

# LE SIMULATEUR **LTspice IV**

Manuel, méthodes et applications



# LE SIMULATEUR **LTspice IV**

Manuel, méthodes et applications

**Gilles Brocard**

Ingénieur et formateur en électronique

Préface de Mike Engelhardt

2<sup>e</sup> édition

DUNOD

Cet ouvrage a été traduit et publié en anglais sous le titre  
*The LTspice IV Simulator ; Manual, methods and applications*

Une traduction en allemand est également disponible.

Vous pouvez vous les procurer en vous connectant  
sur le site de la société Würth Elektronik à l'adresse suivante :  
[www.we-online.com/ltspace-book](http://www.we-online.com/ltspace-book)

Illustration de couverture : Gilles Brocard

Toutes les marques citées dans cet ouvrage sont des  
marques déposées par leurs propriétaires respectifs.

<p>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.</p> <p>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</p>		<p>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.</p> <p>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).</p>
--	---	--

© Dunod, Paris, 2011, 2013  
ISBN 978-2-10-058827-5

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.

# PRÉFACE

---

Préface de la première édition

*It is an honor to write a preface for Gilles Brocard. I appreciate his work writing this book and hope you benefit from his labors.*

*LTspice has been fun to write. It let me implement a number of numerical methods that make LTspice better than traditional SPICE programs : a new numerical integration method, node reduction, a native circuit element that behaves like a power MOSFET, and new time step size control to name a few.*

*The biggest recent advance in LTspice was when it went multi-threaded in 2008. We found it easy to distribute the computations over multiple cores but challenging to make the simulation actually run faster. The problem was that the LTspice object code had been so optimized (much had already been implemented in optimized assembly language) that it didn't take very many microseconds per timestep and that was a short time compared to how well one can synchronize multiple threads. That's when we developed a means to dynamically adjust each threads' cache size to stochastically cool the threads to keep the work load spread evenly. Another important technique introduced at that time was code generation that generates an assembly listing optimized for your circuit. Then that code is assembled and linked by LTspice for execution. This self-authoring code is generated typically every few seconds during the simulation to help your circuit execute close to the theoretical flop limit of a modern CPU. That's why LTspice IV is fast.*

*But all this is for a purpose. I believe SPICE has impacted mankind more than any other simulator. Writing a better SPICE is important. LTspice offers you the ability to rapidly prototype your designs so that you understand them better and even develop intuition.*

Mike ENGELHARDT  
Manager of Simulation Development  
Linear Technology Corporation  
Avril 2011



# Table des matières

<b>Préface</b> .....	V
<b>Avant-propos</b> .....	XXV
<b>Chapitre 1 – Présentation de LTspice IV et historique</b> .....	1
1.1 Réalisation d'une simulation avec LTspice IV .....	1
1.1.1 <i>Trois étapes élémentaires</i> .....	1
1.1.2 <i>Analyse des résultats</i> .....	3
1.2 Petite histoire de LTspice IV .....	3
1.2.1 <i>CANCER – 1969 à 1971</i> .....	3
1.2.2 <i>SPICE1 – 1972 à 1974</i> .....	4
1.2.3 <i>SPICE2 – 1975 à 1983</i> .....	4
1.2.4 <i>SPICE3 – 1984 à 1990</i> .....	5
1.2.5 <i>Naissance de LTspice - 1990-2007</i> .....	5
1.2.6 <i>Version LTspice IV depuis fin 2008</i> .....	6
1.3 Quels sont les principaux avantages de LTspice IV ? .....	7
1.4 Ce que LTspice IV sait faire .....	8
1.5 Ce que LTspice IV ne sait pas faire .....	10
1.6 Conclusion .....	11

<b>Chapitre 2 – Fichiers fournis avec LTspice IV</b> .....	13
2.1 Installation de LTspice IV .....	13
2.1.1 <i>Configuration informatique requise</i> .....	13
2.1.2 <i>Téléchargement de LTspice IV</i> .....	13
2.2 Comment fonctionne LTspice IV .....	15
2.3 Les éditeurs de LTspice IV .....	16
2.4 Les fichiers d'accompagnement .....	17
2.4.1 <i>Les modèles, sous-circuits, macromodèles et bibliothèques de composants</i> ...	18
2.4.2 <i>Les exemples d'applications</i> .....	18
2.5 Extensions des fichiers LTspice IV .....	24
<b>Chapitre 3 – Fonctionnement et premier exemple</b> .....	29
3.1 Première utilisation de LTspice IV .....	29
3.2 Fonctionnement de LTspice IV .....	30
3.3 Les menus de la phase de démarrage de LTspice IV .....	31
3.3.1 <i>Menu File (Fichier)</i> .....	32
3.3.2 <i>Menu View (Affichage)</i> .....	32
3.3.3 <i>Menu Tools (Outils)</i> .....	33
3.3.4 <i>Menu Help (Aide) : commun à toutes les étapes de l'utilisation de LTspice IV</i>	33
3.3.5 <i>Le menu contextuel de la page de démarrage</i> .....	34
3.4 Un exemple détaillé étape par étape .....	35
3.4.1 <i>La saisie du schéma</i> .....	37
3.4.2 <i>La saisie des paramètres des composants</i> .....	45
3.4.3 <i>La saisie des paramètres de la simulation</i> .....	51
3.4.4 <i>Premières mesures fréquentielles</i> .....	53
3.4.5 <i>Mesures temporelles</i> .....	54
3.4.6 <i>Mesures de FFT</i> .....	57
3.4.7 <i>Mesures de la distorsion harmonique</i> .....	58
3.4.8 <i>Amplitudes maximales avant écrêtage</i> .....	60
3.4.9 <i>Agrandissements d'une partie de la courbe pour faire apparaître un défaut</i>	63
3.4.10 <i>Pour conclure cette première approche</i> .....	65

<b>Chapitre 4 – Éditeur graphique de schémas</b> .....	67
4.1 Les commandes de LTspice IV .....	67
4.2 L'éditeur graphique de schémas .....	67
4.2.1 <i>Menu File (Fichier)</i> .....	69
4.2.2 <i>Menu Edit (Editeur)</i> .....	71
4.2.3 <i>Menu Hierarchy (Organisation de la hiérarchie)</i> .....	74
4.2.4 <i>Menu View (Affichage)</i> .....	74
4.2.5 <i>Menu Simulate (Simulation)</i> .....	77
4.2.6 <i>Menu Tools (Outils)</i> .....	78
4.2.7 <i>Menu Window (Gestion des fenêtres d'affichage)</i> .....	79
4.2.8 <i>Menu Help (Aide)</i> .....	80
4.2.9 <i>Menu contextuel de l'éditeur graphique de schémas</i> .....	80
4.3 Bases de données de composants .....	81
4.4 Saisie d'un nouveau schéma .....	82
4.4.1 <i>Ouvrir l'éditeur graphique de schémas</i> .....	82
4.4.2 <i>Placer les premiers éléments sur la page du schéma</i> .....	82
4.4.3 <i>Les principales commandes de l'éditeur de schéma</i> .....	84
4.4.4 <i>Interconnecter les éléments du schéma</i> .....	87
4.4.5 <i>Saisir la valeur ou la référence d'un composant</i> .....	88
4.4.6 <i>Saisir les valeurs d'un composant avec l'éditeur d'attributs</i> .....	90
4.4.7 <i>Enrichir le schéma (optionnel)</i> .....	92
4.4.8 <i>Ajouter la simulation, la source et des directives (optionnelles)</i> .....	93
4.4.9 <i>Enregistrer votre schéma</i> .....	94
4.4.10 <i>Lancer la simulation</i> .....	94
4.5 Incorporation d'un BUS de câblage .....	94
4.6 Rappel des règles d'utilisation de l'éditeur de schémas .....	96
4.7 Exportation d'un schéma .....	98
<b>Chapitre 5 – Syntaxe et éditeur de composants</b> .....	99
5.1 Règles syntaxiques générales sous LTspice IV .....	99
5.2 Éditeurs de valeurs de composants .....	102

5.3	Procédures pour accéder aux modèles usuels ou complexes des composants	106
5.3.1	<i>Modifications des valeurs courantes d'un composant</i> . . . . .	106
5.3.2	<i>Affichage des attributs et modification des valeurs d'un composant</i> . . . . .	111
5.4	Attribution des lignes de l'éditeur d'attributs . . . . .	112
5.5	Affichage des attributs d'un composant utilisant deux modèles . . . . .	114
<b>Chapitre 6 – Éditeur de symboles et liens hiérarchiques</b> . . . . .		117
6.1	Menu éditeur de symboles . . . . .	117
6.1.1	<i>Menu File (Fichier)</i> . . . . .	118
6.1.2	<i>Menu Edit (Fichier)</i> . . . . .	118
6.1.3	<i>Menu Hierarchy (Hiérarchie)</i> . . . . .	118
6.1.4	<i>Menu Draw (Dessin)</i> . . . . .	119
6.1.5	<i>Menu View (Affichage)</i> . . . . .	119
6.1.6	<i>Menu Tools (Outils)</i> . . . . .	119
6.1.7	<i>Menu Window (Gestion des fenêtres d'affichage)</i> . . . . .	120
6.1.8	<i>Menu Help (Aide)</i> . . . . .	120
6.1.9	<i>Le menu contextuel de l'éditeur de symboles</i> . . . . .	120
6.2	Première étape, dessiner le corps du symbole . . . . .	120
6.3	Deuxième étape, ajouter des bornes de raccordement . . . . .	121
6.4	Troisième étape, ajouter ou modifier des attributs . . . . .	121
6.5	Les appels possibles à partir d'un symbole . . . . .	122
6.6	Attributs visibles attachés au symbole . . . . .	125
6.7	Génération automatique de symboles à partir d'une partie de schéma . . . . .	126
6.8	Génération automatique de symboles à partir d'une Netlist . . . . .	127
6.9	Liens hiérarchiques avec LTspice IV . . . . .	131
6.10	Règles d'utilisation de la hiérarchie . . . . .	132
6.11	Règles à respecter pour la construction hiérarchique . . . . .	133
6.12	Les commandes du menu Hierarchy . . . . .	135
6.13	Exemple : déroulement d'une construction hiérarchique simple à 2 niveaux	136
6.13.1	<i>Écran numéro 1 : un modèle de sous-circuit</i> . . . . .	136

6.13.2	<i>Écran numéro 2 : un schéma secondaire</i> .....	137
6.13.3	<i>Écran numéro 3 : le schéma principal</i> .....	137
6.13.4	<i>Écran numéro 4 : une simulation du schéma principal</i> .....	138
6.14	Exportation du répertoire Hierarchy .....	138
6.15	Interactivité entre le niveau bas et le niveau haut .....	139
<b>Chapitre 7 – Éditeur de Netlists</b> .....		141
7.1	Origine historique des Netlists .....	141
7.2	La Netlist, un passage obligé .....	141
7.3	Structure, syntaxe et conventions des Netlists .....	142
7.4	Exemple de Netlist .....	142
7.5	Menus de l'éditeur de Netlists .....	143
7.5.1	<i>Menu Edit (Fichier)</i> .....	144
7.5.2	<i>Menu View (Affichage)</i> .....	144
7.5.3	<i>Menu Simulate (Simulation)</i> .....	144
7.5.4	<i>Le menu contextuel de l'éditeur de Netlists</i> .....	145
7.6	La rédaction d'une Netlist .....	145
7.7	Syntaxe du fichier Netlist <i>.cir</i> , <i>.net</i> ou <i>.sp</i> .....	147
7.8	Comment ouvrir l'éditeur de Netlists à partir d'un schéma .....	147
7.9	Exécution d'une Netlist .....	150
7.10	Exportation d'une Netlist correspondant à un schéma .....	151
7.11	Commandes systèmes utilisées dans les Netlists .....	151
<b>Chapitre 8 – Éditeur graphique de mesures, oscilloscope virtuel et FFT</b> .....		153
8.1	L'afficheur de courbes de LTspice IV .....	153
8.1.1	<i>Affichage des résultats du calcul de la simulation</i> .....	153
8.1.2	<i>Comment sélectionner des points de mesures sur votre schéma ?</i> .....	153
8.2	Comment afficher une mesure sur l'oscilloscope virtuel ? .....	154
8.2.1	<i>Visualiser une tension référencée à la masse</i> .....	154
8.2.2	<i>Visualiser un courant</i> .....	154
8.2.3	<i>Visualiser une tension différentielle (non référencée à la masse)</i> .....	155

8.2.4	<i>Effacer les traces précédentes</i> .....	155
8.2.5	<i>Effacer sélectivement une ou plusieurs traces</i> .....	155
8.2.6	<i>Afficher la puissance instantanée</i> .....	156
8.2.7	<i>Afficher la puissance moyenne, l'intégrale de l'énergie sur la période affichée</i>	156
8.2.8	<i>Afficher la tension ou le courant moyen sur la période affichée ou la valeur efficace (RMS)</i> .....	157
8.3	Utilisation des menus .....	157
8.3.1	<i>Éditeur de l'oscilloscope virtuel et de l'analyseur FFT</i> .....	158
8.3.2	<i>Menu File (Fichier)</i> .....	158
8.3.3	<i>Menu View (Affichage)</i> .....	159
8.3.4	<i>Menu Plot Settings (Paramétrage de l'oscilloscope virtuel)</i> .....	160
8.3.5	<i>Menu Simulation (Lancement de la simulation)</i> .....	163
8.3.6	<i>Menu Tools (Outils)</i> .....	163
8.3.7	<i>Menu Window (Fenêtre)</i> .....	164
8.3.8	<i>Menu Help (Aide)</i> .....	164
8.3.9	<i>Le menu contextuel de l'oscilloscope virtuel</i> .....	164
8.4	Choisir les mesures à afficher .....	165
8.5	Ajouter une trace ou un écran supplémentaire .....	166
8.5.1	<i>Ajouter une trace supplémentaire</i> .....	166
8.5.2	<i>Ajouter un écran supplémentaire</i> .....	168
8.6	Fonctions Zoom .....	169
8.7	Opérations mathématiques dans l'oscilloscope virtuel .....	169
8.8	Demander le calcul d'une expression mathématique .....	170
8.9	Fonctions définies par l'utilisateur .....	174
8.10	Modifications des échelles des axes .....	175
8.10.1	<i>Échelles des axes verticaux</i> .....	175
8.10.2	<i>Échelles de l'axe horizontal</i> .....	176
8.11	Utilisation de l'oscilloscope virtuel en mode X-Y .....	177
8.12	Le menu contextuel et les échelles .....	178
8.13	Autres paramétrages des échelles .....	178
8.13.1	<i>Échelle verticale gauche</i> .....	179

8.13.2	<i>Affichage de la phase seule</i> .....	180
8.13.3	<i>Échelle verticale droite</i> .....	180
8.14	Gestion de l'oscilloscope virtuel multitraces .....	181
8.15	Informations concernant les traces de l'oscilloscope virtuel .....	183
8.16	Autres aménagements des traces de l'oscilloscope virtuel .....	184
8.17	Contrôles des couleurs de l'oscilloscope virtuel .....	185
8.18	Deux curseurs de mesures .....	187
8.19	Affichage des coordonnées dans le bandeau bas .....	190
8.20	Enregistrer la configuration de l'oscilloscope virtuel .....	191
8.21	Accélération du chargement des fichiers .....	192
8.22	Mémoire RAM et espace d'adressage .....	193
<b>Chapitre 9 – Les directives de paramétrage des simulations</b> .....		195
9.1	Définition d'une directive de simulation .....	195
9.1.1	<i>L'éditeur de directives de simulation</i> .....	195
9.1.2	<i>Syntaxe des directives de simulation</i> .....	196
9.1.3	<i>Première règle de syntaxe</i> .....	197
9.1.4	<i>Deuxième règle de syntaxe</i> .....	197
9.1.5	<i>Troisième règle de syntaxe</i> .....	199
9.1.6	<i>Il ne faut jamais oublier un paramètre obligatoire</i> .....	200
9.2	.options paramètres modifiant l'exécution d'une simulation .....	201
9.3	.ic fixer les conditions initiales pour une simulation temporelle .....	205
9.4	.savebias enregistrer un point de fonctionnement DC .....	206
9.5	.loadbias charger un point de fonctionnement DC .....	207
9.6	.net calcul des paramètres d'un réseau avec une simulation AC .....	207
9.7	.nodeset conditions initiales pour l'analyse DC .....	208
<b>Chapitre 10 – Les six simulations principales</b> .....		211
10.1	Présentation des six simulations principales .....	211
10.1.1	<i>Simulations DC (continues)</i> .....	211

10.1.2	<i>Simulations AC (fréquentielles)</i> .....	212
10.1.3	<i>Simulations de circuit non linéaire</i> .....	212
10.1.4	<i>Caractéristiques des simulations</i> .....	213
10.2	Critères de choix concernant les simulations .....	214
10.2.1	<i>Si la seule source d'excitation du circuit est une tension continue</i> .....	214
10.2.2	<i>La seule source d'excitation du circuit est une tension alternative de faible amplitude</i> .....	215
10.2.3	<i>La seule source d'excitation du circuit est une tension alternative de grande amplitude (ou toute autre action mettant en œuvre la non-linéarité des composants du circuit)</i> .....	215
10.3	.op – simulation d'un point de polarisation continu .....	216
10.4	.dc – simulation continue avec balayage (une à trois sources) .....	218
10.5	.tf – simulation de la fonction de transfert (gain, impédance d'entrée et de sortie) .....	219
10.6	.ac – simulation d'un signal AC autour d'un point de polarisation .....	220
10.7	.noise – simulation de bruit .....	221
10.8	.temp – simulation d'un balayage de température .....	223
10.9	.tran – simulation temporelle (non linéaire) .....	225
10.10	Paramétrages de la simulation temporelle .tran .....	227
10.10.1	<i>Attention à la valeur de Maximum Timestep</i> .....	228
10.10.2	<i>Paramètre uic (simulation temporelle)</i> .....	232
10.10.3	<i>Paramètre startup (simulation temporelle)</i> .....	232
10.10.4	<i>Paramètre steady (simulation temporelle)</i> .....	234
10.10.5	<i>Paramètre .nodiscard (simulation temporelle)</i> .....	235
10.10.6	<i>Paramètre .step (simulation temporelle)</i> .....	236
10.11	.four – éditer les harmoniques sous forme numérique .....	239
10.11.1	<i>Comment fonctionne l'analyse FFT</i> .....	240
10.11.2	<i>Conditions à remplir pour obtenir une analyse FFT représentative</i> .....	243
10.11.3	<i>Influence des paramètres Stop Time et Timestep sur la FFT</i> .....	253
10.12	Simulations statistiques Monte-Carlo .....	254
10.12.1	<i>Première étape</i> .....	256
10.12.2	<i>Deuxième étape</i> .....	256

10.12.3	Troisième étape .....	257
10.12.4	Remarque concernant la méthode Monte-Carlo .....	258
10.13	Paramétrage des simulations .....	258
<b>Chapitre 11 – Mesures numériques, téléchargement, enregistrement et modèles</b>		<b>261</b>
11.1	Récupération des mesures sous forme numérique .....	261
11.1.1	La récupération des fichiers de mesures sous forme numérique .....	261
11.1.2	Déclaration de variables .....	261
11.2	.meas – afficher numériquement des valeurs de mesures .....	262
11.2.1	Premier type de mesures : pour un seul point d'abscisse .....	262
11.2.2	Exemples d'utilisation de .meas pour un seul point d'abscisse .....	266
11.2.3	Deuxième type de mesure : pour un intervalle entre deux points de l'axe des abscisses .....	267
11.2.4	Exemples d'utilisation des paramètres rise, fall, last et cross .....	269
11.2.5	Cas d'une simulation NOISE .....	276
11.2.6	Création d'un script de mesure : Nom-de-fichier.meas .....	276
11.2.7	Précision des résultats fournis par la commande .meas .....	281
11.3	.param – variables et paramètres .....	283
11.4	.step – intervalles paramétrables .....	285
11.5	.func – les fonctions utilisateurs .....	292
11.6	Rapport d'efficacité d'un convertisseur DC-DC : steady .....	292
11.7	.ferret – télécharger un fichier sur Internet .....	293
11.8	.global – déclaration générale .....	294
11.9	.save – limitation de la quantité de données sauvegardées .....	294
11.10	.wave – transformer le signal de sortie en .wav .....	295
11.11	Paramétrage de la valeur d'un composant avec la commande .param .....	296
11.12	.model – définir un modèle SPICE .....	297
11.13	.subckt – définir un sous-circuit .....	298
11.14	.include – inclure une nouvelle bibliothèque .....	299
11.15	.lib – bibliothèque de modèles ou de sous-circuits .....	300

<b>Chapitre 12 – Importation de modèles de composants</b> .....	303
12.1 LTspice IV a-t-il besoin de télécharger des modèles de composants ? .....	303
12.2 Macromodèles et modèles .....	303
12.3 Sous-circuits .....	304
12.4 Bibliothèques de modèles .....	304
12.5 Un modèle de composant est constitué de deux éléments .....	305
12.6 Symboles d’appel de composants .....	306
12.7 Téléchargements d’un modèle de composant .....	306
12.8 Trois extensions pour trois manières d’ajouter des composants .....	307
12.9 Un symbole peut appeler plusieurs éléments .....	307
12.10 Bibliothèques de modèles .....	307
12.10.1 <i>Comment le compilateur détecte-t-il l’utilisation d’un modèle plutôt que                   d’un autre ?</i> .....	309
12.10.2 <i>Chaque composant a plusieurs modèles possibles</i> .....	310
12.11 Modèles .....	310
12.12 Exemple : bibliothèques de sous-circuits 74htc.lib .....	310
12.13 Exemple : transistor bipolaire Darlington MJ11015 .....	311
12.13.1 <i>Première étape, téléchargement</i> .....	312
12.13.2 <i>Deuxième étape, création automatique du symbole</i> .....	314
12.13.3 <i>Troisième étape, adaptation du symbole</i> .....	314
12.14 Exemple : un amplificateur opérationnel, le TL071 .....	316
12.15 Comment créer un sous-circuit ? .....	320
12.16 Les étapes de la création d’un nouveau sous-circuit .....	321
12.17 Exemple illustré de création de sous-circuit .....	322
<b>Chapitre 13 – Éditeur des sources de tension et de courant</b> .....	329
13.1 Deux types de sources et deux éditeurs .....	329
13.2 Il existe deux grands types de sources, dépendantes ou indépendantes .....	330
13.3 Toute simulation nécessite la présence d’une source indépendante .....	331

13.4	Comment placer une source dans un schéma . . . . .	332
13.4.1	<i>Trois sources indépendantes . . . . .</i>	333
13.4.2	<i>Neuf sources dépendantes, six linéaires et trois non linéaires . . . . .</i>	334
13.4.3	<i>Deux sources dépendantes (obsolètes) . . . . .</i>	334
13.5	Sources indépendantes . . . . .	335
13.6	V – source de tension indépendante (STNC) . . . . .	335
13.6.1	<i>Source de tension PULSE (pulsée) . . . . .</i>	336
13.6.2	<i>Source de tension SINE (sinusoïdale) . . . . .</i>	336
13.6.3	<i>Source de tension EXP (exponentielle) . . . . .</i>	336
13.6.4	<i>Source de tension SFFM (modulée en fréquence) . . . . .</i>	337
13.6.5	<i>Source arbitraire de tension modulée par une commande PWL . . . . .</i>	337
13.6.6	<i>Source de courant modulée par un fichier .wav . . . . .</i>	337
13.7	I – source de courant indépendante (SCNC) . . . . .	338
13.7.1	<i>Source de courant PULSE (pulsée) . . . . .</i>	339
13.7.2	<i>Source de courant SINE (sinusoïdale) . . . . .</i>	339
13.7.3	<i>Source de courant EXP (exponentielle) . . . . .</i>	339
13.7.4	<i>Source de courant SFFM (modulée en fréquence) . . . . .</i>	339
13.7.5	<i>Sources de courant modulées . . . . .</i>	340
13.8	Load – charge active indépendante (SCCV) . . . . .	341
13.9	L'éditeur de sources indépendantes . . . . .	342
13.9.1	<i>Paramétrage du balayage de la fréquence d'une source indépendante pour une simulation AC . . . . .</i>	344
13.9.2	<i>Paramétrages des sources indépendantes pour une simulation continue DC (petites amplitudes) . . . . .</i>	345
13.9.3	<i>Paramétrages des sources indépendantes pour une simulation alternative AC (petites amplitudes) . . . . .</i>	348
13.9.4	<i>Paramétrages des sources indépendantes pour une simulation temporelle (grandes amplitudes) . . . . .</i>	352
13.10	Sources indépendantes . . . . .	369
13.11	E – source de tension dépendante en tension (STCT) . . . . .	369
13.11.1	<i>Premier modèle : la fonction de transfert est une constante . . . . .</i>	370
13.11.2	<i>Deuxième modèle : la fonction de transfert est une table de couples de valeurs . . . . .</i>	372

13.11.3	<i>Troisième modèle : la fonction de transfert est une transformée de Laplace en paramètre S</i> .....	373
13.12	F – source de courant commandée en courant (SCCC) .....	374
13.13	G – source de courant commandée en tension (SCCT) .....	378
13.13.1	<i>Premier modèle</i> .....	379
13.13.2	<i>Deuxième modèle</i> .....	379
13.13.3	<i>Troisième modèle</i> .....	379
13.14	H – source de tension commandée en courant (STCC) .....	380
13.15	B – source de tension arbitraire, non linéaire (STC) .....	380
13.16	B – sources de courant arbitraires, non linéaire (SCC) .....	385
13.17	E <sub>poly</sub> – source de tension polynomiale, non linéaire (STP) .....	387
13.18	G <sub>poly</sub> – source de courant polynomiale, non linéaire (SCP) .....	388
13.19	L'éditeur d'attributs pour les sources dépendantes .....	389
<b>Chapitre 14 – Les composants passifs</b> .....		391
14.1	Composants passifs .....	391
14.1.1	<i>Préambules à l'utilisation des paramètres d'un modèle de composant</i> .....	391
14.2	R – résistor (un modèle) .....	392
14.3	C – condensateur (deux modèles) .....	394
14.3.1	<i>Premier modèle de condensateur standard</i> .....	395
14.3.2	<i>Deuxième modèle de condensateur</i> .....	396
14.4	L – inducteur .....	397
14.4.1	<i>Premier modèle d'inducteur (linéaire sans saturation)</i> .....	397
14.4.2	<i>Deuxième modèle (non linéaire)</i> .....	399
14.4.3	<i>Troisième modèle : CHAN (non linéaire avec prise en compte de la saturation et de l'hystérésis)</i> .....	399
14.5	Le cycle d'hystérésis .....	401
14.6	Différences entre inducteurs avec et sans circuit magnétique .....	403
14.6.1	<i>Inducteur bobiné sans circuit magnétique</i> .....	403
14.6.2	<i>Inducteur bobiné avec circuit magnétique</i> .....	404
14.7	K – transformateurs (inductance mutuelle) .....	405

14.8	Inductances mutuelles à plusieurs enroulements .....	406
14.9	Autres manières de réaliser un transformateur avec la saturation et l'hystérésis .....	407
<b>Chapitre 15 – Les composants semi-conducteurs .....</b>		<b>409</b>
15.1	Les composants semi-conducteurs .....	409
15.2	D – diode (trois modèles) .....	410
15.2.1	<i>Premier modèle standard de diode</i> .....	410
15.2.2	<i>Deuxième modèle de diode</i> .....	411
15.2.3	<i>Paramètres de puissance, communs aux deux modèles</i> .....	412
15.3	Q – transistor bipolaire (trois modèles), modèles Ebers-Moll, Gummel-Poon et VBIC .....	413
15.3.1	<i>Premier (Ebers-Moll) et deuxième modèles (Gummel-Poon)</i> .....	414
15.3.2	<i>Troisième modèle (VBIC)</i> .....	416
15.4	J – transistor JFET (un modèle) .....	422
15.5	M – MOSFET monolithique (plusieurs modèles) .....	423
15.5.1	<i>Le MOSFET monolithique</i> .....	424
15.5.2	<i>Modèles de transistor MOSFET</i> .....	425
15.6	M – MOSFET à double diffusion verticale (un modèle) .....	428
15.7	Z – MESFET (un modèle) .....	431
<b>Chapitre 16 – Les composants annexes .....</b>		<b>433</b>
16.1	Autres composants annexes .....	433
16.2	S – interrupteur commandé par une tension (deux modèles) .....	434
16.2.1	<i>Premier modèle standard <math>Level=1</math></i> .....	436
16.2.2	<i>Deuxième modèle complet <math>Level=2</math></i> .....	436
16.3	W – interrupteur commandé par un courant (un modèle) .....	437
16.4	O – ligne de transmission avec perte (un modèle) .....	441
16.5	T – ligne de transmission sans perte (un modèle) .....	442
16.6	U – ligne de transmission RC (un modèle) .....	443
16.7	A – fonctions spéciales .....	444
16.7.1	<i>Les fonctions spéciales <i>inv</i>, <i>buf</i>, <i>and</i>, <i>or</i>, <i>xor</i></i> .....	445

16.7.2	<i>Les fonctions spéciales schmitt, schmtbuf, schmtinv, diffschmitt, diffscmittinv et diffschmittbuf</i> .....	446
16.7.3	<i>Les fonctions spéciales dflop et srlflop</i> .....	447
16.7.4	<i>La fonction spéciale phidet</i> .....	448
16.7.5	<i>La fonction spéciale varistor</i> .....	448
16.7.6	<i>La fonction spéciale modulate</i> .....	448
16.7.7	<i>La fonction spéciale sample</i> .....	449
16.8	$\lambda$ – appel d'un sous-circuit .....	449
<b>Chapitre 17 – Inductance saturable, cycle d'hystérésis, transformateur et inductance mutuelle</b> .....		451
17.1	Intérêt d'utiliser un circuit magnétique .....	451
17.1.1	<i>Fonctionnement d'un circuit magnétique</i> .....	451
17.1.2	<i>Quelques définitions utiles</i> .....	452
17.2	Le cheminement sur le cycle d'hystérésis .....	453
17.2.1	<i>Courbe de première aimantation (en trait pointillé)</i> .....	453
17.2.2	<i>Parcours du cycle d'hystérésis (en trait plein)</i> .....	453
17.3	Mesures de l'inductance, du champ et de l'induction magnétique .....	454
17.3.1	<i>Le modèle CHAN (saturation et hystérésis)</i> .....	456
17.3.2	<i>Mesure de l'inductance</i> .....	458
17.3.3	<i>Mesure de la densité du flux d'induction magnétique</i> .....	459
17.4	Trois exemples de cycle d'hystérésis .....	461
17.5	Le cycle d'hystérésis avec un entrefer .....	463
17.6	Le cycle d'hystérésis avec plusieurs valeurs du champ H .....	464
17.7	Le cycle d'hystérésis avec une polarisation continue .....	464
17.8	Présentations de quatre modèles LTspice IV de transformateur .....	466
17.9	Deux premiers modèles de transformateur sans prise en compte de la saturation et de l'hystérésis .....	467
17.10	Quatre valeurs sont nécessaires pour les modèles 1 et 2 .....	468
17.11	Deux valeurs importantes, le coefficient de couplage K et le rapport de transformation N .....	469
17.12	Deux schémas équivalents pour les modèles 1 et 2 .....	470

17.13	Modèle de transformateur N°1, $k=1$ et selfs de fuite explicites .....	470
17.14	Modèle de transformateur N°2 : $k$ différent de 1 et self de fuite implicite (calculé par LTspice IV) .....	471
17.15	Cas des transformateurs constitués de plusieurs enroulements .....	472
17.16	Détermination du transformateur en fonction des caractéristiques d'une SMPS .....	473
17.17	Notre choix de transformateur .....	475
17.18	Calculs des valeurs du modèle à partir des mesures ou des caractéristiques ..	475
17.19	Modèles N° 1 et N° 2 du transformateur .....	476
17.20	Schéma de la SMPS avec le transformateur N° 1 .....	477
17.21	Schéma de la SMPS avec le transformateur N° 2 .....	480
17.22	Conclusions concernant les deux méthodes .....	480
17.23	Problèmes de la saturation du transformateur .....	483
17.24	Modèle N° 3 du transformateur (avec saturation et hystérésis) .....	487
17.25	Modèle N° 3 du transformateur réalisé avec un sous-circuit .....	487
17.26	Sous-circuits avec un seul secondaire .....	488
17.27	Sous-circuit de transformateur avec plusieurs secondaires .....	491
17.28	Intégration du sous-circuit (modèle N° 3 de transformateur) dans une SMPS	493
17.29	Mise au point d'un snubber (écrêteur de surtension) .....	496
17.30	Dépassement des caractéristiques d'un composant .....	500
17.31	Similitude entre résultats de simulation et mesures sur le prototype câblé..	503
17.32	Conclusions sur la similitude entre simulation et mesures réelles .....	506
	<b>Chapitre 18 – Panneau de contrôle et raccourcis clavier .....</b>	<b>507</b>
18.1	Présentation du panneau de contrôle en neuf onglets .....	507
18.2	Onglet Compression (options liées à la compression des données) .....	508
18.3	Onglet Save Default (options liées à l'enregistrement) .....	509

18.4	Onglet SPICE (options de fonctionnement du noyau de simulation de LTspice IV) .....	511
18.4.1	<i>Précautions concernant les paramétrages SPICE</i> .....	512
18.4.2	<i>Paramètres du contrôle du calcul des simulations</i> .....	512
18.4.3	<i>Paramètres de contrôle de la méthode d'intégration</i> .....	513
18.4.4	<i>Paramètres de contrôle du solveur</i> .....	514
18.5	Onglet Drafting Options (options de dessin) .....	514
18.6	Onglet Netlist Options (options de syntaxe ou de rédaction de la Netlist) .	517
18.7	Onglet Waveforms (traceur de courbes ou oscilloscope virtuel) .....	520
18.8	Onglet Operation (configuration générale de LTspice IV) .....	522
18.9	Onglet Hacks (fonctionnement interne de LTspice IV) .....	525
18.9.1	<i>Précaution concernant les paramétrages Hacks !</i> .....	525
18.9.2	<i>Paramétrages de contrôle Hacks !</i> .....	526
18.10	Onglet Internet (connexion à Internet) .....	526
18.11	Programmation des raccourcis clavier .....	528
18.11.1	<i>Interactivité de l'éditeur de schéma</i> .....	529
18.11.2	<i>Raccourcis clavier de l'éditeur de schéma</i> .....	530
18.12	Paramétrage des couleurs (Color Preferences) .....	531
<b>Chapitre 19</b>	<b>– Quelques exemples</b> .....	<b>533</b>
19.1	Tracé du réseau de caractéristiques d'un composant semi-conducteur .....	533
19.1.1	<i>Caractéristiques d'un JFET canal N, le 2N3819</i> .....	533
19.1.2	<i>Caractéristiques d'un transistor bipolaire canal N, le 2N2222</i> .....	536
19.1.3	<i>Évolutions des caractéristiques avec la température</i> .....	536
19.1.4	<i>Caractéristiques d'une diode Zener en fonction de la température</i> .....	538
19.2	Un montage d'amplificateur .....	538
19.2.1	<i>Cahier des charges de l'amplificateur</i> .....	539
19.2.2	<i>Le montage de l'amplificateur</i> .....	540
19.2.3	<i>Vérification du dimensionnement des composants du montage</i> .....	542
19.2.4	<i>Le rendement</i> .....	544
19.3	La puissance moyenne .....	545
19.3.1	<i>Mesures de la distorsion harmonique</i> .....	546

19.3.2	<i>Tracé de la courbe FFT</i> .....	548
19.3.3	<i>Mesures de la distorsion d'intermodulation</i> .....	550
19.3.4	<i>Réponses à un signal carré</i> .....	552
19.3.5	<i>Diagramme de Bode</i> .....	554
19.3.6	<i>Bruit généré par l'amplificateur</i> .....	555
19.3.7	<i>Fonction de transfert de cet amplificateur</i> .....	556
19.4	Diagramme de Bode d'une boucle de régulation (application à une SMPS)	558
19.4.1	<i>Inconvénients des méthodes classiques</i> .....	558
19.4.2	<i>Avantages de la nouvelle méthode</i> .....	558
19.4.3	<i>Diagramme de Bode du gain</i> .....	560
19.4.4	<i>Diagramme de Bode de l'impédance</i> .....	562
19.5	Un wattmètre simple, application d'une source B .....	565
19.6	Analyse paramétrique d'un circuit RLC .....	566
19.7	Incorporation d'un BUS de câblage .....	569
19.8	Convertisseur DC-DC (SMPS) .....	572
19.8.1	<i>Utilisation d'une self à air non saturable</i> .....	575
19.8.2	<i>Utilisations d'une self avec un circuit magnétique saturé</i> .....	575
19.8.3	<i>Utilisation d'une self avec un circuit magnétique non saturé</i> .....	578
19.8.4	<i>Le rapport d'efficacité du convertisseur DC-DC</i> .....	579
19.9	Analyse en fonction de la dispersion des valeurs de composants par la méthode Monte-Carlo .....	580
<b>Chapitre 20</b>	<b>Questions diverses</b> .....	<b>583</b>
20.1	Quel est l'impact de l'ordinateur sur la vitesse de calcul d'une simulation avec LTspice IV ? .....	583
20.1.1	<i>Trois exemples d'ordinateurs portables</i> .....	584
20.1.2	<i>Quatre exemples d'ordinateurs de bureau</i> .....	584
20.2	Quelles sont les limites de LTspice IV ? .....	585
20.3	LTspice IV est-il une aide réelle ? .....	589
20.4	Comment récupérer la liste des composants d'un montage .....	590
20.5	Comment permuter facilement les pages de schémas ? .....	590

20.6	Comment copier/coller une partie de circuit entre deux pages de schémas ?	590
20.7	Quelles sont les erreurs les plus fréquentes lors de l'utilisation de LTspice IV ?	591
20.8	Quelles sont les astuces qui font gagner du temps ?	591
20.9	Dans quels cas le simulateur LTspice IV peut-il se bloquer ?	592
20.10	LTspice IV peut-il s'installer sur tous les ordinateurs ?	593
20.11	Quelles aides concrètes apportent LTspice IV pour la simulation de circuit électronique ?	593
20.12	Faut-il beaucoup de manipulations pour réaliser une simulation avec LTspice IV ?	594
20.13	Quelle aide LTspice IV apporte-t-il dans le domaine de la mesure ?	594
20.14	Pourquoi LTspice IV permet-il de tester davantage de solutions ?	594
20.15	Y a-t-il un risque d'addiction à l'utilisation de LTspice IV ?	595
20.16	LTspice IV est-il une aide réelle à l'apprentissage de l'électronique ?	596
20.17	Vous ne trouvez pas les menus indiqués ou leurs contenus sont différents de ceux attendus	597
20.18	Quels sont les drapeaux associés au lancement de LTspice IV ?	597
20.19	Quelles sont les actions permettant la réalisation d'une simulation ?	598
20.20	Les modèles de circuit SMPS de LTspice IV sont-ils compatibles avec les autres logiciels SPICE ?	598
20.21	Où trouver des informations fiables, des modèles et des exemples d'applications pour les utilisateurs de LTspice IV ?	600
20.22	Existe-t-il une version Linux de LTspice IV ?	600
<b>Annexe</b>		601
	Valeurs de $L_m$ et A pour l'utilisation du modèle CHAN	601
	Valeurs de $B_s$ , $B_r$ et $H_c$ pour l'utilisation du modèle CHAN	602
<b>Bibliographie</b>		611
<b>Index</b>		613

# AVANT-PROPOS

---

LTspice IV est un logiciel étonnant par sa puissance, sa rapidité de calcul et l'universalité de ses applications. C'est le logiciel qu'il faut utiliser pour produire une électronique performante en ce XXI<sup>e</sup> siècle où exigence de qualité doit aller de pair avec rapidité de mise au point !

Savez-vous que les circuits intégrés (amplificateur opérationnel, etc.) n'auraient jamais pu avoir le développement que nous leur connaissons depuis 40 ans ni même voir le jour, si des simulateurs tels que LTspice IV n'avaient pas permis leur conception ? Tous les spécialistes considèrent comme essentiel leur contribution au développement de l'électronique telle que nous la connaissons aujourd'hui !

Depuis plus de 20 ans, LTspice IV est l'héritier direct de cette aventure scientifique et technique. Il est incontestablement le logiciel le plus rapide, le plus robuste et le plus complet des simulateurs électroniques SPICE. Malheureusement, l'aide électronique est la seule documentation disponible. Elle est incomplète et très en retard sur l'avancement du logiciel, beaucoup de commandes parfois essentielles sont à peine documentées, certaines n'y figurent même pas !

Il était préjudiciable que les utilisateurs, chaque jour plus nombreux (un million six cent mille à travers le monde, début 2011), ne disposent pas d'un ouvrage entièrement dédié à LTspice IV. Ce livre a été conçu pour répondre à ce manque, il est bien plus qu'un manuel puisqu'il est enrichi d'un grand nombre d'astuces, de méthodes et d'exemples illustrés de près de cinq cents schémas, synoptiques et copies d'écran. En quelques heures, il fera de vous un spécialiste de LTspice IV et en quelques jours un véritable expert !

LTspice IV a une puissance sans borne : le nombre de nœuds, de composants, de simulations, la résolution des graphiques, la taille des schémas n'ont aucune limite autre que celles de la puissance de votre ordinateur PC ou de sa mémoire ! Bien que LTspice IV soit ***le seul simulateur professionnel entièrement gratuit***, il est sans concession et n'est aucunement limité contrairement à ses concurrents.

Plusieurs niveaux de lecture de cet ouvrage sont possibles, du débutant jusqu'à l'ingénieur en charge de la conception de vastes ensembles.

L'utilisateur averti pourra commencer sa lecture au chapitre 4 alors que le débutant devra commencer par le chapitre 2 qui lui fera découvrir les nombreux fichiers fournis lors de l'installation de LTspice IV. L'utilisateur novice pourra ensuite s'attarder sur l'application développée au chapitre 3. Elle montre les grands principes

du fonctionnement de LTspice IV. Le premier chapitre, relatant la genèse de LTspice IV, pourra être lu dans un deuxième temps.

Les cinq éditeurs principaux de LTspice IV sont traités aux chapitres 4 à 8. C'est ici que commence la description du fonctionnement du logiciel. Ensuite, toutes les définitions et les commandes (appelées directives de simulation) sont détaillées et accompagnées d'exemples dans les chapitres 9 à 11. Le chapitre 12 traite du téléchargement des modèles et sous-circuits SPICE ainsi que de la génération des symboles permettant leur utilisation facile. Des chapitres 13 au 16 vous trouverez, la description des sources, les composants passifs, actifs et spéciaux ainsi que leurs paramètres. Le chapitre 17 traite plus particulièrement des selfs et transformateurs qui possèdent, dans LTspice IV, un modèle non linéaire aux applications étendues (prise en compte de la saturation et de l'hystérésis). Le chapitre 18 s'attarde sur le panneau de contrôle, véritable tableau de bord où sont rassemblés tous les paramètres de LTspice IV. Le chapitre 19 est un recueil d'exemples touchant à des domaines variés de l'électronique. Il est suivi du chapitre 20 qui répond aux questions les plus souvent posées au cours des sessions de formation LTspice IV dispensées par l'auteur.

***Quel que soit votre domaine d'application de l'électronique***, cet ouvrage vous permettra d'atteindre rapidement un niveau d'expertise dans le domaine de la simulation électronique. Il vous apportera une aide précieuse par le gain de temps très appréciable qu'il procure. Grâce à lui et à LTspice IV, vous bénéficiez d'une mise au point rapide et efficace de vos projets. Vous comprendrez comment avec LTspice IV vous pourrez réaliser des tests impossibles à faire avec un prototype sur table (excursions en température, fonctionnement aux limites, tests destructifs, analyse de Monte-Carlo, etc.). Vous avez des idées de circuits électroniques, avec cet ouvrage et LTspice IV vous aurez un *feedback* immédiat de leur validité !

Si LTspice IV ne remplace pas les connaissances nécessaires à la conception de circuits électroniques, il rend celles-ci nettement plus efficace et plus rapide grâce notamment, à une approche rigoureuse et une validation immédiate. Il apporte aux entreprises un gain de temps et d'argent indéniable et permet une amélioration substantielle des performances de vos montages. Les lycées techniques, IUT et écoles d'ingénieurs sont de plus en plus nombreux à proposer à leurs étudiants des sessions de formation à la simulation électronique avec LTspice IV.

Pour avoir une maîtrise complète de LTspice IV et être réellement efficace avec l'ensemble de ses commandes, il faut plusieurs jours de pratique. Une documentation complète et claire est également nécessaire, c'est l'apport de cet ouvrage. Ainsi, LTspice IV deviendra rapidement votre outil de conception le plus efficace et le plus précieux !

Afin de faciliter la lecture de cet ouvrage, nous avons appliqué les règles d'écriture suivantes :

- Lorsqu'il faut appuyer sur la touche gauche de la souris une seule fois, nous écrirons : *clik gauche*, de même pour *clik droit* ainsi que pour *double-clik gauche* et *double-clik droit* sans autre précision.
- Lorsqu'il faut maintenir l'appui sur la touche de la souris en déplaçant celle-ci, nous écrirons : *clik gauche + glissé* ou *clik droit + glissé*.
- Lorsqu'il faut appuyer en même temps (ou plus exactement avant et relâcher après l'action) sur une touche du clavier, nous écrirons par exemple : *Ctrl + clik gauche* ou *Alt + clik droit* ou encore *Maj + double-clik gauche*.
- La résistance est appelée dans cet ouvrage *résisteur* et le terme *résistance* est réservé à sa valeur exprimée en ohms. Par analogie, le condensateur a une capacitance exprimée en Farad (F) et l'inducteur une inductance en Henry (H).
- Les *simulations* AC, DC, temporel, etc. seront nommées indifféremment suivant les chapitres « analyses » ou « simulations » ; de plus, la *simulation temporelle* sera également nommée *.TRAN* (syntaxe dans une Netlist), *transient* (étiquette de l'onglet de cette simulation), *transitoire* ou *temporelle* qui sont les termes les plus fréquemment rencontrés dans la littérature technique.
- Bien que la méthode de Monte-Carlo ou le calcul de FFT ne soient pas, à proprement parler des *analyses* (au sens du traitement du noyau SPICE), nous utiliserons parfois cette dénomination.

### Compléments en ligne

Vous trouverez sur <http://www.LTspice.fr>, <http://www.LTspiceIV.com> et <http://www.LTspice4.com> ainsi que sur [www.dunod.com](http://www.dunod.com) (sur la page consacrée à cet ouvrage), un certain nombre de compléments organisés comme indiqué ci-après.

### Répertoire des fiches techniques

Ce répertoire contient les fiches techniques au format asc de tous les schémas présentés dans cet ouvrage ainsi que de nombreux autres. Cette rubrique s'enrichira à mesure des schémas ajoutés par les lecteurs et par l'auteur. Chaque fichier porte le nom correspondant au schéma dans l'ouvrage.

### Répertoire bibliothèques et de modèles de composants SPICE

Vous trouverez dans ce répertoire un certain nombre de bibliothèques utilisées dans cet ouvrage. Cette rubrique s'enrichira à mesure des schémas ajoutés par les lecteurs et par l'auteur.

### Répertoire sous-circuits

Vous trouverez dans ce répertoire un certain nombre de sous-circuits tels que les modèles de transformateurs ou les fichiers de calcul d'asservissement.

### Répertoire divers

Vous trouverez dans ce répertoire un certain nombre de documents : la plupart des tableaux, illustrations difficilement lisibles dans l'ouvrage ainsi que les tableaux d'annexes.

## ■ Remerciements

Nous remercions les équipes de *Würth Elektronik* et *Linear Technology* pour leur enthousiasme et leur bienveillance ainsi que l'aide apportée, la fourniture de documentations et de produits.

Comme vous allez le découvrir, LTspice IV est un logiciel remarquable à plus d'un titre. Toutefois, comme tous les logiciels complexes, il est parfois d'une utilisation délicate. C'est pourquoi nous avons pris un grand soin lors de la sélection des méthodes présentées dans cet ouvrage.

Si malgré les nombreuses précautions prises, vous avez connaissance de méthodes plus efficaces que celles présentées, ou bien si vous avez, vous-même, mis au point des procédures intéressantes, n'hésitez pas à nous en faire part sur le site Internet de l'ouvrage ou bien directement sur le mail de l'auteur (brocard.gilles@gmail.com).

De même, si vous constatez une limite non documentée ou un dysfonctionnement même mineur, n'hésitez pas à nous le signaler.

Les sous-circuits, les informations complémentaires et les méthodes les plus judicieuses seront ajoutés au site Internet et seront intégrés dans la prochaine édition de cet ouvrage lui conférant un caractère plus collégial. De plus, les informations concernant d'éventuels dysfonctionnements seront transmises directement aux concepteurs du logiciel (équipe de Linear Technology dirigée par Mike Engelhardt) en vue de leurs corrections.

# 1 • PRÉSENTATION DE LTSPICE IV ET HISTORIQUE

---

## 1.1 Réalisation d'une simulation avec LTspice IV

### 1.1.1 Trois étapes élémentaires

Avec LTspice IV, la simulation d'un circuit est une procédure simple. Elle se décompose en trois étapes élémentaires (figure 1.1) :

- **Première étape : saisie du schéma et choix de la simulation.** Avec l'*éditeur graphique de schémas*, vous saisissez votre circuit et vous ajoutez vos commentaires. Le nombre de composants fournis avec LTspice est très important. Néanmoins, s'il vous manque un ou plusieurs modèles de composants, vous pouvez très simplement les télécharger sur Internet (voir à ce sujet le chapitre 12). En fonction de vos besoins (analyse continue, alternative ou temporelle), choisissez une simulation et ajoutez la source correspondante (voir à ce sujet les chapitres 9 à 11, et 13). Ajoutez éventuellement des commandes supplémentaires (directives de simulation) et paramétrez l'ensemble de ces éléments, valeurs des composants, etc.
- **Deuxième étape : lancement de la simulation.** Vous demandez à l'ordinateur d'effectuer l'ensemble des calculs nécessaire à la résolution de la simulation choisie, c'est **le lancement de la simulation**. Cette étape demande un certain délai pour effectuer tous les calculs.
- **Troisième étape : effectuer les mesures.** Vous choisissez les mesures (courant, tension, fréquence, puissance, etc.) permettant d'effectuer les mesures de votre choix. Les mesures sont instantanément affichées dans un écran graphique ressemblant à un oscilloscope numérique de grande performance. Vous pouvez d'ailleurs régler les paramètres d'affichages de la même manière que sur un oscilloscope (recadrage, changement d'échelle, zoom, choix des couleurs, morcellement de l'écran et multiplication des traces).

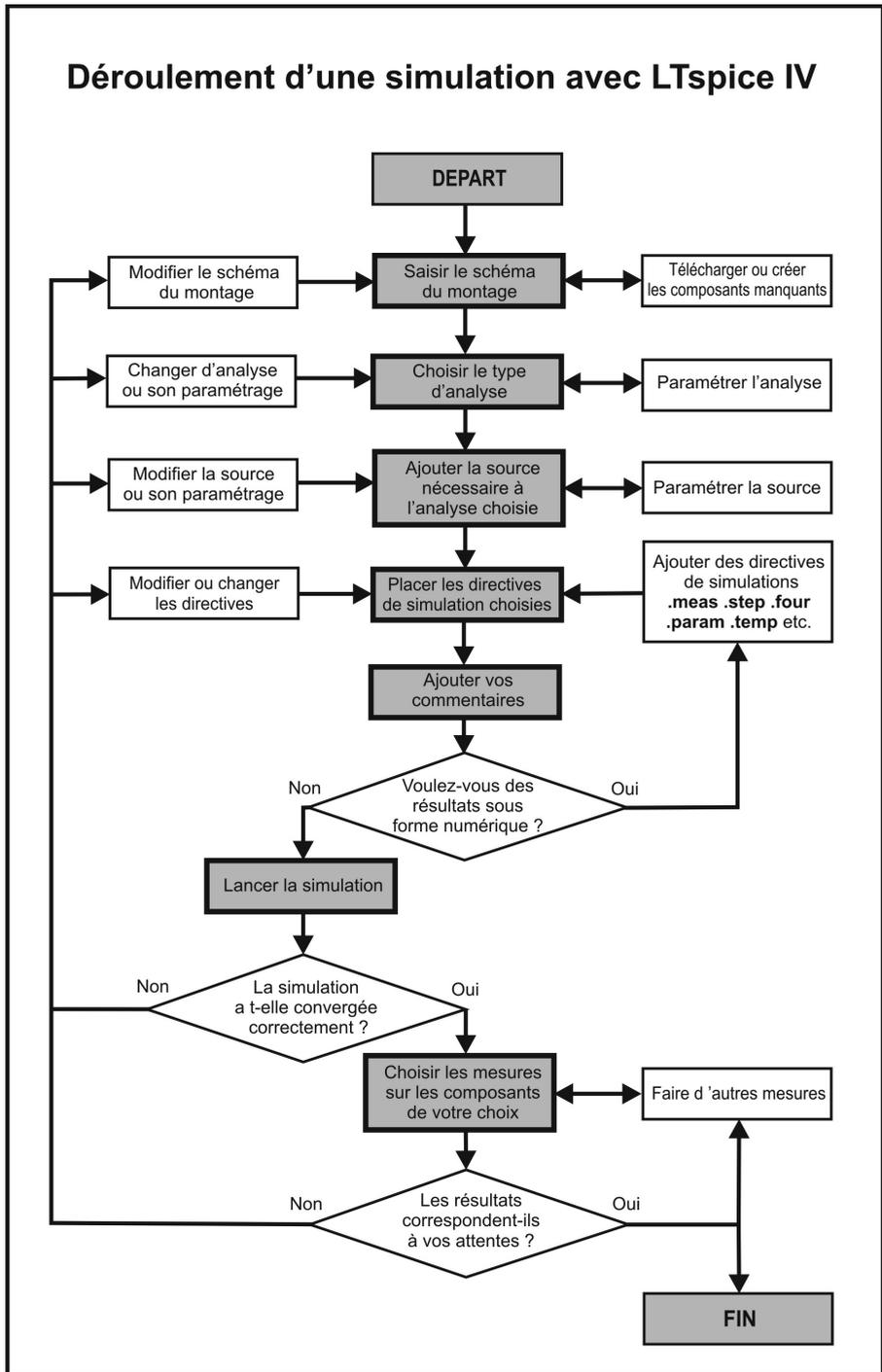


Figure 1.1