

# Livre Blanc de l'oscilloscope numérique

*«En 2014, l'oscilloscope ne sera peut-être plus ce que vous croyez !»*



Edition Avril 2014 par Testoon



## Préface

Vous avez besoin d'un oscilloscope numérique, mais vous vous perdez dans le choix presque illimité qui vous est proposé ? Vous n'arrivez pas à différencier les différentes technologies proposées ? Il vous faut aussi un générateur de fonction ou un analyseur de spectre en complément, et vous vous demandez si il y aura assez de place sur votre plan de travail pour y intégrer tous ces instruments ? Dans ce cas, un appareil multifonctions ne serait t-il pas plus intéressant?

***Pas de panique, TESTOON vous explique tout.***





## Table des matières

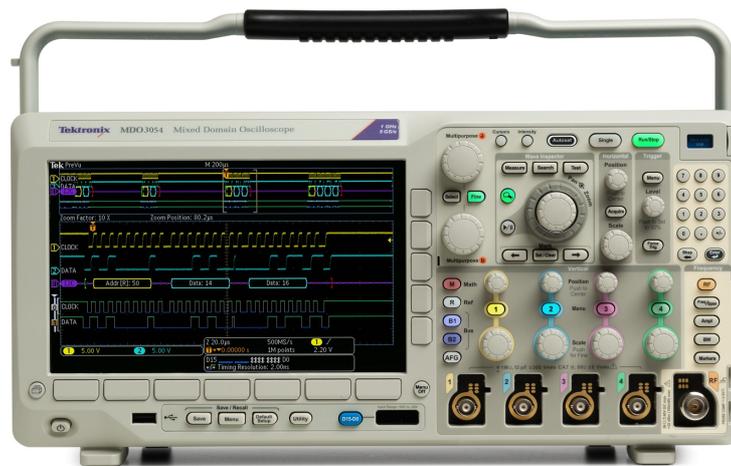
- I. Introduction sur les oscilloscopes X-en-1.
- II. Glossaire illustré des technologies
- III. Tour d'horizon des fonctionnalités
  - 1. *Modes de déclenchement*
  - 2. *Analyse logique*
  - 3. *Analyse/décodage de bus série*
  - 4. *Analyse de puissance*
  - 5. *FFT vs voie RF*
- IV. Interface utilisateur
  - 1. *Interfaces de communication*
  - 2. *Interface utilisateur*
- V. Guide des performances
  - 1. *Relation entre bande passante, taux d'échantillonnage et profondeur mémoire*
  - 2. *Nombre de voies*
  - 3. *Mémoire segmentée*
- VI. Les sondes
  - 1. *Types de sonde*
  - 2. *Performances*
  - 3. *Connectiques*





## I- Introduction sur les oscilloscopes X-en-1

# MDO3000, l'oscilloscope 6 en 1 !



Oscilloscope numérique

Analyseur de spectre

Analyseur logique

Analyseur de protocoles

Générateur de fonctions  
et arbitraire

Voltmètre et fréquencemètre  
numérique

Depuis sa création, l'oscilloscope numérique a beaucoup évolué et l'on trouve désormais de plus en plus de modèles proposant un grand nombre de fonctions, et notamment reprenant les fonctions d'autres instruments ou proposant au moins l'équivalent. Par exemple, certains oscilloscopes numériques du marché sont dotés d'une analyse logique. On trouve également des oscilloscopes intégrant un analyseur de bus ou plus rarement un générateur de fonction et/ou arbitraire.

Quelques modèles proposent même toutes ces fonctions à la fois et même plus, on parlera alors d'oscilloscopes/instruments X-en-1. L'intégration de toutes ces fonctions dans un seul appareil permet de gagner de la place sur le plan de travail, et dans certains cas de faciliter les synchronisations, par exemple entre un oscilloscope et un générateur.





Depuis 2013, des oscilloscopes dotés d'une véritable voie de mesure dédiée RF ont vu le jour, remplaçant ainsi le traditionnel calcul FFT. Une voie dédiée RF permet d'avoir une vraie analyse en fréquence, similaire à un analyseur de spectre, et est donc bien plus précise que le calcul FFT qui utilise une analyse temporelle pour ensuite calculer et reproduire le signal en fréquentiel. Sur certains modèles, les domaines fréquentiel et temporel sont parfaitement corrélés, évitant ainsi l'opération fastidieuse de synchronisation entre un oscilloscope et un analyseur de spectre.

Pour beaucoup d'applications, il peut être très intéressant de regrouper toutes les fonctions des appareils de mesure dans un seul et même appareil, ne serait-ce que pour le gain de place sur le plan de travail, ou pour ne plus avoir de problème de corrélation. Souvent, un instrument multifonctions est moins onéreux que les instruments monofonctions pris séparément.

Aussi, les besoins en performances ou en fonctions pouvant évoluer avec le temps, il serait très pratique d'avoir un appareil évolutif. Malheureusement, ce type d'appareil reste rare, et les évolutions proposées sont très limitées ou très onéreuses.

Pire, très souvent, il est même nécessaire de changer d'oscilloscope si le besoin en performance augmente et/ou d'acheter un second appareil si le besoin en fonction évolue.

Ainsi, lorsqu'on choisissait un oscilloscope, et étant donné qu'il n'est pas toujours possible de prévoir les besoins futurs, un compromis était toujours à faire entre fonctionnalités, performances et budget.

Ce choix se portant donc sur des besoins actuels et non futurs, l'impact sur le porte-feuille n'en était que plus important.

Et si vous aviez un appareil intégrant toutes les fonctions et performances dont vous avez besoin, et que vous pouviez les faire évoluer, sans changer d'appareil, tout en diminuant l'impact budgétaire ?

En 2014, cela est désormais possible grâce aux instruments X-en-1 évolutifs. Ce type d'appareil intègre en standard les fonctions d'un oscilloscope numérique classique, et il est parfaitement possible d'y intégrer par la suite un générateur de fonctions et/ou arbitraire, un analyseur logique, un analyseur de bus, un voltmètre numérique, un fréquencemètre. Il est également possible de faire évoluer la bande passante, la profondeur mémoire, etc...

Sur certains modèles, est même intégrée l'analyse spectrale (voie dédiée RF et non FFT) en standard, et celle-ci est également évolutive.

Afin de bien comprendre les avantages/inconvénients des différentes technologies utilisées, et l'intérêt que peuvent présenter les instruments X-en-1, nous vous proposons dans les pages qui suivent plusieurs définitions des termes utilisés ainsi que différentes explications et guides quant aux performances et fonctionnalités des oscilloscopes.

Il vous sera ainsi facile de choisir un instrument adapté à votre besoin.

Et puisque le choix des sondes de mesure parfaitement adaptées à votre application est tout aussi important que le choix de l'oscilloscope, vous y trouverez un guide vous permettant de comprendre comment les choisir.



## II- Glossaire illustré des technologies

L'importante évolution de l'électronique ces dernières années et à venir impose des appareils de mesure de plus en plus performants dans le but d'analyser des signaux de plus en plus complexes, rendant ainsi les oscilloscopes analogiques quasiment obsolètes.

L'appareil de mesure de référence est désormais l'oscilloscope numérique. Les technologies employées dans ceux-ci diffèrent d'un modèle à un autre, nous vous proposons ci-dessous un glossaire illustré afin de mieux comprendre à quoi correspond chacun des acronymes et autres termes utilisés pour définir ces technologies.

**DSO:** Digital Storage Oscilloscope (Oscilloscope à mémoire numérique).

Oscilloscope qui capture les signaux en utilisant un échantillonneur numérique (un convertisseur analogique-numérique) et une mémoire tampon. Il utilise une architecture de traitement série pour contrôler l'acquisition, l'interface utilisateur et l'affichage.

Il désigne en réalité tous les oscilloscopes numériques actuels, tous les autres types d'oscilloscopes numériques étant en fait des versions améliorées des DSO.

En pratique, un oscilloscope de type DSO représente le premier niveau d'oscilloscope numérique, ils n'offriront donc pas certaines fonctionnalités que possèdent les oscilloscopes dits plus "hauts de gammes" et n'auront surtout la possibilité d'analyser que des signaux analogiques (pas d'analyse logique, ni RF, etc...).

Très schématiquement, un oscilloscope numérique numérise le signal à analyser, c'est-à-dire qu'il prend un certain nombre d'échantillons du signal entrant à ses bornes afin de pouvoir le reproduire, l'enregistre ensuite dans une mémoire tampon, et l'affiche.

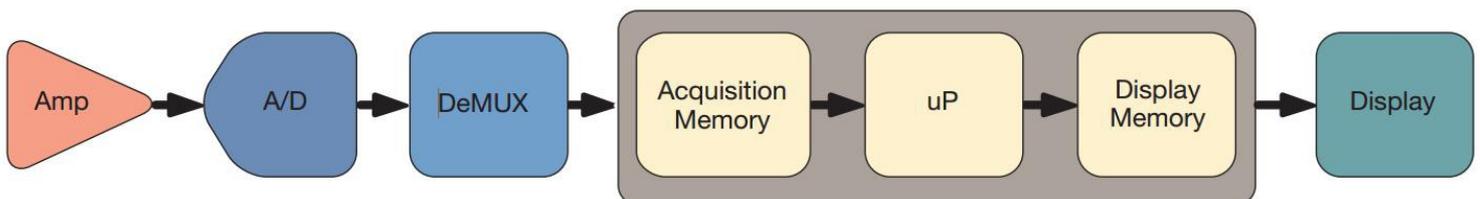
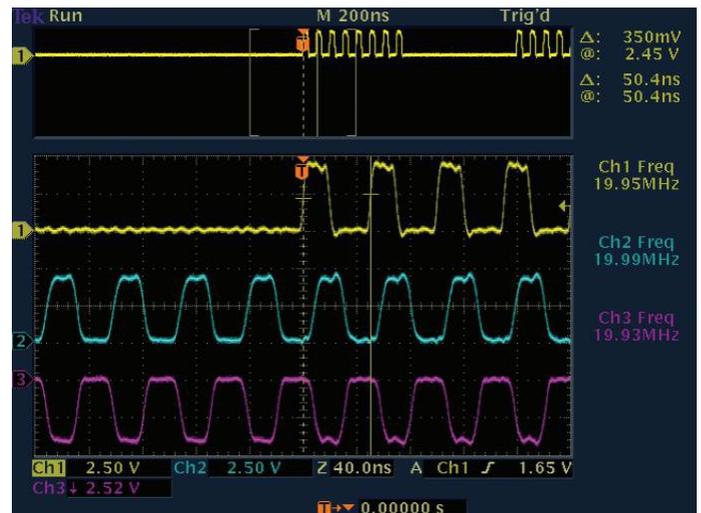


Figure 12. The serial-processing architecture of a digital storage oscilloscope (DSO).



**DPO:** Digital Phosphor Oscilloscope (Oscilloscope numérique avec émulation d'écran au phosphore). Oscilloscope numérique dont les caractéristiques d'affichage sont très proches de celles des oscilloscopes analogiques tout en gardant les avantages des oscilloscopes numériques (Mémoire, mesures automatiques, etc...). Un DPO utilise une architecture de traitement parallèle pour afficher, enregistrer et analyser en temps réel les 3 dimensions d'un signal: Amplitude, Temps, et Répartition de l'amplitude dans le temps. L'affichage à dégradé d'intensité apporte des informations sur la fréquence d'apparition des amplitudes et largeurs du signal. Ceci aide à localiser et caractériser les anomalies (événements aléatoires, variations fines, etc...) d'un signal qui sont souvent insaisissables sur les oscilloscopes à mémoire numérique traditionnels (DSO).

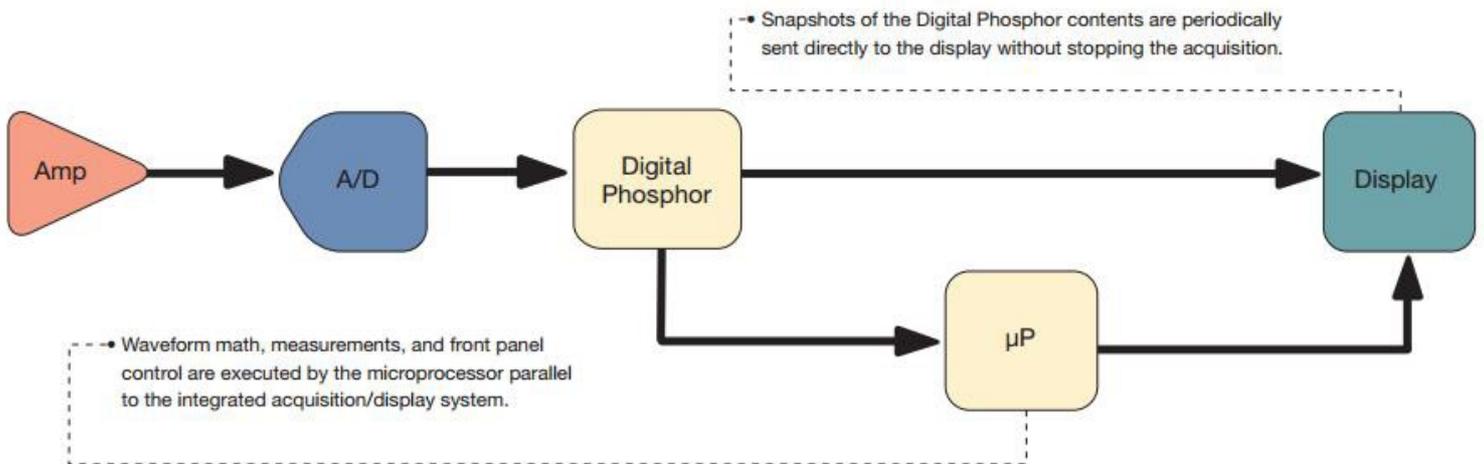
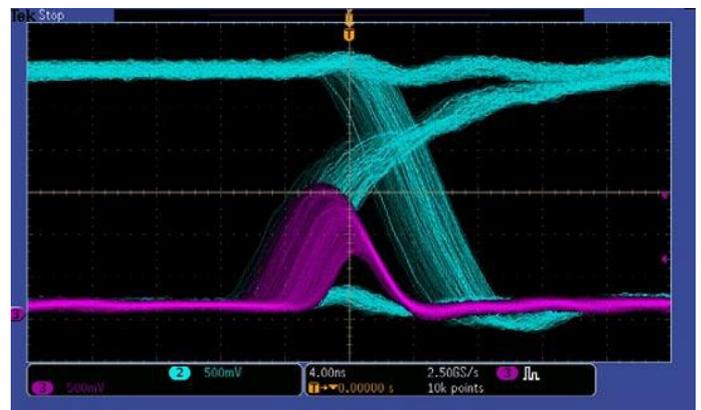
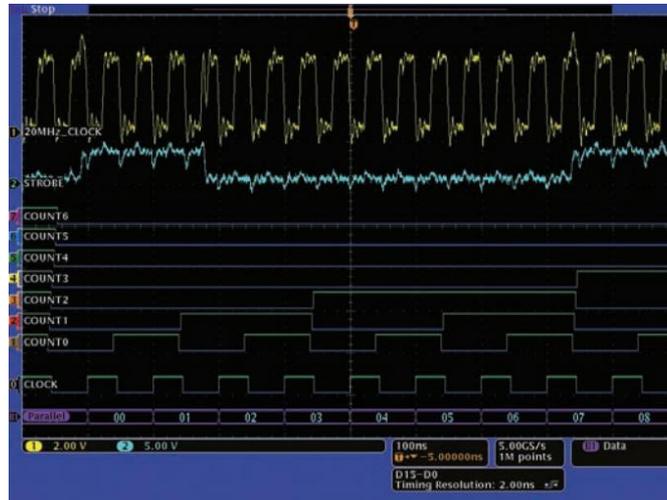


Figure 14. The parallel-processing architecture of a digital phosphor oscilloscope (DPO).

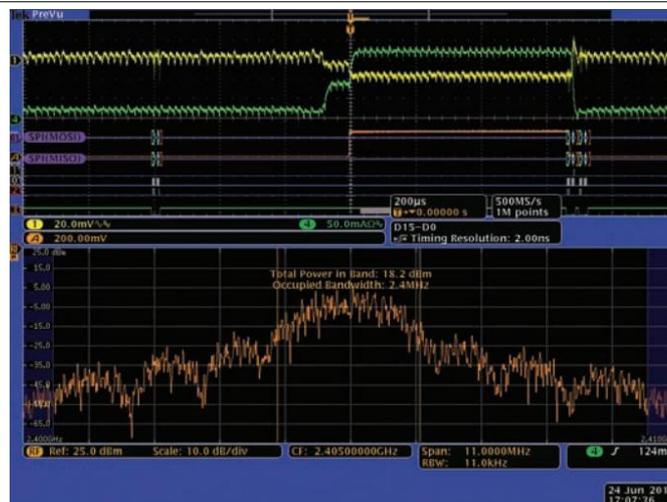


**MSO:** Mixed signal Oscilloscope (Oscilloscope à signaux mixtes). Signifie que l'instrument est capable d'analyser aussi bien des signaux analogiques que logiques. Une interface spécifique permettant d'y connecter un module 8, 16 voies logiques (parfois plus) est présente sur l'oscilloscope.



**MDO:** Mixed Domain Oscilloscope (Oscilloscope à domaines mixtes). Spécifique à TEKTRONIX, cette technologie permet de "mixer" les domaines, c'est à dire qu'un MDO est capable d'analyser un même signal à la fois dans le domaine temporel et dans le domaine fréquentiel. Une voie dédiée RF, et non un calcul FFT, est intégrée à l'oscilloscope. Cela présente un avantage certain en terme de coût, les analyseurs de spectre étant très onéreux, et de gain de place sur les bancs de test ainsi que pour certains modèles un avantage en terme de corrélation des signaux, les signaux temporels et fréquentiels étant parfaitement synchronisés sans manipulation particulière alors qu'avec 2 appareils séparés, la synchronisation se montre très fastidieuse à réaliser.

L'analyseur de spectre intégré aux MDO est de type "large bande", permettant ainsi un affichage du signal à l'écran sur toute la bande passante RF de l'appareil, cela étant impossible sur les analyseurs de spectre "classiques".





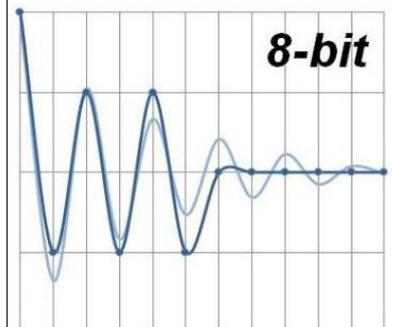
**HDO:** High Definition Oscilloscope (Oscilloscope à haute résolution).  
Sigle unique à Teledyne-Lecroy, il désigne une série d'oscilloscope dont le convertisseur analogique-numérique a une résolution de 12 bits, comparativement aux autres oscilloscopes qui ont généralement un convertisseur 8 bits avec éventuellement un mode élargi permettant d'augmenter la résolution de manière logicielle (bien moins précise que le convertisseur 12 bits).  
Un convertisseur 12 bits permet d'avoir une grande résolution de conversion du signal tout le temps.  
Le fabricant PICO (fabricant d'oscilloscope USB) est allé un plus loin en utilisant des convertisseurs 12 bits et en les multiplexant, permettant ainsi d'atteindre des résolutions de 14 ou 16 bits.  
Si l'on mesure régulièrement des petits signaux (inférieurs à 50mV), l'intérêt d'un oscilloscope haute résolution prend son sens. Par exemple: Un oscilloscope de 16 bits a 256 fois la résolution verticale d'un oscilloscope 8 bits, rendant ainsi possible l'agrandissement des signaux de niveaux millivolts et microvolts.



8-Bit Oscilloscope



12-Bit HDO



8-bit



12-bit





**Oscilloscope USB:**

Oscilloscope se connectant directement à un ordinateur. Dépourvu d'affichage, ce type d'appareils présente l'avantage de profiter du grand écran et des performances des ordinateurs et le facteur de forme très compact le rend très portable. A performance équivalente, un oscilloscope USB est proposé à un prix plus intéressant que son homologue.

Un logiciel sur ordinateur permet à la fois de contrôler l'oscilloscope et d'analyser les mesures. Les fonctionnalités apportées par ce type de logiciel sont généralement supérieures aux fonctions intégrées dans les oscilloscopes numériques classiques, pour un prix appareil+logiciel équivalent voir même souvent plus intéressant.

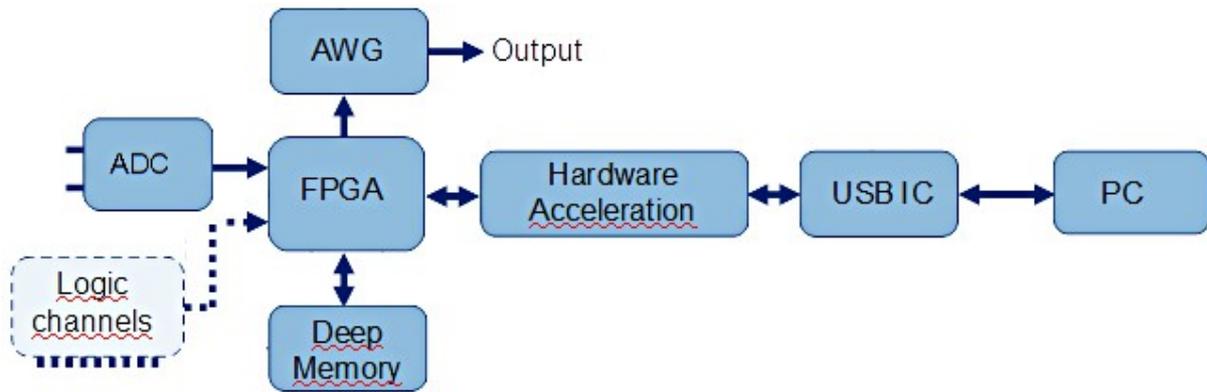


Diagramme d'un oscilloscope USB PicoScope série 4000

**Les oscilloscopes portatifs et/ou à voies isolées:**

Il s'agit d'oscilloscopes numériques spécifiquement conçus pour être utilisés sur le terrain, ils fonctionnent sur batterie et les voies d'entrée sont isolées. Ils sont essentiellement utilisés dans des applications où il est nécessaire de mesurer des signaux à moyens-forts courants ou moyennes-fortes tensions et où un oscilloscope de laboratoire est inutilisable. Ils sont aussi plus robustes que les modèles de laboratoire.





### III- Tour d'horizon des fonctionnalités

#### 1- Modes de déclenchement

Le déclenchement détermine le moment où l'oscilloscope démarre l'acquisition des données et l'affichage d'une forme d'onde.

La fonction de déclenchement d'un oscilloscope synchronise le balayage horizontal avec un point précis du signal. Cela a pour but de stabiliser les formes d'ondes répétitives et de capturer les formes d'ondes en monocoup.

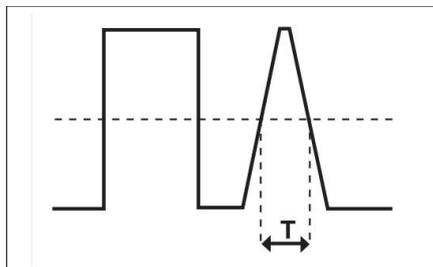
Il existe différents modes de déclenchement, les plus courants et plus classiques étant les déclenchements sur front montant ou descendant. Il y a également des modes de déclenchement avancés permettant de déclencher sur des événements isolés plus spécifiques, comme des largeurs d'impulsions ou encore des états logiques par exemple. Ci-dessous vous trouverez une liste non-exhaustive des types de déclenchement:

	<p><b>Front:</b> Déclenchement conventionnel sur niveau. Pente positive ou négative.</p>
--	--

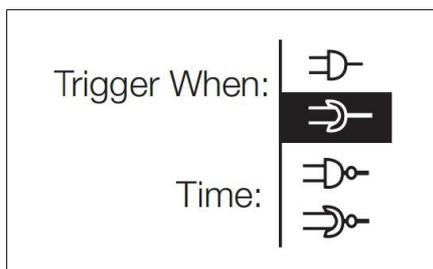
	<p><b>Temps de transition (Slew Rate):</b> Déclenchement sur temps de montée ou de descente trop court ou trop long d'un signal. Apporte un plus par rapport au déclenchement sur front, en y ajoutant la notion de temps.</p>
--	--

**Vidéo:** Déclenchement sur une ligne ou sur toutes les lignes, paires ou impaires sur trames ou formats analogiques d'un signal vidéo.

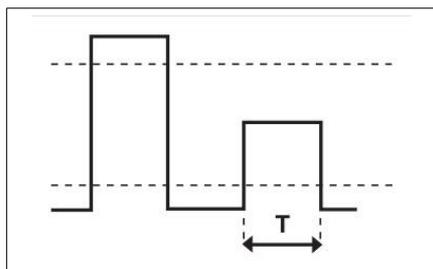
	<p><b>Largeur d'impulsion:</b> Déclenchement sur largeur d'impulsion inférieure, supérieure, égale ou non égale à une limite de temps définissable.</p>
--	---



**Glitch:** Déclenchement sur des impulsions numériques lorsqu'elles sont plus courtes ou plus longues qu'une limite de temps définissable. Cela permet d'examiner les causes de rares événements que sont les glitches (Parasites) et leurs effets sur les autres signaux.

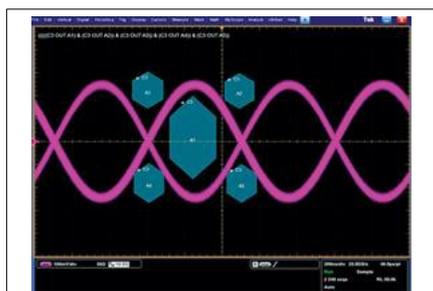


**Logique/Pattern:** Déclenchement sur mot (sorties d'une porte ET, OU, NON-ET, NON-OU, etc... à un moment spécifié) ou sur Etat (tout état logique: front montant ou descendant d'horloge par exemple) logique et/ou sur une combinaison logique.



**Impulsion avortée (Runt Pulse):** Permet de capturer et examiner les impulsions qui croisent un seuil logique.

**Bus série:** Déclenchement sur le contenu des paquets (début, adresses, contenu des données, identificateurs, etc...) d'un bus série comme I2C, SPI, CAN, LIN, USB, Ethernet, FlexRay, etc...



**Visuel:** Permet de définir une ou plusieurs zones simultanément ou non à l'écran pour déclencher l'acquisition depuis ces zones. Très utile pour définir des déclenchements complexes, comme par exemple un déclenchement sur une séquence d'anomalies ou un diagramme de l'oeil.

**Sur signal RF:** Sur les oscilloscopes à domaine mixte (MDO), il est possible de déclencher l'acquisition du signal en temporel depuis un signal en RF (déclenchement lorsque le signal RF est émis, sur une largeur spécifique, etc...).



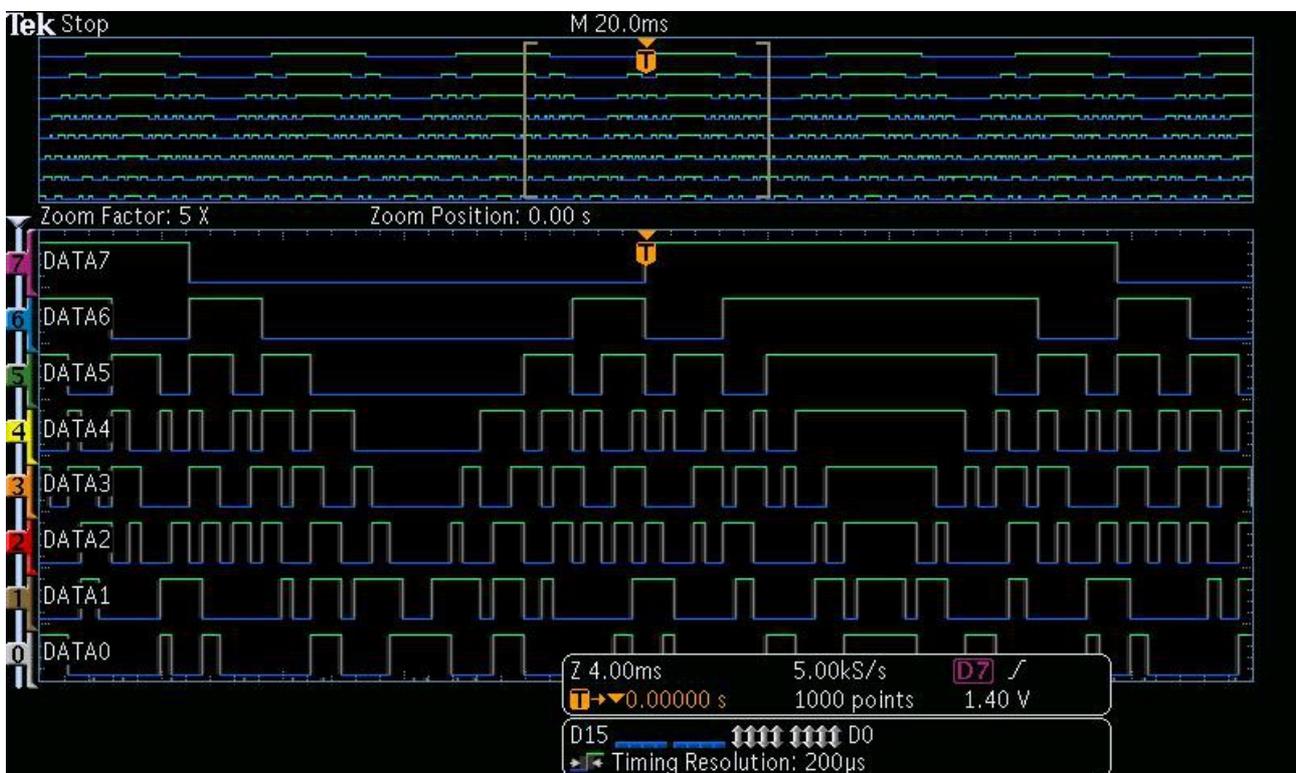
## 2- Analyse logique

Permet de capturer et visualiser des signaux logiques.

Comme pour les signaux analogiques, les signaux logiques seront représentés en fonction du temps, mais au lieu de mesurer un niveau de tension et le visualiser en tant que valeur, en analyse logique le niveau de tension du signal sera interprété comme étant une donnée binaire.

Ces signaux sont donc représentés sous forme d'état logique (bits à 0 ou 1).

Les oscilloscopes intégrant cette fonction, nécessitent l'utilisation d'un module 8 ou 16 voies logiques, chaque voie ayant une résolution de 1 bit.



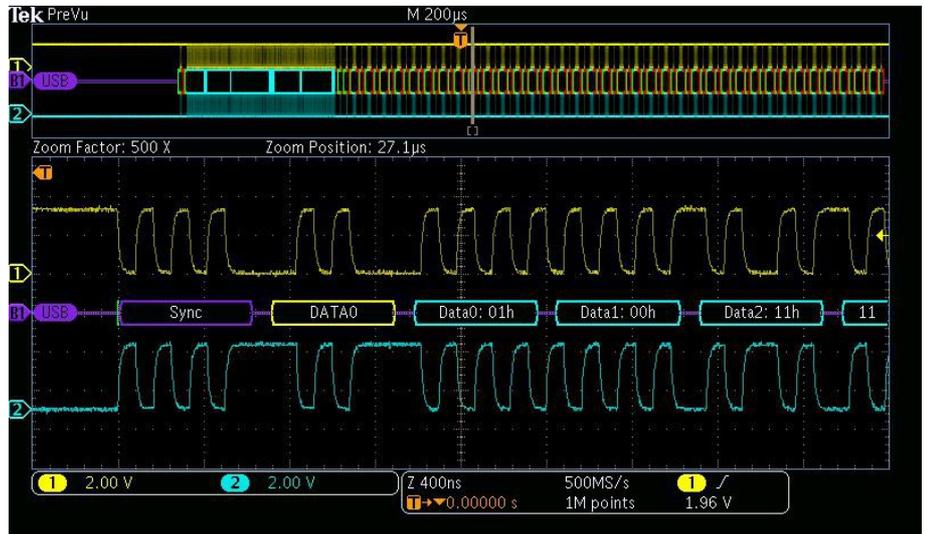


### 3- Analyse/décodage de bus série

Sur un bus série, un seul signal contient souvent des informations d'adresse, de données, de contrôle et d'horloge. Cela peut rendre difficile l'isolation d'éléments intéressants. Les fonctions d'analyse de bus permettent de visualiser et de décoder des bus série tels que: I2C, SPI, USB, Ethernet, CAN, LIN, FlexRay, RS-232/422/485/UART, MIL-STD-1553 et I2S/LJ/RJ/TDM.

**Affichage de bus:** Permet de visualiser simultanément les signaux individuels qui composent le bus. Permettant ainsi d'identifier le début et la fin des paquets et sous-paquets, comme l'adresse, les données, l'identificateur, le contrôle de redondance cyclique, etc...

**Décodage de bus:** Permet de décoder chaque paquet dans le bus et d'afficher la valeur hexadécimale, binaire, décimale, ASCII dans le signal du bus.



Time	Identifier	DLC	Data	CRC	Missing Ack
-488.3µs	101	2	0103	562D	
-354.0µs	10000001	5	1122 3344 55	6A65	
-130.0µs	12345678	8	1122 3344 5566 7788	4C2	
138.2µs	1597EEB2	8	FFFF 0000 EEEE 1111	216E	
414.4µs	519	4	4269 606C	7744	
572.6µs	1597EEB2	8	AE4F FFF1 0272 DF6B	2180	
848.8µs	527DE32	1	11	7F3D	
1.005ms	140014	3	1122 33	5EDC	
1.195ms	160016	5	1122 3344 55	3911	
1.417ms	18181818	7	F1F2 F3F4 F5F6 F7	5F9B	
1.682ms	0	8	0000 0000 0000 0000	304F	
1.982ms	757	0	Remote Frame	20BB	
2.080ms	1A55AA55	0	Remote Frame	3536	
2.216ms	57	6	4568 6065 7273	7D95	
2.410ms	1597EEA3	8	DE55 CBFA 5045 AD8C	10BD	
2.677ms	13	2	1122	61A8	



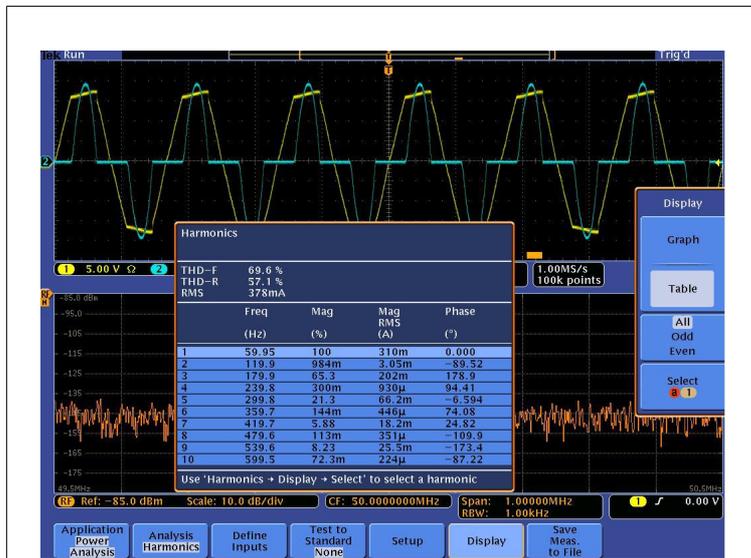


## 4- Analyse de puissance

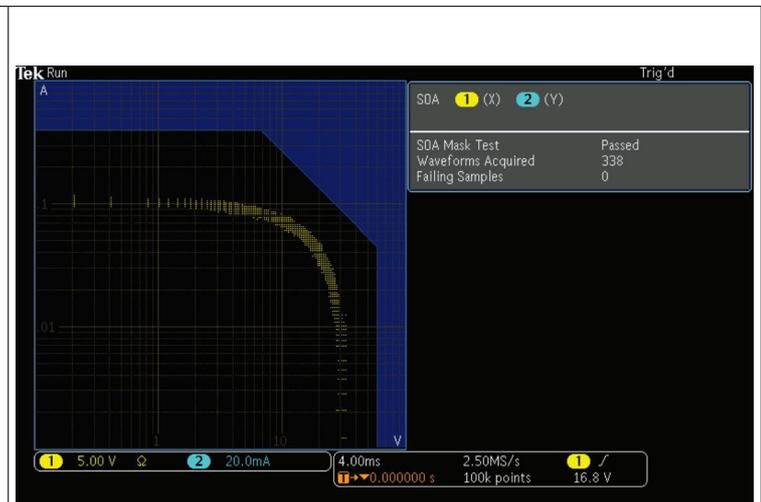
Permet une analyse rapide et précise de la qualité de la puissance, de la perte de commutation, des harmoniques, de la zone de fonctionnement sûr, de la modulation, de l'ondulation et de la vitesse de montée (di/dt, dv/dt), etc...

Fonction indispensable pour toutes les applications où des mesures de puissances, rendements, etc...sont nécessaires: secteur automobile, fabrication et dépannage d'alimentations, mesures de courant de veille, de gabarits, etc...

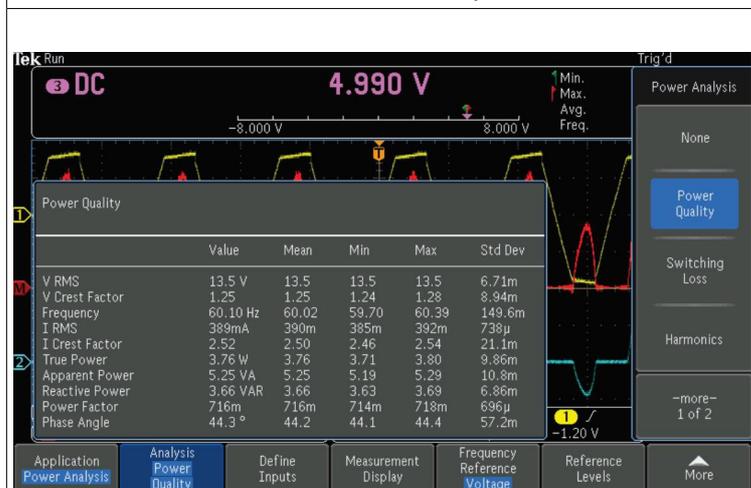
Les fonctions de mesure de puissance proposées sur les oscilloscopes ne sont pas aussi évoluées que celles des analyseurs de puissance, mais il est possible d'analyser la qualité de puissance, les harmoniques, de visualiser le signal en fréquence afin de mesurer les émissions de champs électromagnétiques. Il est également possible d'automatiser certaines mesures.



Mesures d'harmoniques



Test Pass/Fail



Mesure de la qualité de puissance



Mesure de pertes/dégradations

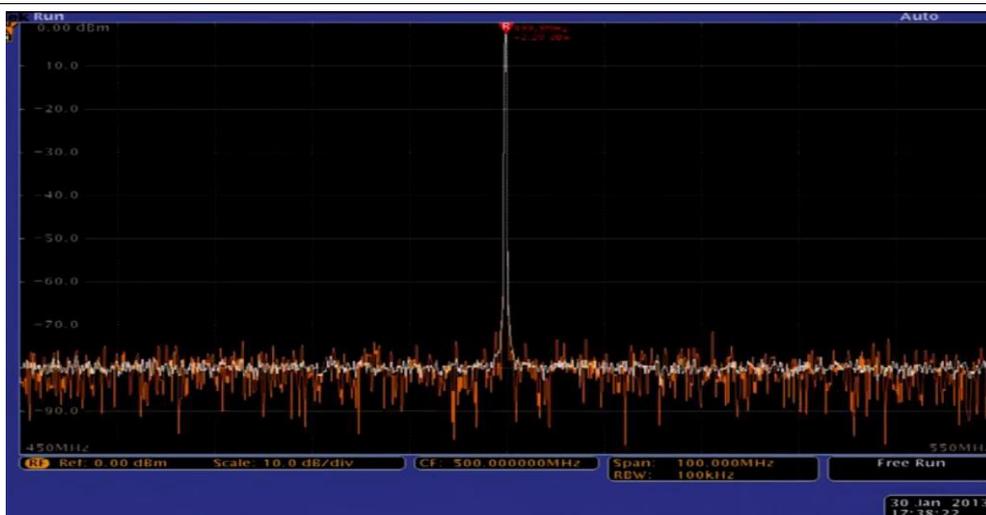




## 5- FFT vs voie RF

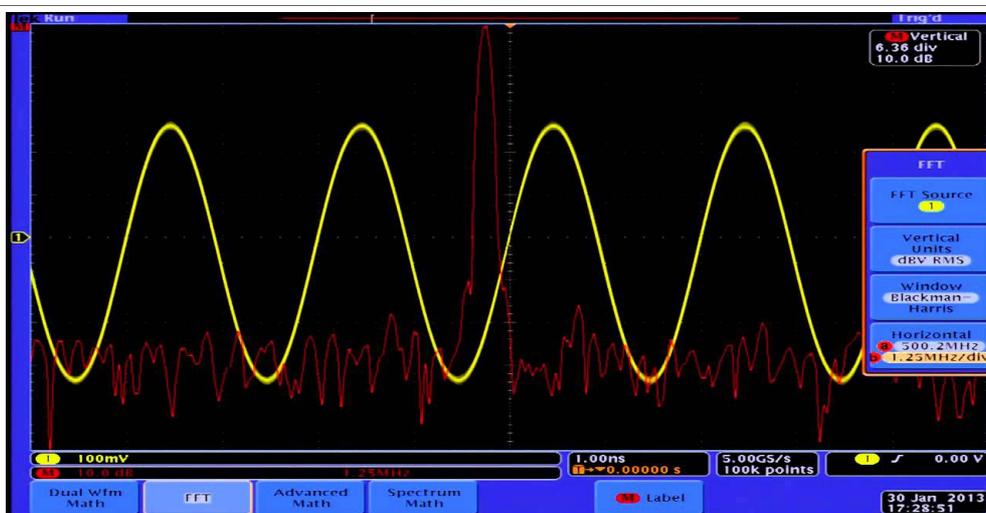
Jusqu'à maintenant il existait 2 façons d'analyser un signal en fréquentiel:

La première consiste simplement à utiliser un analyseur de spectre. Ce type d'outils présente l'avantage d'analyser très précisément des signaux RF et offre des possibilités de réglages. Certains modèles possèdent également des outils de visualisations et de déclenchements avancés. En contrepartie ce type de système est très onéreux.



Signal RF depuis un analyseur de spectre ou une voie dédiée RF sur un MDO

La seconde consiste à utiliser un oscilloscope. On capture donc le signal en temporel puis on effectue un calcul FFT. Ce type de calcul étant intégré dans les fonctions de calculs des oscilloscopes (pour la plupart en tout cas), il est donc très simple à réaliser, en revanche, ce type de calcul manque de précision, il n'y a que très peu de réglage possible, etc....



Calcul FFT depuis le signal temporel

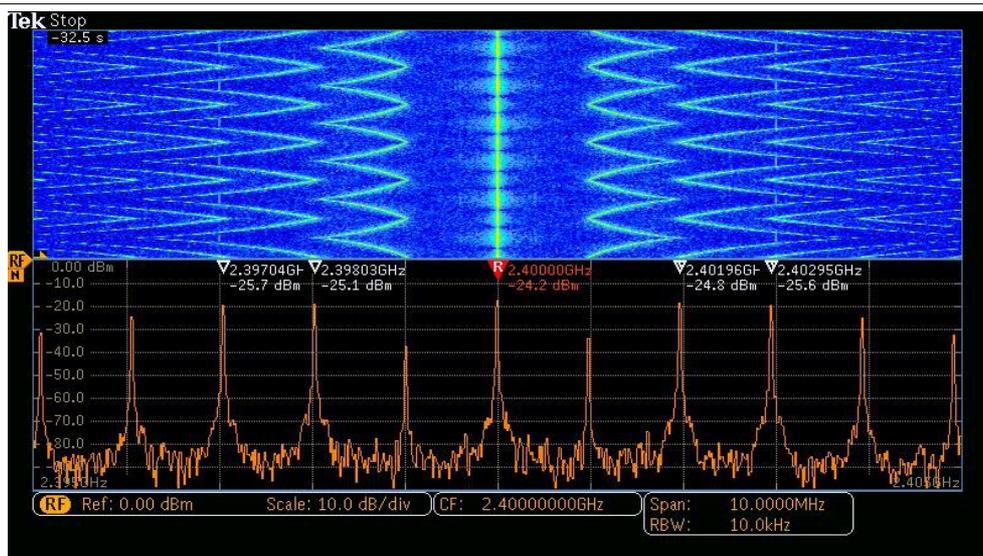


Dans la plupart des applications RF, le calcul FFT ne suffit pas et parfois l'analyseur de spectre peut s'avérer trop couteux.

Aussi, il est souvent intéressant voire nécessaire d'analyser un même signal en temps et en fréquence simultanément. Le problème dans ce cas là, est que si l'on utilise un oscilloscope et un analyseur de spectre (2 appareils séparés), il faut les synchroniser. Cette synchronisation est fastidieuse à réaliser et n'est malheureusement jamais parfaite.

Depuis quelques temps, le fabricant TEKTRONIX développe des oscilloscopes capables, sur un seul et même appareil, d'analyser un signal à la fois en temporel et en fréquentiel: il s'agit des MDO. Ce type d'oscilloscope possède de 2 à 4 voies en temporel et 1 voie en fréquentiel. Il s'agit d'une véritable voie RF, avec tous les réglages présents sur un analyseur de spectre standard. Sur certains modèles, lors d'une analyse d'un même signal en temporel et fréquentiel, les 2 signaux sont parfaitement corrélés, ce qui facilite grandement l'analyse. Il est également possible de sélectionner des portions du signal en temporel et de visualiser automatiquement cette partie en fréquentiel, les 2 signaux étant visualisables simultanément.

Au même titre que sur certains analyseurs de spectre, la visualisation du spectrogramme, permettant de voir l'évolution du signal fréquentiel dans le temps, est également au menu.



Visualisation d'un signal RF et de son spectrogramme



## IV- Interfaces utilisateurs

### 1- Interfaces de communication

L'interface de communication d'un oscilloscope sert à communiquer avec un périphérique externe. Ce périphérique peut servir à envoyer des données à l'oscilloscope (généralement une clé USB sur laquelle est présente une courbe, une configuration, etc...), à piloter l'oscilloscope depuis un ordinateur par exemple, ou à recevoir les données depuis l'oscilloscope (Enregistrement de courbe, ou connexion à une imprimante par exemple).

On peut trouver:

- 1 ou plusieurs interfaces USB (une étant souvent en façade de l'appareil)
- 1 interface GPIB (servant au pilotage de l'appareil. On peut aussi trouver une interface USB servant à ce pilotage, il suffira alors d'y brancher un adaptateur USB-GPIB).
- 1 interface Ethernet (permettant la connexion à un réseau) parfois compatible avec le protocole LXI.
- 1 sortie vidéo pour la visualisation sur écran ou vidéo-projecteur.
- 1 interface PS/2 pour y brancher une souris.

### 2- Interface utilisateur

On peut classer les oscilloscopes "de table", selon 2 catégories.

L'une est basée sur un châssis et un firmware propriétaire, l'autre est basée sur un châssis à base d'ordinateur et un firmware interne basé sur le système d'exploitation Microsoft Windows Embarqué.

L'intérêt d'un oscilloscope basé sur ordinateur sous windows est d'offrir un plus grand nombre de fonctionnalités que son confrère. Aussi, le châssis prenant appui sur un ordinateur, il offrira plus de connexions et une mémoire interne (disque dur ou SSD) plus importante. Tous les oscilloscopes "haut de gamme" (les oscilloscopes ayant des bandes passantes très élevées) sont basés sur ordinateur.

Les oscilloscopes USB quant à eux ont un châssis propriétaire, mais l'interface de gestion est déportée sur un ordinateur. Ce logiciel offre généralement des fonctionnalités avancées, et il est possible pour certains modèles d'utiliser la mémoire de l'ordinateur comme mémoire tampon. Le logiciel, pour une même marque, peut être commun à tous les modèles d'oscilloscopes USB de la marque.

Concernant l'affichage, on trouvera un écran LCD, qui peut également être tactile, sur les oscilloscopes "de table" tandis que les oscilloscopes USB n'ont pas d'écran, la visualisation se faisant directement sur l'écran de l'ordinateur connecté à l'oscilloscope. Pour ce dernier, l'on profite donc de la bonne qualité et de la taille des écrans d'ordinateur.



## V- Guide des performances

### 1- Les oscilloscopes

#### Relation entre bande passante, fréquence d'échantillonnage et profondeur mémoire

Lorsqu'on choisit un oscilloscope, il est souvent considéré que seule la bande passante est importante. Si cela était vrai pour les oscilloscopes analogiques, ce n'est plus le cas pour les oscilloscopes numériques.

Alors que pour un oscilloscope analogique le signal à analyser était transmis "tel quel" à l'écran, pour un oscilloscope numérique le signal passe à travers un convertisseur analogique/numérique pour être ensuite visualisé à l'écran.

Le principe de numérisation étant d' "échantillonner" le signal, c'est à dire de prendre des échantillons, la fréquence d'acquisition de ces échantillons est toute aussi importante que la bande passante.

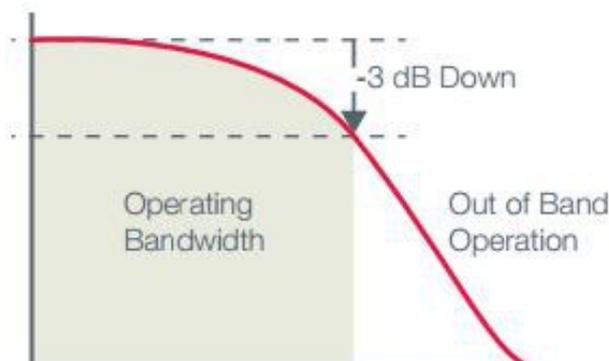
#### Bande passante

La bande passante détermine la plage de fréquence que l'oscilloscope peut accepter. Elle est spécifiée comme étant la fréquence à laquelle un signal sinusoïdal d'entrée est atténué à 70,7% (-3 dB) de son amplitude initiale.

Afin de mesurer correctement un signal, il est nécessaire que la bande passante de l'oscilloscope soit supérieure à celle du signal à analyser.

En règle générale, il est recommandé d'utiliser un oscilloscope doté d'une bande passante au moins deux fois supérieure à la composante fréquentielle la plus élevée du signal. Idéalement, une bande passante de 3 à 5 fois supérieure. Choisir un oscilloscope ayant une bande passante 5 fois supérieure à la fréquence maximale du signal à analyser permet d'obtenir une précision de mesure de  $\pm 2\%$ , suffisante pour la plupart des applications.

Cependant, cette règle peut s'avérer impossible à atteindre lorsque les vitesses des signaux à analyser augmentent. Il convient de garder à l'esprit que plus la bande passante de l'instrument est large, plus le signal sera reproduit fidèlement...



Bande passante

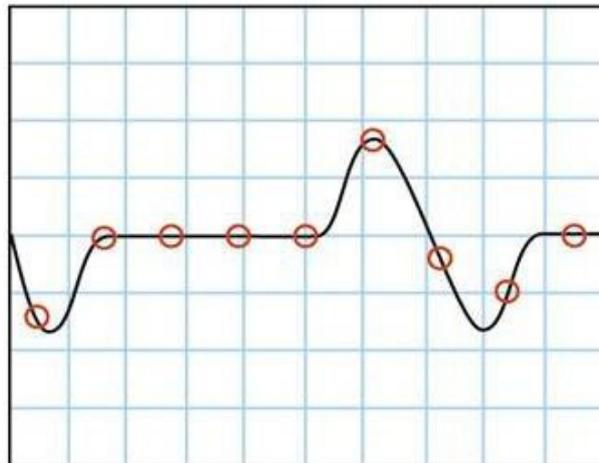


## Fréquence/taux d'échantillonnage

C'est la vitesse à laquelle le convertisseur analogique/numérique (C A/N) présent dans l'oscilloscope est cadencé pour numériser le signal entrant. Plus cette fréquence est élevée, plus précise sera la représentation du signal. Le théorème de Nyquist affirme que la vitesse d'échantillonnage du CAN doit être au moins deux fois supérieure à la composante fréquentielle la plus élevée du signal mesuré pour éviter le repliement.

Cependant, échantillonner un signal à tout juste 2 fois la plus haute fréquence le constituant n'est pas suffisant pour reproduire avec exactitude les signaux dans le domaine fréquentiel. Afin de numériser le signal entrant de manière précise, la vitesse d'échantillonnage temps réel du CAN doit être au moins 3 à 4 fois supérieure à sa bande passante.

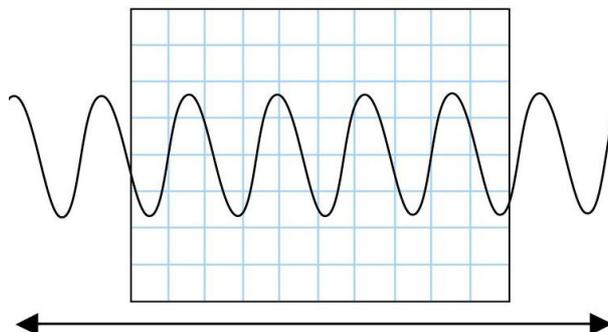
La plupart des oscilloscopes possèdent deux taux/modes d'échantillonnage différents selon le signal mesuré: le temps réel et l'ETS (souvent appelé échantillonnage répétitif ou encore échantillonnage en temps équivalent). Toutefois, l'ETS ne fonctionne que si le signal que l'on mesure est stable et répétitif, puisque ce mode fonctionne en construisant la forme d'onde à l'aide d'acquisitions successives.



Taux d'échantillonnage

## Profondeur mémoire

Les oscilloscopes numériques enregistrent des échantillons saisis dans une mémoire-tampon. Donc, pour un taux d'échantillonnage donné, la taille de la mémoire-tampon détermine la durée maximale de la saisie avant que celle-ci ne soit pleine.



Profondeur mémoire



Le rapport entre le taux d'échantillonnage et la profondeur mémoire est important: un oscilloscope doté d'un taux d'échantillonnage élevé, mais d'une profondeur mémoire de faible capacité ne pourra utiliser son taux d'échantillonnage maximum que sur les bases de temps les plus rapides.

Autrement dit, avec une profondeur mémoire inadaptée au taux d'échantillonnage, lorsqu'on souhaitera agrandir le signal à l'écran, la portion du signal visualisé sera déformée, puisqu'un nombre insuffisant de points (échantillons) aura été capturé.

### Exemple concret

Pour comprendre la relation entre largeur de bande, taux d'échantillonnage et capacité de mémoire, l'exemple se doit d'être réel. Imaginons que nous essayons de saisir une séquence de données USB (1.1). Une séquence de données dure 1ms et transmet les données série à 12MBPS. Pour simplifier notre analyse, nous pouvons présumer que nous devons saisir une onde carrée de 12MHz pendant 1ms.

- Largeur de bande - pour mesurer le signal de 12MHz, il faut un minimum absolu de 12MHz, ce qui donnera cependant un signal déformé. Un oscilloscope d'une largeur de bande d'au moins 50MHz (environ 4 fois supérieure) sera alors préférable.
- Taux d'échantillonnage - pour reconstruire le signal de 12MHz, il nous faut environ 5 points par forme d'onde; un taux d'échantillonnage minimum de 60Méch/s (12MHz x 5 points) sera donc nécessaire.
- Profondeur mémoire - pour saisir des données à 60Méch/s pendant 1ms, il faudra une capacité mémoire de 60 000 échantillons minimum (60Méch/s x 1ms).

### Nombre de voies

C'est le nombre de points d'entrées sur lequel on peut analyser un signal. Avec l'augmentation de la complexité de l'électronique, le nombre et le type de signaux à analyser simultanément a également augmenté. Un oscilloscope possède en règle général 2 ou 4 voies analogiques, auxquelles sont ajoutées des voies logiques (généralement 8 ou 16 voies logiques), et dans le cas particulier des modèles MDO de Tektronix, 1 voie RF est également ajoutée. Certains modèles d'oscilloscopes USB offrent même jusqu'à 8 voies analogiques.

### Mémoire segmentée

La segmentation de la mémoire est un mode d'acquisition permettant d'optimiser et d'améliorer le fonctionnement de la mémoire. L'idée est de segmenter la mémoire afin d'améliorer les capacités d'acquisition de l'oscilloscope. Ce mode permet un plus grand nombre d'acquisitions, pour une forme d'onde, qu'avec le mode de fonctionnement normal de la mémoire.

Cette technique permet par exemple la capture d'impulsions très rapides et successives avec un taux de déclenchement très élevé.

La segmentation de la mémoire peut aussi être utilisée pour ne capturer les données que si elles sont présentes, sans tenir compte des temps morts.



## VI- Les Sondes

La sonde réalise la liaison entre le circuit à analyser et l'oscilloscope. Le choix d'une sonde est donc très important car cette liaison doit permettre au signal à mesurer d'être transmis à l'oscilloscope le plus fidèlement possible. La qualité et la performance d'une sonde sont définies par plusieurs paramètres, comme la bande passante, ou son atténuation par exemple. Il existe différents types de sondes destinées à des applications diverses.

### a- Types de sonde

#### Sonde de tension passive

C'est la sonde de mesure de tension standard. Elle est dite passive car elle ne contient aucun élément actif. Ce type de sonde peut être très schématiquement considérée comme un simple câble caractérisé par des éléments passifs (capacité, résistance). Leurs performances les limites à des applications pour lesquelles une bande passante jusqu'à 500 MHz (1GHz sur certains modèles du fabricant Tektronix) est suffisante et pour des tensions faibles à moyennes. La pointe de connexion au circuit à tester est généralement pourvue d'un adaptateur à crochet, elle est d'une dimension de 5 mm ou 2,5 mm. Pour des applications plus spécifiques, il existe également des modèles dont le facteur de forme est réduit ou plus adapté.



Sonde de tension passive avec connecteur propriétaire, marque TEKTRONIX.



### Sonde de tension active

Sonde de mesure de tension comportant un ou plusieurs composants actifs (généralement des transistors FET) afin de diminuer les perturbations en haute-fréquence. Une sonde active offre des capacités en bande passante plus élevées qu'un modèle passif et est donc utilisée pour des signaux au-delà de 500MHz / 1GHz.



Sonde de tension active 2.5 GHz, marque TEKTRONIX.

### Sonde de tension différentielle

Elle permet la mesure de tensions faibles à élevées flottantes, c'est à dire non référencées à la masse (Exemples: sorties de transformateurs, amplificateurs d'isolations, thermocouples, etc...) en toute sécurité. La tension flottante mesurée avec ce type de sonde est convertie en une faible tension référencée à la masse, afin de permettre la visualisation sur un oscilloscope.



Sonde de tension différentielle, marque TEKTRONIX.



### Sonde haute tension

Utilisée pour la mesure de hautes à très hautes tensions jusqu'à plusieurs dizaine de KiloVolts (Généralement 20 ou 40kV maximum).  
Ce type de sonde se présente sous la forme d'une sonde passive dont la taille peut être identique ou plus imposante (style "poignard").

<p><i>Sonde HT 2.5kV, marque TEKTRONIX</i></p>	<p><i>Sonde HT 20kV, marque PMK</i></p>

### Sonde de courant

Utilisée pour les mesures de courants alternatifs ou continus. L'élément en contact au circuit à analyser se présente sous la forme de pince rigide, servant à enserrer le conducteur dont on souhaite connaître l'intensité.

Pour les mesures de courant continu, il faut que la sonde soit alimentée pour fonctionner, dans ce cas elle sera équipée d'une alimentation intégrée ou externe. D'autres modèles se présentent sous la forme de "système" dans lequel l'alimentation de la sonde est assurée par un amplificateur intercalé entre l'oscilloscope et la sonde. L'intérêt de ce type de système est qu'un même amplificateur sert pour toutes les sondes.

Le choix dépendra principalement du type de courant à mesurer, de la gamme de mesure en courant ainsi que de la dimension de la mâchoire.

<p><i>Sonde de courant "système", marque TEKTRONIX</i></p>	<p><i>Sonde de courant, marque Teledyne-Lecroy</i></p>





## 2- Performances

### Bande passante

Même chose que pour les oscilloscopes, la bande passante détermine la fréquence maximale que la sonde pourra accepter. Plus elle est élevée par rapport au signal à analyser, meilleure sera la précision. En règle générale, lors d'un achat d'oscilloscope, une sonde ayant une bande passante correspondant ou dépassant celle de l'oscilloscope est fournie en standard.

### Atténuation

Les oscilloscopes ont des bornes d'entrées qui n'acceptent pas de grandes valeurs de tensions. Ainsi, lors de mesure de signaux à fortes amplitudes, il est nécessaire que le signal soit atténué afin de ne pas endommager les voies d'entrées.

Il existe différentes valeurs d'atténuation selon le type de sonde, allant de 1X jusque 500X. Par exemple, une atténuation de 10X signifie que le signal mesuré sera réduit de 10x sa valeur en amplitude en entrée de l'oscilloscope. Il suffira ensuite de régler correctement l'échelle verticale de l'oscilloscope pour obtenir la bonne mesure à l'écran. Certaines sondes ont une fonction "Read-Out" ou ont une connectique spécifique à une marque, afin que les réglages d'atténuation de la sonde et de l'échelle verticale sur l'oscilloscope soient réalisés automatiquement.

### Impédance d'entrée et compensation

La borne d'entrée d'un oscilloscope est caractérisée par une impédance constituée d'une résistance et d'une capacité.

Afin que le signal à mesurer soit correctement visualisé sur l'oscilloscope, la sonde qui sera branchée entre le point de mesure et l'oscilloscope doit présenter en sortie idéalement les mêmes valeurs de résistance et de capacité que la borne d'entrée de l'oscilloscope.

Ainsi, un oscilloscope ayant une borne d'entrée 50Ohm nécessitera l'utilisation d'une sonde 50Ohm, un oscilloscope 1MOhm, nécessitera une sonde 1MOhm.

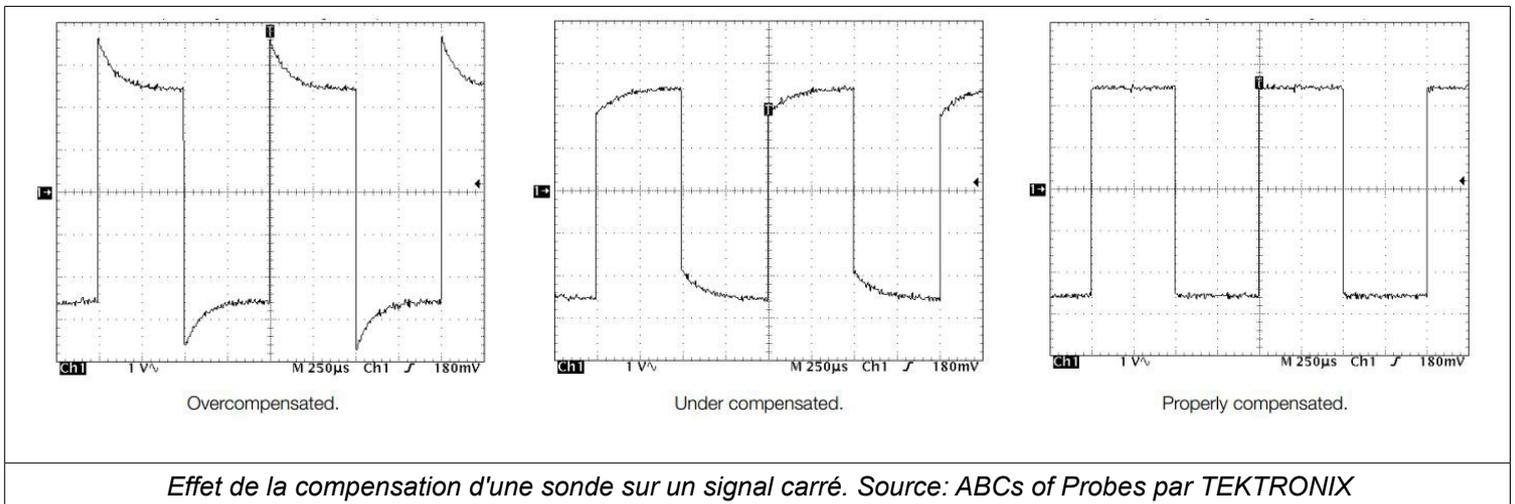
Il est possible d'utiliser des sondes 50Ohm sur des oscilloscopes 1MOhm, en utilisant un adaptateur spécifique.

Pour la capacité, Afin que la valeur de celle de la sonde et celle de l'oscilloscope correspondent, une capacité de compensation réglable est présente sur la sonde.



## Compensation

La plupart des sondes sont conçues pour correspondre aux entrées de modèles d'oscilloscopes spécifiques. Cependant, il y a de légères différences d'un oscilloscope à un autre, et même entre les entrées d'un même oscilloscope. Afin de faire correspondre parfaitement une sonde à une entrée d'oscilloscope, les sondes sont dotées d'une compensation. Les sondes à connexion BNC standard sont pourvues d'une vis de réglage tandis que pour les sondes à connecteurs propriétaires, la compensation est réglée automatiquement. Une sonde mal compensée peut conduire à des erreurs de mesures variées, spécialement lors de mesures de temps de montée/descente d'impulsions. Chaque sonde de tension comporte une plage de compensation donnée, et afin de faire correspondre la sonde à l'oscilloscope, il faut que la capacité d'entrée de l'oscilloscope soit comprise dans la plage de compensation de la sonde.





### 3- Connectiques

La connectique standard des oscilloscopes est le connecteur BNC. Cependant, on trouve d'autres types de connecteurs, et notamment des interfaces propriétaires. L'on peut également trouver de la connexion N sur l'analyseur de spectre intégré aux oscilloscopes à domaine mixte.

**BNC standard:** Connexion standard, il s'agit d'un connecteur rond à "clipser" (On tourne d'1 quart de tour environ pour la fixer). Il présente une âme centrale et la partie externe est la masse. Cette connexion existe également en version ReadOut, petite patte métallique qui vient se mettre en contact sur l'oscilloscope lorsqu'on connecte la sonde à l'oscilloscope, permettant la reconnaissance automatique de l'atténuation de la sonde.



*BNC sans ReadOut*



*BNC avec ReadOut*

**Connecteur propriétaire:** Les interfaces propriétaires sont très pratiques pour une "reconnaissance et correction automatique" (atténuation, compensation, etc...) de la sonde sur l'oscilloscope, mais elles présentent l'inconvénient d'être spécifiques à un fabricant, et donc seuls les oscilloscopes de la marque correspondante peuvent accepter de telles sondes. Il existe cependant chez certains fabricants des adaptateurs permettant de transformer la connectique propriétaire de la sonde en connexion BNC standard. Le connecteur sur l'oscilloscope est quant à lui compatible avec des BNC standard, mais, perdant l'avantage de la connectique propriétaire, il sera nécessaire de régler manuellement la sonde.



*Connecteur TekVPI de Tektronix*



*Connecteur Probus de Teledyne-Lecroy*

**N:** Connecteur spécifique aux mesures RF et HF, car présentant de meilleures performances pour ces applications. Très utilisé sur les analyseurs de spectre, ce connecteur est également utilisé sur la voie RF des oscilloscopes à domaines mixtes (MDO) du fabricant Tektronix.

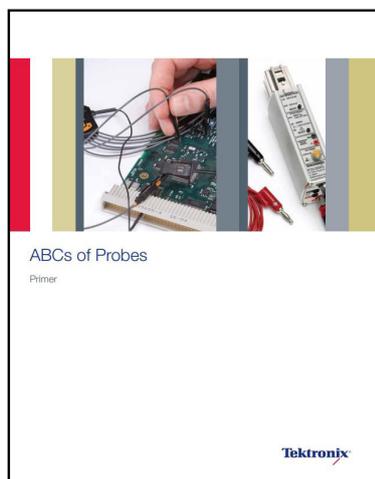


*Connecteur N*

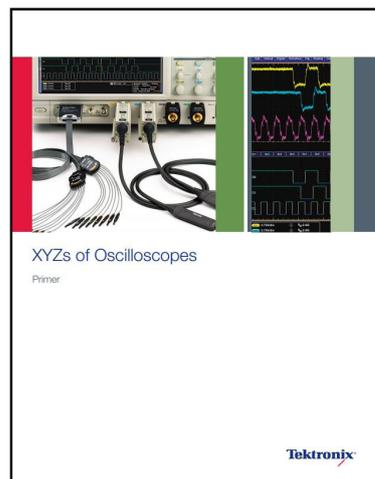
Retrouvez-nous vite sur  
**oscillo.testoon.com**

**01 71 16 17 00**

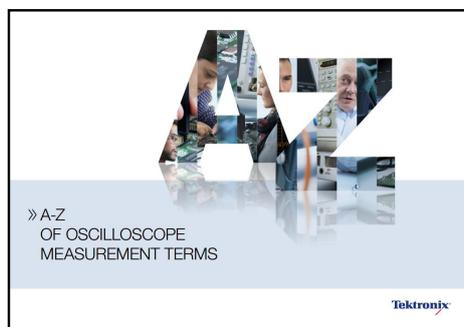
**A découvrir chez Testoon  
sur le même sujet :**



L'ABC des sondes (Anglais)



XYZ de oscilloscope  
(Anglais)



L'oscilloscope de A à Z, le glossaire  
(Anglais)

**>> [Voir tous les guides Tektronix](#)**