les lignes d'horloge et de données, vous pouvez créer un affichage de bus parallèle sur certains oscilloscopes qui décodent automatiquement le contenu du bus. D'innombrables heures peuvent être économisées en utilisant des déclencheurs de bus parallèles pour simplifier la capture et l'analyse.

Les commandes de déclenchement optionnelles de certains oscilloscopes sont également conçues spécifiquement pour examiner les signaux de communication. La figure 34 présente plus en détail quelques-uns de ces types de déclenchements courants. L'interface utilisateur intuitive disponible sur certains oscilloscopes permet également de configurer rapidement les paramètres de déclenchement avec une grande flexibilité dans la configuration de test pour optimiser votre productivité.

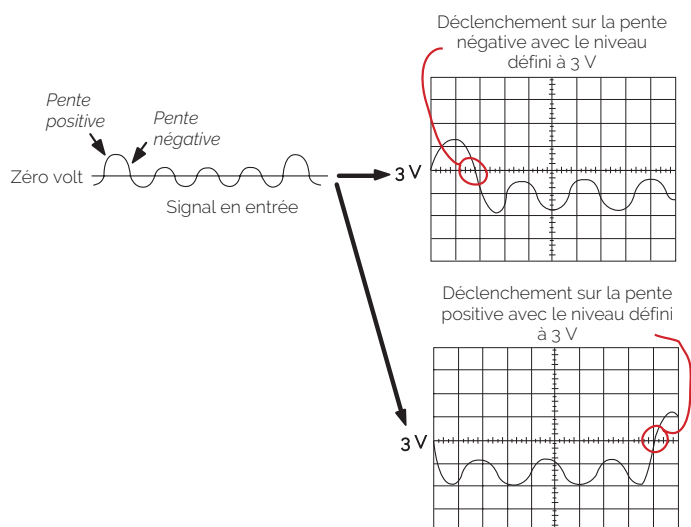


Figure 35. Déclenchement par pente positive et négative.

## Position du déclencheur

Le réglage de la position horizontale du déclencheur n'est disponible que sur les oscilloscopes numériques. Le réglage de position du déclencheur peut se situer sur la section de contrôle horizontale de votre oscilloscope. Il représente la position horizontale du déclencheur sur l'enregistrement de la forme d'onde.

La variation de la position horizontale du déclencheur vous permet de capturer le comportement d'un signal avant un événement de déclenchement, appelé visualisation pré-déclenchement. Ainsi, elle détermine la longueur du signal visualisable avant et après un point de déclenchement.

Les oscilloscopes numériques peuvent fournir une visualisation avant déclenchement car ils traitent constamment le signal d'entrée, qu'un déclenchement ait été effectué ou non. Un flux constant de données circule dans l'oscilloscope. Le déclenchement indique simplement à l'oscilloscope de sauvegarder les données actuelles en mémoire.

En revanche, les oscilloscopes analogiques n'affichent le signal sur le tube cathodique qu'après avoir reçu un signal de déclenchement. Ainsi, la visualisation du pré-déclenchement n'est pas disponible dans les oscilloscopes analogiques, à l'exception d'une petite durée de pré-déclenchement fournie par une ligne différée dans le système vertical.

La visualisation du pré-déclenchement est une aide précieuse pour le dépannage. Si un problème survient de façon intermittente, vous pouvez le déclencher, enregistrer les événements qui l'ont provoqué et, éventuellement, en trouver la cause.

## 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 la façon dont une forme d'onde est affichée, comme illustré sur la Figure 35.

Le circuit de déclenchement agit comme un comparateur. Vous sélectionnez la pente et le niveau de tension sur une entrée du comparateur. Lorsque le signal de déclenchement sur l'autre entrée du comparateur correspond à vos réglages, l'oscilloscope génère un déclenchement.

Le contrôle de la pente détermine si le point de déclenchement se situe sur le front montant ou descendant d'un signal. Un front montant correspond à une pente positive et un front descendant à une pente négative. La commande de niveau détermine à quel endroit du front le point de déclenchement se produit.

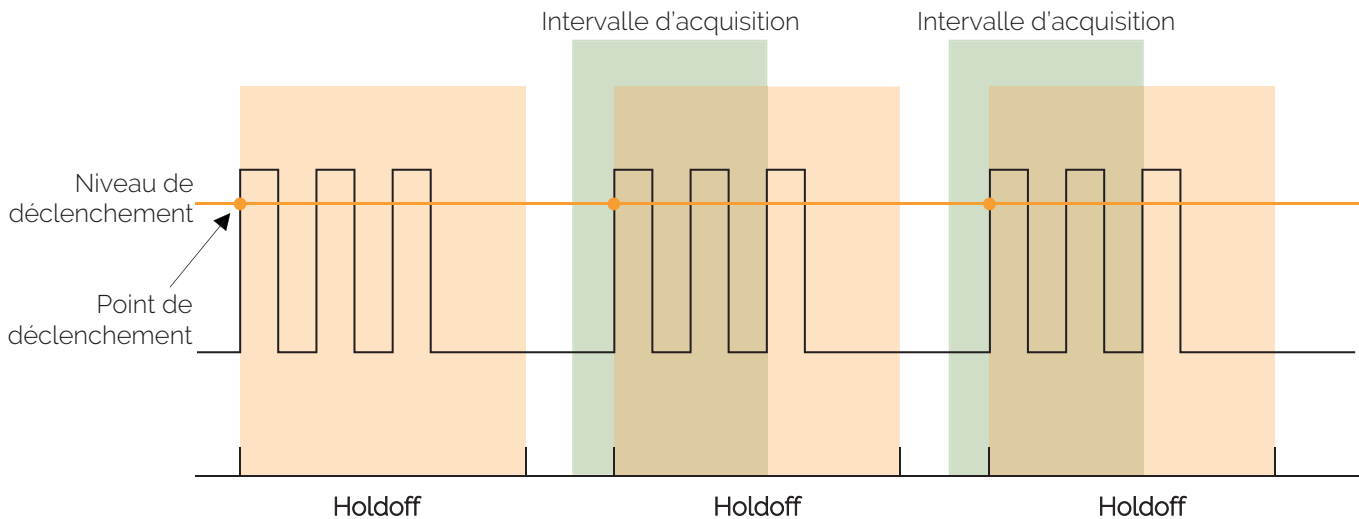
## Sources de déclenchement

L'oscilloscope ne doit pas nécessairement se déclencher sur le signal affiché. Plusieurs sources peuvent déclencher le balayage:

- Tout canal d'entrée
- Une source externe autre que le signal appliqué à un canal d'entrée
- Le signal de la source d'alimentation
- Un signal défini en interne par l'oscilloscope, provenant d'un ou plusieurs canaux d'entrée.

La plupart du temps, vous pouvez laisser l'oscilloscope réglé pour se déclencher sur la voie affichée. Certains oscilloscopes fournissent une sortie de déclenchement qui délivre le signal de déclenchement à un autre instrument.

L'oscilloscope peut utiliser une autre source de déclenchement, qu'elle soit affichée ou non. Vous devez donc veiller à ne pas déclencher involontairement sur le canal 1 tout en affichant le canal 2, par exemple.



Les nouveaux déclencheurs ne sont pas reconnus durant le temps de holdoff.

Figure 36. Déclenchement de holdoff

## Modes de déclenchement

Le mode de déclenchement détermine si l'oscilloscope doit ou non tracer une forme d'onde en fonction d'une caractéristique du signal. Les modes de déclenchement les plus courants sont normal et automatique.

En mode normal, l'oscilloscope ne balaie que si le signal d'entrée atteint le point de déclenchement défini. Sinon (sur un oscilloscope analogique) l'écran est vide ou (sur un oscilloscope numérique) figé sur la dernière forme d'onde acquise. Le mode normal peut être déroutant car vous pouvez ne pas voir immédiatement le signal si le réglage de niveau n'est pas réglé correctement.

Le mode automatique entraîne un balayage de l'oscilloscope, même sans déclenchement. Si aucun signal n'est présent, une minuterie dans l'oscilloscope déclenche le balayage. Cela garantit que l'affichage ne disparaîtra pas si le signal ne provoque pas de déclenchement.

Dans la pratique, vous utiliserez probablement les deux modes : le mode normal parce qu'il vous permet de voir uniquement le signal qui vous intéresse, même lorsque les déclenchements se produisent à un rythme lent, et le mode automatique parce qu'il nécessite moins de réglages.

De nombreux oscilloscopes comprennent également des modes particuliers pour les balayages uniques, le déclenchement sur des signaux vidéo ou le réglage automatique du niveau de déclenchement.

## Couplage du déclenchement

Tout comme vous pouvez sélectionner le couplage AC ou DC pour le système vertical, vous pouvez choisir le type de couplage pour le signal de déclenchement.

Outre le couplage AC et DC, votre oscilloscope peut également disposer d'un couplage de déclenchement à réjection haute fréquence, réjection basse fréquence et réjection de bruit. Ces réglages spéciaux sont utiles pour éliminer le bruit du signal de déclenchement afin d'éviter les faux déclenchements.

## Temporisation du déclenchement (Holdoff)

Il est parfois nécessaire de faire preuve de beaucoup d'habileté pour déclencher un oscilloscope sur la portion pertinente d'un signal. De nombreux oscilloscopes possèdent des fonctions destinées à faciliter cette tâche.

La temporisation du déclenchement ou holdoff est une période réglable après un déclenchement valide pendant laquelle l'oscilloscope ne peut pas se déclencher. Cette fonction est utile lorsque vous déclenchez sur des formes d'onde complexes, de sorte que l'oscilloscope ne se déclenche que sur un point de déclenchement éligible. La Figure 36 montre comment l'utilisation de la temporisation du déclenchement permet de créer un affichage exploitable.

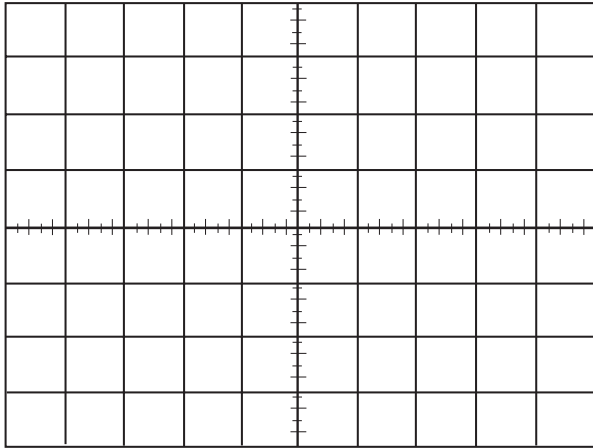


Figure 37. Le graticule d'un oscilloscope.

## Système d'affichage et commandes

La face avant d'un oscilloscope comprend un écran d'affichage et les boutons, interrupteurs et indicateurs utilisés pour contrôler l'acquisition et l'affichage des signaux. Comme mentionné au début de cette section, les commandes du panneau avant sont généralement divisées en sections verticale, horizontale et de déclenchement. Le panneau avant comprend également des connecteurs d'entrée.

Observez l'écran de l'oscilloscope. Remarquez les lignes de la grille sur l'écran : ces lignes constituent le graticule. Chaque ligne verticale et horizontale constitue une division majeure. Le graticule est généralement disposé selon un modèle de division 8 par 10 ou 10 par 10. Le marquage des commandes de l'oscilloscope (telles que volts/div et sec/div) fait toujours référence aux divisions majeures. Les marques de tic-tac sur les lignes centrales horizontales et verticales du graticule, comme le montre la Figure 37, sont appelées divisions mineures. De nombreux oscilloscopes affichent à l'écran le nombre de volts représenté par chaque division verticale et le nombre de secondes représenté par chaque division horizontale.

## Autres réglages

### Opérations mathématiques et de mesure

Votre oscilloscope peut également proposer des opérations vous permettant d'ajouter des formes d'onde, créant ainsi un nouvel affichage de forme d'onde. Les oscilloscopes analogiques combinent les signaux tandis que les oscilloscopes numériques créent de nouvelles formes d'onde de manière mathématique.

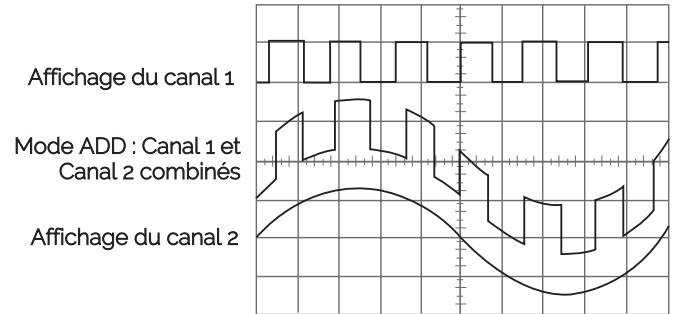


Figure 38. Addition de canaux.

La soustraction de formes d'onde est une autre opération mathématique. La soustraction avec les oscilloscopes analogiques est possible en utilisant la fonction d'inversion de voie sur un signal, puis en utilisant l'opération d'addition. Les oscilloscopes numériques disposent généralement d'une opération de soustraction. La figure 38 illustre une troisième forme d'onde créée en combinant deux signaux différents.

En utilisant la puissance de leurs processeurs internes, les oscilloscopes numériques offrent de nombreuses opérations mathématiques avancées : multiplication, division, intégration, transformée de Fourier rapide, etc. Cette capacité avancée de traitement du signal peut également exécuter des fonctions telles que l'insertion d'un bloc de filtrage qui peut être utilisé pour isoler les caractéristiques du dispositif sur l'appareil testé ou mettre en œuvre un bloc de filtrage avec une réponse en fréquence souhaitée, comme un filtre passe-bas. Le bloc de traitement est flexible (il n'est pas dédié). Il peut fonctionner comme un filtre arbitraire, par exemple pour simuler des schémas de pré-accélération/désaccélération.

### Timing numérique et acquisitions d'état

Les voies numériques fournies par un oscilloscope à signaux mixtes permettent des capacités d'acquisition similaires à celles que l'on trouve sur les analyseurs logiques. Il existe deux grandes techniques d'acquisition numérique. La première technique est l'acquisition temporelle dans laquelle le MSO échantillonne le signal numérique à des moments uniformément espacés déterminés par la fréquence d'échantillonnage du MSO. À chaque point d'échantillonnage, le MSO enregistre l'état logique du signal et crée un diagramme temporel du signal. La deuxième technique d'acquisition numérique est l'acquisition d'état. L'acquisition d'état définit des moments particuliers où l'état logique du signal numérique est valide et stable. Cette technique est courante dans les circuits numériques synchrones et cadencés. Un signal d'horloge définit le moment où l'état du signal est valide. Par exemple, le temps de stabilité du signal d'entrée est autour



Il se situe autour du seuil de montée de l'horloge pour une bascule D avec une horloge à seuil de montée. Le temps de stabilité du signal de sortie se situe autour du seuil d'horloge descendant pour une bascule D avec une horloge à seuil montant. La période d'horloge d'un circuit synchrone n'étant pas nécessairement fixe, le délai entre les acquisitions d'état peut ne pas être uniforme comme dans le cas d'une acquisition temporelle.

Les canaux numériques d'un oscilloscope à signaux mixtes acquièrent les signaux de la même manière qu'un analyseur logique acquiert les signaux en mode d'acquisition temporelle. Le MSO décode ensuite l'acquisition temporelle en un affichage de bus cadencé et un tableau d'événements qui est similaire à l'affichage d'acquisition d'état de l'analyseur logique, vous fournissant ainsi des informations importantes pendant le débogage.

Nous avons décrit les commandes de base de l'oscilloscope qu'un débutant doit connaître. Votre oscilloscope peut avoir d'autres commandes pour diverses fonctions. Certaines d'entre elles peuvent inclure :

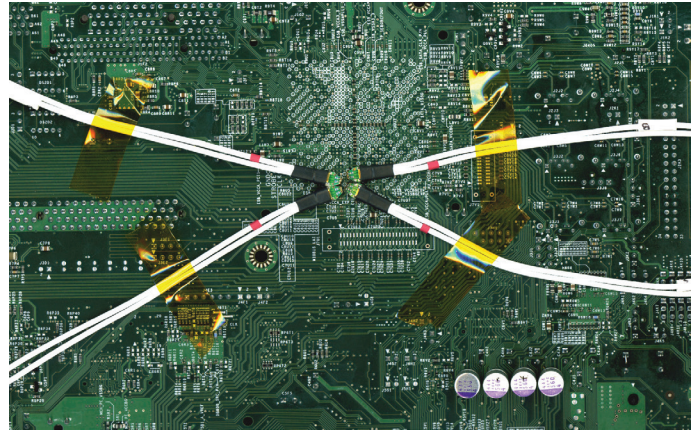
- Des mesures paramétriques automatiques
- Des curseurs de mesure
- Des claviers pour les opérations mathématiques ou la saisie de données
- Des capacités d'impression
- Des interfaces pour connecter votre oscilloscope à un ordinateur ou directement à Internet.

Examinez les autres options qui s'offrent à vous et lisez le manuel de votre oscilloscope pour en savoir plus sur ces commandes supplémentaires.

## Le système d'acquisition

### Sondes

La précision d'un instrument, même le plus avancé, dépend de la précision des données qui lui sont fournies. Une sonde fonctionne conjointement avec un oscilloscope en tant que partie intégrante du système de mesure. La précision de la mesure commence au niveau de la sonde. Les sondes appropriées adaptées à l'oscilloscope et à l'appareil à tester (DUT) permettent non seulement d'acheminer proprement le signal vers l'oscilloscope, mais aussi d'amplifier et de préserver le signal pour garantir l'intégrité du signal et la précision des mesures.



**Figure 39.** Les systèmes et appareils très denses nécessitent des sondes de petit format.

Afin d'assurer une reconstruction précise de votre signal, choisissez une sonde qui, lorsqu'elle est associée à votre oscilloscope, dépasse de 5 fois la bande passante du signal.

Les sondes deviennent une partie du circuit, introduisant des charges résistives, capacitives et inductives, ce qui modifie inévitablement la mesure. Pour obtenir les résultats les plus exacts, il faut donc choisir une sonde avec une charge minimale. Une association idéale entre la sonde et l'oscilloscope minimisera cette charge et vous permettra d'exploiter toute la puissance, les fonctions et les capacités de votre oscilloscope.

Une autre considération relative à la connectivité est le format de la sonde. Les sondes de petit format permettent d'accéder plus facilement aux circuits denses que l'on trouve aujourd'hui, comme le montre la Figure 39.

Vous trouverez une brève description des différents types de sondes dans les pages qui suivent. Consultez l'ABC des sondes de Tektronix pour plus d'informations sur ce composant essentiel de tout système de mesure.



Figure 40. Une sonde passive classique avec ses accessoires.

## Sondes passives

Pour mesurer des niveaux de signal et de tension ordinaires, les sondes passives sont faciles à utiliser et offrent un large éventail de possibilités de mesure à un prix abordable. Le couplage d'une sonde de tension passive avec une sonde de courant vous fournira une solution idéale pour mesurer la puissance.

La plupart des sondes passives ont un facteur d'atténuation, par exemple 10X, 100X, etc. Par convention, les facteurs d'atténuation, comme pour la sonde à atténuation 10X, sont notés sous la forme facteur suivi de la lettre X. En revanche, les facteurs de grossissement tels que X10 sont notés X suivi du facteur.

La sonde d'atténuation 10X (lire "dix fois") réduit la charge du circuit comparée à une sonde 1X et constitue une excellente sonde passive polyvalente. La charge du circuit augmente avec les sources de signaux à haute fréquence et/ou à haute impédance. Veillez donc à analyser les interactions entre le signal et la charge de la sonde avant de choisir cette dernière. La sonde à atténuation 10X améliore la précision de vos mesures, mais réduit également l'amplitude du signal à l'entrée de l'oscilloscope d'un facteur de 10.

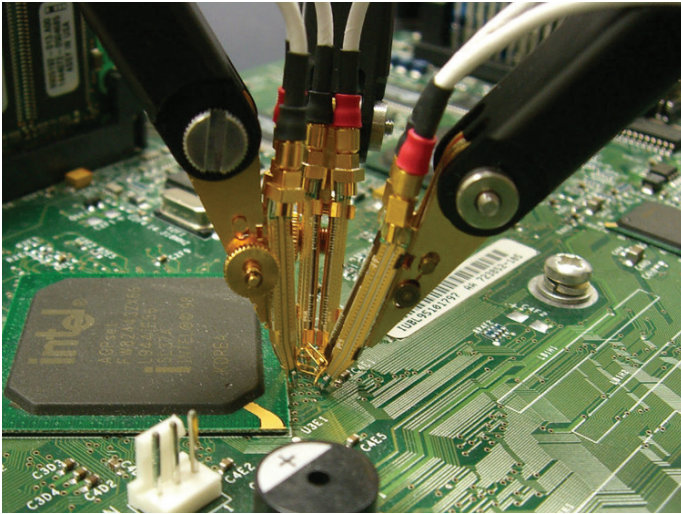
La sonde à atténuation 10X rend difficile l'observation de signaux inférieurs à 10 millivolts crête-à-crête, car elle atténue le signal. La sonde 1X est similaire à la sonde à atténuation 10X mais ne comporte pas de circuit d'atténuation. En l'absence de ce circuit, davantage d'interférences sont introduites dans le circuit testé.

Optez pour la sonde à atténuation 10X comme sonde à usage général, mais choisissez la sonde 1X pour mesurer les signaux à faible vitesse et à faible amplitude. Certaines sondes disposent d'une fonction pratique permettant de passer d'une atténuation 1X à une atténuation 10X à l'extrémité de la sonde. Si votre sonde dispose de cette fonction, assurez-vous d'utiliser le réglage approprié avant de prendre des mesures.

De nombreux oscilloscopes peuvent détecter automatiquement si vous utilisez une sonde 1X ou 10X et ajuster leur affichage à l'écran en conséquence. Cependant, avec certains oscilloscopes, vous devez régler le type de sonde approprié au niveau du réglage volts/div.

La sonde à atténuation 10X fonctionne en équilibrant les propriétés électriques de la sonde et celles de l'oscilloscope. Avant d'utiliser une sonde à atténuation 10X, vous devez régler cet équilibre pour votre oscilloscope. Ce réglage est connu sous le nom de compensation de la sonde et est décrit plus en détail dans la section Utilisation de l'oscilloscope de ce manuel.

Les sondes passives, telles que celle illustrée à la Figure 40, constituent d'excellentes solutions de sondage à usage général. Cependant, les sondes passives polyvalentes ne peuvent pas mesurer avec précision les signaux dont le temps de montée est extrêmement rapide, et elles peuvent en outre charger excessivement les circuits délicats. L'augmentation constante des fréquences d'horloge et des vitesses de front des signaux exige des sondes plus rapides avec moins d'effets de charge. Les sondes actives et différentielles à haute vitesse sont des solutions parfaitement adaptées à la mesure de signaux à haute vitesse et/ou différentiels.



**Figure 41.** Les sondes hautes performances sont indispensables pour mesurer les horloges et les signaux rapides que l'on trouve dans les bus informatiques et les lignes de transmission de données actuels.

## Sondes actives et différentielles

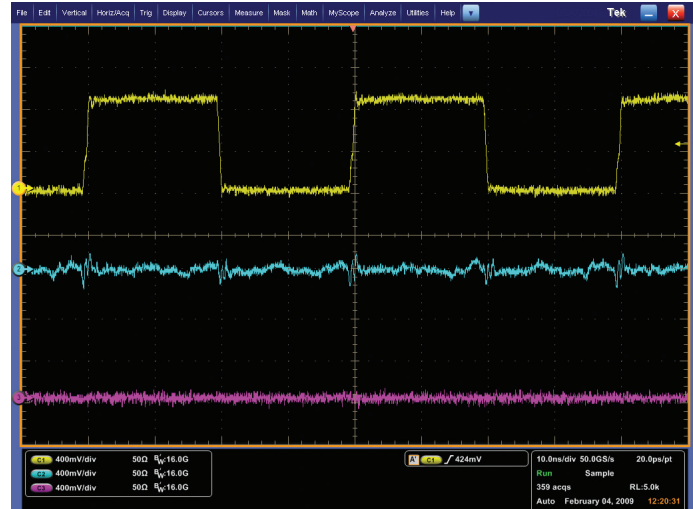
L'augmentation de la vitesse des signaux et les gammes de logique à basse tension compliquent l'obtention de résultats de mesure précis. La fiabilité du signal et la charge du dispositif sont des enjeux cruciaux. Une solution de mesure complète pour ces vitesses élevées inclut des sondes à haute vitesse et haute fidélité pour égaler les performances de l'oscilloscope, comme le montre la Figure 41.

Les sondes actives et différentielles utilisent des circuits intégrés spécialement développés pour protéger le signal lors de l'accès et de la transmission à l'oscilloscope, garantissant ainsi l'intégrité du signal. Pour mesurer des signaux à temps de montée rapide, une sonde active ou différentielle à haute vitesse fournira des résultats plus précis, comme le montre la Figure 42.

Les types de sondes les plus récents offrent l'avantage de pouvoir utiliser un seul montage et d'obtenir trois types de mesures sans avoir à ajuster les connexions de la tête de la sonde. Ces sondes peuvent effectuer des mesures différentielles, asymétriques et en mode commun à partir de la même installation.

## Sondes logiques

La sonde logique illustrée à la Figure 43 offre deux modules à huit canaux. Chaque canal comporte une tête de sonde avec une mise à la terre en creux pour une connexion plus aisée au dispositif à tester. Le câble coaxial du premier canal de chaque module est de couleur bleue,

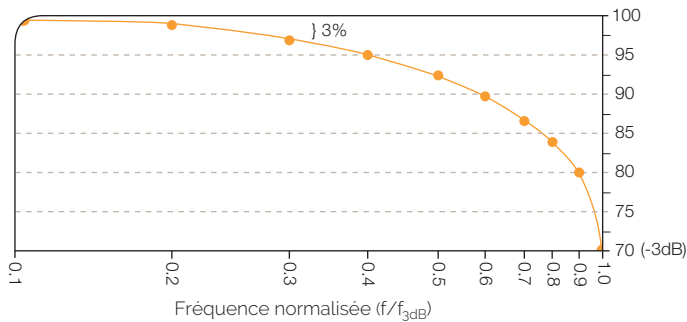


**Figure 42.** Les sondes différentielles peuvent séparer le bruit lié au mode commun du contenu du signal à observer dans les applications rapides et à basse tension d'aujourd'hui. Ceci est d'autant plus important que les signaux numériques sont de plus en plus souvent en dessous des seuils de bruit typiques des circuits intégrés.



**Figure 43.** Les sondes logiques pour un oscilloscope à signaux mixtes (MSO) facilitent la connexion numérique avec votre dispositif.

ce qui facilite son identification. La masse commune utilise un connecteur de type automobile, ce qui facilite la création de masses sur mesure pour la connexion à l'appareil à tester. Pour le raccordement à des broches carrées, vous pouvez utiliser un adaptateur qui se fixe à la tête de la sonde et qui prolonge la masse de la sonde au niveau de la tête de celle-ci afin de pouvoir la raccorder à un connecteur. Ces sondes offrent d'excellentes caractéristiques électriques avec une charge capacitive réduite.



**Figure 44.** La bande passante de l'oscilloscope est la fréquence à laquelle un signal d'entrée sinusoïdal est atténué à 70,7 % de l'amplitude réelle du signal, appelée point à -3 dB.

## Autres sondes à usage spécifique

En plus des types de sondes mentionnés précédemment, il existe également toute une série d'autres sondes et systèmes de sondage spécialisés. Il s'agit notamment des sondes de courant, de haute tension ou encore des sondes optiques, pour n'en citer que quelques-unes.

## Accessoires pour sondes

De nombreux oscilloscopes modernes offrent des fonctions automatiques spéciales intégrées dans les connecteurs d'entrée et de sonde correspondante. Dans le cas des interfaces de sonde intelligentes, le fait de connecter la sonde à l'instrument informe l'oscilloscope du facteur d'atténuation de la sonde, qui à son tour met à l'échelle l'affichage afin que l'atténuation de la sonde soit prise en compte dans la lecture à l'écran. Certaines interfaces de sonde reconnaissent également le type de sonde, c'est-à-dire passive, active ou de courant. L'interface peut servir de source d'alimentation en courant continu pour les sondes. Les sondes actives ont leur propre amplificateur et circuit tampon qui nécessite une alimentation en courant continu.

Les adaptateurs de câble de masse offrent une certaine souplesse d'espacement entre les connexions de la pointe de la sonde et du câble de masse à l'objet sous test, tout en maintenant des longueurs de câble très courtes entre la pointe de la sonde et l'objet sous test.

Consultez à l'ABC des sondes de Tektronix pour plus d'informations sur les sondes et les accessoires de sonde.

## Considérations à prendre en compte relatives à la performance

Comme indiqué précédemment, un oscilloscope est analogue à une caméra qui capture des images de signaux que nous pouvons observer et interpréter. La vitesse d'obturation, les conditions d'éclairage, l'ouverture et l'indice ASA du film sont autant de facteurs qui influent sur la capacité de l'appareil photo à capturer une image de manière claire et précise.

Tout comme les systèmes de base d'un oscilloscope, les considérations de performance d'un oscilloscope affectent de manière significative sa capacité à atteindre l'intégrité du signal requise.

L'apprentissage d'une nouvelle compétence implique souvent l'apprentissage d'un nouveau vocabulaire. Cette idée est valable pour l'apprentissage de l'utilisation d'un oscilloscope. Cette section décrit certains termes utiles relatifs aux mesures et aux performances des oscilloscopes. Ces termes sont utilisés pour décrire les critères essentiels au choix du bon oscilloscope pour votre application. La compréhension de ces termes vous aidera à évaluer et à comparer votre oscilloscope avec d'autres modèles.

## Bande passante

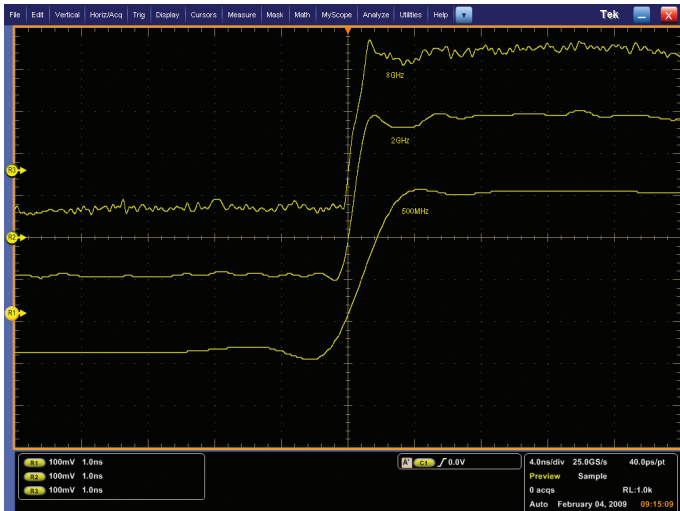
La bande passante détermine la capacité fondamentale d'un oscilloscope à mesurer un signal. Plus la fréquence du signal augmente, plus la capacité de l'oscilloscope à afficher le signal avec précision diminue. Cette spécification indique la plage de fréquences que l'oscilloscope peut mesurer avec précision.

La bande passante de l'oscilloscope est spécifiée comme étant la fréquence à laquelle un signal d'entrée sinusoïdal est atténué à 70,7 % de l'amplitude réelle du signal, connue sous le nom de point -3 dB, un terme basé sur une échelle logarithmique, comme le montre la Figure 44.

En cas de bande passante insuffisante, votre oscilloscope ne sera pas en mesure de résoudre les changements à haute fréquence. L'amplitude sera déformée. Les bords disparaîtront. Les détails seront perdus. Sans une bande passante adéquate, toutes les caractéristiques et fonctionnalités avancées de votre oscilloscope deviennent inutiles.

Pour déterminer la bande passante de l'oscilloscope nécessaire afin de caractériser avec précision l'amplitude du signal pour votre application, appliquez la « règle des 5 fois ».

$$\text{Bande passante de l'oscilloscope} \geq \frac{\text{Composante du signal à la plus haute fréquence}}{5}$$



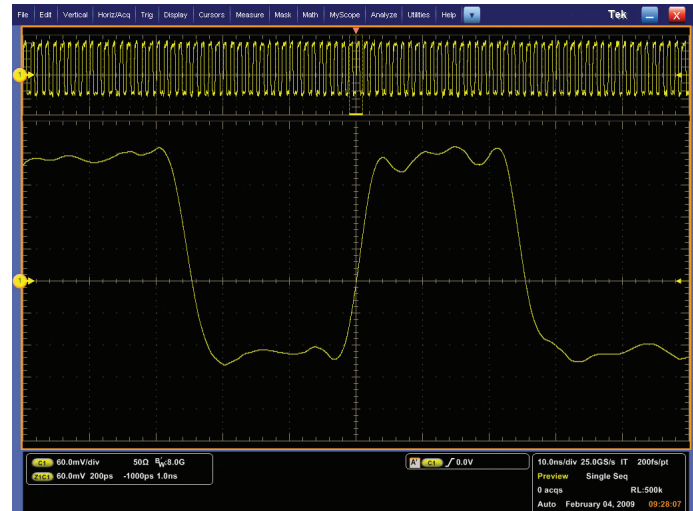
**Figure 45.** Plus la bande passante est élevée, et plus le signal est reproduit fidèlement, comme illustré ici avec un signal capturé avec des bandes passantes de 250 MHz, 1 GHz et 4 GHz.

Un oscilloscope choisi en utilisant la règle des 5 fois vous donnera moins de  $\pm 2\%$  d'erreur dans vos mesures - généralement suffisant pour les applications courantes. Toutefois, à mesure que la vitesse des signaux augmente, il peut être impossible de respecter cette règle empirique. Gardez toujours à l'esprit qu'une bande passante plus large fournira probablement une reproduction plus précise de votre signal, comme le montre la Figure 45.

Certains oscilloscopes offrent une méthode d'amélioration de la bande passante par le biais du traitement numérique du signal. Un filtre d'égalisation arbitraire DSP peut être utilisé pour améliorer la réponse de la voie de l'oscilloscope. Ce filtre étend la bande passante, aplatit la réponse en fréquence de la voie de l'oscilloscope, améliore la linéarité de phase et fournit une meilleure correspondance entre les voies. Il diminue également le temps de montée et améliore la réponse en échelon dans le domaine temporel.

## Temps de montée

Dans le monde numérique, les mesures du temps de montée sont critiques. Le temps de montée peut être une considération de performance plus appropriée lorsque vous envisagez de mesurer des signaux numériques, tels que des impulsions et des étapes. Comme le montre la Figure 46, votre oscilloscope doit avoir un temps de montée suffisant pour capturer avec précision les détails des transitions rapides.



**Figure 46.** Caractérisation du temps de montée d'un signal numérique à haute vitesse.

Le temps de montée décrit la plage de fréquence utile d'un oscilloscope. Pour calculer le temps de montée de l'oscilloscope requis pour votre type de signal, utilisez l'équation suivante:

**Temps de montée de l'oscilloscope  $\leq$  Temps de montée le plus rapide du signal  $\times 1/5$**

Notez que cette base de sélection du temps de montée de l'oscilloscope est similaire à celle de la bande passante. Comme dans le cas de la largeur de bande, il n'est pas toujours possible de respecter cette règle empirique étant donné les vitesses extrêmes des signaux actuels. N'oubliez pas qu'un oscilloscope avec un temps de montée plus rapide capturera avec plus de précision les détails critiques des transitions rapides.

Dans certaines applications, vous pouvez ne connaître que le temps de montée d'un signal. Une constante vous permet de mettre en relation la bande passante et le temps de montée de l'oscilloscope, à l'aide de 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 de l'oscilloscope et du temps de montée de réponse aux impulsions. Les oscilloscopes dont la bande passante est inférieure à 1 GHz ont généralement une valeur K de 0,35, tandis que les oscilloscopes dont la bande passante est supérieure à 1 GHz ont généralement une valeur K comprise entre 0,40 et 0,45.

Famille logique	Temps de montée typique du signal	Bande passante calculée du signal
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 47. Certaines familles logiques produisent intrinsèquement des temps de montée supérieurs.

Some logic families produce inherently faster rise times than others, as illustrated in Figure 47.

## Fréquence d'échantillonnage

La fréquence d'échantillonnage - spécifiée en échantillons par seconde (S/s) - fait référence à la fréquence à laquelle un oscilloscope numérique prend un instantané ou un échantillon du signal, par analogie avec les images d'une caméra de cinéma. Plus l'oscilloscope échantillonne rapidement (c'est-à-dire plus la fréquence d'échantillonnage est élevée), plus la résolution et les détails de la forme d'onde affichée sont importants et moins les informations ou événements critiques risquent d'être perdus, comme le montre la Figure 48. La fréquence d'échantillonnage minimale peut également être importante si vous devez examiner des signaux qui évoluent lentement sur de longues périodes. En général, la fréquence d'échantillonnage affichée varie en fonction des modifications apportées à la commande d'échelle horizontale afin de maintenir un nombre constant de points de forme d'onde dans l'enregistrement de forme d'onde affiché.

Comment calculer la fréquence d'échantillonnage requise ? La méthode diffère en fonction du type de forme d'onde que vous mesurez et de la méthode de reconstruction du signal utilisée par l'oscilloscope.

Pour reconstruire un signal avec précision et éviter le repliement, le théorème de Nyquist stipule que le signal doit être échantillonné au moins deux fois plus vite que sa composante de fréquence la plus élevée. Ce théorème suppose toutefois une longueur d'enregistrement infinie et un signal continu. Étant donné qu'aucun oscilloscope n'offre une longueur d'enregistrement infinie et que, par définition, les glitches ne sont pas continus, l'échantillonnage à seulement deux fois la vitesse de la composante de fréquence la plus élevée est généralement insuffisant.

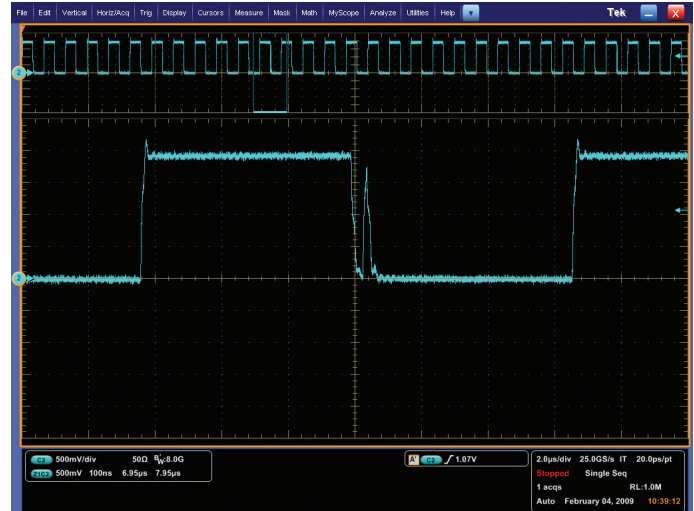


Figure 48. Une fréquence d'échantillonnage plus élevée offre une meilleure résolution du signal afin de pouvoir repérer des événements intermittents.

En réalité, la reconstruction précise d'un signal dépend à la fois de la fréquence d'échantillonnage et de la méthode d'interpolation utilisée pour remplir les espaces entre les échantillons. Certains oscilloscopes vous permettent de sélectionner l'interpolation  $\sin(x)/x$  pour mesurer les signaux sinusoïdaux, ou l'interpolation linéaire pour les ondes carrées, les impulsions et autres types de signaux.

Pour une reconstruction précise à l'aide de l'interpolation  $\sin(x)/x$ , votre oscilloscope doit avoir une fréquence d'échantillonnage d'au moins 2,5 fois la composante de fréquence la plus élevée de votre signal. En utilisant l'interpolation linéaire, la fréquence d'échantillonnage doit être au moins 10 fois supérieure à la composante de fréquence la plus élevée du signal.

Certains systèmes de mesure dont la fréquence d'échantillonnage peut atteindre 10 GS/s et la largeur de bande  $3+ \text{ GHz}$  ont été optimisés pour capturer des événements très rapides, ponctuels et transitoires en suréchantillonnant jusqu'à 5 fois la largeur de bande.



Figure 49. Un DPO offre une solution idéale pour les applications de conception multicanales non-répétitives et à haute vitesse.

## Taux d'acquisition des formes d'onde

Tous les oscilloscopes clignotent. C'est-à-dire qu'ils ouvrent les yeux un nombre donné de fois par seconde pour capturer le signal, et ferment les yeux entre les deux. Il s'agit du taux de capture des formes d'onde, exprimé en formes d'onde par seconde (wfms/s). Alors que le taux d'échantillonnage indique la fréquence à laquelle l'oscilloscope échantillonne le signal d'entrée dans une forme d'onde ou un cycle, le taux de capture des formes d'onde fait référence à la rapidité avec laquelle un oscilloscope acquiert des formes d'onde.

Les fréquences d'acquisition des formes d'onde varient considérablement, en fonction du type et du niveau de performance de l'oscilloscope. Les oscilloscopes avec des taux de capture de forme d'onde élevés fournissent un aperçu visuel beaucoup plus important du comportement du signal et augmentent considérablement la probabilité que l'oscilloscope capture rapidement les anomalies transitoires telles que la gigue, les impulsions parasites, les défauts et les erreurs de transition.

Les oscilloscopes à mémoire numérique (DSO) utilisent une architecture de traitement en série pour capturer de 10 à 5 000 wfms/s. Certains DSO disposent d'un mode spécial qui permet d'effectuer des captures multiples en rafale dans une mémoire longue, offrant temporairement des taux de capture de formes d'onde plus élevés suivis de longs temps morts de traitement qui réduisent la probabilité de capturer des événements rares et intermittents.

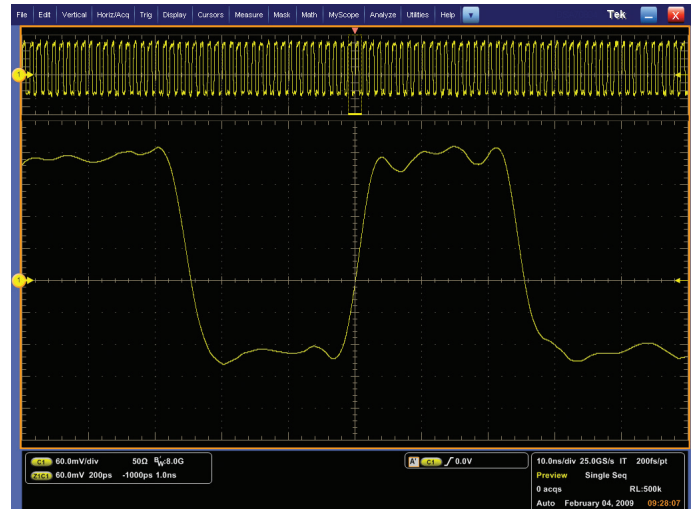


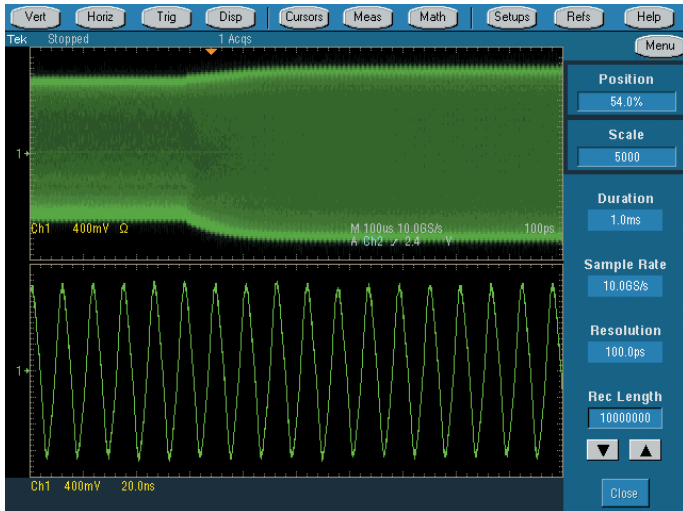
Figure 50. Un DPO permet de mieux comprendre le comportement du signal en offrant des fréquences de capture de forme d'onde beaucoup plus élevées et un affichage tridimensionnel, ce qui en fait le meilleur outil général de conception et de dépannage pour un large éventail d'applications.

La plupart des oscilloscopes à phosphore numérique (DPO) utilisent une architecture de traitement parallèle pour obtenir des taux de capture de formes d'onde beaucoup plus élevés. Comme le montre la Figure 49, certains DPO peuvent acquérir des millions de formes d'onde en quelques secondes seulement, ce qui augmente considérablement la probabilité de capturer des événements intermittents et insaisissables et vous permet de voir plus rapidement les problèmes dans votre signal. De plus, la capacité du DPO à acquérir et à afficher trois dimensions du comportement du signal en temps réel (amplitude, temps et distribution de l'amplitude dans le temps) permet de mieux comprendre le comportement du signal, comme le montre la Figure 50.

## Nombre de points enregistrés

La longueur d'enregistrement, exprimée par le nombre de points qui composent un enregistrement complet de forme d'onde, détermine la quantité de données qui peuvent être capturées avec chaque voie. Un oscilloscope ne pouvant stocker qu'un nombre limité d'échantillons, la durée de la forme d'onde sera inversement proportionnelle à la fréquence d'échantillonnage de l'oscilloscope.

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



**Figure 51.** La capture des détails à haute fréquence de cette porteuse modulée à 85 MHz nécessite un échantillonnage à haute résolution (100 ps). La visualisation de l'enveloppe complète de modulation du signal nécessite une longue durée (1 ms). En utilisant une longue durée d'enregistrement (10 MB), l'oscilloscope peut afficher les deux.

Les oscilloscopes modernes vous permettent de sélectionner la longueur d'enregistrement afin d'optimiser le niveau de détail nécessaire à votre application. Si vous analysez un signal sinusoïdal extrêmement stable, vous pouvez n'avoir besoin que d'une longueur d'enregistrement de 500 points, mais si vous isolez les causes des anomalies de synchronisation dans un flux de données numériques complexe, vous pouvez avoir besoin d'un million de points ou plus pour une longueur d'enregistrement donnée, comme le montre la Figure 51.

## Capacités de déclenchement

La fonction de déclenchement d'un oscilloscope synchronise le balayage horizontal au bon endroit du signal, ce qui est essentiel pour une caractérisation claire du signal. Les commandes de déclenchement vous permettent de stabiliser les formes d'onde répétitives et de capturer des formes d'onde à un seul coup. Consultez la section Déclenchement dans la partie concernant les performances pour plus d'informations sur les capacités de déclenchement.

## Bits effectifs

Les bits effectifs représentent une mesure de la capacité d'un oscilloscope numérique à reconstruire avec précision la forme d'un signal sinusoïdal. Cette mesure compare l'erreur réelle de l'oscilloscope à celle d'un numériseur théorique "idéal". Comme les erreurs réelles incluent le bruit et la distorsion, la fréquence et l'amplitude du signal doivent être spécifiées.

## Réponse fréquentielle

La bande passante seule n'est pas suffisante pour garantir qu'un oscilloscope puisse capturer avec précision un signal à haute fréquence. L'objectif de la conception d'un oscilloscope est un type spécifique de réponse en fréquence : Maximally Flat Envelope Delay (MFED). Une réponse en fréquence de ce type offre une excellente fidélité des impulsions avec un minimum de dépassement et d'oscillations. Étant donné qu'un oscilloscope numérique est composé d'amplificateurs, d'atténuateurs, d'ADC, d'interconnexions et de relais réels, la réponse MFED est un objectif qui ne peut être qu'approché. La fidélité des impulsions varie considérablement selon le modèle et le fabricant.

## Sensibilité verticale

La sensibilité verticale indique dans quelle mesure l'amplificateur vertical peut amplifier un signal faible - généralement mesuré en millivolts (mV) par division. La plus petite tension détectée par un oscilloscope à usage général est généralement d'environ 1 mV par division de l'écran vertical.

## Vitesse de balayage

La vitesse de balayage indique la vitesse à laquelle la trace peut balayer l'écran de l'oscilloscope, ce qui vous permet de voir les détails les plus fins. La vitesse de balayage d'un oscilloscope est représentée par le temps (secondes) par division.

## Précision du gain

La précision du gain indique la précision avec laquelle le système vertical atténue ou amplifie un signal, généralement représentée par un pourcentage d'erreur.

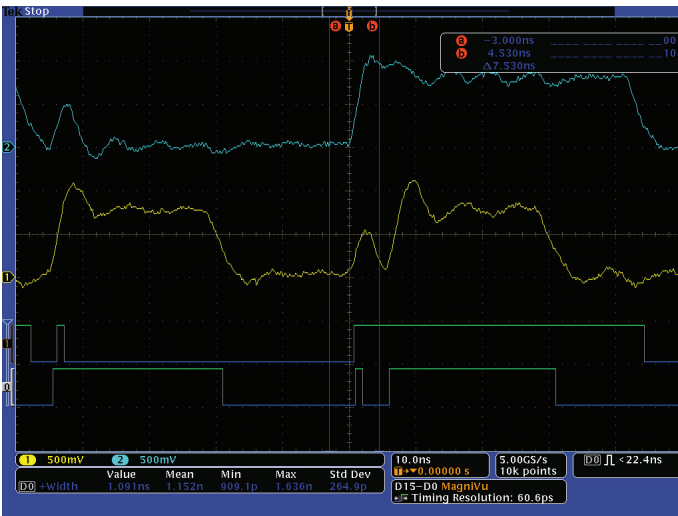
## Précision horizontale (base temporelle)

La précision horizontale, ou base temporelle, indique la précision avec laquelle le système horizontal affiche la synchronisation d'un signal, généralement représentée par un pourcentage d'erreur.

## Résolution verticale (convertisseur analogique-numérique)

La résolution verticale du convertisseur analogique-numérique, et donc de l'oscilloscope numérique, indique avec quelle précision il peut convertir les tensions d'entrée en valeurs numériques. La résolution verticale se mesure en bits. Les techniques de calcul peuvent améliorer la résolution effective, comme le montre le mode d'acquisition haute résolution.





**Figure 52.** Le MSO offre 16 canaux numériques intégrés, permettant d'observer et d'analyser des signaux analogiques et numériques corrélés dans le temps. Une acquisition à haute vitesse offre une meilleure résolution pour repérer des événements courts comme des anomalies.

## Résolution temporelle (MSO)

Une spécification importante de l'acquisition MSO est la résolution temporelle utilisée pour capturer les signaux numériques. L'acquisition d'un signal avec une meilleure résolution temporelle fournit une mesure temporelle plus précise du moment où le signal change. Par exemple, un taux d'acquisition de 500 MS/s a une résolution temporelle de 2 ns et l'incertitude du front du signal acquis est de 2 ns. Une résolution temporelle plus faible de 60,6 ps (16,5 GS/s) réduit l'incertitude du front du signal à 60,6 ps et capture des signaux changeant plus rapidement.

Certains MSO acquièrent en interne des signaux numériques avec deux types d'acquisitions en même temps. La première acquisition se fait avec une résolution temporelle standard, et la deuxième acquisition utilise une résolution à haute vitesse. La résolution standard est utilisée sur une plus grande longueur d'enregistrement tandis que l'acquisition temporelle à haute vitesse offre une meilleure résolution autour d'un point d'intérêt étroit, comme le montre la figure 52.

## Connectivité

La nécessité d'analyser les résultats des mesures reste de la plus haute importance. La nécessité de documenter et de partager facilement et fréquemment les informations et les résultats de mesure a également gagné en importance. La connectivité d'un oscilloscope offre des capacités d'analyse avancées et simplifie la documentation et le partage des résultats. Comme le montre la Figure 53, les interfaces standard (GPIB, RS-232, USB, Ethernet) et les modules de communication réseau permettent à certains oscilloscopes d'offrir un large éventail de fonctionnalités et de contrôles.

Certains oscilloscopes perfectionnés vous permettent également:



**Figure 53.** Les oscilloscopes actuels offrent de nombreuses interfaces de communication, comme le port standard Centronics et des modules optionnels Ethernet/RS-232, GPIB/RS-232, et VGA/RS-232. Il existe même un port USB (non visible sur l'illustration) sur le panneau avant.



**Figure 54.** Les logiciels d'analyse sont conçus pour répondre aux exigences de mesure des concepteurs numériques à haute vitesse d'aujourd'hui.

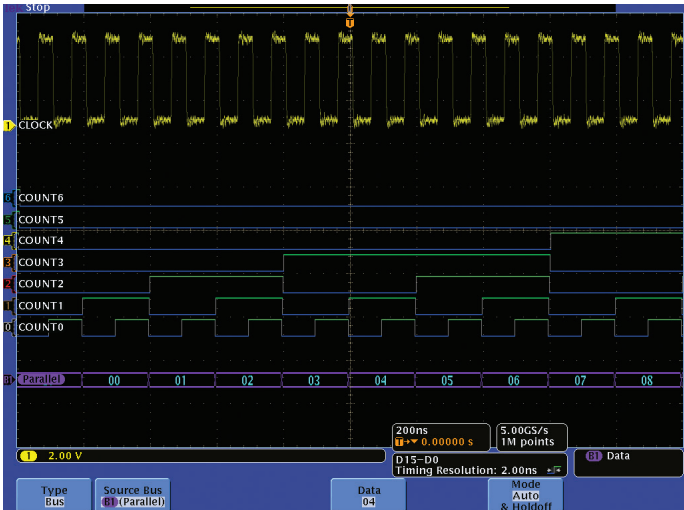
- De créer, modifier et partager des documents sur l'oscilloscope - tout en travaillant avec l'instrument dans votre environnement matériel.
- D'accéder aux ressources d'impression et de partage de fichiers du réseau
- D'accéder au bureau Windows®.
- D'exécuter des logiciels d'analyse et de documentation tiers
- De se connecter à des réseaux
- D'accéder à l'Internet
- D'envoyer et recevoir des e-mails

## Extensibilité

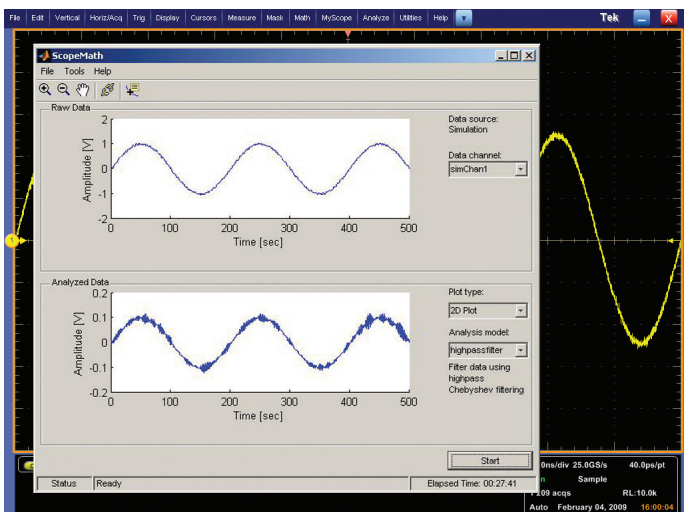
Un oscilloscope doit pouvoir s'adapter à l'évolution de vos besoins. Certains oscilloscopes vous permettent de:



**Figure 55.** L'analyse du bus série est facilitée par l'automatisation du déclenchement, du décodage et de la recherche sur le contexte des paquets série.



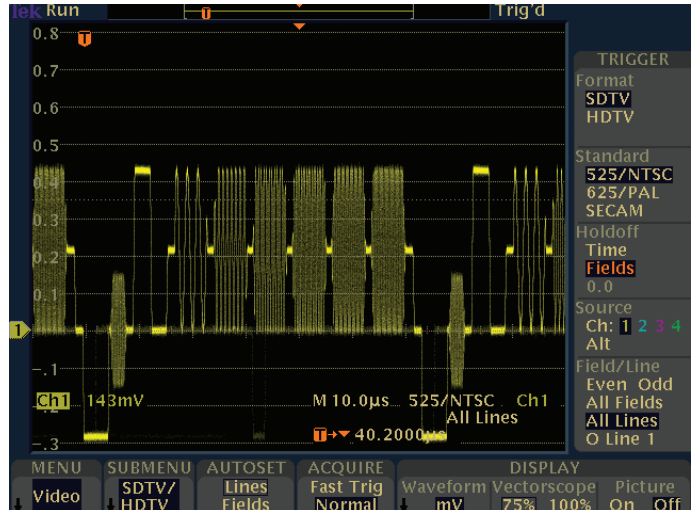
**Figure 56.** Déclenchement, décodage et recherche automatique sur les données de bus parallèle avec ou sans horloge.



**Figure 59.** Des logiciels avancés d'analyse et de productivité comme MATLAB peuvent être installés sur les oscilloscopes fonctionnant sous Windows pour réaliser une analyse locale du signal.



**Figure 57.** Les outils d'analyse DDR avancés automatisent les tâches complexes comme la séparation des rafales en lecture/écriture et les mesures JEDEC.



**Figure 58.** Les modules applicatifs de vidéo font de l'oscilloscope un outil puissant et efficace pour analyser les flux vidéo.

- Ajouter de la mémoire aux canaux pour analyser des longueurs d'enregistrement plus importantes.
- Ajouter des capacités de mesure spécifiques à une application
- Complétez la puissance de l'oscilloscope avec une gamme complète de sondes et de modules.
- Travaillez avec des logiciels tiers d'analyse et de productivité compatibles avec Windows.
- Ajouter des accessoires, tels que des blocs de batteries et des supports de rack.

Les modules applicatifs et les logiciels peuvent vous permettre de transformer votre oscilloscope en un outil d'analyse hautement spécialisé capable d'exécuter des fonctions telles que l'analyse de la gigue et de la synchronisation, la vérification des systèmes de mémoire des microprocesseurs, les tests des normes de communication, les mesures des lecteurs de disques, les mesures vidéo, les mesures de puissance et bien plus encore.



Figure 60. Les boutons traditionnels de type analogique contrôlent la position, l'échelle, l'intensité, etc. avec précision.

## Facilité d'utilisation

Les oscilloscopes doivent être faciles à prendre en main et à utiliser, afin de vous aider à travailler avec une efficacité et une productivité maximales. Ils vous permettent de vous concentrer sur votre conception plutôt que sur les outils de mesure. Tout comme il n'existe pas de conducteur de voiture type, il n'existe pas d'utilisateur d'oscilloscope type. Que vous préférerez une interface instrumentale traditionnelle ou une interface Windows®, il est important de disposer d'une certaine souplesse dans le fonctionnement de votre oscilloscope.

De nombreux oscilloscopes proposent un juste équilibre entre performance et simplicité en offrant à l'utilisateur de nombreuses façons d'utiliser l'instrument. La disposition du panneau avant, illustrée à la Figure 60, offre des commandes verticales, horizontales et de déclenchement dédiées. Une interface utilisateur graphique riche en icônes, comme illustré à la Figure 61, vous aide à comprendre et à utiliser intuitivement les fonctionnalités avancées. Les écrans tactiles résolvent les problèmes d'encombrement des bancs et des chariots, tout en donnant accès à des boutons clairs à l'écran, comme le montre la Figure 62. L'aide en ligne fournit un manuel de référence intégré et pratique.

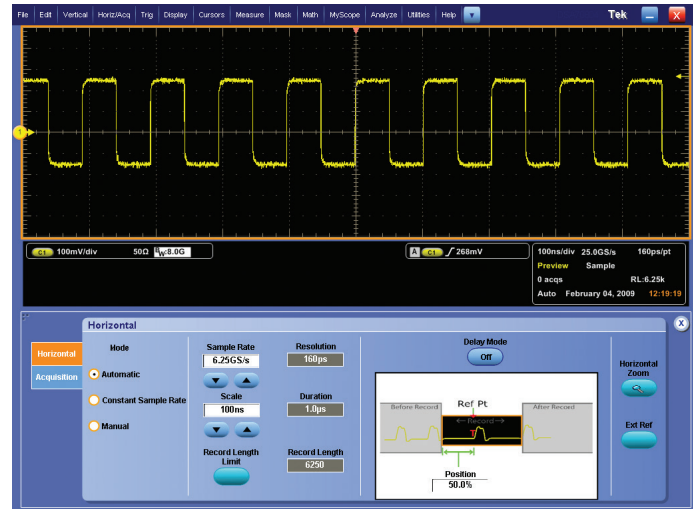


Figure 61. Les fenêtres de contrôle graphiques permettent d'accéder facilement aux fonctions les plus avancées.

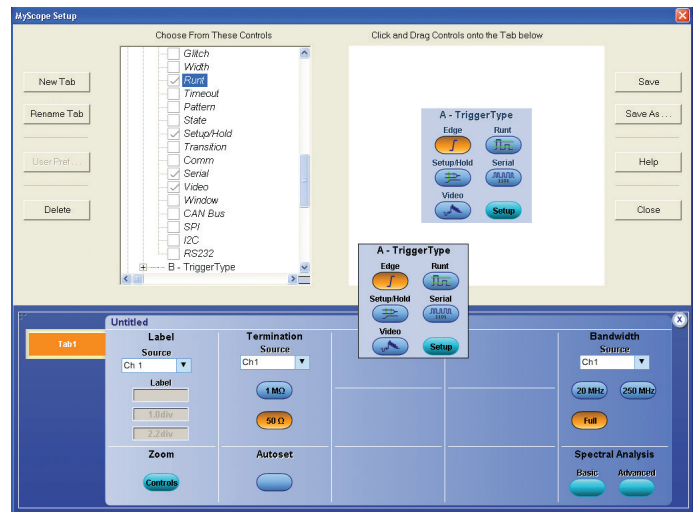
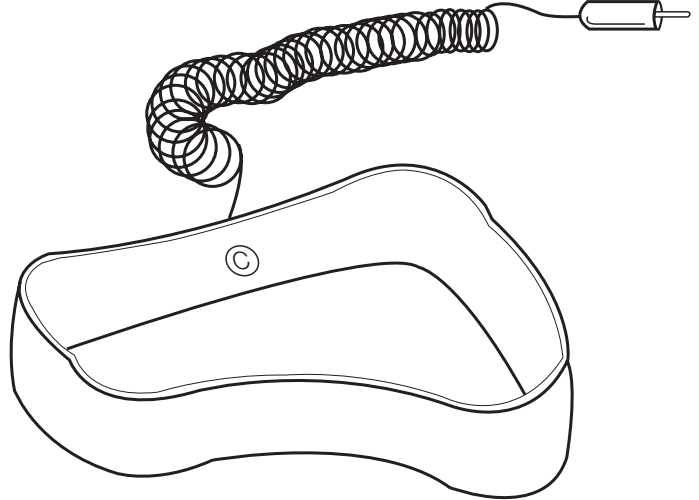


Figure 62. Les écrans tactiles permettent de résoudre les problèmes d'espace et d'accessibilité grâce à des boutons directement affichés à l'écran.

Les commandes intuitives permettent aux utilisateurs d'oscilloscopes, même occasionnels, de se sentir aussi à l'aise en utilisant l'oscilloscope qu'en conduisant leur voiture, tout en donnant aux utilisateurs experts un accès facile aux fonctions les plus avancées de l'oscilloscope. En outre, de nombreux oscilloscopes sont portables, comme celui illustré à la Figure 63, ce qui rend l'oscilloscope efficace dans de nombreux environnements de travail différents, que ce soit en laboratoire ou sur le terrain.



**Figure 63.** La portabilité de nombreux oscilloscopes les rendent très pratiques dans de nombreux environnements.



**Figure 64.** Bande de mise à la terre au poignet typique

## Utilisation de l'oscilloscope

Cette section décrit brièvement comment installer et commencer à utiliser un oscilloscope - plus précisément, comment mettre correctement à la terre l'oscilloscope et vous-même, régler les commandes de l'oscilloscope, étalonner l'oscilloscope, connecter les sondes et compenser les sondes.

Une bonne mise à la terre est une étape importante lorsqu'on s'installe pour prendre des mesures ou travailler sur un circuit. Une mise à la terre correcte de l'oscilloscope vous protège d'un choc dangereux et votre propre mise à la terre protège vos circuits des dommages.

### Mise à la terre

Mettre l'oscilloscope à la terre signifie le connecter à un point de référence électriquement neutre, tel que la terre. Mettez votre oscilloscope à la terre en branchant son cordon d'alimentation à trois broches dans une prise reliée à la terre.

La mise à la terre de l'oscilloscope est nécessaire pour la sécurité. Si une haute tension entre en contact avec le boîtier d'un oscilloscope non mis à la terre - n'importe quelle partie du boîtier, y compris les boutons qui semblent isolés - cela peut vous donner un choc. Cependant, avec un oscilloscope correctement mis à la terre, le courant passe par le chemin de la mise à la terre plutôt que par vous jusqu'à la terre.

La mise à la terre est également nécessaire pour effectuer des mesures précises avec votre oscilloscope. L'oscilloscope doit partager la même masse que tous les circuits que vous testez. Certains oscilloscopes ne nécessitent pas de connexion séparée à la terre. Certains oscilloscopes ne nécessitent pas de connexion séparée à la terre. Ces oscilloscopes ont des boîtiers et des commandes isolés, ce qui éloigne tout risque de choc de l'utilisateur.

Si vous travaillez avec des circuits intégrés (IC), vous devez également vous mettre à la terre. Les circuits intégrés ont de minuscules chemins de conduction qui peuvent être endommagés par l'électricité statique qui s'accumule sur votre corps. Vous pouvez endommager un circuit intégré coûteux simplement en marchant sur un tapis ou en enlevant un pull et en touchant les fils du circuit intégré. Pour résoudre ce problème, portez une sangle de mise à la terre, comme le montre la figure 64. Cette sangle envoie en toute sécurité les charges statiques de votre corps à la terre.

### Réglage des commandes

Après avoir branché l'oscilloscope, jetez un coup d'œil au panneau avant. Comme décrit précédemment, le panneau avant est généralement divisé en trois sections principales intitulées vertical, horizontal et déclenchement. Votre oscilloscope peut avoir d'autres sections, selon le modèle et le type.

Remarquez les connecteurs d'entrée de votre oscilloscope - c'est là que vous fixez les sondes. La plupart des oscilloscopes ont au moins deux canaux d'entrée et chaque canal peut afficher une valeur de

forme d'onde sur l'écran. Les canaux multiples sont utiles pour comparer les formes d'onde. Comme mentionné précédemment, les MSO disposent également d'entrées numériques.

Certains oscilloscopes ont des boutons AUTOSET et/ou DEFAULT qui permettent de régler les commandes en une seule étape pour s'adapter à un signal. Si votre oscilloscope n'a pas cette capacité, il est utile de régler les commandes sur des positions standard avant de prendre des mesures.

Les instructions générales pour configurer manuellement l'oscilloscope en positions standard sont les suivantes :

- Régler l'oscilloscope pour afficher la voie 1
- Régler l'échelle verticale de volts/division et les commandes de position sur des positions intermédiaires.
- Désactiver les volts/division variables
- Désactiver tous les réglages de grossissement
- Régler le couplage d'entrée de la voie 1 sur DC
- Régler le mode de déclenchement sur auto
- Régler la source de déclenchement sur le canal 1
- Régler la temporisation du déclencheur au minimum ou à l'arrêt
- Régler les commandes de temps/division et de position horizontale sur des positions intermédiaires.
- Régler la division en volts de la voie 1 de façon à ce que le signal occupe le plus possible les 10 divisions verticales sans écrêtage ni distorsion du signal.

## Étalonnage de l'instrument

En plus d'une configuration correcte de l'oscilloscope, il est recommandé de procéder à un auto-étalonnage périodique de l'instrument pour obtenir des mesures précises. Un étalonnage est nécessaire si la température ambiante a changé de plus de 5° C (9° F) depuis le dernier étalonnage automatique ou une fois par semaine. Dans le menu de l'oscilloscope, cette opération peut parfois être lancée sous le nom de « Compensation du trajet du signal ». Reportez-vous au manuel qui accompagne votre oscilloscope pour des instructions plus détaillées.

## Connexion des sondes

Vous êtes maintenant prêt à connecter une sonde à votre oscilloscope. Une sonde, si elle est bien adaptée à l'oscilloscope, vous permettra d'accéder à toute la puissance et les performances de l'oscilloscope et garantira l'intégrité du signal que vous mesurez.

La mesure d'un signal nécessite deux connexions : la connexion de la pointe de la sonde et la connexion de la masse. Les sondes sont souvent livrées avec un clip de fixation pour la mise à la terre de la sonde sur le circuit testé. En pratique, vous fixez la pince de mise à la terre à une masse connue du circuit, telle que le châssis métallique d'un produit que vous réparez, et vous touchez la pointe de la sonde à un point de test dans le circuit.

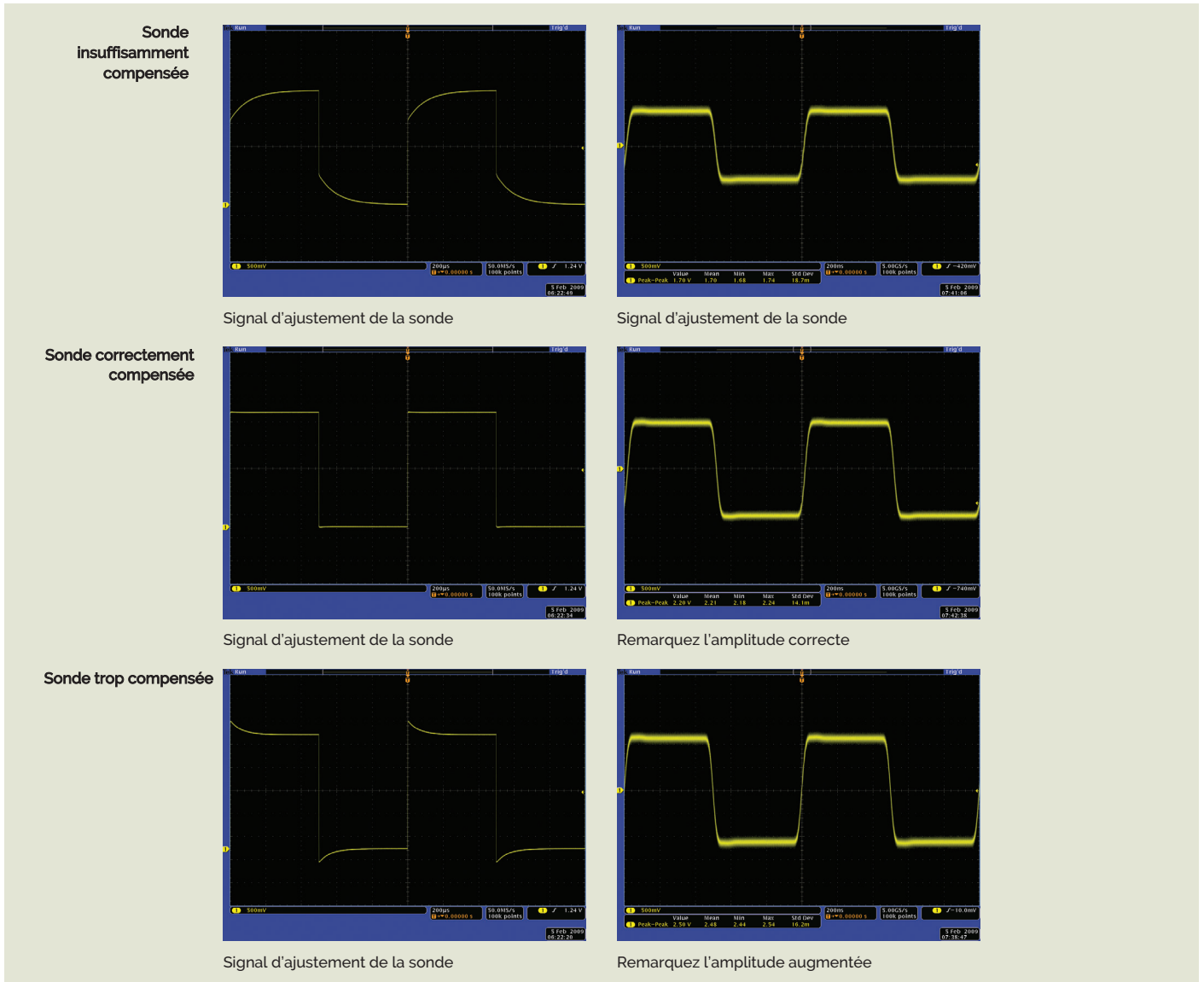
## Compensation des sondes

Les sondes de tension à atténuation passive doivent être compensées par rapport à l'oscilloscope. Avant d'utiliser une sonde passive, vous devez la compenser - pour équilibrer ses propriétés électriques par rapport à un oscilloscope particulier.

Vous devez prendre l'habitude de compenser la sonde chaque fois que vous réglez votre oscilloscope. Une sonde mal réglée peut rendre vos mesures moins précises. La Figure 65 illustre les effets sur un signal de test de 1 MHz de l'utilisation d'une sonde qui n'est pas correctement compensée.

La plupart des oscilloscopes disposent d'un signal de référence à onde carrée disponible sur une borne du panneau avant utilisée pour compenser la sonde. Les instructions générales pour compenser la sonde sont les suivantes:

- Fixer la sonde à un canal vertical
- Connecter la pointe de la sonde à la compensation de la sonde, c'est-à-dire au signal de référence à onde carrée.
- Fixer le clip de masse de la sonde à la masse
- Visualiser le signal de référence à onde carrée
- Effectuer les réglages appropriés sur la sonde afin que les angles de l'onde carrée soient droits.



**Figure 65.** Les effets d'une compensation de sonde incorrecte.

Lorsque vous compensez la sonde, connectez toujours les accessoires que vous allez utiliser et connectez la sonde au canal vertical que vous prévoyez d'employer.

Ainsi, l'oscilloscope aura les mêmes propriétés électriques que lors de la prise de mesures.

## Techniques de mesure avec un oscilloscope

Cette section passe en revue les techniques de mesure de base. Les deux mesures les plus fondamentales que vous pouvez effectuer sont les mesures de tension et de temps. Presque toutes les autres mesures sont basées sur l'une de ces deux techniques fondamentales.

Cette section aborde les méthodes permettant de prendre des mesures visuellement à l'écran de l'oscilloscope. Il s'agit d'une technique courante avec les instruments analogiques, qui peut également s'avérer utile pour l'interprétation "en un coup d'œil" des affichages des oscilloscopes numériques.

Notez que la plupart des oscilloscopes numériques comprennent des outils de mesure automatisés qui simplifient et accélèrent les tâches d'analyse courantes, améliorant ainsi la fiabilité et la confiance de vos mesures. Cependant, savoir comment effectuer des mesures manuellement comme décrit ici vous aidera à comprendre et à vérifier les mesures automatisées.

### Mesures de tension

La tension est la quantité de potentiel électrique, exprimée en volts, entre deux points d'un circuit. Habituellement, l'un de ces points est la terre (zéro volt), mais pas toujours. Les tensions peuvent également être mesurées de crête-à-crête - du point maximum d'un signal à son point minimum. Vous devez prendre soin de préciser de quelle tension vous parlez.

L'oscilloscope est avant tout un appareil de mesure de la tension. Une fois que vous avez mesuré la tension, d'autres quantités ne sont plus qu'à calculer. Par exemple, la loi d'Ohm stipule que la tension entre deux points d'un circuit est égale au courant multiplié par la résistance. À partir de deux de ces quantités, vous pouvez calculer la troisième à l'aide de la formule suivante:

$$\text{Tension} = \text{Courant} \times \text{Résistance}$$

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

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

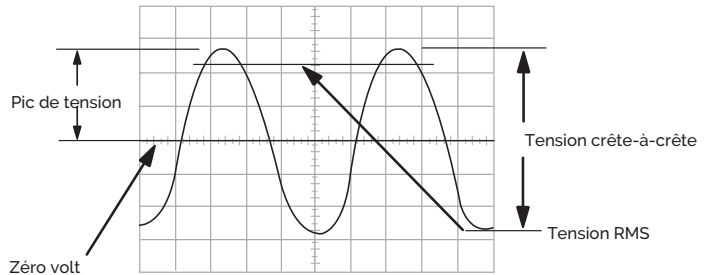


Figure 66. Tension de crête ( $V_p$ ) et tension crête-à-crête ( $V_{pp}$ )

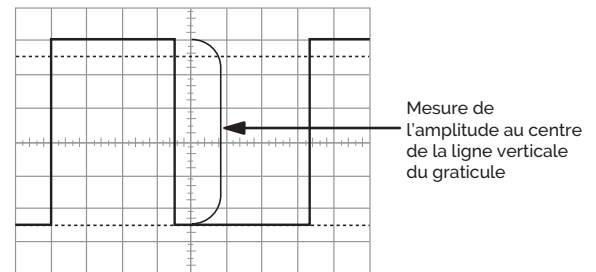
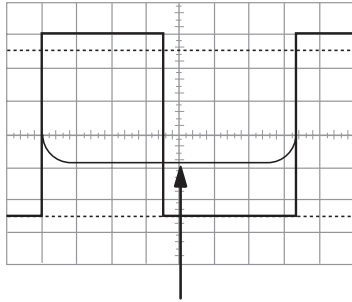


Figure 67. Mesure de la tension au centre de la ligne du graticule vertical.

Une autre formule utile est la loi de puissance, qui stipule que la puissance d'un signal continu est égale à la tension multipliée par le courant. Les calculs sont plus compliqués pour les signaux alternatifs, mais l'idée est que la mesure de la tension est la première étape du calcul des autres quantités. La figure 66 montre la tension d'une crête ( $V_p$ ) et la tension crête-à-crête ( $V_{p-p}$ ).

La méthode la plus simple pour mesurer la tension consiste à compter le nombre de divisions d'une forme d'onde sur l'échelle verticale de l'oscilloscope. Le fait de régler le signal de manière à couvrir la majeure partie de l'écran verticalement permet d'obtenir les meilleures mesures de tension, comme le montre la Figure 67. Plus vous utilisez de surface d'affichage, plus vous pouvez lire la mesure avec précision.

De nombreux oscilloscopes sont équipés de curseurs qui vous permettent d'effectuer des mesures de forme d'onde automatiquement, sans avoir à compter les marques du graticule. Un curseur est simplement une ligne que vous pouvez déplacer sur l'écran. Deux lignes de curseur horizontales peuvent être déplacées vers le haut et le bas pour cadrer l'amplitude d'une forme d'onde pour les mesures de tension, et deux lignes verticales se déplacent vers la droite et la gauche pour les mesures de temps. Un affichage indique la tension ou le temps à leur position.



Mesure temporelle au centre de la ligne horizontale du graticule

Figure 68. Mesure temporelle au centre de la ligne horizontale du graticule.

## Mesures de temps et de fréquence

Vous pouvez effectuer des mesures de temps en utilisant l'échelle horizontale de l'oscilloscope. Les mesures de temps comprennent la mesure de la période et de la largeur d'impulsion des impulsions. La fréquence est l'inverse de la période, donc une fois que vous connaissez la période, la fréquence est égale à un divisé par la période. Comme pour les mesures de tension, les mesures de temps sont plus précises lorsque vous ajustez la partie du signal à mesurer pour couvrir une grande surface de l'écran, comme illustré à la Figure 68.

## Mesures de la largeur d'impulsion et du temps de montée

Dans de nombreuses applications, les détails de la forme d'une impulsion sont importants. Les impulsions peuvent être déformées et provoquer le dysfonctionnement d'un circuit numérique, et la synchronisation des impulsions dans un train d'impulsions est souvent importante.

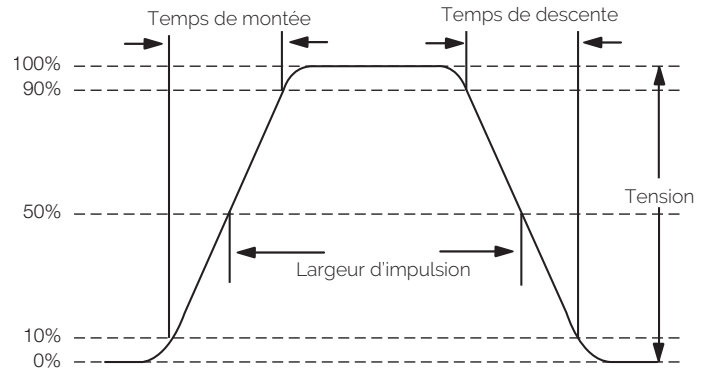


Figure 69. Points de mesure du temps de montée et de la largeur d'impulsion.

Les mesures standard des impulsions sont le temps de montée des impulsions et la largeur des impulsions. Le temps de montée est le temps que met une impulsion pour passer d'une tension basse à une tension élevée. Par convention, le temps de montée est mesuré entre 10% et 90% de la tension totale de l'impulsion. Cela permet d'éliminer toute irrégularité aux coins de transition de l'impulsion. La largeur d'impulsion est le temps que met l'impulsion pour passer d'une tension basse à une tension haute et revenir à une tension basse. Par convention, la largeur d'impulsion est mesurée à 50 % de la pleine tension. La Figure 69 illustre ces points de mesure.

Les mesures d'impulsions nécessitent souvent un réglage fin du déclenchement. Pour devenir un expert de la capture d'impulsions, vous devez apprendre à utiliser le blocage du déclenchement et à régler l'oscilloscope numérique pour capturer les données de pré-déclenchement, comme décrit dans la section Systèmes et commandes d'un oscilloscope. Le grossissement horizontal est une autre fonction utile pour mesurer les impulsions, car il vous permet de voir les détails fins d'une impulsion rapide.



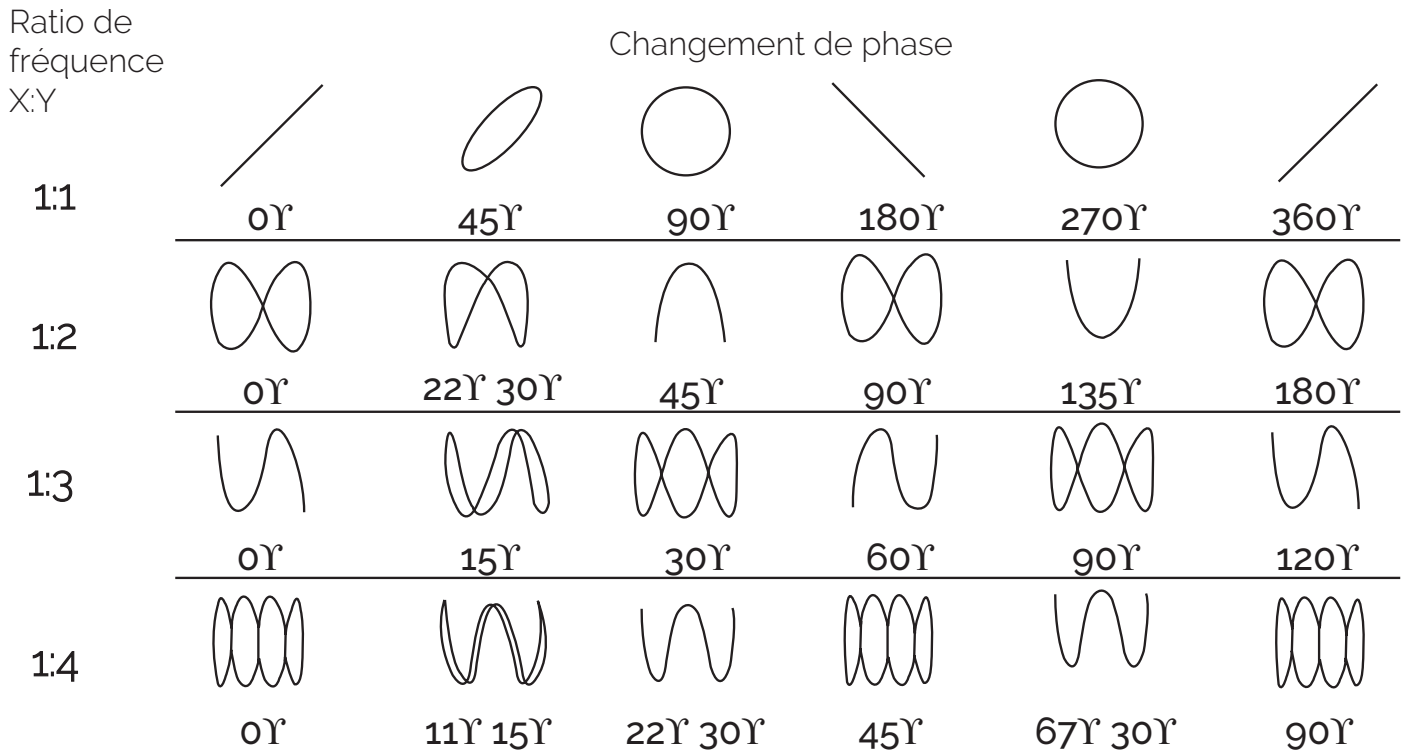


Figure 70. Motifs de Lissajous

## Mesures du déphasage

Une méthode pour mesurer le déphasage - la différence de synchronisation entre deux signaux périodiques par ailleurs identiques - consiste à utiliser le mode XY. Cette technique de mesure consiste à introduire un signal dans le système vertical comme d'habitude, puis un autre signal dans le système horizontal. On parle de mesure XY car les axes X et Y sont tous deux des tensions de traçage. La forme d'onde qui résulte de cette disposition s'appelle un modèle de Lissajous (du nom du physicien français Jules Antoine Lissajous). La forme de la courbe de Lissajous permet de déterminer la différence de phase entre les deux signaux. Vous pouvez également déterminer leur rapport de fréquence. La figure 70 montre des motifs de Lissajous pour différents rapports de fréquence et déphasages.

La technique de mesure XY est issue des oscilloscopes analogiques. Les DSO peuvent avoir des difficultés à créer des affichages XY en temps réel. Certains DSO créent une image XY en accumulant des points de données déclenchés dans le temps, puis en affichant deux canaux sous forme d'un affichage XY.

Les DPO, en revanche, sont capables d'acquérir et d'afficher une véritable image en mode XY en temps réel, en utilisant un flux continu de données numérisées. Les OPN peuvent également afficher une image XYZ avec des zones intensifiées. Contrairement aux affichages XY des DSO et DPO, ces affichages sur les oscilloscopes analogiques sont généralement limités à une bande passante de quelques mégahertz.

## Autres techniques de mesure

Cette section a couvert les techniques de mesure de base. D'autres techniques de mesure consistent à configurer l'oscilloscope pour tester des composants électriques sur une chaîne de montage, à capturer des signaux transitoires insaisissables, et bien d'autres encore. Les techniques de mesure que vous utiliserez dépendront de votre application, mais vous en avez appris suffisamment pour commencer. Entraînez-vous à utiliser votre oscilloscope et lisez davantage à son sujet. Bientôt, son fonctionnement deviendra une seconde nature pour vous.

## Exercices écrits

Cette section contient des exercices écrits qui couvrent les informations contenues dans ce document introductif. Ils sont divisés en deux parties, Partie I et Partie II, avec des exercices de vocabulaire et d'application pour chacune.

Vérifiez si vous avez bien assimilé les informations contenues dans ces sections en comparant vos réponses avec le corrigé qui se trouve à la fin de cette section, page 55.

### La partie I couvre les informations présentées dans les sections suivantes:

- L'oscilloscope
- Considérations relatives aux performances

### La partie II couvre les informations des sections:

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

## Partie I A: Exercice de vocabulaire

Notez la lettre correspondant aux définitions dans la colonne de droite à côté des termes correspondants dans la colonne de gauche.

Terme	Définition
1. ___ Acquisition	<b>A</b> L'unité de mesure de la différence de potentiel électrique
2. ___ Analogique	<b>B</b> Une mesure de performance pour indiquer la précision d'un CAN, exprimée en bits.
3. ___ Bande passante	<b>C</b> Terme utilisée pour évoquer les degrés de la période d'un signal.
4. ___ Phosphore numérique	<b>D</b> Le nombre de répétitions d'un signal en une seconde.
5. ___ Fréquence	<b>E</b> La durée d'un cycle d'onde.
6. ___ Anomalie	<b>F</b> Une valeur numérique stockée représentant la tension d'un signal à un point spécifique de l'affichage.
7. ___ Période	<b>G</b> Une forme d'onde courante avec une arête montante, une largeur, puis une arête descendante.
8. ___ Phase	<b>H</b> Une mesure de performance indiquant la vitesse montante d'une pulsation.
9. ___ Pulsation	<b>I</b> Un circuit d'un oscilloscope qui contrôle la durée de balayage.
10. ___ Point de forme d'onde	<b>J</b> Un pic intermittent dans un circuit.
11. ___ Temps de montée	<b>K</b> Un signal mesuré par un oscilloscope et qui ne se produit qu'une seule fois.
12. ___ Point d'échantillon	<b>L</b> Le processus de l'oscilloscope consistant à collecter des points d'échantillonnage à partir du CAN, à les traiter et à les stocker en mémoire.
13. ___ Mémoire numérique	<b>M</b> Quelque chose qui se produit avec des valeurs évoluant en continu.
14. ___ Base temporelle	<b>N</b> Un oscilloscope numérique qui capture 3 dimensions d'informations du signal en temps réel.
15. ___ Transitoire	<b>O</b> Un oscilloscope numérique avec traitement en série.
16. ___ Résolution ADC	<b>P</b> Une plage de fréquence d'onde sinusoïdale, définie par le point -3 dB.
17. ___ Volt	<b>Q</b> Les données brutes d'un CAN utilisées pour calculer et afficher les points de forme d'onde.

## Partie I B: Exercice d'application

Entourez les réponses correctes pour chaque affirmation. Certaines affirmations peuvent avoir plusieurs bonnes réponses.

1. **Avec un oscilloscope, vous pouvez :**
  - a. Calculer la fréquence d'un signal.
  - b. Trouver les composants électriques qui fonctionnent mal.
  - c. Analyser les détails d'un signal.
  - d. Toutes les réponses ci-dessus.
2. **La différence entre les oscilloscopes analogiques et numériques est :**
  - a. Les oscilloscopes analogiques n'ont pas de menus à l'écran.
  - b. Les oscilloscopes analogiques appliquent une tension de mesure directement sur le système d'affichage, tandis que les oscilloscopes numériques convertissent d'abord la tension en valeurs numériques.
  - c. Les oscilloscopes analogiques mesurent des analogues, alors que les oscilloscopes numériques mesurent des chiffres.
  - d. Les oscilloscopes analogiques ne disposent pas d'un système d'acquisition.
3. **La section verticale d'un oscilloscope fait ce qui suit :**
  - a. Acquérir des points d'échantillonnage avec un CAN.
  - b. Lance un balayage horizontal.
  - c. Permet de régler la luminosité de l'écran.
  - d. Atténue ou amplifie le signal d'entrée.
4. **La commande de base de temps de l'oscilloscope effectue les opérations suivantes :**
  - a. Ajuste l'échelle verticale.
  - b. Vous indique l'heure actuelle de la journée.
  - c. Règle la durée représentée par la largeur horizontale de l'écran.
  - d. Envoie une impulsion d'horloge à la sonde.
5. **Sur l'écran d'un oscilloscope :**
  - a. La tension est sur l'axe vertical et le temps est sur l'axe horizontal.
  - b. Une trace diagonale droite signifie que la tension change à un rythme régulier.
  - c. Un tracé horizontal plat signifie que la tension est constante.
  - d. Toutes les réponses ci-dessus.
6. **Toutes les ondes répétitives ont les propriétés suivantes :**
  - a. Une fréquence mesurée en Hertz.
  - b. Une période mesurée en secondes.
  - c. Une bande passante mesurée en Hertz.
  - d. Toutes les réponses ci-dessus.
7. **Si vous sondez l'intérieur d'un ordinateur avec un oscilloscope, vous avez de fortes chances de trouver les types de signaux suivants :**
  - a. Des trains d'impulsions.
  - b. Des rampes d'ondes.
  - c. Les ondes sinusoïdales.
  - d. Toutes les réponses ci-dessus.
8. **Lorsque vous évaluez les performances d'un oscilloscope analogique, vous pouvez prendre en compte les éléments suivants :**
  - 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 (DSO) et les oscilloscopes à phosphore numérique (DPO) est :**
  - a. Le DSO a une bande passante plus large.
  - b. Le DPO capture trois dimensions d'informations sur les formes d'onde en temps réel.
  - c. Le DSO a un écran couleur.
  - d. Le DSO capture plus de détails sur le signal.

## Partie II A : Exercice de vocabulaire

Notez la lettre correspondant aux définitions dans la colonne de droite à côté des termes correspondants dans la colonne de gauche.

	Terme	Définition
1.	___ Mode moyenne	<b>A</b> L'interaction non intentionnelle de la sonde et de l'oscilloscope avec le circuit testé qui déforme un signal.
2.	___ Charge du circuit	<b>B</b> Un conducteur qui relie les courants électriques à la terre.
3.	___ Compensation	<b>C</b> Un mode d'échantillonnage dans lequel l'oscilloscope capture autant d'échantillons que possible lors de la survenue du signal, puis crée un affichage avec de l'interpolation si nécessaire.
4.	___ Couplage	<b>D</b> Un mode d'échantillonnage dans lequel l'oscilloscope numérique construit une image d'un signal répétitif en capturant un petit bout d'information de chaque répétition.
5.	___ Mise à la terre	<b>E</b> Un dispositif qui convertit une quantité physique spécifique telle que le son, la pression, la tension ou l'intensité lumineuse en un signal électrique.
6.	___ Temps équivalent	<b>F</b> Un dispositif de test pour injecter un signal dans une entrée de circuit.
7.	___ Graticule	<b>G</b> Une technique de traitement utilisée par les oscilloscopes numériques pour éliminer le bruit dans un signal affiché.
8.	___ Interpolation	<b>H</b> La méthode de connexion de deux circuits entre eux.
9.	___ Temps réel	<b>I</b> Une technique de traitement consistant à relier les points pour estimer ce l'apparence d'une forme d'onde rapidement sur la base de quelques points d'échantillonnage seulement.
10.	___ Générateur de signal	<b>J</b> Les lignes sur l'écran permettant de mesurer les tracés d'un oscilloscope.
11.	___ Balayage unique	<b>K</b> Un mode de déclenchement qui lance le balayage une seule fois et doit être réinitialisé pour accepter un nouveau déclencheur.
12.	___ Capteur	<b>L</b> Un réglage de sonde pour les sondes à atténuation 10X qui équilibre les propriétés électriques de la sonde avec les propriétés électriques de l'oscilloscope.

## Partie II B : Exercice d'application

Entourez les réponses correctes pour chaque affirmation. Certaines affirmations peuvent avoir plusieurs bonnes réponses.

1. **Pour utiliser un oscilloscope en toute sécurité, vous devez :**
  - a. Mettre l'oscilloscope à la terre avec le cordon d'alimentation à trois broches approprié.
  - b. Apprendre à reconnaître les composants électriques potentiellement dangereux.
  - c. Évitez de toucher les connexions exposées d'un circuit en cours de test, même si l'alimentation est coupée.
  - d. Toutes les réponses ci-dessus.
2. **La mise à la terre d'un oscilloscope est nécessaire :**
  - a. Pour des raisons de sécurité.
  - b. Pour fournir un point de référence pour effectuer des mesures.
  - c. Pour aligner le tracé avec l'axe horizontal de l'écran.
  - d. Toutes les réponses ci-dessus.
3. **La charge du circuit est causée par :**
  - a. Un signal d'entrée ayant une tension trop élevée.
  - b. La sonde et l'oscilloscope interagissant avec le circuit testé.
  - c. Une sonde à atténuation 10X non compensée.
  - d. Mettre trop de poids sur un circuit.
4. **La compensation d'une sonde est nécessaire pour :**
  - a. Équilibrer les propriétés électriques de la sonde de l'atténuateur 10X avec l'oscilloscope.
  - b. Éviter d'endommager le circuit testé.
  - c. Améliorer la précision de vos mesures.
  - d. Toutes les réponses ci-dessus.
5. **Le contrôle de la rotation de la trace est utile pour :**
  - a. Mettre à l'échelle les formes d'onde sur l'écran.
  - b. Détecter les signaux sinusoïdaux.
  - c. Alignement de la trace de la forme d'onde avec l'axe horizontal de l'écran sur un oscilloscope analogique.
  - d. Mesurer la largeur d'impulsion.
6. **La commande de volts par division est utilisée pour :**
  - a. Mettre à l'échelle une forme d'onde verticalement.
  - b. Positionner une forme d'onde verticalement.
  - c. Atténuer ou amplifier un signal d'entrée.
  - d. Définir les nombres de volts que chaque division représente.
7. **Le fait de régler le couplage d'entrée vertical à la masse a les effets suivants :**
  - a. Déconnecte le signal d'entrée de l'oscilloscope.
  - b. Fait apparaître une ligne horizontale avec le déclenchement automatique.
  - c. Permet de voir où se trouve le zéro volt sur l'écran.
  - d. Toutes les réponses ci-dessus.
8. **La gâchette est nécessaire pour :**
  - a. Stabiliser les formes d'onde répétitives sur l'écran.
  - b. Capturer les formes d'onde à un seul coup.
  - c. Marquer un point particulier d'une acquisition.
  - d. Toutes les réponses ci-dessus.
9. **La différence entre le mode de déclenchement automatique et le mode de déclenchement normal est :**
  - a. En mode normal, l'oscilloscope ne balaie qu'une fois et s'arrête ensuite.
  - b. En mode normal, l'oscilloscope ne balaie que si le signal d'entrée atteint le point de déclenchement, sinon l'écran est vide.
  - c. Le mode automatique fait balayer l'oscilloscope en continu, même sans être déclenché.
  - d. Toutes les réponses ci-dessus.
10. **Le mode d'acquisition qui réduit le mieux le bruit dans un signal répétitif est :**
  - a. Le mode échantillon.
  - b. Le mode de détection des pics.
  - c. Mode Enveloppe.
  - d. Mode de calcul de la moyenne.

11. **Les deux mesures les plus basiques que vous pouvez faire avec un oscilloscope sont :**
- Les mesures de temps et de fréquence.
  - Les mesures de temps et de tension.
  - Mesures de la tension et de la largeur d'impulsion.
  - Mesures de la largeur d'impulsion et du déphasage.
12. **Si la division en volts est fixée à 0,5, le plus grand signal qui peut tenir sur l'écran (en supposant un écran de division de 8 x 10) est :**
- 62,5 millivolts crête-à-crête.
  - 8 volts crête-à-crête.
  - 4 volts crête-à-crête.
  - 0,5 volt crête-à-crête.
13. **Si la division en secondes est réglée sur 0,1 ms, la durée représentée par la largeur de l'écran est :**
- 0,1 ms.
  - 1 ms.
  - 1 seconde.
  - 0,1 kHz.
14. **Par convention, la largeur d'impulsion est mesurée :**
- A 10 % de la tension crête-à-crête (pk-pk) de l'impulsion.
  - A 50% de la tension crête-à-crête (pk-pk) de l'impulsion.
  - A 90% de la tension crête-à-crête (pk-pk) de l'impulsion.
  - A 10% et 90% de la tension crête-à-crête (pk-pk) de l'impulsion.
15. **Vous connectez une sonde à votre circuit de test mais l'écran est vide. Vous devez :**
- Vérifier que l'intensité de l'écran est augmentée.
  - Vérifier que l'oscilloscope est réglé pour afficher la voie à laquelle la sonde est connectée.
  - Régler le mode de déclenchement sur auto, car le mode normalisé efface l'écran.
  - Régler le couplage d'entrée vertical sur AC et réglez la division en volts sur sa valeur la plus grande car un signal DC important peut sortir en haut ou en bas de l'écran.
  - Vérifier que la sonde n'est pas court-circuitée et assurez-vous qu'elle est correctement mise à la terre.
  - Vérifier que l'oscilloscope est réglé pour se déclencher sur la voie d'entrée que vous utilisez.
  - Toutes les réponses ci-dessus.

## Réponses

Cette section fournit les réponses à tous les exercices écrits des sections précédentes.

### Partie IA: Réponses à 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 IB: Réponses à 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 IIA: Réponses à 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 IIB: Réponses à 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

## A

**Mode d'acquisition** - Modes qui contrôlent la façon dont les points de forme d'onde sont produits à partir des points d'échantillon. Certains types comprennent l'échantillonnage, la détection de crête, la haute résolution, l'enveloppe, la moyenne et la base de données de formes d'onde.

**Courant alternatif (AC)** - Signal dans lequel le courant et la tension varient de façon répétitive dans le temps. Également utilisé pour indiquer le type de couplage du signal.

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

**Amplitude** - La magnitude d'une quantité ou la force d'un signal. En électronique, l'amplitude fait généralement référence à la tension ou à la puissance.

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

**Oscilloscope analogique** - Instrument qui crée un affichage de forme d'onde en appliquant le signal d'entrée (conditionné et amplifié) à l'axe vertical d'un faisceau d'électrons se déplaçant horizontalement de gauche à droite sur un écran de tube cathodique (CRT). Un phosphore chimique appliqué sur le tube cathodique crée une trace lumineuse à l'endroit où le faisceau frappe.

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

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

## B

**Bande passante** - Une plage de fréquences, généralement limitée par -3 dB.

## C

**Charge de circuit** - Interaction fortuite de la sonde et de l'oscilloscope avec le circuit testé, ce qui déforme le signal.

**Compensation** - Un réglage de la sonde pour les sondes d'atténuation passive qui équilibre la capacité de la sonde avec la capacité de l'oscilloscope.

**Couplage** - Méthode de connexion de deux circuits ensemble. Les circuits connectés à l'aide d'un fil sont directement couplés (CC) ; les circuits connectés à l'aide d'un condensateur ou d'un transformateur sont indirectement couplés (CA).

**Curseur** - Un marqueur à l'écran que vous pouvez aligner avec une forme d'onde pour effectuer des mesures plus précises.

## D

**Base temporelle retardée** - Une base de temps avec un balayage qui peut commencer (ou être déclenché pour commencer) par rapport à un moment prédéterminé sur le balayage de la base de temps principale. Permet de voir les événements plus clairement et de voir des événements qui ne sont pas visibles uniquement avec le balayage de la base de temps principale.

**Signal numérique** - Un signal dont les échantillons de tension sont représentés par des nombres binaires discrets.

**Oscilloscope numérique** - Type d'oscilloscope qui utilise un convertisseur analogique-numérique (ADC) pour convertir la tension mesurée en informations numériques. Les types d'oscilloscope comprennent : les oscilloscopes à stockage numérique, à phosphore numérique, à signal mixte et à échantillonnage numérique.

**Oscilloscope à phosphore numérique (DPO)** - Type d'oscilloscope numérique qui reproduit fidèlement les caractéristiques d'affichage d'un oscilloscope analogique tout en offrant les avantages traditionnels des oscilloscopes numériques (stockage des formes d'onde, mesures automatisées, etc.). Le DPO utilise une architecture de traitement parallèle pour transmettre le signal à l'affichage de type tramé, qui fournit un affichage à intensité variable des caractéristiques du signal en temps réel. Le DPO affiche les signaux en trois dimensions : l'amplitude, le temps et la distribution de l'amplitude dans le temps.

**Oscilloscope à échantillonnage numérique** - Type d'oscilloscope numérique qui utilise une méthode d'échantillonnage en temps équivalent pour capturer et afficher des échantillons d'un signal, idéal pour capturer avec précision des signaux dont les composantes de fréquence sont beaucoup plus élevées que la fréquence d'échantillonnage de l'oscilloscope.

**Traitement des signaux numériques** - L'application d'algorithmes pour améliorer la précision des signaux mesurés.

**Oscilloscope à stockage numérique (DSO)** - Oscilloscope numérique qui acquiert des signaux par échantillonnage numérique (à l'aide d'un convertisseur analogique-numérique). Il utilise une architecture de traitement en série pour contrôler l'acquisition, l'interface utilisateur et l'affichage matriciel.

**Numérisation** - Le processus par lequel un convertisseur analogique-numérique (CAN) dans le système horizontal échantillonne un signal à des points discrets dans le temps et convertit la tension du signal à ces points en valeurs numériques appelées points d'échantillonnage.

**Courant continu (DC)** - Un signal avec une tension et/ou un courant constant. Également utilisé pour indiquer le type de couplage du signal.

**Division** - Marques de mesure sur le graticule de l'oscilloscope indiquant les marques majeures et mineures.



## E

**Terre** - Un conducteur qui relie les courants électriques à la terre.

**Bits effectifs** - Une mesure de la capacité d'un oscilloscope numérique à reconstruire avec précision la forme d'un signal sinusoïdal. Cette mesure compare l'erreur réelle de l'oscilloscope à celle d'un numériseur théorique « idéal ».

**Enveloppe** - Le contour des points les plus hauts et les plus bas d'un signal acquis sur de nombreuses répétitions de la forme d'onde affichée.

**Échantillonnage en temps équivalent** - Mode d'échantillonnage dans lequel l'oscilloscope construit une image d'un signal répétitif en capturant un petit peu d'information de chaque répétition. Deux types d'échantillonnage en temps équivalent : aléatoire et séquentiel.

## F

**Mise au point** - Commande analogique de l'oscilloscope qui ajuste le faisceau d'électrons du tube cathodique (CRT) pour contrôler la netteté de l'affichage.

**Fréquence** - Le nombre de fois qu'un signal se répète en une seconde, mesuré en Hertz (cycles par seconde). La fréquence est égale à  $1/\text{période}$ .

**Réponse en fréquence** - Les courbes de réponse en fréquence d'un oscilloscope définissent la précision de la représentation de l'amplitude du signal d'entrée en fonction de la fréquence du signal. Afin d'obtenir une fidélité maximale du signal, il est important que l'oscilloscope ait une réponse en fréquence plate (stable) sur toute la largeur de bande spécifiée de l'oscilloscope.

## G

**Précision du gain** - Une indication de la précision avec laquelle le système vertical atténue ou amplifie un signal, généralement représentée par un pourcentage d'erreur.

**Gigahertz (GHz)** - 1 000 000 000 Hertz ; une unité de fréquence.

**Anomalie** - Erreur intermittente et à grande vitesse dans un circuit.

**Graticule** - Les lignes de grille sur un écran pour mesurer les traces d'oscilloscope.

**Masse** -

1. Connexion conductrice par laquelle un circuit ou un équipement électrique est relié à la terre pour établir et maintenir un niveau de tension de référence.
2. Le point de référence de la tension dans un circuit.

## H

**Hertz (Hz)** - Un cycle par seconde ; l'unité de fréquence.

**Précision horizontale (base de temps)** - Indication de la précision avec laquelle le système horizontal affiche la synchronisation d'un signal, généralement représentée par un pourcentage d'erreur.

**Balayage horizontal** - Action du système horizontal qui provoque le tracé d'une forme d'onde.

## I

**Gradation de l'intensité** - Information sur la fréquence d'apparition qui est essentielle pour comprendre ce que fait réellement la forme d'onde.

**Interpolation** - Technique de traitement consistant à « relier les points » pour estimer l'apparence de la forme d'onde à partir de quelques points échantillonnés seulement. Deux types : linéaire et sin x/x.

## K

**Kilohertz (kHz)** - 1 000 Hertz ; une unité de fréquence.

## L

**Charge** - Interaction involontaire de la sonde et de l'oscilloscope avec le circuit testé qui déforme un signal.

**Analyseur logique** - Instrument utilisé pour rendre visibles dans le temps les états logiques de nombreux signaux numériques. Il analyse les données numériques et peut représenter les données sous forme d'exécution logicielle en temps réel, de valeurs de flux de données, de séquences d'états, etc.

## M

**Mégahertz (MHz)** - 1 000 000 Hertz ; une unité de fréquence.

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

**Microseconde ( $\mu\text{s}$ )** - Une unité de temps équivalente à 0,000001 seconde.

**Milliseconde (ms)** - Une unité de temps équivalente à 0,001 seconde.

**Oscilloscope à domaine mixte (MDO)** - Type d'oscilloscope numérique qui combine un analyseur de spectre RF avec un MSO ou un DPO pour permettre des vues corrélées des signaux des domaines numérique, analogique et RF.

**Oscilloscope à signaux mixtes (MSO)** - Type d'oscilloscope numérique qui combine la fonctionnalité de base d'un analyseur logique à 16 voies avec les performances éprouvées d'un oscilloscope numérique à phosphore à 4 voies.

## N

**Nanoseconde (ns)** - Unité de temps équivalente à 0,000000001 seconde.

**Bruit** - Tension ou courant indésirable dans un circuit électrique.

## O

**Oscilloscope** - Instrument utilisé pour visualiser les variations de tension dans le temps. Le mot oscilloscope vient de « osciller », car les oscilloscopes sont souvent utilisés pour mesurer des tensions oscillantes.

## P

**Crête (Vp)** - Niveau de tension maximal mesuré à partir d'un point de référence zéro.

**Détection de crête** - Mode d'acquisition disponible avec les oscilloscopes numériques qui vous permet d'observer les détails du signal qui pourraient autrement être manqués, particulièrement utile pour voir des impulsions étroites très espacées dans le temps.

**Crête à crête (Vp-p)** - Tension mesurée entre le point maximal d'un signal et son point minimal.

**Période** - Le temps qu'il faut à une onde pour accomplir un cycle. La période est égale à 1/fréquence.

**Phase** - Le temps qui s'écoule entre le début d'un cycle et le début du cycle suivant, mesuré en degrés.

**Déphasage** - Différence de temps entre deux signaux par ailleurs similaires.

**Visualisation avant déclenchement** - La capacité d'un oscilloscope numérique à capturer ce que faisait un signal avant un événement de déclenchement. Détermine la longueur du signal visualisable avant et après un point de déclenchement.

**Sonde** - Dispositif d'entrée de l'oscilloscope, généralement doté d'une pointe métallique pour établir un contact électrique avec un élément du circuit, d'un fil à connecter à la référence de masse du circuit et d'un câble flexible pour transmettre le signal et la masse à l'oscilloscope.

**Impulsion** - Une forme d'onde commune qui a un front montant rapide, une largeur et un front descendant rapide.  
**Train d'impulsions** - Une collection d'impulsions se déplaçant ensemble.

**Largeur d'impulsion** - Le temps que prend l'impulsion pour passer d'un niveau bas à un niveau haut et revenir à un niveau bas, mesuré conventionnellement à 50% de la pleine tension.

## R

**Rampes** - Transitions entre les niveaux de tension des ondes sinusoïdales qui changent à un rythme constant.

**Raster** - Un type d'affichage.

**Échantillonnage en temps réel** - Mode d'échantillonnage dans lequel l'oscilloscope collecte autant d'échantillons que possible à partir d'une acquisition déclenchée. Idéal pour les signaux dont la gamme de fréquences est inférieure à la moitié de la fréquence d'échantillonnage maximale de l'oscilloscope.

**Longueur d'enregistrement** - Le nombre de points de forme d'onde utilisés pour créer un enregistrement d'un signal.

**Temps de montée** - Le temps nécessaire pour que le front avant d'une impulsion monte de sa valeur basse à sa valeur haute, généralement mesuré de 10% à 90%.

## S

**Échantillonnage** - La conversion d'une partie d'un signal d'entrée en un certain nombre de valeurs électriques discrètes dans le but de les stocker, de les traiter et/ou de les afficher sur un oscilloscope. Deux types : l'échantillonnage en temps réel et l'échantillonnage en temps équivalent.

**Point d'échantillonnage** - Les données brutes d'un ADC utilisées pour calculer les points de la forme d'onde.

**Fréquence d'échantillonnage** - Se réfère à la fréquence à laquelle un oscilloscope numérique prend un échantillon du signal, spécifié en échantillons par seconde (S/s).

**Capteur** - Dispositif qui convertit une quantité physique spécifique telle que le son, la pression, la contrainte ou l'intensité lumineuse en un signal électrique.

**Intégrité du signal** - La reconstruction précise d'un signal, déterminée par les systèmes et les considérations de performance d'un oscilloscope, en plus de la sonde utilisée pour acquérir le signal.

**Source de signal** - Dispositif de test utilisé pour injecter un signal à l'entrée d'un circuit ; la sortie du circuit est ensuite lue par un oscilloscope. Également connu sous le nom de générateur de signaux.

**Onde sinusoïdale** - Une forme d'onde courbée commune qui est définie mathématiquement.

**Signal unique** - Un signal mesuré par un oscilloscope qui ne se produit qu'une seule fois (également appelé événement transitoire).

**Balayage unique** - Mode de déclenchement permettant d'afficher un écran déclenché d'un signal, puis de l'arrêter.

**Pente** - Sur un graphique ou un écran d'oscilloscope, le rapport entre une distance verticale et une distance horizontale. Une pente positive augmente de gauche à droite, tandis qu'une pente négative diminue de gauche à droite.

**Onde carrée** - Forme d'onde courante constituée d'impulsions carrées répétées.

**Balayage** - Un passage horizontal du faisceau d'électrons d'un oscilloscope analogique de gauche à droite sur l'écran CRT.

**Vitesse de balayage** - Identique à la base temporelle.

## T

**Base temporelle** - Circuit de l'oscilloscope qui contrôle la synchronisation du balayage. La base de temps est définie par le contrôle des secondes/division.

**Trace** - Les formes visibles dessinées sur un tube cathodique par le mouvement du faisceau d'électrons.

**Transitoire** - Un signal mesuré par un oscilloscope qui ne se produit qu'une seule fois (également appelé signal unique).

**Déclenchement** - Le circuit qui référence un balayage horizontal sur un oscilloscope.

**Déclenchement temporisé** - Une commande qui vous permet de régler la période de temps après un déclenchement valide pendant laquelle l'oscilloscope ne peut pas se déclencher.

**Niveau de déclenchement** - Niveau de tension que doit atteindre un signal de source de déclenchement avant que le circuit de déclenchement ne lance un balayage.

**Mode de déclenchement** - Mode qui détermine si l'oscilloscope dessine ou non une forme d'onde s'il ne détecte pas de déclenchement. Les modes de déclenchement courants sont normal et automatique.

**Pente de déclenchement** - La pente que doit atteindre un signal de source de déclenchement avant que le circuit de déclenchement n'initie un balayage.

## V

**Résolution verticale (convertisseur analogique-numérique)** - Indication de la précision avec laquelle le convertisseur analogique-numérique (CAN) d'un oscilloscope numérique peut convertir les tensions d'entrée en valeurs numériques, mesurées en bits. Les techniques de calcul, telles que le mode d'acquisition haute résolution, peuvent améliorer la résolution effective.

**Sensibilité verticale** - Indication de la capacité de l'amplificateur vertical à amplifier un signal faible - généralement mesurée en millivolts (mV) par division.

**Volt** - Unité de différence de potentiel électrique.

**Tension** - La différence de potentiel électrique, exprimée en volts, entre deux points.

## W

**Onde** - Terme générique désignant un motif qui se répète dans le temps. Les types courants sont les suivants : sinusoïdal, carré, rectangulaire, dents de scie, triangle, échelon, impulsion, périodique, non périodique, synchrone, asynchrone.

**Forme d'onde** - Représentation graphique d'une tension variant dans le temps.

**Taux de capture des formes d'onde** - Désigne la vitesse à laquelle un oscilloscope acquiert des formes d'onde, exprimée en formes d'onde par seconde (wfms/s).

**Point de forme d'onde** - Valeur numérique qui représente la tension d'un signal à un moment précis dans le temps. Les points de forme d'onde sont calculés à partir des points d'échantillonnage et stockés en mémoire.

**Vitesse d'écriture** - La capacité d'un oscilloscope analogique à fournir une trace visible du mouvement d'un signal d'un point à un autre. Cette capacité est restrictive pour les signaux à faible répétition dont les détails se déplacent rapidement, comme les signaux logiques numériques.

**Mode XY** - Technique de mesure qui consiste à introduire un signal dans le système vertical, comme d'habitude, et un autre dans le système horizontal pour tracer les tensions sur les deux axes X et Y.

## Z

**Axe Z** - Attribut d'affichage d'un oscilloscope qui montre les variations de luminosité au fur et à mesure que la trace se forme.

## Coordonnées:

ASEAN / Australie (65) 6356 3900  
Autriche 00800 2255 4835  
Balkans, Israël, Afrique du Sud et autres pays de l'ISE +41 52 675 3777  
Belgique 00800 2255 4835  
Brésil +55 (11) 3759 7627  
Canada 1 800 833 9200  
Europe de l'Est / Pays baltes +41 52 675 3777  
Europe Centrale / Grèce +41 52 675 3777  
Danemark +45 80 88 1401  
Finlande +41 52 675 3777  
France 00800 2255 4835  
Allemagne 00800 2255 4835  
Hong Kong 400 820 5835  
Inde 000 800 650 1835  
Italie 00800 2255 4835  
Japon 81 (3) 6714 3010  
Luxembourg +41 52 675 3777  
Mexique, Amérique Centrale/du Sud et Caraïbes 52 (55) 56 04 50 90  
Moyen orient, Asie et Afrique du Nord +41 52 675 3777  
Pays-Bas 00800 2255 4835  
Norvège 800 16098  
République Populaire de Chine 400 820 5835  
Pologne +41 52 675 3777  
Portugal 80 08 12370  
République de Corée 001 800 8255 2835  
Russie / CIS +7 (495) 6647564  
Afrique du Sud +41 52 675 3777  
Espagne 00800 2255 4835  
Suède 00800 2255 4835  
Suisse 00800 2255 4835  
Taiwan 886 (2) 2656 6688  
Royaume-Uni / Irlande 00800 2255 4835  
Etats-Unis d'Amérique 1 800 833 9200

Rev. 01/16

[WWW.TEK.COM](http://WWW.TEK.COM)

Pour plus d'informations

Tektronix maintient une collection complète et en constante expansion de notes d'application, de mémoires techniques et d'autres ressources pour aider les ingénieurs qui travaillent à la pointe de la technologie. Veuillez visiter notre site [www.tek.com](http://www.tek.com)

Copyright © 2016, Tektronix. Tous droits réservés. Les produits Tektronix sont couverts par des brevets américains et étrangers, délivrés et en attente. Les informations contenues dans cette publication remplacent celles de tous les documents publiés précédemment. Les privilèges de modification des spécifications et des prix sont réservés. TEKTRONIX et TEK sont des marques déposées de Tektronix, Inc. Tous les autres noms commerciaux référencés sont des marques de service, des marques commerciales ou des marques déposées de leurs sociétés respectives.

