

Bien démarrer avec LTspice

Par Gabino Alonso, Directeur du marketing stratégique, Analog Devices

La vitesse à laquelle un ingénieur comprend le fonctionnement et les limites d'un circuit pour en peaufiner le *design* et choisir les composants idoines avant de réaliser un prototype et de lancer des tests en laboratoire représente la clé du succès pour la majorité des circuits intégrés. Le logiciel de simulation de circuits intégrés haute performance **LTspice** d'Analog Devices permet de dessiner (*draft*) un projet, de le sonder (*probe*) et d'en analyser les performances. LTspice est doté d'un éditeur graphique de schémas (*schematic editor*) intégré, ainsi que d'un oscilloscope numérique (*waveform viewer*) et de fonctions avancées dont l'utilisation s'avère aisée dès lors que l'on maîtrise quelques commandes de base.

Le logiciel LTspice contient une vaste bibliothèque de macromodèles couvrant la plupart des circuits de gestion de l'alimentation et de traitement de la chaîne de signaux d'Analog Devices (ADI), ainsi qu'une bibliothèque de composants passifs. Il utilise des techniques de modélisation propriétaires pour ses macromodèles, ce qui permet de réaliser des simulations à la fois rapides et précises¹. C'est particulièrement important pour la conception d'alimentations à découpage (SMPS), un domaine où LTspice surpasse la plupart des outils de simulation disponibles, tout en itérant vos conceptions dans un délai minime. Les simulations successives permettent par ailleurs de mesurer les limitations des circuits et d'explorer les limites de performances d'un design en procédant à des ajustements mineurs, avec à la clé un développement plus intuitif.

LTspice est mis gracieusement à la disposition des clients d'ADI et de la communauté des ingénieurs*. Mais ne vous méprenez pas : s'il est gratuit, ce logiciel surclasse de nombreuses solutions de simulation du commerce et n'est pénalisé par aucune limite arbitraire. Il est adapté à la création, à l'encapsulation et à l'abstraction de circuits complexes, la puissance de votre ordinateur et le temps dont vous disposez étant les seules limites à la taille et à la hiérarchie des circuits que vous souhaitez créer.

Installation du logiciel et mises à jour

Le logiciel LTspice fonctionne sous Windows et Mac OS X. Vous pouvez télécharger les fichiers d'installation sur le site analog.com/LTspice.

Pour utiliser en permanence la toute dernière version de LTSpice (modèles, outils logiciels et exemples), l'utilisateur doit synchroniser sa version en cliquant sur **Sync Release** à partir du menu **Tools** (Figure 1).

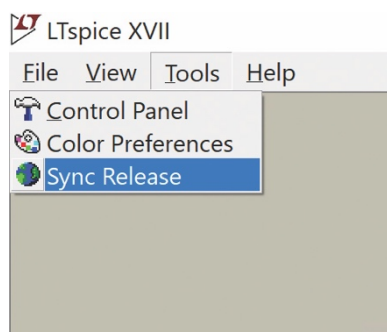


Figure 1. Pour télécharger les derniers modèles, outils logiciels et exemples, cliquer sur Sync Release dans le menu Tools.

Utiliser un circuit existant

Dessiner un circuit de A à Z avec un nouvel outil représente souvent une tâche fastidieuse. Au lieu de commencer sur une page blanche, il est par conséquent recommandé de se familiariser avec LTspice à l'aide d'un schéma existant et en examinant ses performances dans une simulation. Les fichiers contenant le dessin d'un circuit (*schematic files*) sont enregistrés avec l'extension .asc. On distingue trois grandes sources de schémas LTspice :

- ▶ des circuits de démonstration disponibles à partir de [LTspice](#)
- ▶ des montages d'essai installés avec LTspice
- ▶ des exemples pédagogiques installés avec LTspice.

Télécharger un circuit de démonstration

Si une solution particulière vous intéresse, consultez la vaste collection d'exemples de LTspice réunis par ADI dans la section [Demo Circuits](#). Ces exemples sont également disponibles dans la rubrique **Tools & Simulations** à la page des produits et des cartes d'évaluation d'ADI. Les circuits de démonstration sont examinés par des ingénieurs d'applications et constituent un point de départ idéal pour la majorité des projets. La plupart sont basés sur des cartes d'évaluation matérielles disponibles.

Utiliser un circuit de démonstration LTspice

Trouvez le circuit de démonstration sur Internet, ou en recherchant une référence ou une application dans la base de données [Demo Circuits](#). Téléchargez le fichier .asc du circuit de démonstration sur votre disque dur et ouvrez-le.

Product	Posted Date	Demonstration Circuit
Product	Posted Date	sensor
LTC2058	4/1/2019	LTC2058 Demo Circuit - Carbon Monoxide Sensor
LTC2066	3/20/2019	LTC2066/LTS400 Demo Circuit - RTD Sensor Circuit with $\pm 1^{\circ}\text{C}$ Precision
LTS400	3/20/2019	LTC2066/LTS400 Demo Circuit - RTD Sensor Circuit with $\pm 1^{\circ}\text{C}$ Precision
LTC6115	3/15/2019	LTC6115 Demo Circuit - Current and Voltage Sensor Monitor Circuit for 16-Bit ΔE ADC
LTC2063	7/14/2017	LTC2063 Demo Circuit - μPower Precision Oxygen Sensor
LTC2063	7/14/2017	LTC2063/LTS400 Demo Circuit - RTD Sensor Circuit with $\pm 1^{\circ}\text{C}$ Precision
LTS400	7/14/2017	LTC2063/LTS400 Demo Circuit - RTD Sensor Circuit with $\pm 1^{\circ}\text{C}$ Precision
LTC2997	2/26/2015	LTC2997 Demo Circuit - High-Accuracy Analog Output, Temperature Sensor
LTC6081	11/10/2014	LTC6081 Demo Circuit - Shock Sensor Amplifier (Accelerometer)

Figure 2. Téléchargement d'un circuit de démonstration

Si vous ne trouvez pas le circuit de démonstration du produit qui vous intéresse, un montage d'essai peut servir de point de départ à votre projet.

Choisir un montage d'essai

La plupart des produits de gestion de l'alimentation et de la chaîne de signaux d'ADI modélisés dans LTspice sont associés à un montage d'essai prédessiné. Appelés gabarits, ces montages d'essai sont utilisés par les équipes de modélisation d'ADI pour tester et évaluer les macromodèles de circuits, et proposés en tant que points de départ pour les dessiner. Il est à noter que les montages d'essai ne sont pas recommandés pour une utilisation en production. Ils n'ont pas nécessairement été revus par des ingénieurs d'application en usine et un grand nombre d'entre eux sont simplifiés ; en outre, ils utilisent des composants passifs idéaux ou sont conçus pour

évaluer la façon dont le macromodèle gère des conditions de défaillance particulières. Mais utilisés comme point de départ, ces montages d'essai sont souvent plus utiles qu'une feuille blanche.

Ouvrir un fichier de gabarit pour un appareil ou un composant

- ▶ ouvrez LTspice.
- ▶ choisissez **File > New Schematic (CTRL + N)**. Un schéma vierge apparaît.
- ▶ choisissez **Edit > Component** ou appuyez sur F2. La boîte de dialogue **Select Component Symbol** apparaît.

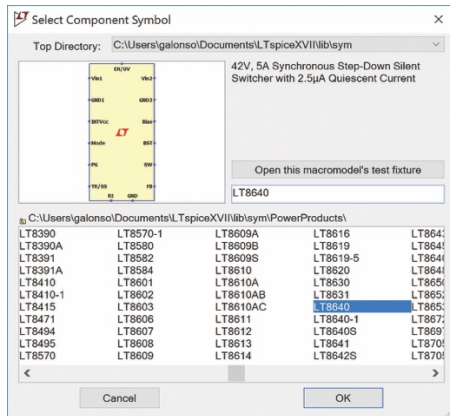


Figure 3. Recherchez le composant souhaité en saisissant sa référence dans la zone de texte.

- ▶ Dans la fenêtre affichée, la façon la plus simple de trouver un composant est de renseigner son nom dans la zone de texte. La liste de composants disponibles est filtrée et les références proposées sont de moins en moins nombreuses à mesure que vous saisissez des caractères. Lorsque le composant recherché apparaît, sélectionnez-le. Jusqu'alors grisé, le bouton **Open this macromodel's test fixture** devient actif.
- ▶ Cliquez sur le bouton **Open this macromodel's test fixture**. Le schéma correspondant au montage d'essai du macromodèle s'affiche. Il est également possible de cliquer sur **OK** pour insérer le symbole du modèle et dessiner votre propre schéma.

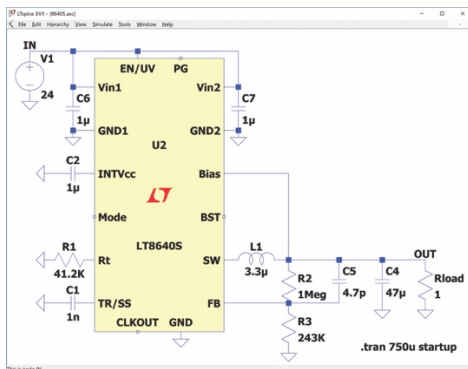


Figure 4. Représentation du montage d'essai d'un macromodèle

Commencez avec un exemple pédagogique

LTspice propose des exemples pédagogiques conçus pour vous aider à explorer les simulations et la conception de vos circuits. Ces exemples sont installés avec LTspice (**C:\Program Files\LTspiceXVII\examples\Educational**).



Figure 5. Exemples pédagogiques fournis avec LTspice

Utilisation de l'éditeur de schémas

LTspice est conçu pour accélérer le dessin de schémas, mais tous les éditeurs de schémas imposent une courbe d'apprentissage. Avec LTspice, une fois que vous l'on maîtrise le menu de base et les touches de raccourci, dessiner et éditer des schémas est un jeu d'enfant. Les composants et les commandes d'édition de schémas sont accessibles à partir du menu **Edit** ou d'un clic droit sur l'arrière-plan du schéma.

Dans le présent article, nous n'expliquerons pas comment dessiner un circuit de A à Z en utilisant l'éditeur de schémas, car cette procédure est bien documentée. De nombreuses vidéos pédagogiques sont disponibles et permettent de découvrir les principes fondamentaux du dessin de circuits dans LTspice (certaines sont proposées dans la section [Ressources supplémentaires](#) à la fin de cet article).

Modifier les attributs d'un composant

Pour modifier les attributs d'un objet, un clic droit sur l'objet suffit généralement. En fonction de l'élément du circuit, une fenêtre apparaît, dans laquelle vous pouvez modifier les paramètres du composant.

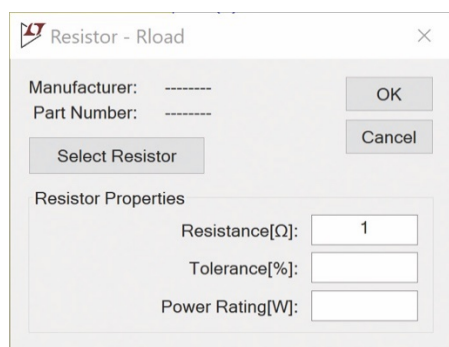


Figure 6. Modification des paramètres d'une résistance

Les résistances, condensateurs, inductances, perles de ferrite, diodes, transistors bipolaires, MOSFET et JFET sont associés à une base de données de modèles où vous pourrez choisir le composant souhaité. Cette vaste bibliothèque de modèles de composants passifs peut être utilisée pour créer ou modifier rapidement un schéma en utilisant des composants réalistes. Si vous ne trouvez pas le modèle exact d'un composant, il est possible d'utiliser un modèle dont les spécifications sont similaires, puis d'ajouter un modèle du composant souhaité dans la base de données.

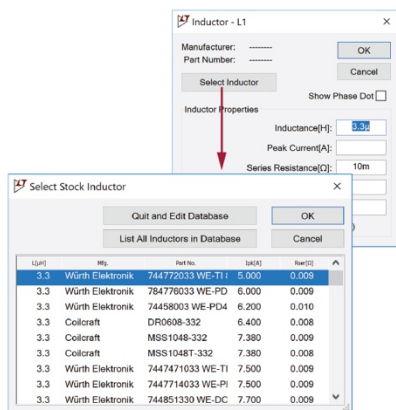


Figure 7. Sélectionner un composant dans la bibliothèque

Certains composants disposent d'options avancées. À titre d'exemple, les attributs de base de la source de tension sont indiqués dans la Figure 8.

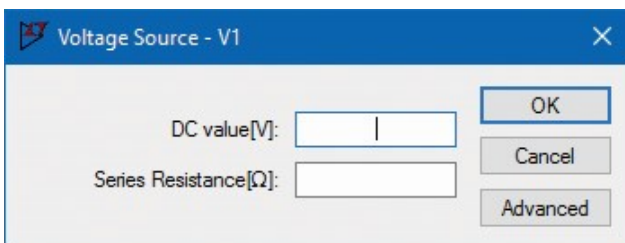


Figure 8. Paramètres standard d'une source de tension

Cliquez sur **Advanced** pour accéder aux options paramétriques supplémentaires de la source de tension (Figure 9).

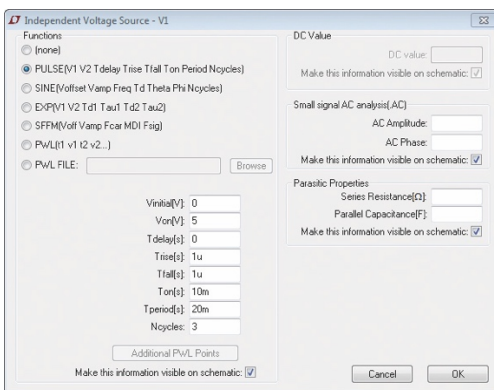


Figure 9. Options paramétriques avancées d'une source de tension

Saisie des unités

Lorsque vous saisissez une valeur dans la zone d'option, LTspice suit la notation standard. Seule exception, MEG (ou meg) est utilisé pour spécifier 10^6 . LTspice utilise M en majuscule ou en minuscule (m) pour 10^{-3} (milli). Voir le tableau 1 ci-dessous. Attention en tapant 1F pour 1 farad, car le logiciel indiquera de façon incorrecte 1 *femtofarad*. Pour 1 farad, il suffit d'entrer 1.

Tableau 1. Préfixes d'unités standard dans LTspice

Unité	Signification
-------	---------------

T ou t	téra = 10^{12}
G ou g	giga = 10^9
MEG ou meg	Meg = 10^6
K ou k	kilo = 10^3
M ou m	milli = 10^{-3}
U ou u (remplacé dans LTspice par μ)	micro = 10^{-6}
N ou n	nano = 10^{-9}
P ou p	pico = 10^{-12}
F ou f	femto = 10^{-15}

Naviguer dans un schéma

Pour naviguer dans l'éditeur de schémas, utilisez la molette de la souris pour recadrer le dessin ou zoomer sur une partie du schéma ; il est également possible d'utiliser les options du menu **View**. Cliquez sur un schéma et faites-le glisser pour l'afficher en mode panoramique. Appuyez sur la barre d'espace pour l'afficher en plein écran.

Ajouter des commandes de simulation

Les commandes de simulation destinées aux circuits de démonstration, gabarits et fichiers d'exemples pédagogiques sont déjà définies, de sorte qu'il est possible d'exécuter la simulation sans modifications supplémentaires. LTspice dispose de commandes de simulation pour l'analyse des régimes transitoires (*Transient*), de la linéarisation du modèle petit signal en régime alternatif (*AC Analysis*), du balayage de valeurs en régime continu (*DC sweep*), du bruit (*Noise*), de la fonction de transfert en petit signal en régime continu (*DC Transfer*) et du point de fonctionnement en régime continu (*DC op pnt*).

Insérer ou éditer une commande de simulation

Cliquez sur **Edit Simulation Cmd** dans le menu **Simulation**. La boîte de dialogue **Edit Simulation Command** affichée (Figure 10) comprend plusieurs onglets pour chaque analyse et des champs où vous pouvez saisir les paramètres souhaités. De plus amples informations sur ces différents types d'analyse sont disponibles dans les fichiers d'aide accessibles en appuyant sur la touche F1.

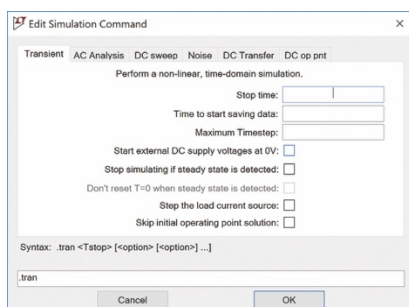


Figure 10. Modifier une simulation

Exécuter une simulation

Après avoir sélectionné ou dessiné un schéma, cliquer sur **Run** dans le menu **Simulate**. Cette opération génère un fichier netlist à partir de l'éditeur de schémas qui utilise le même nom de fichier, mais avec l'extension .net. LTspice simule cette liste d'interconnexions (*netlist*)**. Pour afficher le contenu d'une netlist, cliquez sur **SPICE Netlist** dans le menu **View**.

Affichage sur l'oscilloscope

Sondez votre schéma

Pour analyser votre circuit après avoir exécuté la commande **Run**, il suffit d'utiliser le curseur pour sonder directement le schéma ou la commande **Add trace** (ou **Visible Trace**) dans **Plot Settings**. La trace apparaît alors dans l'oscilloscope numérique.

Pour tracer la tension référencée à la masse

Placez le curseur sur le fil ou le nœud concerné. Le curseur prend la forme d'une sonde de tension rouge. Cliquez sur le fil ou le nœud concerné. La tension affichée est référencée à la masse.



Figure 11. Le curseur prend la forme d'une sonde de tension rouge

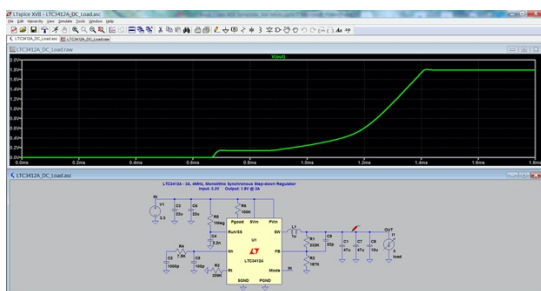


Figure 12. Mesure avec une sonde de tension

Pour tracer une tension différentielle :

Lorsque le curseur est affiché sous la forme d'une sonde, cliquez en maintenant enfoncé sur le fil ou sur le nœud concerné en le faisant glisser jusqu'au fil ou au nœud auquel il doit être référencé. Initialement, le curseur (sonde) est rouge, mais à mesure de son déplacement vers une tension référencée, il devient noir.

Relâchez le bouton de la souris. La tension différentielle apparaîtra.

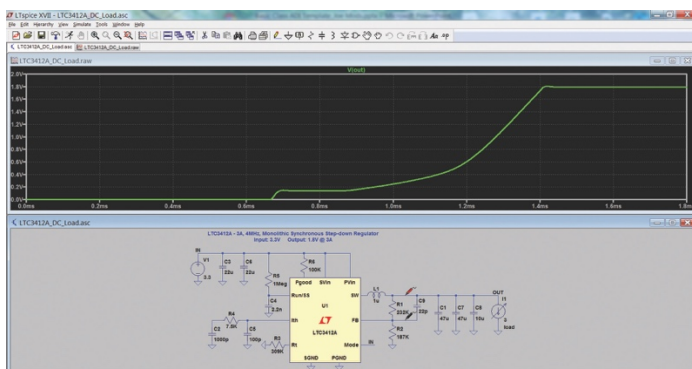


Figure 13. Mesure de la tension différentielle

Pour tracer un courant

Pour tracer la courbe du courant qui circule à travers un composant avec des connexions bifilaires :

- ▶ placez le curseur au-dessus du corps du composant ;
- ▶ le curseur prend la forme d'une sonde de courant (Figure 14) ;
- ▶ cliquez sur le corps du composant.

Pour tracer la courbe du courant circulant à travers la broche d'un composant comptant au moins deux points de connexion :

- ▶ placez le curseur sur la broche concernée ;
- ▶ le curseur prend la forme d'une sonde de courant ;
- ▶ cliquez sur la broche concernée.



Figure 14. Curseur affiché sous la forme d'une sonde de courant

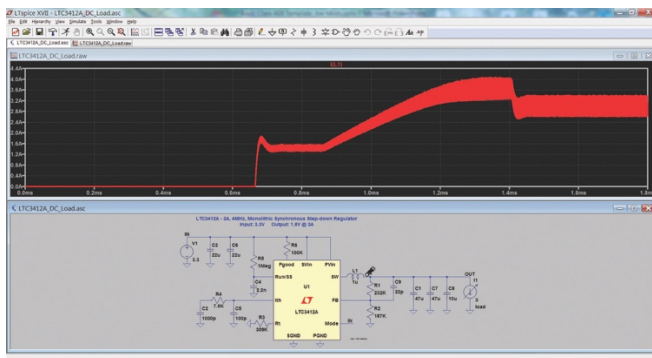


Figure 15. Mesure avec une sonde de courant

Naviguer dans l'oscilloscope numérique

Zoomer sur la forme d'onde

Dans la fenêtre de l'oscilloscope, vous pouvez utiliser la souris pour zoomer sur le composant. Pour agrandir une partie spécifique de la fenêtre de la forme d'onde, il suffit de créer un cadre autour de la région concernée (Figure 16).

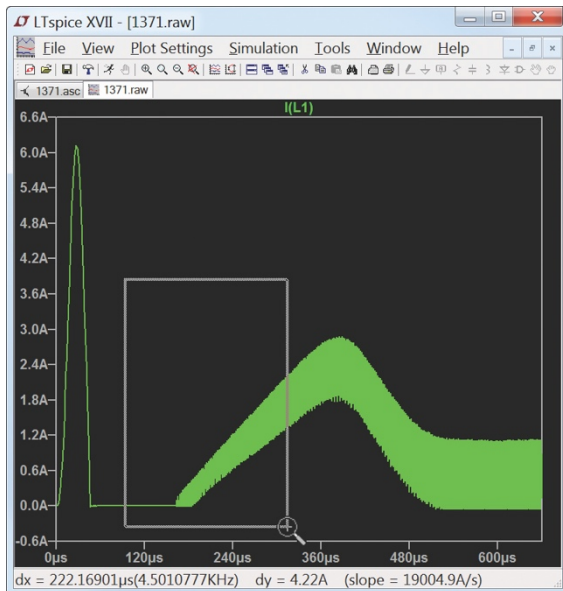


Figure 16. Zoom sur une partie de la forme d'onde située dans l'oscilloscope numérique

Effectuer des mesures rapides

Si vous tracez un cadre autour d'une zone donnée tout en maintenant le bouton de la souris enfoncé, les dimensions du cadre (en unités des axes x et y) sont affichées dans l'angle inférieur gauche de l'oscilloscope, ce qui permet d'effectuer des mesures rapides. Réduisez la boîte avant de relâcher le bouton de la souris pour éviter tout effet de zoom.

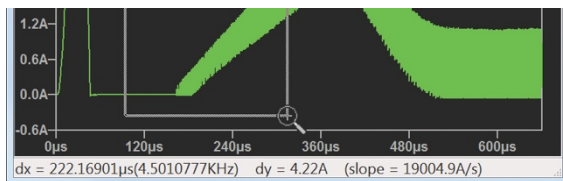


Figure 17. Mesures rapides

Suppression des traces

Pour supprimer certaines traces affichées à l'écran, effectuer un clic droit sur l'étiquette de la trace que vous voulez supprimer (partie supérieure de l'oscilloscope numérique) et sélectionnez **Delete this Trace**. Il est également possible de cliquer sur l'oscilloscope numérique pour vérifier que la fenêtre est active en choisissant **Delete this Trace** dans le menu **Plot Settings** (ou en appuyant sur F5). Le curseur prend la forme d'une paire de ciseaux. Dans la partie supérieure de l'oscilloscope numérique, cliquez sur l'étiquette des traces que vous souhaitez supprimer. Effectuez un clic droit ou appuyez sur la touche Esc pour interrompre la fonction de suppression.

Pour intervenir sur une seule trace, double-cliquez sur le fil, le nœud, le composant ou la broche concerné ; toutes les autres traces disparaîtront de l'oscilloscope numérique.

Pour explorer d'autres fonctions de l'oscilloscope numérique, cliquez sur la fenêtre pour l'activer et faire défiler les options du menu **Plot Settings** ; il est également possible d'effectuer un clic droit sur l'oscilloscope numérique.

Caractéristiques supplémentaires

Par ailleurs, LTspice propose d'autres possibilités de simulation avancées, notamment la détection de l'état d'équilibre (*steady state*), la réponse en transitoire à la mise en conduction (*turn-on transient response*), la réponse à un échelon (*step response*), les calculs d'efficacité/de puissance

et autres options d'analyse avancées. Pour en savoir plus sur l'oscilloscope numérique et/ou les techniques de simulation avancées, veuillez consulter la section [Ressources supplémentaires](#) ci-dessous.

Ressources supplémentaires

Pour en savoir plus sur LTspice, le site www.analog.com/LTspice propose de nombreux articles techniques et vidéos. Les vidéos suivantes fournissent des informations de base supplémentaires concernant l'utilisation d'un éditeur de schémas et d'un oscilloscope numérique.

- ▶ [Éditeur de schémas](#)
- ▶ [Oscilloscope numérique](#)

Pour toute question d'ordre général concernant LTspice, consultez le fichier d'aide en appuyant sur F1. Pour de plus amples informations, consultez l'un des nombreux forums LTspice en ligne tels que EngineerZone® ou l'un des groupes d'utilisateurs de LTspice qui abordent de nombreux sujets, et proposent des tutoriels et des exemples de simulation. En cas de problème concernant le logiciel ou le modèle des composants, merci de nous contacter à l'adresse LTspice@analog.com. Pour toute question spécifique à propos d'une simulation utilisant un composant d'ADI dans votre application, il est recommandé de contacter directement votre FAE.

Bonnes simulations !

* Ce programme n'est volontairement pas disponible sous forme de licence utilisable par des fabricants de semiconducteurs pour la conception, la promotion, la démonstration, le développement ou la vente de leurs produits. Une autorisation spécifique doit être obtenue auprès d'Analog Devices pour utiliser LTspice à cet effet.

** Les macromodèles de composants ADI sont implémentés au moyen de langages de description propriétaires natifs dédiés à LTspice ; à ce titre, ils ne fonctionneront pas sur d'autres plateformes SPICE.

Références

¹ Michael Engelhardt. [SPICE Differentiation](#). Analog Devices, Inc., 2019.