
Rémy Mallard explique
les oscilloscopes
anciens et modernes
pour les débutants



publitronic

• **Droits de reproduction © 2019 – Publitrronic - Elektor International Media**

Toute reproduction ou copie, même partielle, de ce livre, et sur quelque support que ce soit, sans l'accord écrit de l'éditeur, est interdite.

Le code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit.

No part of this book may be reproduced, in any form or means whatsoever, without permission in writing from the publisher. While every precaution has been taken in the preparation of this book, the publisher and author assume no responsibility for errors or omissions. Neither is any liability assumed for damages resulting from the use of the information contained herein.

La protection du droit d'auteur s'étend aux illustrations, y compris aux circuits imprimés et aux projets y relatifs. En conformité avec l'article 30 de la Loi sur les brevets, les circuits mentionnés ne peuvent être exécutés qu'à des fins particulières ou scientifiques et non pas dans ou pour une entreprise ;

ces exécutions et/ou applications se font en dehors de toute responsabilité de l'éditeur.

Conformément au droit d'auteur, ce copyright ne s'applique pas à certains schémas reproduits dans ce livre à titre de citation et d'illustration des propos et de la démarche intellectuelle de l'auteur, avec l'aimable autorisation des ayants droit.

L'éditeur remercie d'avance le lecteur qui prendra la peine de lui signaler les erreurs éventuelles qui auront échappé à sa vigilance (écrire à redaction@elektor.fr).

• **ISBN 978-2-86661-208-5**

1^e édition — 1^{er} tirage - novembre 2019

Maquette : www.d-vision.nl | Julian van den Berg |

Imprimé aux Pays-Bas par Wilco

Remerciements	14
Chapitre 1 • Introduction	15
1.1 – Qu'est-ce qu'un oscilloscope ?	16
1.2 – Fonctionnement de base d'un oscilloscope analogique	20
1.2.1 – Synoptique (bloc-diagramme) général	20
1.2.2 – Tube électronique (tube cathodique, CRT)	21
1.2.3 – Amplificateurs	25
1.2.4 – Base de temps et balayage	26
1.2.5 – Double base de temps	37
1.2.6 – Les alimentations	39
1.2.7 – Oscilloscopes spéciaux (bicourbes, à mémoire, vidéo)	40
1.2.7.1 – Les oscilloscopes bicourbes (2 voies)	40
1.2.7.2 – Les oscilloscopes à mémoire	41
1.2.7.3 – Les oscilloscopes « vidéo »	41
1.3 – Caractéristiques de base d'un oscilloscope	42
1.3.1 – Sensibilité et échelle verticale	42
1.3.2 – Base de temps, balayage et échelle horizontale	44
1.3.3 – Bande passante	45
1.3.4 – Caractéristiques spécifiques aux oscilloscopes numériques	49
1.3.4.1 – Fréquence d'échantillonnage	49
1.3.4.2 – Nombre de bits et nombre effectif de bits (oscilloscope numérique)	53
1.3.4.3 – Capacité/profondeur mémoire (oscilloscope numérique)	54
1.3.4.4 – Taux de rafraîchissement (oscilloscope numérique)	58
Chapitre 2 • Sondes d'oscilloscope	60
2.1 – Qu'est-ce qu'une sonde ?	60
2.2 – Sécurité de l'utilisateur	64
2.3 – Sonde de tension passive	65
2.3.1 – Impédance et capacité	73
2.3.2 – Limite en fréquence	75
2.3.3 – Limite en tension	78
2.3.4 – Influence du fil de masse de la sonde	79
2.3.5 – Quand utiliser une sonde passive 1:10 ?	79

3.4 – Évaluation des besoins de l'utilisateur	114
3.4.1 – Lieu d'utilisation ?	115
3.4.2 – Nombre de signaux à visualiser en même temps ?	115
3.4.3 – Tension maximum appliquée à l'entrée de l'oscilloscope ?	116
3.4.4 – Fréquence maximale des signaux à visualiser ?	117
3.4.5 – Nature des signaux à visualiser (variables ou répétitifs) ?	117
3.4.6 – Affichage des signaux dans le domaine fréquentiel ?	117
3.5 – Évaluation des performances d'un oscilloscope	118
3.5.1 – Performances générales	118
3.5.1.1 – Bande passante	118
3.5.1.2 – Fréquence (ou taux) d'échantillonnage	119
3.5.1.3 – Résolution	119
3.5.1.4 – Profondeur mémoire	120
3.5.1.5 – Mémoire segmentée	121
3.5.1.6 – Rafraîchissement-écran	121
3.5.2 – Résolution d'affichage et type d'écran	121
3.5.3 – Ergonomie	121
3.5.4 – Autres « petits détails »	122
3.6 – Mise à jour du matériel ou du logiciel (oscilloscope numérique)	123
3.6.1 – Du logiciel... des bogues	123
3.6.2 – Mises à jour officielles et non officielles	123
3.6.3 – Maintenance et vérification métrologique (recalibrage)	124
3.7 – Oscilloscope d'occasion : une bonne affaire ?	124
3.8 – Conclusion	125
Chapitre 4 • Configuration de l'oscilloscope	127
4.1 – Installation et position d'utilisation	127
4.2 – Prise en main et visualisation d'une trace	127
4.2.1 – Prise en main - Aucune trace visible	130
4.2.2 – Prise en main - Trace visible, mais trait horizontal fixe	131
4.2.3 – Prise en main - Trace visible, signal carré (signal CAL) ou presque sinus (signal doigt) : youpi !	133
4.2.4 – Réglages à la mise en route	134

- 4.3 – Calibrage d’une sonde 134
 - 4.3.1 – Réglage LF (**Low Frequency**, basse fréquence). 135
 - 4.3.2 – Réglage HF (**High Frequency**, haute fréquence) 137
- 4.4 – Modes de couplage 137
 - 4.4.1 – Couplage DC (continu) 138
 - 4.4.2 – Couplage AC (alternatif) 139
 - 4.4.3 – Autres modes de couplage. 141
 - 4.4.3.1 – Couplage «GND», «GD», «0» (masse). 141
 - 4.4.3.2 – Filtrage HF / HF Reject (réjection haute fréquence) 141
 - 4.4.3.3 – Filtrage BF / LF Reject (réjection basse fréquence) 142
 - 4.4.3.4 – Invert (inversion de polarité) 142
- 4.5 – Modes de déclenchement. 142
 - 4.5.1 – Déclenchement manuel (NORM, NORMAL). 144
 - 4.5.2 – Déclenchement automatique (AT, AUTO, AUTO SETUP) 150
 - 4.5.3 – Déclenchement mono (MONO-COUP, ONE-SHOT, SINGLE). 150
 - 4.5.4 – Source et pente de déclenchement. 152
 - 4.5.5 – Autres types de déclenchement 157
 - 4.5.5.a – Déclenchement Vidéo TV 157
 - 4.5.5.b – Déclenchement sur signal externe (EXT) 159
 - 4.5.5.c – Déclenchement sur arrivée secteur (LINE) 159
 - 4.5.5.d – Largeur d’impulsions 160
 - 4.5.5.e – Intervalle 160
 - 4.5.5.f – Nombre d’impulsions 160
 - 4.5.5.g – Motifs numériques (Patern) 160
 - 4.5.5.h – Runt Pulse 160
 - 4.5.6 – HOLD-OFF (inhibition). 161
 - 4.5.7 – Mode Roll 161
- 4.6 – Réglages essentiels. 162
 - 4.6.1 – Réglage de la sensibilité d’entrée (échelle verticale) 162
 - 4.6.2 – Réglage de la base de temps 165
- 4.7 – Visualisation simultanée de plusieurs signaux. 168
 - 4.7.1 – Affichage de traces séparées (oscilloscope analogique) 168

4.7.1.1 – Affichage de deux signaux en mode découpé (CHOP)	168
4.7.1.2 – Affichage de deux signaux en mode alterné (ALT ou DUAL MODE)	169
4.7.2 – Affichage de traces combinées	170
4.7.2.1 – Affichage de deux signaux en mode Addition	170
4.7.2.2 – Affichage de deux signaux en mode Soustraction	172
4.7.3 – Affichage de traces calculées évoluées (autres que A+B ou A-B)	173
4.8 – Utilisation des curseurs (marqueurs) de mesure	174
4.9 – Fonctions « spéciales »	175
4.9.1 – Choix de l'impédance d'entrée	175
4.9.2 – Ajout d'une tension de décalage par l'oscilloscope	176
4.9.3 – Voies isolées	177
Chapitre 5 • Mesures élémentaires	178
5.1 – Mesure d'une tension	178
5.1.1 – Mesure d'une tension continue	181
5.1.2 – Mesure d'une tension alternative	190
5.1.3 – Mesure d'une tension continue de décalage (offset)	197
5.1.4 – Mesure de tensions de très faible valeur	202
5.2 – Mesures temporelles	204
5.2.1 – Mesure d'un intervalle de temps	205
5.2.2 – Mesure d'une période	208
5.2.3 – Mesure d'une fréquence	210
5.2.4 – Mesure d'un rapport cyclique	212
5.2.5 – Mesure de déphasage	214
5.2.6 – Mesure d'un temps de montée ou de descente	217
Chapitre 6 • Mesures et fonctions évoluées	223
6.1 – Avertissements	223
6.2 – Mesure de la tension du secteur	223
6.2.1 – Mesure avec une sonde différentielle	225
6.2.2 – Mesure avec un transformateur d'isolement	226
6.2.3 – Mesure avec un optocoupleur	227
6.3 – Mesures dans une alimentation secteur	228
6.3.1 – Mesure sur une alimentation secteur linéaire	228

6.3.2 – Mesure sur une alimentation secteur à découpage	229
6.3.3 – Mesure sur alimentation secteur sans transformateur	230
6.4 – Mesure de bruit	231
6.5 – Mesure en XY et figures de Lissajous.	235
6.5.1 – Mesure de déphasage entre deux signaux périodiques	239
6.5.2 – Affichage des caractéristiques d'un dipôle	240
6.6 – Valeurs calculées et traces calculées	246
6.6.1 – Valeurs calculées	246
6.6.2 – Courbes calculées.	248
6.7 – Analyse de protocole et décodage de données série (I2C, SPI, UART, etc.)	249
6.7.1 – Vérification de la validité électrique des signaux.	250
6.7.2 – Décodage de données série (généralités)	254
6.7.3 – Décodage de données série I2C	255
6.7.3.1 – Décodage manuel de données série I2C.	257
6.7.3.2 – Décodage automatique de données série I2C avec Picoscope 2204 .	257
6.7.3.3 – Décodage automatique de données série I2C avec Rigol DS1054Z	259
6.7.4 – Décodage de données série de données SPI	260
6.7.4.1 – Décodage manuel de données série SPI.	262
6.7.4.2 – Décodage automatique de données série SPI avec Picoscope 3204D-MSO	264
6.7.4.3 – Décodage automatique de données série SPI avec Rigol DS1054Z. .	265
6.7.5 – Décodage de données série UART/RS232.	266
6.7.5.1 – Décodage manuel de données série UART/RS232	267
6.7.5.2 – Décodage automatique de données série UART/RS232 avec Picoscope 2204 ou 3204	268
6.7.5.3 – Décodage automatique de données série UART/RS232 avec Rigol DS1054Z	271
6.7.6 – Décodage de données série sur bus différentiel	273
6.8 – Analyse spectrale	274
6.9 – Mesures et fonctions spécifiques.	277
6.9.1 – Mesure de puissance.	277
6.9.2 – Mesure d'impédance d'un dipôle.	278
6.9.3 – Mesure de bande passante (réponse amplitude-fréquence)	281

6.9.3.1 – Mesure de bande passante en mode point par point	283
6.9.3.2 – Mesure de bande passante en mode wobulation	284
6.9.4 – Mesure de jitter (gigue)	285
6.9.5 – Diagramme de l’œil	287
6.9.6 – Totaliseur/compteur d’événements	291
6.9.7 – Générateur de fonction intégré.	291
6.9.8 – Interface de communication.	292
6.9.9 – Écran tactile.	293
6.9.10 – Contrôle par la voix.	293
6.9.11 – Enregistrement des données (traces-écrans et configuration)	294
6.9.11.1 – Enregistrement des courbes affichées	294
6.9.11.2 – Enregistrement de la configuration de l’oscilloscope.	295
6.9.12 – Vérification d’une télécommande à infrarouge	296
6.9.13 – À la découverte de signaux inconnus...	296
Chapitre 7 • Exercices (et solutions)	298
7.1 – Exercice 1	298
7.2 – Exercice 2	299
7.3 – Exercice 3	300
7.4 – Exercice 4	301
7.5 – Exercice 5	302
7.6 – Exercice 6	303
7.7 – Exercice 7	304
7.8 – Exercice 8	304
7.9 – Exercice 9	304
7.10 – Exercice 10	305
7.x – Solution des exercices	305
7.x.1 – Solution de l’exercice 1	305
7.x.2 – Solution de l’exercice 2	305
7.x.3 – Solution de l’exercice 3	305
7.x.4 – Solution de l’exercice 4	306
7.x.5 – Solution de l’exercice 5	307

7.x.6 – Solution de l'exercice 6	307
7.x.7 – Solution de l'exercice 7	308
7.x.8 – Solution de l'exercice 8	308
7.x.9 – Solution de l'exercice 9	309
7.x.10 – Solution de l'exercice 10	309
Chapitre 8 • Les générateurs de signaux	311
8.1 – Caractéristiques principales	312
8.1.1 – Technologie employée	312
8.1.2 – Type de signal	312
8.1.3 – Fréquence du signal	314
8.1.4 – Amplitude du signal	315
8.1.5 – Types de sortie et protections	317
8.1.6 – Caractéristiques propres aux générateurs numériques	320
8.1.7 – Modulations (AM, FM, sweep).	322
8.1.8 – Choix d'un générateur de signaux	324
8.2 – Utilité (et utilisation) d'un générateur de signal	325
8.2.1 – Mesure de bande passante	326
8.2.2 – Mesure de distorsion	326
8.2.3 – Stimulus avec signaux non permanents.	327
8.2.4 – Validation du comportement d'un étage logique ou analogique	329
8.2.5 – Vérification des protections d'un circuit	329
8.2.6 – Simulation de capteurs analogiques	330
Annexe 1 • Sécurité électrique	331
Annexe 2 • Numérisation d'un signal.	334
A2.1 – Pourquoi numériser un signal analogique ?	334
A2.2 – Conversion analogique numérique (numérisation).	335
A2.3 – Fréquence d'échantillonnage (en hertz)	337
A2.4 – Quantification (en bits) et résolution	341
A2.5 – Conversion numérique analogique	344
Annexe 3 • Glossaire	348
Annexe 4 – Détournements inadmissibles	354

A4.1 – Transformer un téléviseur en oscilloscope	354
A4.2 – Transformer un oscilloscope en téléviseur...	354
A4.3 – Transformer un oscilloscope en phasemètre audio	356
A4.4 – Transformer un oscilloscope en analyseur de spectre.	357
Annexe 5 • Photographie des oscillogrammes sur oscilloscope analogique	359
Annexe 6 • Fabriquer soi-même une sonde ?	360
A6.1 – Fabriquer soi-même une sonde passive ?.	360
A6.2 – Fabriquer soi-même une sonde active ?.	362
A6.3 – Fabriquer soi-même une sonde différentielle ?	363
Annexe 7 • Petits trucs cachés.	365
Bande passante ?	365
Dans le haut de la bande passante...	365
Dans le bas de la bande passante...	365
En-dehors de la bande passante...	365
Résolution verticale ?.	366
Résolution supérieure à 8 bits avec CAN 8 bits ?	367
Taux de rafraîchissement (<i>update rate</i>)	368
Tension d'entrée maximale.	368
Autres...	368
Limitation de bande passante automatique	368
Limitation de bande passante par logiciel	369
Annexe 8 • Liens utiles	370
Index	372