

# Pratique de l'oscilloscope numérique

CAHIERS TECHNIQUES

>> EN **30** FICHES-OUTILS<<

Pierre Mayé

DUNOD

Tout le catalogue sur  
[www.dunod.com](http://www.dunod.com)



Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.

Le Code de la propriété intellectuelle du 1<sup>er</sup> juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements

d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour

les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée. Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du

droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).



© Dunod, 2015

5 rue Laromiguière, 75005 Paris

[www.dunod.com](http://www.dunod.com)

ISBN 978-2-10-074082-6

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Ces fiches de la collection « Cahiers techniques » sont consacrées aux **oscilloscopes numériques**. Elles sont destinées à tout utilisateur potentiel possédant quelques notions de base en génie électrique.

Le **mode d'emploi** de l'oscilloscope numérique est détaillé, ainsi que la description des principales **mesures** et **visualisations** qu'il est possible de réaliser. De nombreux **exemples**, puisés dans des domaines d'application variés, permettent au lecteur de mettre en pratique ses connaissances.

Ces **30 fiches-outils** sont des mémentos et ne constituent pas un cours sur les oscilloscopes numériques.

Les fiches-outils sont structurées en sections :

- **Objectif** : précise l'objectif de la fiche ;
- **Repères** : apporte les éléments techniques ;
- **Savoir-faire** : détaille l'activité ;
- **En pratique** : fournit des exemples.

Un index détaillé et intuitif clôt cet ouvrage.

# SOMMAIRE

|                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Avant-propos .....                                                                           | 3   |
| Les cahiers techniques, mode d'emploi .....                                                  | 7   |
| Présentation de l'oscilloscope numérique .....                                               | 8   |
| <br>                                                                                         |     |
| <b>Fiche 1</b> Liaisons entre un oscilloscope<br>et le circuit à étudier .....               | 14  |
| <b>Fiche 2</b> Masse et terre .....                                                          | 28  |
| <b>Fiche 3</b> Mesure d'une tension continue .....                                           | 36  |
| <b>Fiche 4</b> Influence de la résistance d'entrée<br>de l'oscilloscope .....                | 40  |
| <b>Fiche 5</b> Visualisation d'une tension périodique .....                                  | 44  |
| <b>Fiche 6</b> Mesure des paramètres d'une tension .....                                     | 48  |
| <b>Fiche 7</b> Visualisation de plusieurs tensions périodiques ....                          | 56  |
| <b>Fiche 8</b> Visualisation de la composante alternative<br>d'une tension .....             | 60  |
| <b>Fiche 9</b> Utilisation d'une sonde atténuatrice .....                                    | 68  |
| <b>Fiche 10</b> Influence de l'impédance d'entrée<br>de l'oscilloscope .....                 | 74  |
| <b>Fiche 11</b> Utilisation d'une sonde compensée .....                                      | 82  |
| <b>Fiche 12</b> Visualisation d'une tension non périodique .....                             | 90  |
| <b>Fiche 13</b> Visualisation d'une tension modulée .....                                    | 96  |
| <b>Fiche 14</b> Visualisation de la courbe d'un courant<br>à l'aide d'une résistance .....   | 102 |
| <b>Fiche 15</b> Visualisation d'un courant variable<br>à l'aide d'une sonde de courant ..... | 108 |
| <b>Fiche 16</b> Mesure de déphasage .....                                                    | 114 |
| <b>Fiche 17</b> Méthode de Lissajous .....                                                   | 120 |
| <b>Fiche 18</b> Relevé d'une caractéristique de transfert .....                              | 124 |
| <b>Fiche 19</b> Mesures de puissances .....                                                  | 128 |
| <b>Fiche 20</b> Utilisation du mode défilement .....                                         | 134 |
| <b>Fiche 21</b> Mesure d'une amplification .....                                             | 136 |

|                 |                                                                          |     |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Fiche 22</b> | Mesure d'une résistance d'entrée<br>et d'une capacité d'entrée .....     | 140 |
| <b>Fiche 23</b> | Mesure d'une résistance de sortie .....                                  | 150 |
| <b>Fiche 24</b> | Mesure d'une fréquence de coupure .....                                  | 154 |
| <b>Fiche 25</b> | Relevé d'une courbe de réponse en fréquence .....                        | 162 |
| <b>Fiche 26</b> | Mesure de la vitesse des ultrasons .....                                 | 166 |
| <b>Fiche 27</b> | Mesure de la vitesse d'une onde<br>électromagnétique dans un câble ..... | 172 |
| <b>Fiche 28</b> | Adaptation d'impédance dans un câble .....                               | 180 |
| <b>Fiche 29</b> | Utilisation de la synchronisation TV .....                               | 186 |
| <b>Fiche 30</b> | Analyse spectrale .....                                                  | 190 |
|                 | Index .....                                                              | 195 |



# LES CAHIERS TECHNIQUES, MODE D'EMPLOI

## Une signalétique claire

FICHE 1

### LIAISONS ENTRE UN OSCILLOSCOPE ET LE CIRCUIT À ÉTUDIER

Mise en avant  
de l'objectif  
de la fiche

#### Objectifs

Présenter les moyens pouvant être utilisés pour relier un oscilloscope et le circuit à étudier.

- Comparer les avantages et les inconvénients de ces différentes solutions.



#### REPERES

### Une partie Repères pour définir les bases



Figure 1.1  
Connecteur BNC  
d'une voie d'oscilloscope.

Un oscilloscope permet de visualiser des tensions en fonction du temps. La tension considérée est une voie, deux bornes, toujours sous la tension (figure 1.1).

BNC signifie Bayonet Neill-Connellman, du nom de ses inventeurs, Paul Neill, des laboratoires Bell, et Carl Connellman, de la société Amphenol.

La tension à observer est appliquée entre le conducteur central et le conducteur périphérique du connecteur BNC (figure 1.2).

#### Remarque

Il est également possible de visualiser d'autres grandeurs physiques comme les courants, mais seulement après les avoir converties en tensions.



Figure 1.2  
Tension appliquée à un connecteur BNC.

14

### Mesure d'une amplification

FICHE 21

L'amplification en tension  $A$  est le rapport de la valeur efficace  $V_s$  de la tension de sortie à la valeur efficace  $V_e$  de la tension d'entrée :

$$A = \frac{V_s}{V_e}$$

S'agissant d'un rapport, on peut utiliser les amplitudes  $V_{\text{eff}}$  et  $V_{\text{eff}}$  au lieu des valeurs efficaces :

$$A = \frac{V_{\text{eff}}}{V_{\text{eff}}}$$

$A$  est un paramètre sans dimension. L'amplification d'un amplificateur est strictement supérieure à 1.

#### Gain

On définit également le gain en tension  $G$  par :

$$G = 20 \lg \frac{V_s}{V_e}$$

Le gain est une grandeur sans dimension, mais on lui attribue une unité, le décibel (dB). Le gain d'un amplificateur est strictement positif.

© Dunod - Toute reproduction non autorisée est un délit.



#### SAVOIR-FAIRE

Pour mesurer l'amplification d'un amplificateur, son entrée est reliée à un générateur de signaux et sa sortie est branchée sur une résistance de charge (ou laissée en l'air quand on mesure une amplification à vide).

Un oscilloscope bicourbe permet de visualiser les tensions d'entrée et de sortie de l'amplificateur (figure 21.2).

#### Remarque

Pour un atténuateur, paramètre similaire, mais en inversant numérateur et dénominateur pour obtenir dans ce cas un nombre supérieur strictement positif : c'est l'affaiblissement (dont l'unité est également le décibel).

Des compléments  
d'information pour  
aller plus loin

#### Remarque

Pour un atténuateur, on définit un paramètre similaire, mais en inversant numérateur et dénominateur pour obtenir dans ce cas un nombre supérieur strictement positif : c'est l'affaiblissement (dont l'unité est également le décibel).

Une partie  
Savoir-faire  
qui détaille la  
mise en œuvre

OSCILLOSCOPE NUMÉRIQUE

PR

137

FICHE 10

### Influence de l'impédance d'entrée de l'oscilloscope

Tableau 10.1 Valeurs de  $|Z_i|$  pour diverses fréquences  $f$

| $f$ (Hz)     | 10    | 100 | 1 000 | 10 000 | 100 000 |
|--------------|-------|-----|-------|--------|---------|
| $ Z_i $ (kΩ) | 1 000 | 997 | 775   | 122    | 12,2    |

Nous constatons que le module de l'impédance d'entrée d'un oscilloscope diminue fortement avec la fréquence.

Quand on branche une voie d'oscilloscope entre deux points d'un circuit, il faut se préoccuper de l'éventuelle perturbation apportée. Dans les deux cas, la réponse est immédiate (par exemple pour un branchement en sortie d'un circuit intégré) car le dipôle vu des points de mesure est proche d'une source de tension. Par contre, dans certains cas, la réponse ne peut pas être donnée directement et il faut étudier le circuit de plus près.

La bande passante d'un oscilloscope ne peut que rarement être exploitée en totalité car elle est réduite par l'effet de la liaison entre l'appareil et le circuit à étudier qui forme un filtre passe-bas.

La fréquence de coupure correspondante dépend non seulement de l'oscilloscope et du câble de liaison, mais aussi de l'impédance du générateur de Thévenin vu des points de mesure.

Considérons un oscilloscope de résistance d'entrée  $R_i$  et de capacité d'entrée  $C_i$  relié par un câble coaxial de capacité  $C_c$  à des points entre lesquels le signal à visualiser  $u_e$  est disponible avec une résistance interne  $R_e$  (figure 10.3).

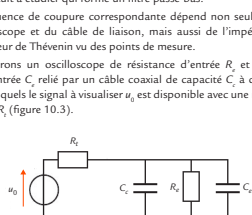


Figure 10.3 Schéma équivalent à un oscilloscope branché entre deux points.

Des banques  
de données pour aider  
au dimensionnement

#### Réduction de la bande passante

La bande passante d'un oscilloscope ne peut que rarement être exploitée en totalité car elle est réduite par l'effet de la liaison entre l'appareil et le circuit à étudier qui forme un filtre passe-bas.

La fréquence de coupure correspondante dépend non seulement de l'oscilloscope et du câble de liaison, mais aussi de l'impédance du générateur de Thévenin vu des points de mesure.

Considérons un oscilloscope de résistance d'entrée  $R_i$  et de capacité d'entrée  $C_i$  relié par un câble coaxial de capacité  $C_c$  à des points entre lesquels le signal à visualiser  $u_e$  est disponible avec une résistance interne  $R_e$  (figure 10.3).

76

### Relevé d'une courbe de réponse en fréquence

FICHE 25

- 1 On mesure la différence de phase  $\phi$  entre la tension de sortie et la tension d'entrée (c'est-à-dire le déphasage de la tension d'entrée par rapport à la tension de sortie), ce qui correspond à  $\arg H$ .
- 2 On place les points correspondants sur la feuille de papier semi-logarithmique.

Pour chaque point de mesure, il faut vérifier que le niveau de l'entrée change pas quand on modifie la fréquence (dans le cas contraire, retouche le réglage d'amplitude du générateur).

Il reste à tracer les deux courbes à partir des points relevés.

Des schémas clairs  
et complets



#### EN PRATIQUE

Reprenons comme exemple le filtre passe-bas du premier ordre déjà expérimenté dans la fiche 26 (figure 25.3).

### Une partie En pratique pour une application terrain

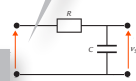


Figure 25.3  
Filtre passe-bas du premier ordre.

l'argument décroît de  $0^\circ$  à  $-90^\circ$  (figure 25.4).

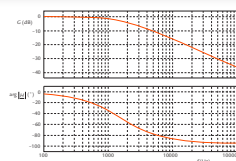


Figure 25.4 Diagramme de Bode du filtre passe-bas du premier ordre.

© Dunod - Toute reproduction non autorisée est un délit.

PRATIQUE DE L'OSCILLOSCOPE NUMÉRIQUE

165

# PRÉSENTATION DE L'OSCILLOSCOPE NUMÉRIQUE

Les oscilloscopes sont des appareils de visualisation des signaux électriques (tensions, courants) et de mesure de leurs paramètres : valeurs instantanées, valeurs efficaces, fréquences, déphasages...

## Historique et évolution

### *Premières découvertes*

Il est bien difficile de définir un inventeur de l'oscilloscope. Cet appareil découle de plusieurs découvertes de la fin du XIX<sup>e</sup> siècle :

- Vers 1878, le physicien et chimiste britannique William Crookes (1832-1919) invente le tube qui porte son nom. Ce dispositif expérimental est un élément fondamental dans la genèse de l'oscilloscope puisqu'il est à l'origine des tubes à rayons cathodiques.
- En 1893, le physicien français André Blondel (1863-1938) conçoit un appareil permettant de visualiser l'image d'un signal périodique grâce à un procédé optique : l'oscillographe galvanométrique. D'autres dispositifs mécaniques et optiques apparaissent à la même époque. Ces appareils d'emploi délicat ne concernent que des signaux lents.
- Le physicien allemand Karl Ferdinand Braun (1850-1918) conçoit en 1897 un appareil souvent considéré comme l'ancêtre de l'oscilloscope cathodique. C'est alors surtout une curiosité scientifique.

### *Oscilloscope analogique*

Perfectionné par de nombreux inventeurs, l'appareil de Braun est à l'origine des premiers oscilloscopes qui permettent la visualisation de signaux avec un tube cathodique vers 1930. L'oscilloscope est devenu véritablement un appareil de mesure à partir de la seconde guerre mondiale. Le dispositif s'est progressivement amélioré pour devenir l'outil de base de l'électronicien à partir des années 1960.

Une limite importante de l'oscilloscope analogique est de ne permettre que l'observation de tensions périodiques. Ce type d'appareil est aujourd'hui en voie d'extinction car il est supplanté par l'oscilloscope numérique qui offre des possibilités nettement plus étendues.

### *Oscilloscope numérique*

Les progrès de la technique numérique ont profondément modifié toute l'électronique à partir des années 1980. Le premier oscilloscope numérique a été développé par la société LeCroy en 1986.

C'est une révolution dans l'histoire des oscilloscopes car le principe est totalement différent de celui des oscilloscopes analogiques : la tension est numérisée puis mémorisée avant d'être traitée et affichée. Cela ouvre de nouvelles possibilités car il n'est plus nécessaire que le signal à visualiser soit périodique. Les performances de l'appareil restent toutefois inférieures à celles des oscilloscopes analogiques, en particulier pour l'observation de signaux périodiques de fréquence élevée. Les premiers oscilloscopes numériques sont chers et leur utilisation demande un certain apprentissage. L'appareil reste lourd et encombrant car la visualisation se fait toujours avec un tube cathodique.

Dans la dernière décennie du  $xx^e$  siècle, les oscilloscopes analogiques et les oscilloscopes numériques cohabitent. Certains modèles sont mixtes, c'est-à-dire analogiques ou numériques au choix de l'utilisateur. Les performances des oscilloscopes numériques s'améliorent et elles atteignent celles des appareils analogiques. Un tournant important est l'apparition des écrans à cristaux liquides qui conduisent à la réalisation d'oscilloscopes légers et peu encombrants. Cela permet d'étendre les domaines d'applications de ces appareils qui deviennent portables. L'emploi des oscilloscopes numériques s'est progressivement simplifié et les coûts ont baissé.

Aujourd'hui, les oscilloscopes numériques sont devenus des appareils très répandus, non seulement dans leur domaine d'utilisation traditionnel, l'électronique, mais aussi dans toutes les applications où il faut visualiser des grandeurs électriques : l'électrotechnique, l'automobile, la médecine, etc. Ils sont présents aussi bien dans les laboratoires de recherche que sur les chantiers.

### Constitution

La tension appliquée à l'entrée d'un oscilloscope est numérisée. Pour cela, l'appareil prélève périodiquement des valeurs du signal appelées **échantillons**.

Pour ne pas perdre d'information, il faut respecter le théorème de Shannon : la fréquence d'échantillonnage  $f_e$  doit être supérieure au double de la fréquence maximale  $f_{\max}$  du spectre du signal à échantillonner :

$$f_e > 2f_{\max}$$

Chaque échantillon est converti en mot numérique (en général sur 8 bits) par un convertisseur analogique-numérique. Les valeurs numériques des échantillons sont enregistrées dans une mémoire. Un processeur organise le traitement des données.

Beaucoup d'oscilloscopes possèdent deux voies pour permettre d'observer deux tensions avec un axe des temps commun (oscilloscopes bicourbes). Certains modèles disposent d'un plus grand nombre de voies.

L'affichage des courbes, des valeurs numériques et des paramètres s'effectue sur un écran à cristaux liquides (LCD : *Liquid Crystal Display*), peu encombrant et économe en énergie. Du fait de sa technologie numérique, un oscilloscope peut également facilement communiquer avec un ordinateur.

Des curseurs et des fonctions de mesures automatiques font de l'oscilloscope un appareil de mesure universel pouvant remplacer plusieurs instruments spécialisés.

Les paramètres essentiels d'un oscilloscope numérique sont :

- la bande passante ;
- la fréquence d'échantillonnage ;
- la capacité de la mémoire.

## Différents modèles

### *Oscilloscopes de laboratoire (appelés aussi oscilloscopes de table)*

Un oscilloscope de laboratoire est un appareil destiné à être utilisé à poste fixe. Son poids et son encombrement n'ont guère d'importance. L'appareil est alimenté par le secteur (figure 1).