

# Guide d'achat

## INSTRUMENTATION ÉLECTRONIQUE

# Les générateurs de signaux arbitraires

▼ Un générateur de signaux classiques, appelé aussi générateur de fonctions, ne délivre que des formes d'ondes pour lesquels il a été conçu. Si le test d'un matériel réclame un signal de forme particulière, le recours à un générateur de signaux arbitraires est nécessaire. Celui-ci délivrera le signal que l'utilisateur aura préalablement défini et stocké dans sa mémoire. Le choix de l'appareil sera dicté par les caractéristiques du signal à mettre en œuvre mais aussi par la souplesse et les performances des outils de création et de génération.

**T**out scientifique le sait. Il y a souvent un gap entre la théorie et la pratique. Sur le papier un équipement électronique réagit par une réponse attendue à l'excitation de signaux minutieusement étudiés. Mais dans la vraie vie, ces signaux ne sont pas toujours si fidèlement reproduits, ils peuvent être bruités ou subir des perturbations. Parfois, ils ont des formes d'ondes si particulières que les générateurs de fonctions traditionnels sont incapables de les générer. On fait alors appel à des générateurs de signaux arbitraires. A y

### L'essentiel

- ▶ Les générateurs de signaux arbitraires sont nécessaires lorsqu'il s'agit de délivrer un signal de forme particulière.
- ▶ Des caractéristiques des signaux découleront le choix de l'appareil.
- ▶ Le nombre de voies, la bande passante, la fréquence d'échantillonnage, la résolution verticale, la profondeur mémoire sont quelques-uns des critères de choix.

regarder de plus près, ces signaux sont loin d'être arbitraires puisqu'ils ont été définis par l'utilisateur pour que leurs formes d'ondes répondent exactement aux particularités de son application. Pour tester un matériel électronique, quoi de plus naturel que d'appliquer, sur ces entrées, des signaux auxquels il sera confronté dans son environnement d'exploitation futur. Et

d'y ajouter quelques parasites afin de s'assurer de sa résistance aux perturbations.

Délivrer des signaux de formes spécifiques voire complexes qui sortent des gabarits traditionnellement fournis par les générateurs de fonctions (sinus, carré, triangle notamment), tel est le rôle des générateurs de signaux arbitraires. On ne les trouve pas seulement dans les laboratoires de conception pour éprouver un composant mécanique aux vibrations et aux chocs ou pour valider des calculateurs embarqués dans les véhicules. En production, ils peuvent être intégrés dans des bancs de tests de matériel pour l'automobile, le secteur médical, l'aéronautique, les télécommunications... On les rencontre également dans les centres d'essais et les laboratoires pour tester les prototypes, exciter l'électronique des capteurs, mettre en marche des actionneurs, alimenter des dispositifs électromécaniques, rejouer des séquences d'acquisition...

### Accélération des cadences d'échantillonnage

Ces instruments évoluent donc avec les exigences technologiques des équipements qu'ils doivent contrôler. Ainsi, « les générateurs arbitraires doivent délivrer des signaux de plus en plus bicornus mettant en œuvre des modulations particu-

lières. Ils doivent offrir une résolution entre deux points de plus en plus fine et des fréquences d'échantillonnage de plus en plus élevées », indique Bruno Cohen d'EADS Test & Services. Pour ce genre d'appareil, on parle effectivement, comme pour les oscilloscopes numériques, de résolution et de fréquences d'échantillonnage. Il faut dire que l'architecture d'un générateur arbitraire s'approche de l'image d'un oscilloscope vue dans un miroir. Les deux appareils exploitent un mécanisme similaire mais opérant en sens inverse. L'oscilloscope acquiert les signaux analogiques, les convertit en valeurs numériques, les stocke en mémoire et les affiche sur son écran. Le générateur réalise les mêmes opérations mais en sens inverse. On commence par créer la forme d'onde que l'on souhaite générer. Ensuite, les valeurs numériques de cette forme d'onde sont enregistrées dans la mémoire de l'appareil. Le convertisseur numérique/analogique transforme ensuite, à la fréquence d'échantillonnage appropriée, les données numériques en un signal analogique. En toute logique, la profondeur mémoire est liée à la fréquence d'échantillon-



Le générateur de signaux arbitraires récupère des valeurs numériques dans sa mémoire pour les convertir en signaux analogiques.



Tektronix

Délivrer des signaux de formes spécifiques voire complexes qui sortent des gabarits traditionnellement fournis par les générateurs de fonctions, tel est le rôle des générateurs de signaux arbitraires. Ils sont notamment utilisés dans les laboratoires de conception pour éprouver un matériel électrique ou pour valider le fonctionnement d'une carte électronique.

nage. Plus on va vite plus la taille mémoire doit être importante. Ainsi chez Tabor, les modèles offrant une cadence d'échantillonnage de 50 Méch./s sont proposés avec une mémoire de 500 kéch. à 1 Méch. Alors que ceux qui délivrent une vitesse de 1,2 Géch./s sont associés à une mémoire de 8 à 16 Méch. Mais c'est Tektronix, avec son AWG7000B, véritable Formule 1 du domaine, qui assurément bat tous les records. Cet appareil affiche une fréquence d'échantillonnage maximale de 24 Géch./s et une profondeur mémoire de 64 Mpoints. Il présente par ailleurs la plus importante bande passante du marché : 9,6 GHz. « Cet appareil vise plus particulièrement les applications ultralarges bandes et radiofréquences en R&D. Ses performances offrent aux ingénieurs et chercheurs un nouvel espace de liberté », souligne Pierre-Marie Dubaille chez Tektronix.

Grâce à sa bande passante élevée, ils font figure d'outil de référence pour tester les interfaces et composants USB Wireless, USB3, SATA, HDMI... « Ils reproduisent le signal exact défini par la norme alors qu'avec d'autres instruments, on serait obligé de bricoler des assemblages de matériels (filtres, amplificateurs, etc.) pour obtenir un tel résultat. Avec l'AWG7000, il suffit de charger dans sa mémoire le tableau de points établis par la norme pour les signaux de tests, pour qu'il les rejoue fidèlement », poursuit Pierre-Marie Dubaille. Mais bien entendu, ces applications ne sont pas les plus courantes, l'essentiel de l'offre présente des bandes passantes de quelques dizaines à quelques centaines de mégahertz pour des fréquences d'échantillonnages allant de quelques dizaines à quelques centaines de mégaechantillons par seconde. Leurs profondeurs mémoire s'étalant de quelques



Tabor

Certains générateurs ne se contentent plus d'un seul petit afficheur LCD monochrome. Ils adoptent désormais des écrans couleurs sur lesquelles paraissent toutes les informations relatives aux signaux.

dizaines de kilopoints à quelques mégapoints. Dans cette gamme de performances, les prix démarrent sous la barre des mille euros pour atteindre 5 000 à 7 000 euros. Le modèle 33210 d'Agilent (1 voie, 50 Méch./s, 8 kpoints, 10 MHz) est, par exemple, proposé à 1 149 euros et le HM8150 de Hameg (1 voie, 40 Méch./s, 4 kpoints, 12,5 MHz) à 960 euros.

### Les appareils multivoies de plus en plus utilisés

Si la plus grande partie des appareils est dotée d'une seule voie de génération, une large part d'entre eux comporte deux voies et quelques-uns sont aujourd'hui dotés de quatre voies. Car la demande est là. « Les modèles TGA12104 de TTI se vendent bien car avec leurs quatre voies, leur taille mémoire de 1 Mpoints par voie et leur fréquence d'échantillonnage maximale de 100 Méch./s, ils s'adaptent à de nombreuses applications, note Jean-Michel Holin chez MB Electronique. Puisque de nombreux modèles d'oscilloscopes sont aujourd'hui dotés de quatre voies pour visualiser les signaux, il n'y a pas de raison qu'on n'ait pas besoin d'un générateur capable de simuler autant de forme d'ondes. » Avec un appareil quatre voies associé à un amplificateur, il est possible de simuler une alimentation triphasée, de créer des déphasages entre les voies, des variations d'amplitude entre les voies ou encore de simuler d'autres perturbations. Chez l'Israélien Tabor, les modèles deux voies ont été lancés sur le marché il y a trois ans et les modèles quatre voies l'an dernier. « Les appareils multivoies simplifient la mise en œuvre d'applications qui exigent plusieurs signaux en cohérence. Dans une automobile, par exemple, il peut être utile de simuler simultanément quatre signaux de capteurs ou actionneurs des quatre roues d'un véhicule. Dans le secteur des télécommunications, on emploiera les deux canaux pour réaliser une modulation I/Q », explique Bruno Cohen (EADST&S). →

## Des modules et des cartes

Si l'on considère qu'un générateur de signaux arbitraires est grosso modo un oscilloscope qui fonctionne à l'envers, on peut faire la même analogie avec une carte d'acquisitions de signaux. Il n'est donc pas étonnant que l'on trouve sur le marché toute une panoplie de cartes instruments remplissant cette fonction. Des fabricants tels que *National Instruments*, *Ztec*, *Geotest*, *Pickering*, ou encore *Tabor* proposent des cartes au format PCI, PXI, PXI express... *EADS Test & Services* propose même les modules VXI de *Racal Instruments*. Mais il ne faut pas se tromper, une carte générateur arbitraire n'est pas un simple numériseur. Elle ne mobilise pas continuellement les ressources du PC et en particulier sa mémoire. Les valeurs des courbes à générer sont stockées dans la mémoire embarquée ce qui évite d'encombrer le bus PCI ou PXI.

→ Comme pour beaucoup d'instruments de test électronique de laboratoire, l'utilisateur a tendance à s'équiper d'un appareil fournissant des performances et un nombre de voies supérieur à ce qui lui est nécessaire pour ses études en cours en prévision de ses besoins futurs. Il préfère s'assurer que l'instrument qu'il choisit propose les fonctionnalités et les outils qui seront adaptés à ses applications à venir. Mais il reste encore de la place sur le marché pour des générateurs arbitraires monovoie présentant des fréquences d'échantillonnages modestes. « Un appareil d'entrée de gamme suffit pour simuler la variation d'une grandeur physique telle que la température d'un four ou la pression d'une cuve. Dans ce cas, le signal n'est pas forcément rapide ni complexe », remarque Jean-Michel Holin (*MB Electronique*). Certains utilisateurs vont préférer se doter de deux appareils monovoie plutôt que d'un seul appareil bivoie afin de bénéficier de l'usage séparé qu'offrent deux appareils. « Mais il est vrai que, comme la seconde voie d'un générateur est d'un coût abordable, le client opte parfois pour un modèle deux voies au cas où... Alors qu'il n'utilisera 80 % du temps qu'une seule voie », relève Pierre-Marie Dubaille (*Tektronix*).

Les instruments multivoies présentent l'avantage de délivrer des signaux synchronisés. Leurs voies peuvent être complètement indépendantes. Une voie peut, par exemple, générer un signal sinus classique alors que la seconde générera qu'un signal arbitraire. Un appareil quatre voies peut donc délivrer quatre signaux complètement différents. « La seule chose qu'elle partage est la fréquence d'échantillonnage », précise Bruno Cohen (*EADST&S*). Il faut noter que la plupart des générateurs arbitraires ne se contentent pas de rejouer des signaux concoctés par son utilisateur. En plus de la génération de signaux arbitraires, ils sont capables de générer une demi-douzaine à une dizaine de signaux standards (sinus, carré, impulsion, triangle, rampe) et sont souvent dotés de nombreuses facultés

de modulation (AM, FM, FSK). Si les voies sont indépendantes, certains appareils offrent la possibilité de les lier par certaines règles. Ainsi la voie 1 joue un scénario et la voie 2 peut être déclenchée à l'apparition d'un événement sur la voie 1. Les voies peuvent être déphasées entre elles d'une valeur angulaire déterminée. Une voie peut fournir un signal qui soit issu d'un calcul sur les deux autres. Chaque fois qu'un canal a achevé de jouer sa séquence, on démarre la séquence de la voie suivante. Ou encore, le déclenchement d'une voie peut être conditionné par le dépassement d'une amplitude ou d'une période temporelle. On le voit, les traitements électroniques et numériques offrent aujourd'hui d'innombrables possibilités.

## Créer le signal à générer

Les outils de création des signaux ne sont pas, eux, innombrables. Il existe néanmoins plusieurs méthodes pour créer les signaux. Car pour que le générateur puisse délivrer un signal de la forme de celle que l'utilisateur désire, ce dernier devra charger la forme d'onde de ce signal dans la mémoire de l'appareil. Comme le souligne Pierre-Marie

Dubaille (*Tektronix*), « contrairement à un générateur de fonction classique, un générateur de signaux arbitraires ne peut fonctionner sans le cerveau de son patron ». Sur les instruments de table, la face avant intègre en général un ensemble de boutons et de menus à l'aide desquels l'utilisateur saisit et enregistre en mémoire toutes les valeurs d'amplitude du signal, point par point. Il visualise les données sur un écran plus ou moins large selon les modèles. Certains ne sont que de simples écrans monoligne ou multiligne alors que d'autres proposent un affichage couleur de 3,8 à 10,4" de diagonale. Pour créer des courbes simples rapidement, cette méthode peut être très efficace. Pourtant, elle peut s'avérer fastidieuse, si l'on doit rentrer une grande quantité de points lorsque l'on doit générer une forme d'onde plus complexe, composée de plusieurs milliers de points, même à l'aide d'outils de type "mode segment" (création par vecteurs et non par points) ou "mode copie". « Cette méthode de création manuelle est toujours possible mais c'est une procédure longue et arbitraire. Les risques d'erreurs de saisies sont élevés », remarque Bruno Cohen (*EADST&S*).

Pour éviter cette procédure peu pratique et source d'erreur, il existe une solution plus rapide : la récupération des formes d'ondes qui ont été visualisées et enregistrées dans la mémoire d'un oscilloscope numérique. Il suffit alors de transférer le contenu de la mémoire de l'oscilloscope dans celle du générateur via, par exemple, une interface IEEE 488.2 (GPIB). Malheureusement cette méthode n'est pas universelle. Elle fonctionne essentiellement entre instruments d'un même constructeur. Mais il faut se renseigner car il y a des exceptions qui confirment cette règle. Les appareils de *Tabor* savent notamment décoder les formats de fichiers de données des oscilloscopes de *LeCroy*. →



La plupart des générateurs de signaux arbitraires offrent toutes les fonctionnalités d'un générateur de fonctions traditionnelles (sinus, carré, triangle, rampe, etc.) auxquelles s'ajoutent des capacités de modulations (AM, FM, FSK). Il est également possible de synchroniser plusieurs instruments pour obtenir des formes d'ondes complexes.

## L'offre des principaux fournisseurs

Constructeur (distributeur)	Modèle	Nombre de voies	Echantillonnage	Résolution	Mémoire	Bande passante	Séquenceur (oui/non)	Type de synthèse	Interfaces de communication	Particularités de l'instrument
<b>Agilent</b>	33210	1	50 Méch/s en option	14 bits en option	8 Kpoints en option	10 MHz	Non		IntuiLink SW, USB, LAN, GPIB	Modulation AM, FM, PWM, logiciel IntuiLink pour une création des signaux arbitraires
	33220	1	50 Méch/s	14 bits	64 Kpoints	20 MHz	Non		IntuiLink SW, USB, LAN (conforme LXI classe C), GPIB	Modulation AM, FM, PM, FSK et PWM, logiciel IntuiLink pour la génération de signaux
	33250	1	200 Méch/s	12 bits	64 Kpoints	80 MHz	Non		IntuiLink SW, RS232, GPIB	Modulation AM, FM et PWM, logiciel IntuiLink pour la génération de signaux
	81150	2	2 Géch/s	14 bits	512 Kpoints	240 MHz	Non		IntuiLink SW, USB, LAN (conforme LXI classe C), GPIB	3 générateurs en 1 : d'impulsions, de fonctions/signaux arbitraires et de bruit 120 MHz. Modulation FM, AM, PM, PWM, FSK jusqu'à 10 MHz. Editeur de signaux IntuiLink
<b>Ametek (MB Electronique)</b>	SW-1750A	1	8 kHz - 25 MHz	12 bits	820 Kpoints	18 kHz	Oui	Variable-clock	GPIB	Tension de sortie 156 V - 13 A et 312 V - 6,5 A
	SW-3500A	2	8 kHz - 25 MHz	12 bits	820 Kpoints	18 kHz	Oui	Variable-clock	GPIB	Tension de sortie 156 V - 13 A et 312 V - 6,5 A
	SW-5250A	3	8 kHz - 25 MHz	12 bits	820 Kpoints	18 kHz	Oui	Variable-clock	GPIB	Tension de sortie 156 V - 13 A et 312 V - 6,5 A
	SW-1850A	1	8 kHz - 25 MHz	12 bits	820 Kpoints	18 kHz	Oui	Variable-clock	GPIB	Tension de sortie 156 V - 16 A et 312 V - 8 A
	SW-3700A	2	8 kHz - 25 MHz	12 bits	820 Kpoints	18 kHz	Oui	Variable-clock	GPIB	Tension de sortie 156 V - 16 A et 312 V - 8 A
	SW-5550A	3	8 kHz - 25 MHz	12 bits	820 Kpoints	18 kHz	Oui	Variable-clock	GPIB	Tension de sortie 156 V - 16 A et 312 V - 8 A
<b>BK Precision (Sefram)</b>	BK4084 AWG	1	200 Méch./s	10 bits	16 Kpoints	20 MHz	Non	DDS	RS-232 (SCPI)	Modulation AM, FM, FSK, PSK10 mémoires de configuration. Compteur/fréquence-mètre 100 MHz. Fourni avec Logiciel de génération de courbes
	BK4086 AWG	1	200 Méch./s	10 bits	16 Kpoints	80 MHz	Non	DDS	RS-232 (SCPI)	Modulation AM, FM, FSK, PSK10 mémoires de configuration. Compteur/fréquence-mètre 100 MHz. Synchronisation possible de plusieurs générateurs pour obtenir des formes d'ondes complexes
	BK4075	1	80 Méch./s	14 bits	400 Kpoints	25 MHz	Non	DDS	RS-232 (SCPI) et IEEE-488 (option)	Modulation AM, FM, FSK. 50 mémoires de configuration. Entrée horloge externe 10 MHz. Fourni avec Logiciel WaveX (création de formes d'ondes arbitraires)
	BK4078	2	80 Méch./s	14 bits	400 Kpoints	25 MHz	Non	DDS	RS-232 (SCPI) et IEEE-488 (option)	2 voies indépendantes et synchronisables, 25 MHz. Modulation AM, FM, FSK. 50 mémoires de configuration. Synchronisation possible de plusieurs générateurs pour obtenir des formes d'ondes complexes. Entrée horloge externe 10 MHz. Fourni avec Logiciel WaveX (création de formes d'ondes arbitraires)

## L'offre des principaux fournisseurs (suite)

Constructeur (distributeur)	Modèle	Nombre de voies	Echantillonnage	Résolution	Mémoire	Bande passante	Séquenceur (oui/non)	Type de synthèse	Interfaces de communication	Particularités de l'instrument
Fluke (MB Electronique)	397	2	0,1 Hz - 125 MHz	14 bits	6-4 Mpoints		Oui	0,001 Hz à 50 MHz	GPIO/USB/Ethernet	
Française d'Instrumentation (Distrame)	FI 5220A	1	200 Méch/s	12 bits	4096 points	100 µHz à 20 MHz	Oui	DDS	RS232	27 formes d'ondes, affichage 9 digits, modulation AM/FM/PM/FSK/PSK
	FI 5280A	1	200 Méch/s	12 bits	4096 points	100 µHz à 80 MHz	Oui	DDS		27 formes d'ondes, affichage 9 digits, modulation AM/FM/PM/FSK/PSK
Geotest (MB Electronique)	GP1650T	1	50 MHz	12 bits	256 Kpoints	5 MHz	Oui	DDS	IEEE-488	Compatible Tektronix AWG5110, matériel et firmware. 2 voies en option
	GP1650W	1	50 MHz	12 bits	256 Kpoints	5 MHz	Oui		IEEE-488	Compatible Wavetek 175, Matériel et logiciel. 2 voies en option
	GP1650	1	50 MHz	12 bits	256 Kpoints	5 MHz	Oui		IEEE-488	IEEE488.2 et SCPI compatible. 2 voies en option
Hameg Instruments	HM8150	1	40 Méch/s	12 bits	4 Kpoints	10 MHz - 12,5 MHz		DDS	RS232, USB, GPIB	
	HM8131-2	1	40 Méch/s	12 bits	16 Kpoints	100 µHz - 15 MHz		DDS	RS232, USB, GPIB	Stockage des signaux sur carte mémoire, modulations AM/FM, phase, FSK/PSK
Hioki (Equipements Scientifiques)	7075	4	10 Méch/s	16 bits	128 Kpoints	5 MHz	Non		GPIB et RS232C	Taille de l'écran 3,5", application automobile freinage ABS
Keithley Instruments	3390	1	50 MHz	14 bits	256 Kpoints	1 µHz à 50 MHz	Oui		Ethernet LXI classe C, USB et GPIB	50 MHz en sinusoïde, 25 MHz en carré, 10 MHz en impulsion et 200 kHz en rampe/triangle. Possède également un générateur de bruit. Sortie 10 MHz pour la synchronisation avec d'autres appareils externes. Sortie numérique. Modulation AM/FM/PM et PWM
NF Corporation (Equipements Scientifiques)	WF 1973 WF 1974	De 1 à 2	120 Méch/s	16 bits	512 Kpoints	30 MHz	Non	DDS	USB et GPIB	Faible encombrement (2,1 kg), isolation des voies
	WF 194xx	De 1 à 2	40 Méch/s	16 bits	64 Kpoints	50 MHz	Oui	DDS	USB et GPIB	Dimensions (L x H x P) : 216 x 132,5 x 290 mm, isolation des voies
	DF 1906	1	6,5 Méch/s	12 bits	4 Kpoints	2 MHz	Non		USB	Faible encombrement (1,2 kg), Dimensions (L x H x P) : 216 x 132,2 x 93,5 mm
Rigol (Elexo)	DG2021A	1	100 Méch./s	14 bits	512 Kpoints	25 MHz	Non	DDS	USB, RS-232, GPIB, LAN	Module 16 voies pour génération de signaux logiques. Diverses fonctions de modulation
	DG2041A	1	100 Méch./s	14 bits	512 Kpoints	40 MHz	Non	DDS	USB, RS-232, GPIB, LAN	Module 16 voies pour génération de signaux logiques. Diverses fonctions de modulation
	DG3061A	1	300 Méch./s	14 bits	1 Mpoints	60 MHz	Non	DDS	USB, RS-232, GPIB, LAN	Module 16 voies pour génération de signaux logiques. Diverses fonctions de modulation. Ecran couleur 4"
	DG3121A	1	300 Méch./s	14 bits	1 Mpoints	120 MHz	Non	DDS	USB, RS-232, GPIB, LAN	Module 16 voies pour génération de signaux logiques. Diverses fonctions de modulation. Ecran couleur 4". Existe en version 100 MHz

## L'offre des principaux fournisseurs (suite)

Constructeur (distributeur)	Modèle	Nombre de voies	Echantillonnage	Résolution	Mémoire	Bande passante	Séquenceur (oui/non)	Type de synthèse	Interfaces de communication	Particularités de l'instrument
<b>Sefram</b>	4422	1	50 Méch./s	12 bits	1 kpoints	20 MHz	Non	DDS	RS-232	Combine un générateur de fonctions DDS et un générateur arbitraire. Ecran graphique rétroéclairé, modulation AM/FM/FSK
	4466	1	80 Méch./s	14 bits	1 Mpoints	40 MHz	Non	DDS	RS-232 et IEEE-488 Programmation SCPI	Modulation AM, FM, FSK. 50 mémoires de configuration. Synchronisation possible de plusieurs générateurs pour obtenir des formes d'ondes complexes. Entrée horloge externe 10 MHz. Fourni avec logiciel WaveX (création de formes d'ondes arbitraires)
	4468	1	125 Méch./s	14 bits	4 Mpoints	50 MHz	Non	DDS	RS-232 et IEEE-488 Programmation SCPI	Modulation AM, FM, FSK. 50 mémoires de configuration Synchronisation possible de plusieurs générateurs pour obtenir des formes d'ondes complexes. Entrée horloge externe 10 MHz. Fourni avec logiciel WaveX (création de formes d'ondes arbitraires)
	4468-2	2	125 Méch./s	14 bits	4 Mpoints	50 MHz	Non	DDS	RS-232 et IEEE-488 Programmation SCPI	2 voies indépendantes et synchronisables. Modulation AM, FM, FSK. 50 mémoires de configuration. Synchronisation possible de plusieurs générateurs pour obtenir des formes d'ondes complexes. Entrée horloge externe 10 MHz. Fourni avec logiciel WaveX (création de formes d'ondes arbitraires)
<b>Standford Research Systems (BFI Optilas)</b>	DS345	1	40 MHz	12 bits	16 Kpoints	30 MHz		DDS	RS-232, GPIB	Générateur de fonctions (résolution de 1 µHz), de bruit blanc et arbitraire, mémorisation de 9 configurations
	DS340	1	40 MHz	12 bits	16 Kpoints	15 MHz		DDS	RS-232, GPIB	Générateur de fonctions (résolution de 1 µHz), de bruit blanc et arbitraire, mémorisation de 9 configurations
<b>Tabor (EADS T&amp;S)</b>	WW 5061/2	1/2	50 Méch./s	14 bits	512 Kpoints à 1 Mpoints	25 MHz	Oui	AWG + DDS	GPIB/USB2/Ethernet	Modulation AM/FM/Arbitraire/FSK
	WW 5064	4	50 Méch./s	16 bits	512 Kpoints à 1 Mpoints	25 MHz	Oui	AWG + DDS	GPIB/USB2/Ethernet	Modulation AM/FM/Arbitraire/FSK/PSK et QAM
	WW 1071/2	1/2	100 Méch./s	14 bits	De 1 à 4 Mpoints	50 MHz	Oui	AWG + DDS	GPIB/USB2/Ethernet	Générateur de pulses en option
	WW 1074	4	100 Méch./s	16 bits	De 1 à 4 Mpoints	50 MHz	Oui	AWG + DDS	GPIB/USB2/Ethernet	Générateur de pulses en option/ fonction fréquencemètre
	WW 2571A	1	250 Méch./s	16 bits	De 1 à 4 Mpoints	100 MHz	Oui	AWG + DDS	GPIB/USB2/Ethernet	Tension de sortie 32 Vpp/ générateur de patterns numérique 16 voies 250 Mbits
	WW 2572A	2	250 Méch./s	16 bits	De 1 à 4 Mpoints	100 MHz	Oui	AWG + DDS	GPIB/USB2/Ethernet	Tension de sortie 32 Vpp/ générateur de patterns numérique 16 voies 250 Mbits
	WW 2074	4	200 Méch./s	16 bits	De 1 à 4 Mpoints	100 MHz	Oui	AWG + DDS	GPIB/USB2/Ethernet	Générateur de pulses en option/ fonction fréquencemètre

## L'offre des principaux fournisseurs (suite)

Constructeur (distributeur)	Modèle	Nombre de voies	Echantillonnage	Résolution	Mémoire	Bande passante	Séquenceur (oui/non)	Type de synthèse	Interfaces de communication	Particularités de l'instrument
<b>Tabor (EADS T&amp;S) (suite)</b>	WW 1081A	1	1 200 Méch./s	12 bits	De 4 à 16 Mpoints	400 MHz	Oui	AWG + DDS	GPIB/USB2/Ethernet	Générateur de bits séries 2 voies 1 200 Mbits/s
	PM 8571	1	300 Méch./s	16 bits	De 1 à 4 Mpoints	100 MHz	Oui	AWG + DDS	GPIB/USB2/Ethernet	Emulation d'appareil obsolètes (8116/8112/8500...)
	PM 8572	2	300 Méch./s	16 bits	De 1 à 4 Mpoints	100 MHz	Oui	AWG + DDS	GPIB/USB2/Ethernet	Emulation d'appareil obsolètes (8116/8112/8500...)
<b>Tegam (Equipement Scientifiques)</b>	2411B	1	2 Méch./s	16 bits	64 Kpoints	2 MHz	Oui		RS232 (standard) et GPIB (option)	Possède un pavé numérique
<b>Tektronix</b>	AFG3021B/3022B	1 ou 2	250 Méch./s	14 bits	128 Kpoints	25 MHz	Non	DDS	USB/LAN/GPIB	Générateur de fonctions + générateur arbitraire
	AFG3101/3102	1 ou 2	1 Géch./s	14 bits	16/128 Kpoints	100 MHz	Non	DDS	USB/LAN/GPIB	Générateur de fonctions + générateur arbitraire
	AFG3251/3252	1 ou 2	2 Géch./s	14 bits	16/128 Kpoints	240 MHz	Non	DDS	USB/LAN/GPIB	Générateur de fonctions + générateur arbitraire
	AWG5002B/5004B	2 ou 4	600 Méch./s	14 bits	16/32 Mpoints	240 MHz	Oui	AWG	LAN/GPIB	PC intégré
	AWG5012B/5014B	2 ou 4	1,2 Géch./s	14 bits	16/32 Mpoints	370 MHz	Oui	AWG	LAN/GPIB	PC intégré
	AWG7061B/7062B	1 ou 2	6 Géch./s	10/8 bits	32/64 Mpoints	2,4 GHz	Oui	AWG	LAN/GPIB	PC intégré
	AWG7121B/7122B	1 ou 2	12 Géch./s	10/8 bits	32/64 Mpoints	3,5 GHz	Oui	AWG	LAN/GPIB	PC intégré
<b>Toellner (Digan Electronique)</b>	TOE 7761	1	80 Méch./s	14 bits	1 Mpoints	40 MHz	Non	DDS	USB - [1], GPIB, et RS-232-Interface	
<b>TTI (MB Electronique)</b>	TGA 1241	1	0,1 Hz - 100 MHz	12 bits	4 - 65536 points	0,001 Hz - 16 MHz	Oui	Variable-clock	RS 232/GPIB	
	TGA 1242	2	0,1 Hz - 40 MHz	12 bits	4 - 65,536 points	0,001 Hz - 16 MHz	Oui	Variable-clock	RS 232/GPIB	
	TGA 1244	4	0,1 Hz - 40 MHz	12 bits de résolution verticale	4 - 65,536 points	0,001 Hz - 16 MHz	Oui	Variable-clock	RS 232/GPIB	
	TGA 12101	1	0,1 Hz - 100 MHz	12 bits	1 Mpoints	0,001 Hz - 50 MHz	Oui	Variable-clock	RS 232/GPIB/USB	
	TGA 12102	2	0,1 Hz - 100 MHz	12 bits	1 Mpoints	0,001 Hz - 50 MHz	Oui	Variable-clock	RS 232/GPIB/USB	
	TGA 12104	4	0,001 Hz - 50 MHz	12 bits	1 Mpoints	0,1 Hz - 100 MHz	Oui	Variable-clock	RS 232/GPIB/USB	
	TG1010A	1	27,48 MHz	10 bits	1 024 points	0,001 Hz - 10 MHz	Non	DDS	RS 232/GPIB	
	TG4001	1	0,1 Hz - 100 MHz	12 bits	65 536 points	0,001 Hz - 50 MHz	Non	Mixte	RS 232/GPIB	

→ Lorsque le téléchargement depuis un oscilloscope n'est pas envisageable, un générateur de "pattern" peut parfois soulager la tâche de l'utilisateur : on commence par entrer le premier point et l'on donne une relation arithmétique pour passer d'un point à un autre. Encore faut-il que la relation de récurrence existe dans le signal que l'on

cherche à reproduire. Pour les fonctions relativement classiques, les appareils comportent souvent une bibliothèque de fonctions pour mémoriser une courbe au moyen de seulement quelques paramètres clés de la fonction (rentrer un sinus en fonction de sa période et de son amplitude, par exemple). Mais pour tirer pleinement parti des capacités

de synthèse de ce type d'instrument, mieux vaut opter pour le logiciel d'édition graphique sur PC proposé généralement avec l'appareil. Là, l'utilisateur n'a plus aucune limitation dans la création de ses formes d'ondes. Il peut dessiner la forme de son signal à l'aide de la souris. C'est amusant mais guère précis. Il peut aussi réaliser des copier/coller,

peaufiner certaines zones à l'aide du zoom... Il peut également utiliser l'éditeur d'équations afin de générer des sinus cardinaux, des exponentielles, des paraboles, des impulsions numériques... Avec certains logiciels, il est possible de récupérer des formats de fichiers élaborés à partir de logiciels généralistes comme Matlab ou Excel. Une fois que la forme d'onde du signal a été bien définie sur l'écran du PC, il suffit de la télécharger dans la mémoire de l'appareil à l'aide d'un lien série, GPIB, USB ou encore Ethernet. Avec les logiciels d'édition, la forme des signaux n'est limitée que par l'imagination de l'utilisateur. Leur forme n'est effectivement pas limitée mais leur longueur l'est par la profondeur de mémoire disponible.

Afin de générer des signaux plus longs que la taille mémoire le permet, certains instruments intègrent un générateur de séquence ou séquenceur. Son rôle est de définir et de gérer l'exécution des boucles des différents segments qui composent une mémoire. Chaque segment stocke une partie du signal. Par le biais d'une table d'exécution, l'utilisateur définit l'ordre d'exécution des segments, le nombre de fois que chaque segment doit être répété et peut même intégrer des sauts conditionnels déclenchés sur un signal externe. Cette procédure évite de remplir la mémoire par autant de point que la séquence sera générée. « Chaque segment défini par l'utilisateur pourra être ainsi joué et rejoué dans tous les sens selon les exigences de l'application de test », résume Pierre-Marie Dubaille (Tektronix).

## La vitesse oblige à des compromis

Les séquenceurs n'offrent pas toutefois le même potentiel et le même degré de flexibilité. Les appareils exploitant la technologie traditionnelle dite DDS (Direct Digital Synthesis pour synthèse numérique directe) pour générer le signal présentent quelques limites. « Plus on va vite moins on peut utiliser de mémoire. Alors qu'avec les méthodes dites AWG (Arbitrary Waveform Generator) qui mettent en œuvre, comme les oscilloscopes mais dans un processus inverse, une mémoire, une horloge et un convertisseur, il est possible de générer des séquences à grande vitesse sans restriction de mémoire », explique Bruno Cohen (EADST&S).

Mais les vitesses élevées de génération obligent à d'autres compromis. Plus la cadence d'échantillonnage augmente plus la résolution du convertisseur numérique/analogique et l'amplitude des signaux de sorties seront réduits. Prenons l'exemple des appareils de Tektronix. Les modèles AFG3000 affichent pour une vitesse d'échantillonnage de



Pour créer le signal à générer, l'utilisateur peut saisir les valeurs correspondantes depuis la face avant de l'appareil. Mais pour tirer pleinement parti des capacités de ce type d'instrument, mieux vaut opter pour le logiciel d'édition graphique sur PC proposé généralement avec l'instrument. Là, l'utilisateur n'a plus aucune limitation dans la création de ses formes d'ondes.

2 Géch./s une résolution verticale de 14 bits et une amplitude maximale des signaux de 10 ou 20 Vpp (pic à pic). Pour une cadence d'échantillonnage de 24 Géch./s, la série AWG7000B propose une résolution de 10 bits et une tension de sortie de 2 Vpp. Autre exemple, chez Tabor, lorsque la fréquence d'échantillonnage passe de 50 Méch./s à 1,2 Géch./s le niveau de sortie descend de 32 Vpp à 2 Vpp. Mais pour les applications qui réclament des tensions d'excitation plus élevées rien n'empêche d'avoir recours à des amplificateurs externes présentant une bande passante compatible avec les signaux à traiter. On notera toutefois la spécificité des générateurs d'Ametek (anciennement Elgar) commercialisés par MB Electronique qui sont capables de délivrer une tension de sortie jusqu'à 156 V pour 16 A et 312 V pour 8 A. Leur bande passante est toutefois limitée à 18 kHz.



Les modèles dotés d'un seul canal de sortie sont les plus nombreux. Mais l'offre de générateur multivoie s'élargit. Les modèles 4 voies sont de plus en plus utilisés. Leurs voies indépendantes délivrent chacune un signal qui leur est propre.

On l'a vu, pour créer un signal, la méthode la plus pratique est d'employer un logiciel d'édition sur PC. Pour transférer le fichier de points ainsi réalisé vers le générateur, les solutions ne manquent pas. Les instruments les plus récents disposent d'un port USB parfois judicieusement placé en face avant afin d'y enficher une clé mémoire USB. D'autres modèles, comme le 7075 de Hioki, proposent encore un lecteur de disquette 3,5". Les TGA1210x de TTI acceptent eux une carte mémoire Compact Flash. Le HM8131-2 de Hameg offre également la possibilité de stocker les signaux sur une carte mémoire SRAM insérable en face avant. Pour les transferts des fichiers de points des signaux à générer ou pour piloter l'appareil par un PC, on retrouve comme sur la plupart des instruments électroniques les traditionnelles interfaces RS232 et GPIB (IEEE-488) ou les plus modernes ports USB ou Ethernet. Les générateurs de la famille AWG7000B et AWG5000B de Tektronix intègrent eux directement un PC. Mais leurs vitesses d'échantillonnage, leur profondeur mémoire et leur prix 24 600 euros pour le AWG5002B (600 Méch./s) et 57 100 euros pour le AWG7061B (6 Géch./s) les réservent naturellement à des applications exigeant de hautes performances.

Youssef Belgnaoui