

Altium[®]

Guide de l'utilisateur de PDN Analyzer

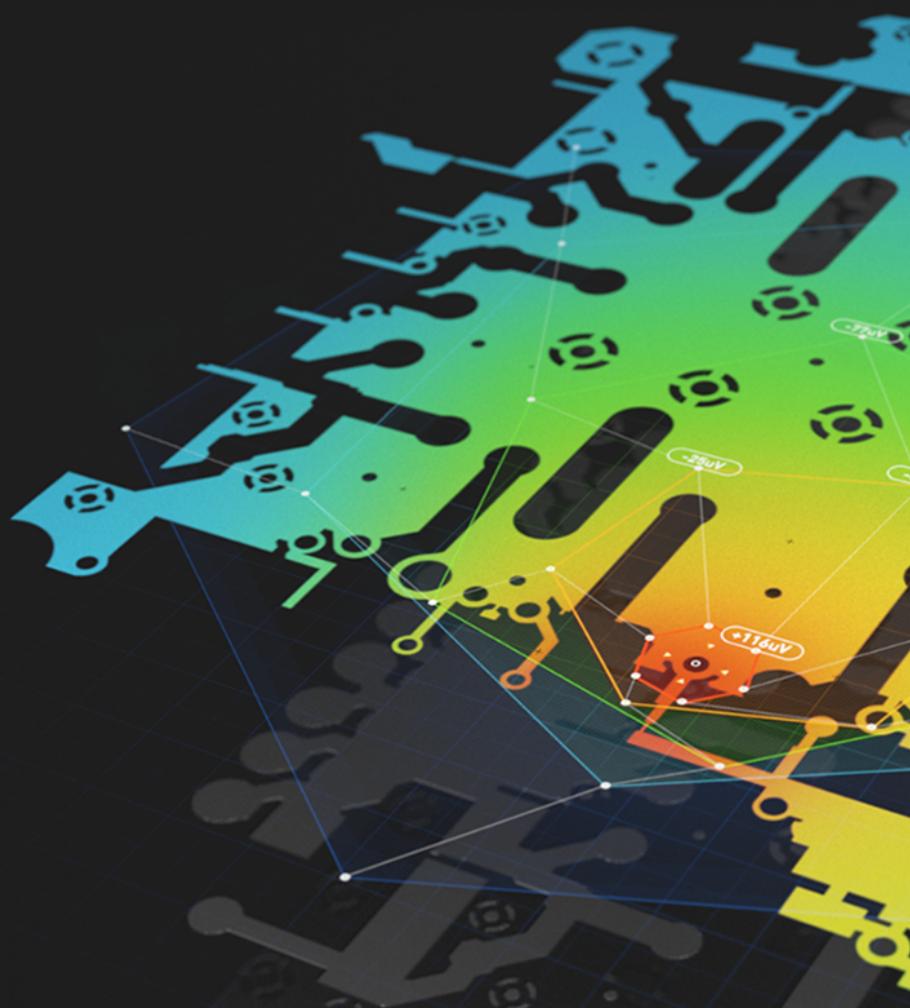




TABLE DES MATIÈRES

LE BUT DE L'INTÉGRITÉ DE L'ALIMENTATION EN DC (COURANT CONTINU)	3
La nécessité de l'analyse PDN durant la conception	3
PREMIÈRE INSTALLATION DE PDN ANALYZER	5
TRAVAILLER AVEC L'INTERFACE DE PDN ANALYZER	7
Configurer votre analyse	7
Exécuter votre analyse	7
Afficher les résultats de votre analyse	7
Modes du filtre d'affichage	8
EXEMPLES PRATIQUES ET DÉMONSTRATIONS	9
VCCINT (1,8 V) de U4 à U1	9
VCCO (3,3 V) de U3 à U1 et plusieurs autres charges	10
PWR_IN (5 V) de J1 à F1 et de S1 à U3, U4 et d'autres charges	10
Paramétrage de l'exemple 1	10
Paramétrage de l'exemple 2 : VCCO (3,3 V)	21
Paramétrage de l'exemple 3 : PWR_IN (5 V)	23
Exemple de simulation par lot	25
CONCLUSION	27
ANNEXE	27
Informations sur la conductivité du métal	27
Épaisseur des vias	28
Erreurs communes et conditions d'avertissement	28



LE BUT DE L'INTÉGRITÉ DE L'ALIMENTATION EN DC (COURANT CONTINU)

Comme la densité et la complexité des conceptions numériques ne font que croître, il est de plus en plus difficile et critique de comprendre parfaitement l'impact des décisions de conception sur les performances en tension et en courant de votre réseau de distribution de puissance (PDN). Au lieu de traiter les problèmes de PDN après coup durant la post-conception en créant des prototypes physiques, de nos jours, les concepteurs de circuits imprimés ont besoin d'identifier avec précision et de résoudre les problèmes de PDN durant la conception, et non après.

En intégrant PDN Analyzer de CST® dans Altium Designer®, nous avons rendu l'analyse PDN accessible et intuitive pour tous les concepteurs de circuits imprimés, quel que soit leur niveau d'expérience. Dans ce guide de démonstration, nous allons vous guider pas à pas durant le paramétrage initial de PDN Analyzer, afin que vous vous sentiez à l'aise avec cet outil et puissiez optimiser votre PDN durant la conception sans avoir besoin du moindre prototype physique.

La nécessité de l'analyse PDN durant la conception

Comment garantir que vous avez mis suffisamment de cuivre entre vos sources de tension et vos charges ? Est-ce que les plans fournissent la plage de tension nécessaire pour alimenter vos charges ? Durant les processus de conception de circuits imprimés typiques, ces questions sont souvent sans réponses, et les ingénieurs s'appuient généralement sur un ensemble de normes établies pour se maintenir dans une fourchette conservatrice de valeurs, espérant ainsi éviter les problèmes de PDN. En faisant de telles hypothèses, l'ingénieur se prépare à des défaillances catastrophiques qui peuvent compromettre la fiabilité et la réputation de votre produit, quand les erreurs ne sont pas détectées par un prototype.

Chaque conception doit satisfaire aux exigences de consommation électrique des puces montées sur la carte. L'étape la plus critique pour y parvenir consiste à mettre la quantité de cuivre adéquate pour l'alimentation DC. Quand la consommation d'énergie n'est pas vérifiée et optimisée, des chutes de tension surviennent et la résistance des formes d'alimentation et de masse consomme votre tension pour en priver les charges qui en ont le plus besoin.

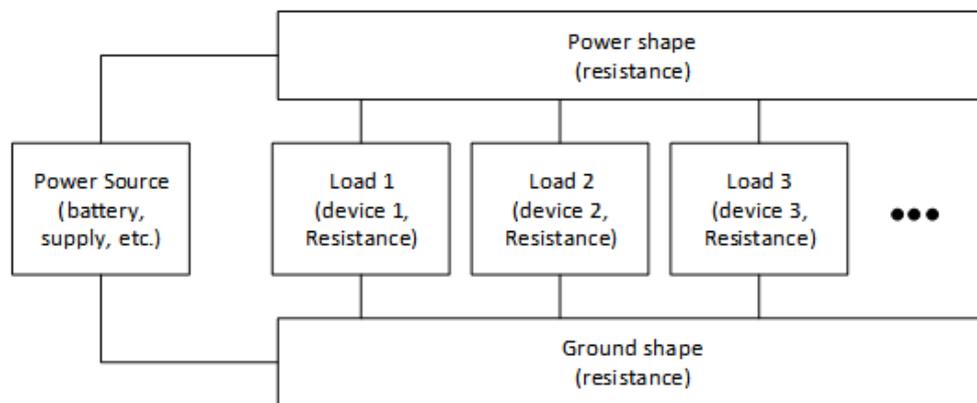
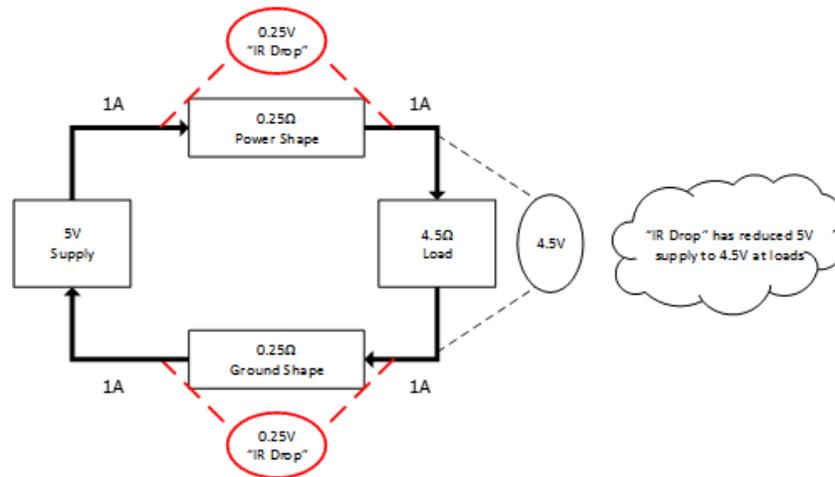


Diagramme des formes élémentaires d'alimentation et de masse

La figure ci-dessus montre un diagramme simple des formes d'alimentation et de masse (traces et plans) qui apportent le courant aux charges diverses (mémoire, microcontrôleurs, etc.). Notez que toutes les charges sont liées aux mêmes zones d'alimentation et de masse et qu'elles dépendent de ces formes pour obtenir leur tension de fonctionnement. En général, nous avons tendance à supposer que ces formes d'alimentation et de masse ont une résistance de zéro ohm, ce qui n'est jamais vrai et qui fait que cette hypothèse peut causer des problèmes. En raison des courants relativement importants impliqués, même de petites résistances dans les zones d'alimentation et de masse peuvent entraîner une consommation et des chutes de tension importantes.



Démonstration de l'effet de la chute de tension entre une source d'alimentation et une charge

La figure 1 ci-dessus montre un exemple des problèmes qui peuvent survenir si la résistance des formes d'alimentation et de masse n'est pas prise en compte correctement. Même si chaque forme possède une résistance relativement faible de seulement 0,25 ohm, celles-ci ont fait chuter la tension à la charge de 5 V à 4,5 V. Le concepteur doit être conscient de cette chute de tension et s'assurer que la charge n'en souffrira pas, ou changer la conception pour la réduire, sinon le circuit peut être défaillant, une fois déployé.

Bien sûr, ce problème semble facile à résoudre – il suffit de vous assurer que vos formes d'alimentation et de masse sont suffisamment petites ou grandes pour ne représenter qu'une résistance négligeable, en utilisant la relation suivante : $R = \rho * L / A$, où :

- R est la résistance totale d'une forme (trace ou plan)
- ρ est la résistivité du matériau utilisé pour la forme (généralement en cuivre, $\rho \approx 1,7 \mu\Omega\text{-cm}$)
- L est la longueur de la forme
- A est l'aire de la section de la forme (largeur * épaisseur)

Si vous concevez des formes d'alimentation courtes, épaisses et larges, vous minimiserez leur résistance. Toutefois, la difficulté de ce processus réside dans le fait que des formes trop grandes consomment inutilement de l'espace de routage et qu'elles peuvent limiter la quantité d'espace dont disposeront les autres formes de tension. Une conception dotée de zones d'alimentation et de masse correctement dimensionnées sera plus compacte et utilisera moins de couches qu'une conception utilisant arbitrairement des plans surdimensionnés. Le but de l'intégrité de l'alimentation CC est de faire savoir au concepteur si ses formes d'alimentation et de masse sont adéquates et non excessives.

Une autre considération relative à la chute de tension est le fait que la quantité d'électricité consommée est déterminée par la relation I^2R , et qu'une légère augmentation de courant à travers une résistance provoque une forte augmentation de la consommation d'énergie. Ce phénomène se manifeste par une autonomie réduite de la batterie ou un réchauffement considérablement de la conception lorsque les formes d'alimentation et de masse ne sont pas suffisamment grandes pour recevoir le courant qui les traverse. Le fait de s'assurer que la chute de tension à travers les formes d'alimentation et de masse est très petite permettra de minimiser la consommation d'énergie dans ces formes.

À l'extrême, si une forme est assez résistive (très étroite et longue) et qu'un courant suffisant la traverse, cette forme se comportera essentiellement comme un fusible, en faisant fondre la forme de cuivre, en entraînant la défaillance de la conception et éventuellement en créant une situation dangereuse. La norme [IPC-2152](#) répond à ce problème, mais en utilisant des hypothèses pessimistes (par exemple, aucun cuivre thermoconducteur ne doit se trouver à proximité) et les concepteurs utilisent souvent cette norme avec les hypothèses les plus conservatrices en n'autorisant par exemple qu'une augmentation de température minimale.



Même si l'intégrité de l'alimentation DC ne peut remplacer la norme IPC-2152 et servir de ligne directrice pour les considérations thermiques, elle peut fournir de précieuses informations sur la façon d'optimiser en toute sécurité une conception en étudiant les chutes de tension et les densités de courant du système de distribution de courant d'un circuit imprimé. Une conception optimisée afin d'avoir les densités de courant et les chutes de tension les plus petites possibles entre les sources et les charges, génèrera également moins de chaleur ce qui diminuera la probabilité de problèmes thermiques.

Un autre aspect traité par l'intégrité de l'alimentation DC est le nombre de vias utilisés pour distribuer le courant. Le problème est très similaire au bon dimensionnement des formes. S'il n'y a pas assez de vias, il en résulte une perte de tension et un gaspillage d'énergie en raison des chutes de tension. S'il y a trop de vias, une surface occupée précieuse est gaspillée. S'il y a trop de vias pour une tension particulière, ces vias passent à travers des formes dans d'autres couches, réduisant leur section de cuivre et causant des problèmes pour les autres tensions. Tout comme le dimensionnement des formes, l'analyse de la tension à la charge permet de dimensionner ou de choisir correctement le nombre de vias.

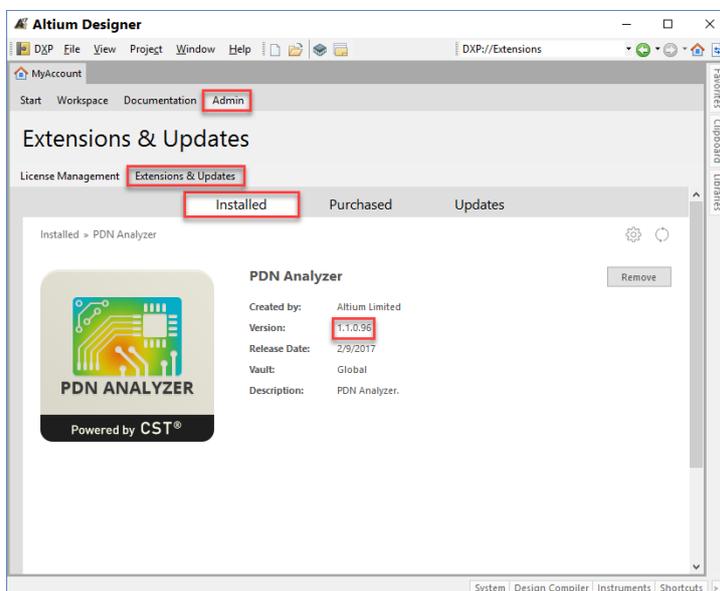
En l'absence de données fiables sur la chute de tension à travers les diverses formes d'alimentation et de masse, le concepteur est forcé d'être conservateur, en utilisant un excès de formes de plan et de vias qui consomment une surface occupée très précieuse, et en augmentant le nombre de couches et le facteur de forme de la conception. PDN Analyzer fournit des informations précises sur l'adéquation de la distribution de courant DC d'une conception dans un format facile à utiliser, direct et rapide, qui permet aux concepteurs de concevoir les distributions de courant les plus performantes possibles.

Non seulement les résultats permettent de faire la vérification finale de la conception, mais ils permettent également, au stade de la planification d'une conception, de concevoir la distribution de courant la plus efficace que possible. L'intégrité de l'alimentation DC est un outil précieux pour réaliser le réseau de distribution de courant le plus efficace et robuste possible et PDN Analyzer rend l'exécution de cet outil simple, intuitive et efficace.

PREMIÈRE INSTALLATION DE PDN ANALYZER

PDN Analyzer est supporté par Altium Designer, version **17.0.0** ou ultérieure, et nécessite le système d'exploitation Windows 64 bits. Pour vérifier que l'extension PDN Analyzer est installée, procédez comme suit :

1. Connectez-vous à votre compte AltiumLive dans Altium Designer.
2. Sélectionnez **DXP » Extensions and Updates (extensions et mises à jour) » Installed (installé)**.
3. Vérifiez que l'extension s'affiche comme illustré dans la figure ci-dessous :



Vérification de l'installation de l'extension PDN Analyzer

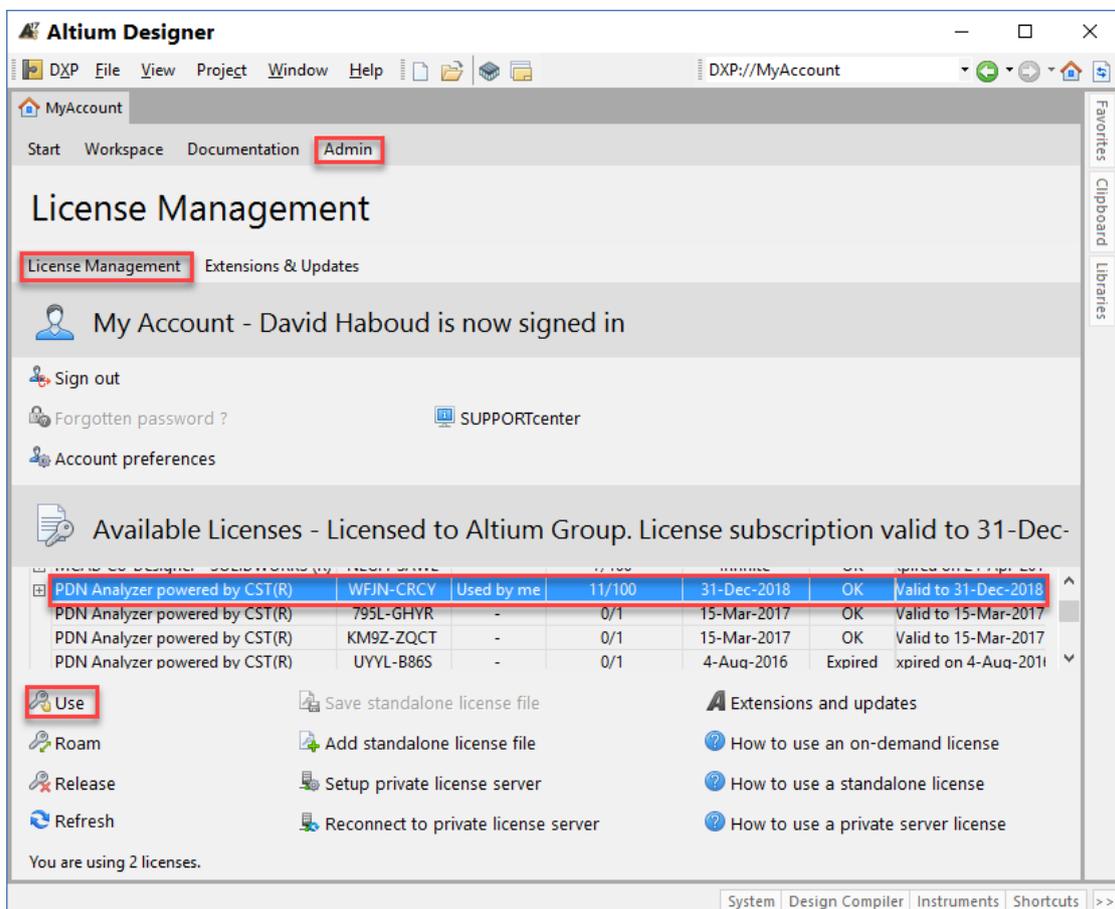


Si PDN Analyzer n'est pas installé, procédez comme suit :

1. Sélectionnez **DXP » Extensions and Updates (extensions et mises à jour)**.
2. Sélectionnez **l'onglet Purchased (achetés)**.
3. Sélectionnez l'icône de téléchargement à côté de l'extension PDN Analyzer.
4. Une fois le téléchargement terminé, redémarrez Altium Designer pour terminer l'installation.

N'oubliez pas que l'extension PDN Analyzer requiert une licence distincte en plus d'une licence Altium Designer active. Vous pouvez activer votre licence PDN Analyzer en exécutant les étapes suivantes :

1. Ouvrez Altium Designer, puis sélectionnez **DXP » Extensions & Updates (extensions et mises à jour)**
2. Dans la fenêtre de gestion des licences, sélectionnez votre licence PDN Analyzer, comme le montre *la figure* ci-dessous
3. Sélectionnez **Activer (activer)**



Activation de la licence PDN Analyzer dans Altium Designer



TRAVAILLER AVEC L'INTERFACE DE PDN ANALYZER

Maintenant que votre extension PDN Analyzer est installée et activée, vous pouvez commencer le processus de configuration de l'interface, exécuter votre première analyse et afficher les résultats.

Configurer votre analyse

La configuration de votre analyse avec l'extension PDN Analyzer se fait facilement. La configuration peut se résumer en quatre étapes simples :

1. Définir le **Source Power Net (nœud d'alimentation source)**, le **Load Power Net (nœud d'alimentation de charges)** et le **Ground Net (nœud de masse)**.
2. Définir le composant **Source** et les composants **Load (charge)** reliés à un **DC Power Rail (rail d'alimentation DC - courant continu)** spécifique.
3. Définir le **Voltage (tension)** du nœud **Source** et le **Current (courant)** maximal.
4. Définir le **Current (courant)** du nœud de **Load (charge)** et les niveaux de **Voltage (tension)** minimal pour un nœud d'alimentation spécifique.

L'ensemble des paramètres de configuration peut être enregistré dans un fichier de configuration et rechargé à tout moment. Notez que toute l'analyse est effectuée sur un rail d'alimentation unique par simulation. L'analyse de plusieurs **DC Power Rails (rails d'alimentation DC)** nécessite de définir et d'enregistrer plusieurs configurations dans des fichiers de configuration unique. Vous pouvez ensuite analyser individuellement tous les nœuds nécessaires. Si des attributs critiques ne sont pas définis ou sont mal définis, un message s'affiche indiquant l'erreur et empêchant l'exécution de la simulation.

Exécuter votre analyse

Une fois que vous avez défini votre configuration, le message **Ready to simulate (Prêt à simuler)** s'affiche, vous permettant d'effectuer une analyse DC. Le moteur d'analyse calcule la résistance DC de tous les objets en cuivre sur le chemin reliant la source d'alimentation et les broches de masse à toutes les charges et broches de masse. La chute de tension DC qui en résulte est ensuite affichée afin que l'utilisateur puisse déterminer l'intégrité du nœud d'alimentation. Le temps d'exécution de l'analyse varie selon la taille et la complexité de la conception.

Afficher les résultats de votre analyse

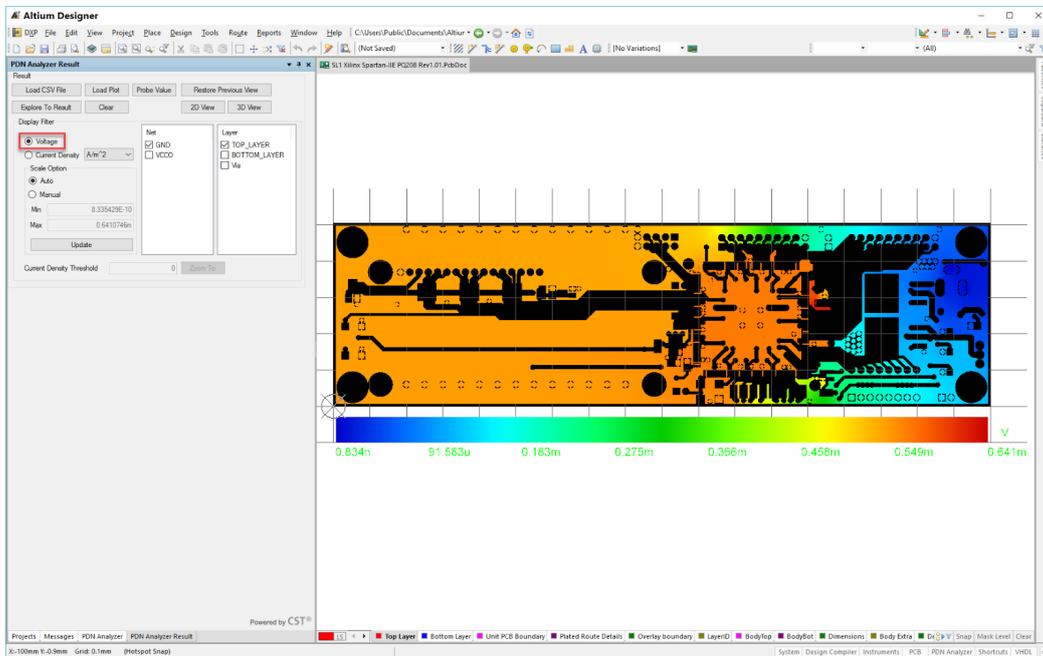
Lorsque l'analyse est terminée, les résultats graphiques sont annotés sur les objets en cuivre physiques du nœud analysé et peuvent être visualisés en 2D ou 3D. Vous pouvez basculer individuellement entre l'affichage des résultats du **Ground Net (nœud de masse)**, des **Power Nets (nœuds d'alimentation)** ou des **PCB Layers (couches du circuit imprimé)**, ce qui vous permet d'examiner n'importe quelle section de votre PDN.



Modes du filtre d'affichage

Mode Voltage (tension) :

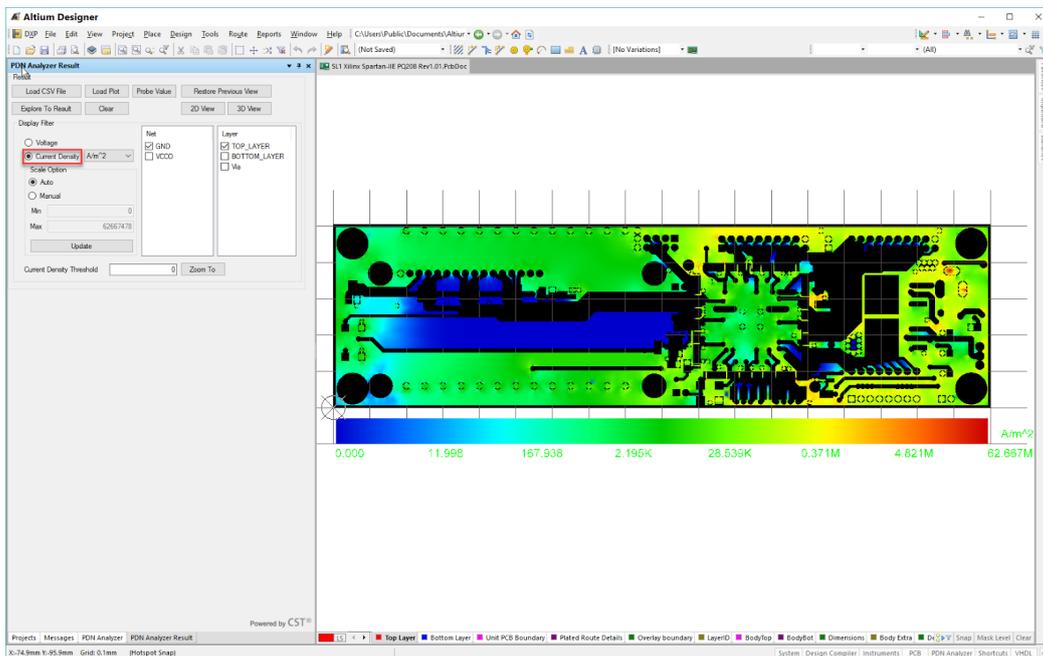
L'affichage est annoté avec une gamme de valeurs codées en couleur reflétant la tension, du minimum au maximum, calculée à des points spécifiques dans l'épaisseur physique de cuivre.



Mode Voltage (tension) du filtre d'affichage

Mode Density Current (densité de courant) :

L'affichage est annoté avec une gamme de valeurs codées en couleur reflétant la densité de courant, du minimum au maximum, exprimée comme un **courant (uA, mA ou A)** divisé par une **surface (mils carrés, mm carrés ou mètres carrés)**. Cela est utile pour déterminer si la largeur ou la surface d'une trace de cuivre, d'un polygone ou d'un plan doit être modifiée pour obtenir une distribution de courant optimale.



Mode Current Density (densité de courant) du filtre d'affichage



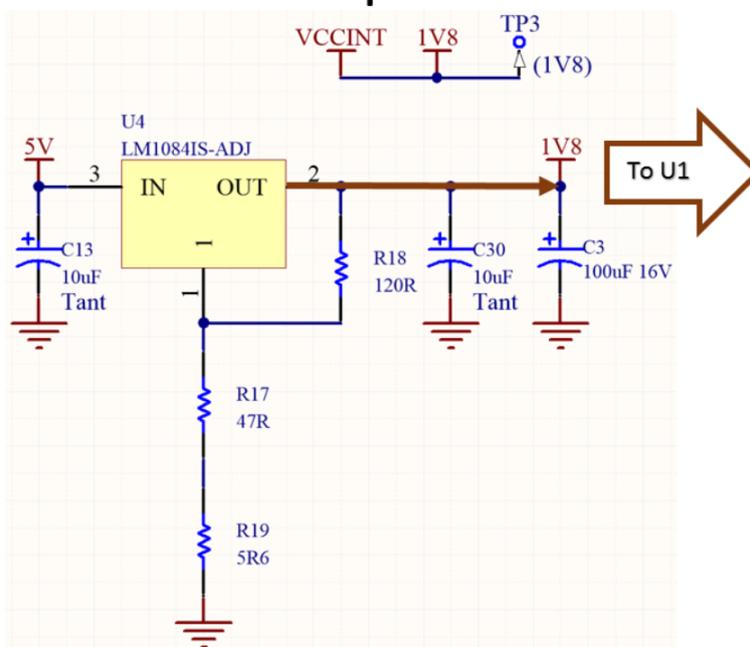
Remarque : Les valeurs des modes **Voltage (tension)** ou **Current Density (densité de courant)** d'un point précis dans le cuivre peuvent être affichées comme une valeur numérique en sélectionnant **Probe value (valeur de sonde)** dans le panneau des résultats et en cliquant sur l'emplacement souhaité.

EXEMPLES PRATIQUES ET DÉMONSTRATIONS

Nous allons utiliser la conception SpiritLevel pour les exemples de cette section. Par défaut, ces fichiers se trouvent dans le dossier « Exemples (exemples) » de votre dossier d'installation Altium Designer : **C:\Users\Public\Documents\Altium\ADxx\Examples\SpiritLevel-SL1**

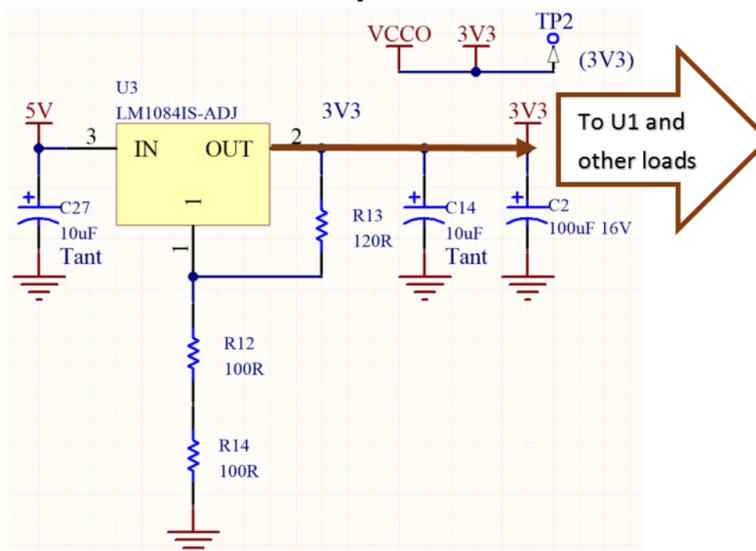
Nous nous concentrerons sur les exemples suivants :

Exemple 1



Exemple projet 1 : VCCINT (1,8 V) de U4 à U1

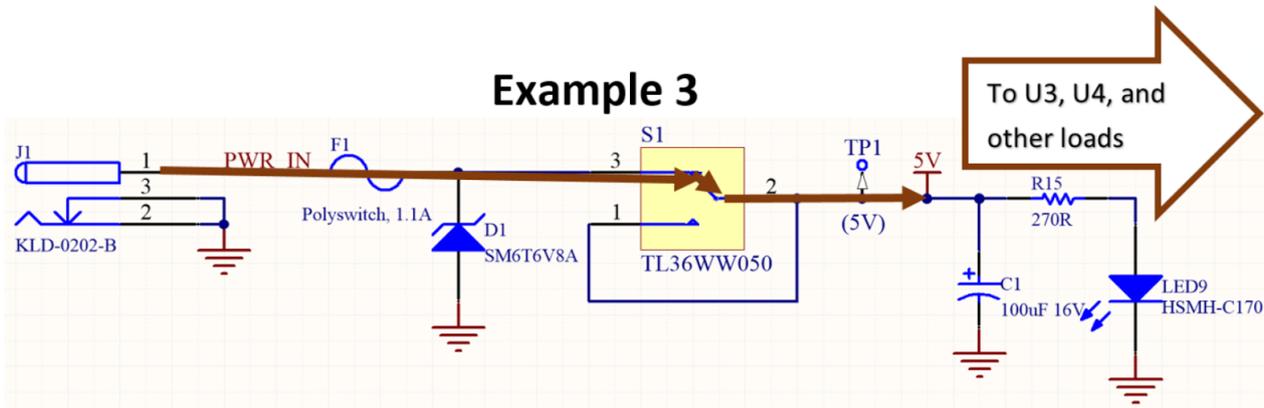
Exemple 2



Exemple projet 2 : VCCO (3,3 V) de U3 à U1



PWR_IN (5 V) de J1 à F1 et de S1 à U3, U4 et d'autres charges

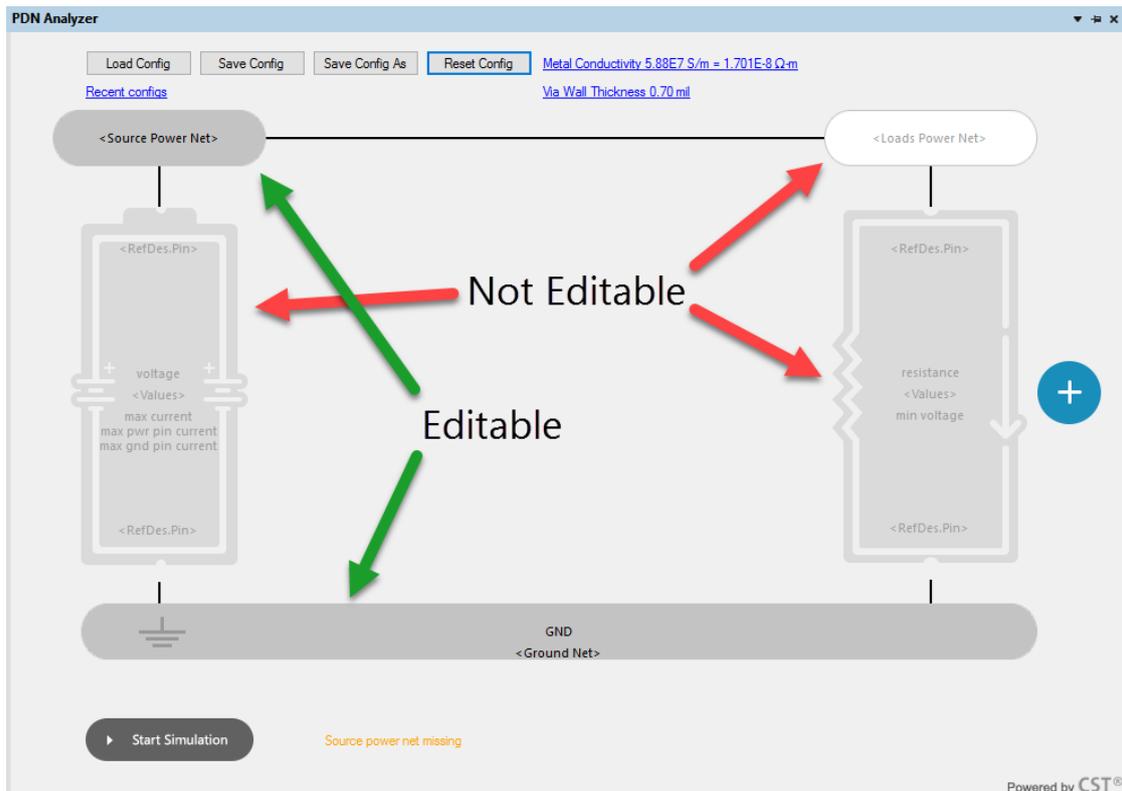


Exemple projet 3 : PWR_IN (5 V) de J1 à F1 et de S1 à U3, U4 et d'autres charges

Paramétrage de l'exemple 1 : VCCINT (1,8 V)

Lancement de l'analyse PDN

- Ouvrez un schéma ou un document de circuit imprimé de SpiritLevel et ouvrez l'extension PDN Analyzer (**Tools (outils) > PDN Analyzer**). Cela lance l'extension dans un panneau séparé, comme illustré dans la figure ci-dessous :



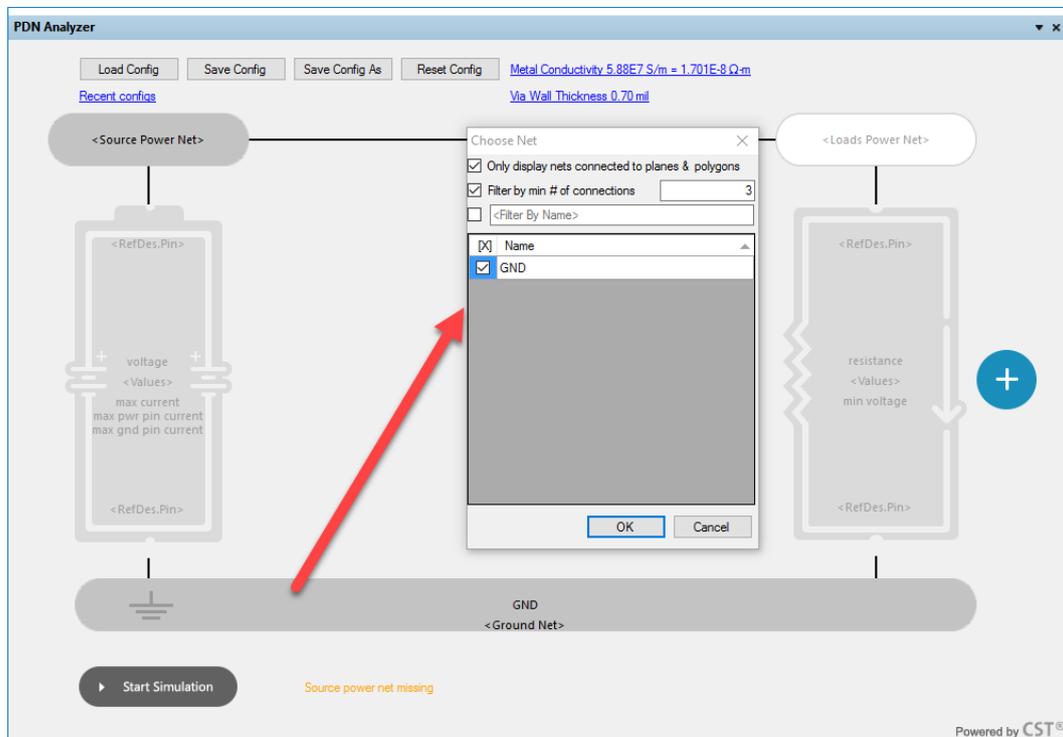
Ouvrir l'interface de PDN Analyzer

Les options décrites ci-dessous fournissent un aperçu des paramètres qui s'affichent dans l'interface de PDN Analyzer. Si certains de ces éléments n'apparaissent pas, vous devrez peut-être redimensionner le panneau de l'interface. Les éléments dont le fond est atténué et le texte pâle ne sont toujours pas modifiables – d'autres informations doivent être fournies avant que ces éléments ne puissent être modifiés. Les éléments dont le fond est plus net et le texte clair peuvent être modifiés si nécessaire.



- Le bouton Load Config permet de charger des configurations de PDN Analyzer qui ont été précédemment enregistrées.
- Le lien Recent configs a une double fonction :
 - Affiche le nom actuel de la configuration après qu'elle ait été chargée ou enregistrée.
 - ◊ Si la configuration a été modifiée depuis qu'elle a été chargée ou enregistrée, un astérisque est ajouté après le nom affiché.
 - Fournit une liste déroulante rapide pour choisir parmi les configurations précédemment enregistrées ou chargées.
- Le bouton Save Config permet d'enregistrer des configurations de PDN Analyzer.
- Le bouton Save Config As permet d'enregistrer des configurations de PDN Analyzer en leur donnant un nom spécifique.
- Le bouton Reset Config efface toutes les entrées de configuration.
- L'option Metal Conductivity affiche la valeur de conductivité du nœud actuel et permet de modifier les entrées de cette valeur, y compris la conductivité de base du métal et la compensation de température.
- Via Wall Thickness définit l'épaisseur de la partie cylindrique du via. Le matériau du cylindre est spécifié dans la fenêtre Metal Conductivity.
- Le bouton Start Simulation en bas à gauche n'est activé qu'une fois que tous les paramètres requis ont été renseignés.

2. Cliquez sur le symbole **<Ground Net>** au bas de la toile pour afficher son écran de paramétrage et assurez-vous que **GND** est déjà sélectionné comme nœud de masse. S'il ne l'est pas, alors il ne serait pas sélectionnable ici. Le nœud nommé **GND** est sélectionné par défaut, donc cette étape ne devrait pas être nécessaire.

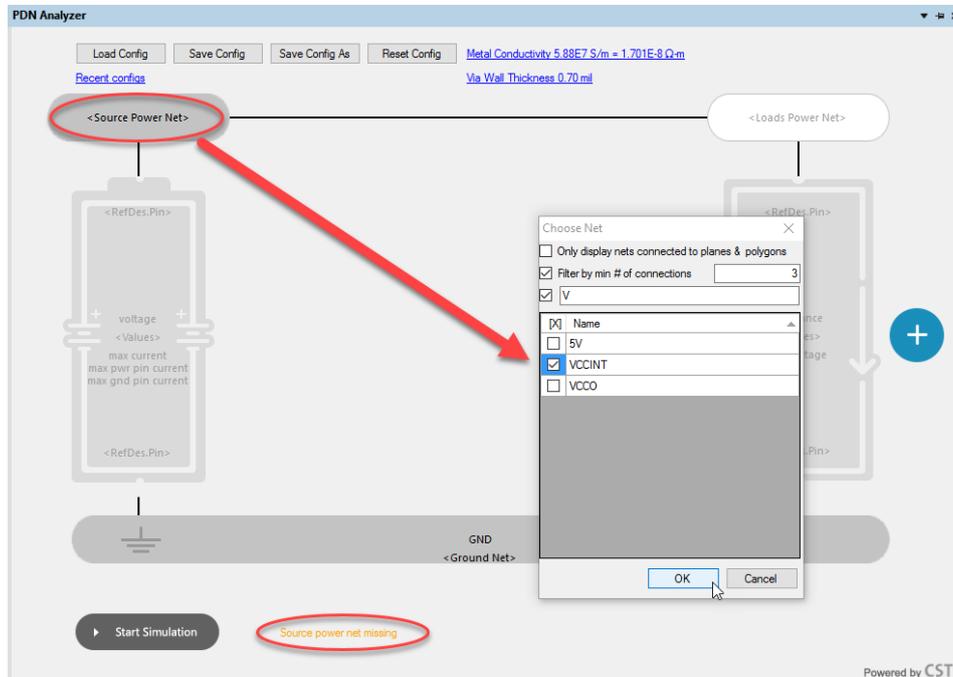


Vérification du nœud de masse

a. Notez le message « Source power net missing (nœud d'alimentation source manquant) » au bas de la toile. Généralement, le message qui est affiché ici indique la prochaine étape de configuration à effectuer en vue de la simulation.

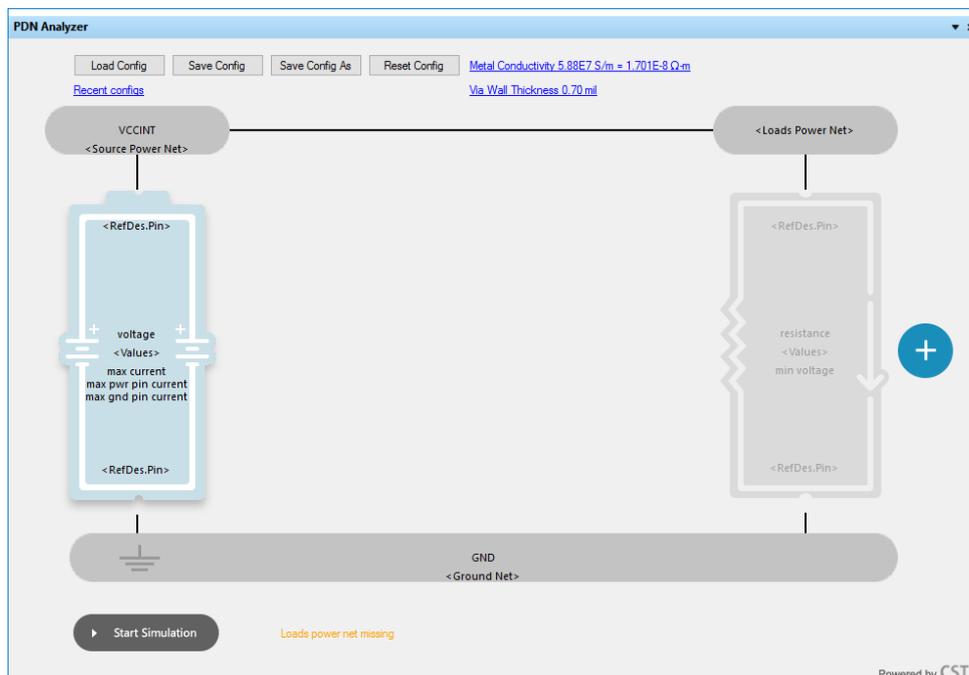


- Sélectionnez l'icône **<Source Power Net>** pour choisir le nœud de distribution de courant que vous voulez évaluer, comme illustré dans la figure ci-dessous (**VCCINT** dans notre cas). Les options de filtrage sont définies par défaut pour n'énumérer que les nœuds d'alimentation probables.
- Cochez la case à côté de **VCCINT**, puis appuyez sur **OK**.



Identification du nœud d'alimentation source

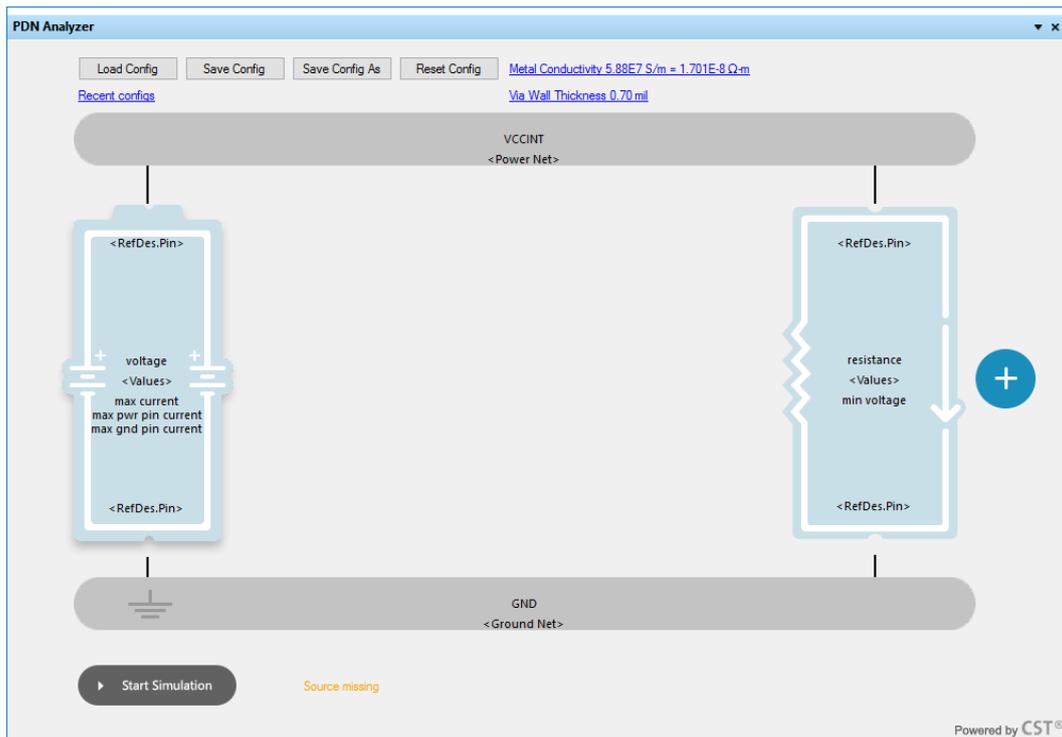
- Remarquez que le fond de l'icône **<Source Power Net>** devient bleu pour indiquer qu'il a été rempli, et que le message en regard du bouton de simulation change aussi. Notez également que la source de tension et les symboles **<Loads Power Net>** sortent de leur état grisé (voir figure ci-dessous) pour indiquer qu'ils peuvent désormais être modifiés.



Le nœud de source et la source de tension sont configurés

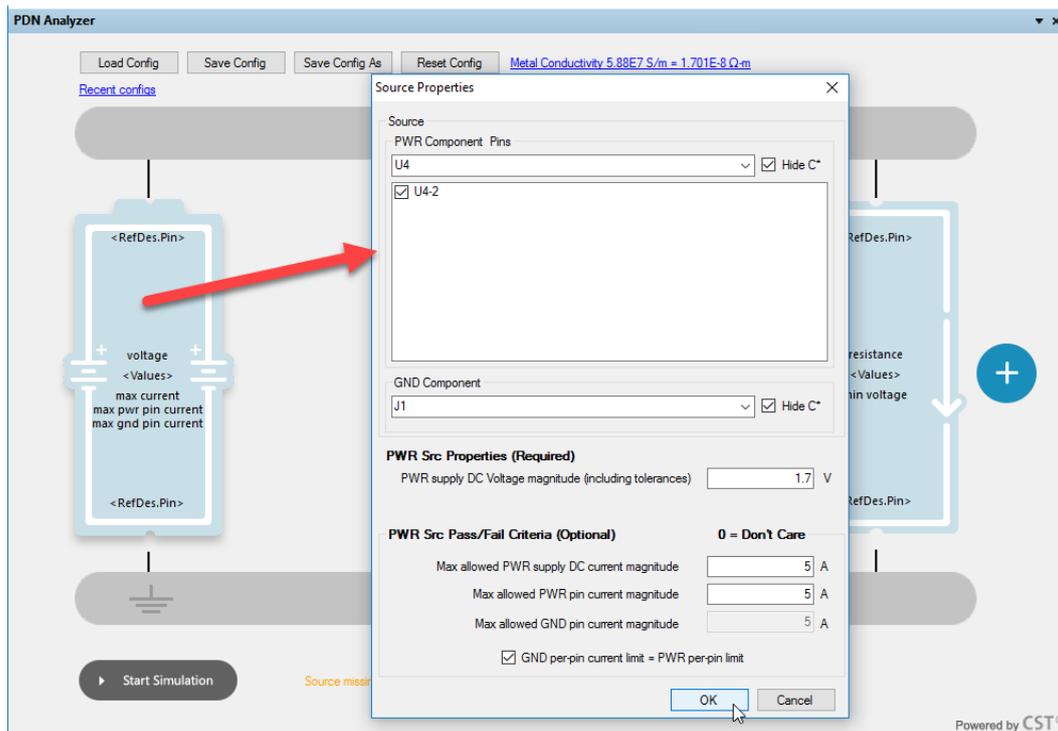


6. Sélectionnez le symbole **<Loads Power Net>** dans le coin supérieur droit de la toile de PDN Analyzer (figure ci-dessus). Dans ce cas, le nœud d'alimentation des charges est le même que le nœud d'alimentation source (VCCINT), donc vous pouvez appuyer immédiatement sur **OK** pour accepter la valeur par défaut.
- a. Notez que les symboles **Source Power Net (nœud d'alimentation source)** et **Loads Power Net (nœud d'alimentation des charges)** ont maintenant été fusionnés (voir figure ci-dessous) pour indiquer qu'ils constituent le même nœud (**VCCINT**). Notez également que la charge sur la droite de la toile peut maintenant être modifiée et qu'un message nous demande de définir la source de tension.



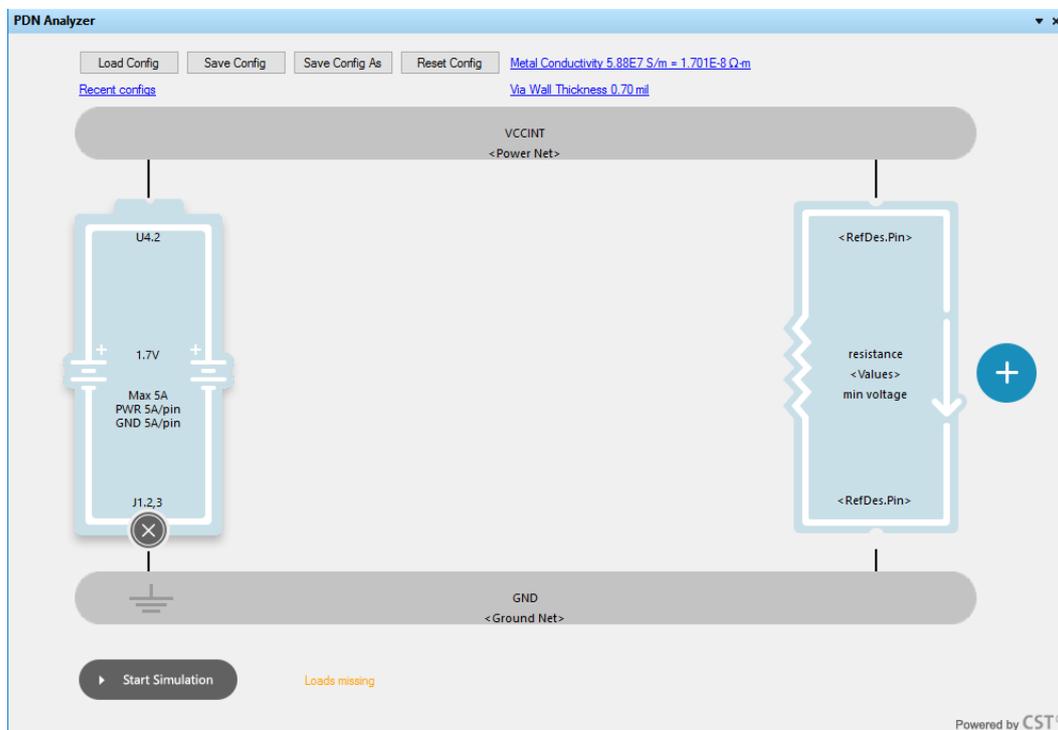
Paramétrage du nœud d'alimentation terminé

7. Sélectionnez l'icône **<RefDes.Pin>** de la source pour choisir les connexions à la source et les paramètres, comme illustré sur la figure ci-dessous.
8. Choisissez **U4** et **U4-2** comme la **source d'alimentation** et la **broche**, puisqu'ils alimentent ce réseau. Utilisez l'option **Hide C* (masquer C*)** pour filtrer les condensateurs lorsque vous cherchez **U4**. Comme **U4** est un **régulateur monté en série (linéaire)**, il alimente ce réseau, mais pas le nœud de masse.
9. Sélectionnez **J1** comme le **Ground Component (composant de masse)**. Les deux broches de **J1 (broches 2 et 3)** qui **ont une connexion au nœud GND** seront utilisées.
 - a. Nous avons décidé de déclasser l'entrée de 1,8 V de 5 %, soit 0,1 V, donc nous avons choisi 1,7 V comme tension de simulation.
 - b. Nous avons également sélectionné 5 A comme courant maximal que le composant et chacune de ses broches peuvent fournir.
 - c. Par défaut, le courant max. sur la broche de masse est défini pour correspondre au courant de la broche PWR. Cela est correct dans le cadre de cet exemple.



Paramétrage de la source de tension

10. Sélectionnez OK pour valider les paramètres de la source de tension. Le message au bas de la fenêtre devient « Loads missing (charges manquantes) », ce qui indique que nous ne sommes toujours pas prêts à lancer une simulation...



Source de tension configurée

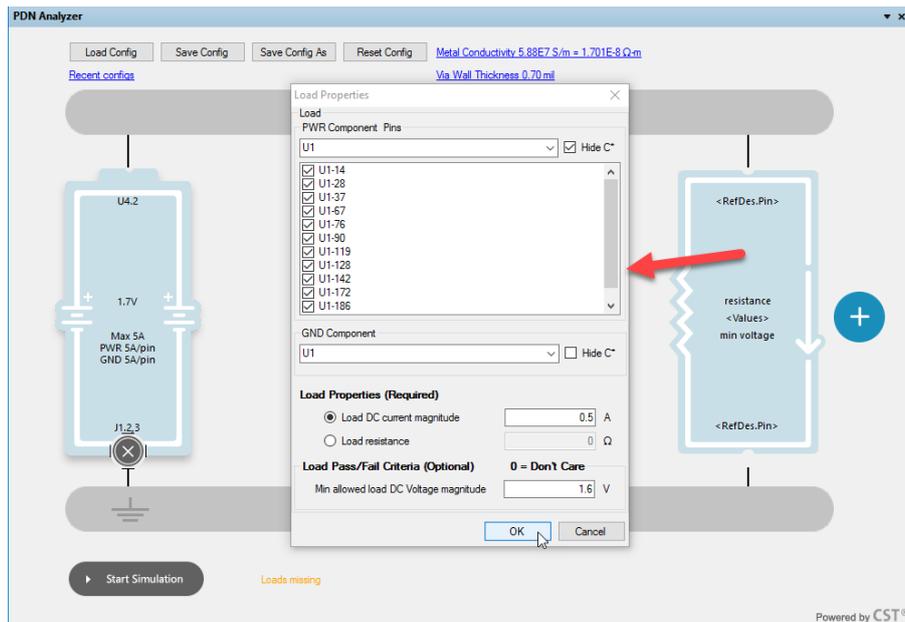
11. Sélectionnez **<Loads Power Net>**. Dans ce cas, c'est le même que le nœud d'alimentation source (**VCCINT**), donc vous pouvez appuyer sur OK immédiatement après avoir sélectionné l'icône **<Loads Power Net>**. **VCCINT** s'affiche en bleu comme nœud d'alimentation source et de charges et le message à côté du bouton de simulation est modifié.



12. Sélectionnez l'icône <RefDes.Pin> de la charge, choisissez U1 comme la charge et entrez les paramètres suivants :

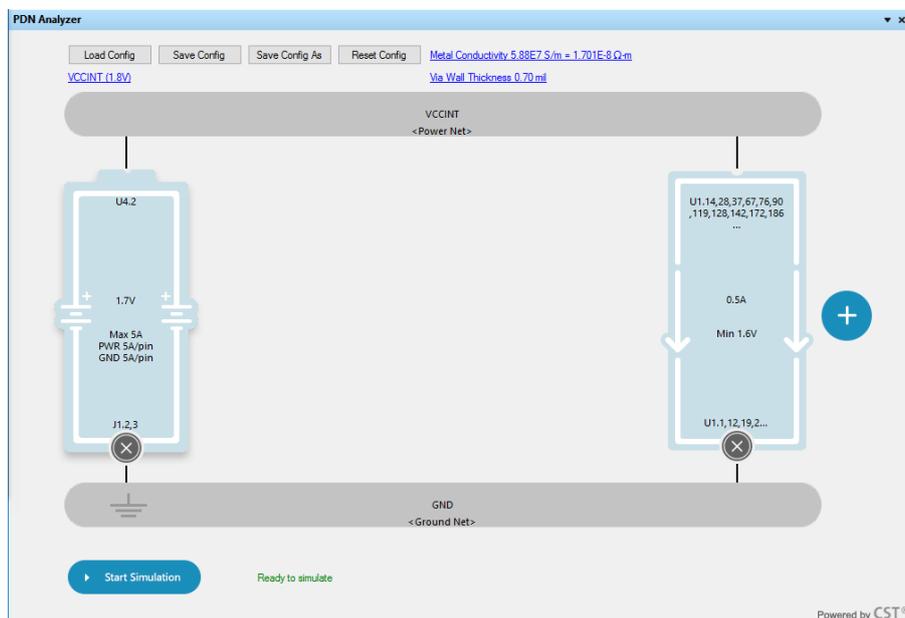
- Attribuez 1,6 V comme le minimum autorisé (dans le cas de cet exemple, nous permettons une chute DC de 10 %, 1,8 V - 10 % = 1,6 V).
- Attribuez 0,5 A comme valeur du courant continu dans la charge.

13. Sélectionnez **OK** pour terminer la définition de la charge. Le message en bas indique maintenant que nous sommes prêts à lancer la simulation.



Configuration de la charge

Remarque : Dans ce cas, nous supposons que toutes les broches de **U1** ont les mêmes paramètres, ce qui signifie que le courant de charge **0,5 A** sera équitablement réparti entre les broches d'alimentation/de masse de **U1**. Si certaines broches avaient des paramètres différents, seul un sous-ensemble de broches serait sélectionné auquel des paramètres seraient assignés et nous ajouterions un **U1** distinct avec les autres broches et leurs paramètres.



Prêt pour la simulation



14. Toutes les cases sont bleues, ce qui indique qu'elles ont toutes été remplies, et le message à côté du bouton indique que nous sommes prêts.

PDN Analyzer permet de mettre dans une file d'attente plusieurs simulations (configurations) afin qu'elles puissent être exécutées par lot. Même si l'exécution de simulation avec PDN Analyzer est souvent de courte durée, des cartes très complexes avec plusieurs rails de tension peuvent exiger des temps d'exécution de simulation par rail bien plus long. Grâce à la simulation par lot, l'utilisateur peut exécuter une série de simulations pendant qu'il n'utilise pas l'ordinateur et revenir plus tard pour revoir une multitude de résultats prêts à être revus.

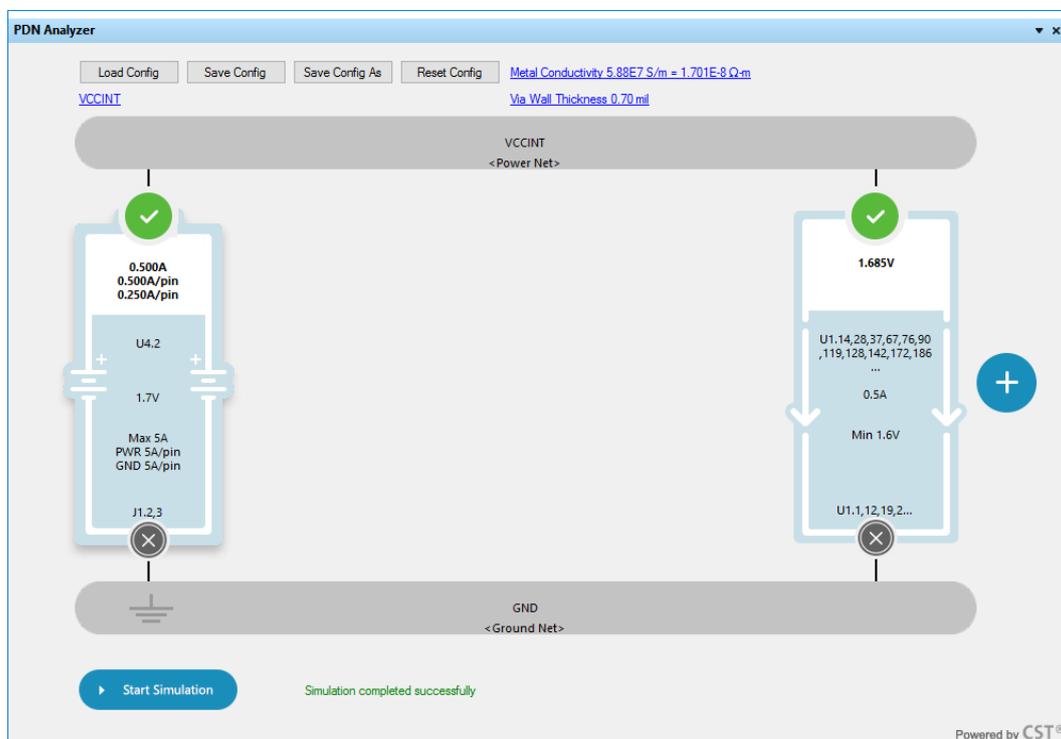
Après avoir enregistré cette configuration, selon l'étape suivante, vous pouvez choisir de configurer les deux autres exemples (les nœuds VCCO et PWR_IN) et de les enregistrer pour effectuer un lot de simulations. Les nouvelles configurations sont créées après avoir enregistré la configuration actuelle et cliqué sur le bouton Reset Config en haut de la toile de PDN Analyzer.

15. Cliquez sur le bouton « Save Config As (enregistrer la configuration sous) » pour enregistrer cette configuration. Saisissez **VCCINT (1,8 V)** comme nom de configuration et sélectionnez « Save (enregistrer) » pour terminer l'action.

Remarque : Le nom de la configuration est maintenant affiché en dessous du bouton **Load Config**. En cliquant sur le nom, vous pourrez choisir rapidement entre cette configuration et d'autres qui sont enregistrées.

16. Appuyez sur le bouton **Start Simulate (démarrer la simulation)** dans le coin inférieur gauche pour continuer.

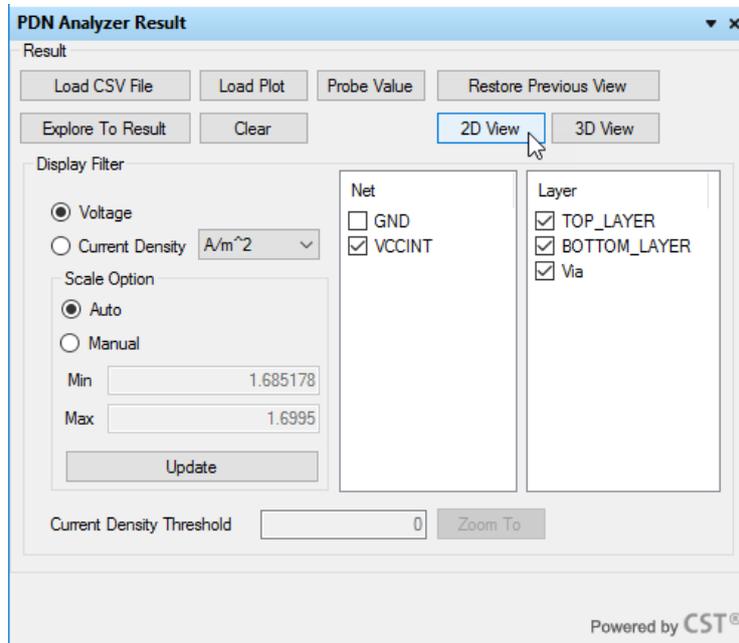
17. Examinez les résultats de la simulation PDN Analyzer conformément à la figure ci-dessous. Selon vos options d'affichage, les fenêtres de message ou de résultats peuvent être affichées. Notez que ni le courant maximal de la source permis, ni le minimum de tension à la charge permis, n'ont été violés, donc des coches vertes apparaissent au-dessus d'eux. Les violations auraient été indiquées par des « X » rouges.



Revue des résultats de l'analyse PDN, sans erreur

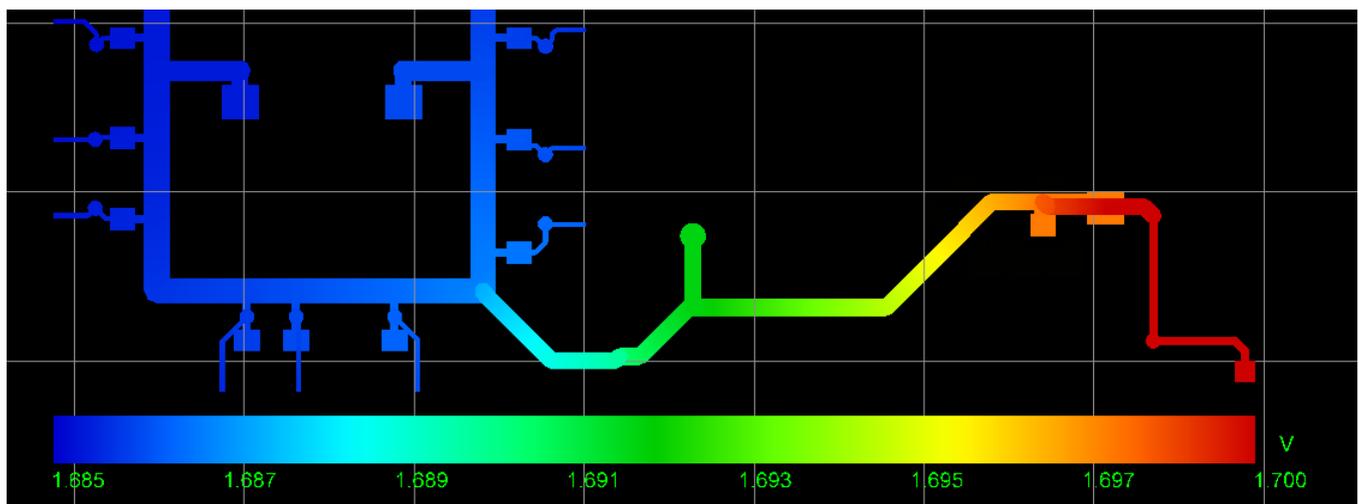


18. Affichez les résultats du nœud de tension graphiquement. Sélectionnez la fenêtre **PDN Analyzer Result (résultats de PDN Analyzer)**, le **nœud VCCINT** et les couches **Top_Layer**, **Bottom_Layer** et **Via**. **Pour basculer entre une vue 2D et une vue 3D, sélectionnez 2D View ou 3D View. (L'affichage Voltage, la mise à l'échelle Auto, le nœud VCCINT et les couches Top_Layer, Bottom_Layer et Via ont été activés).**



Configuration de l'affichage 2D des résultats de l'analyse PDN

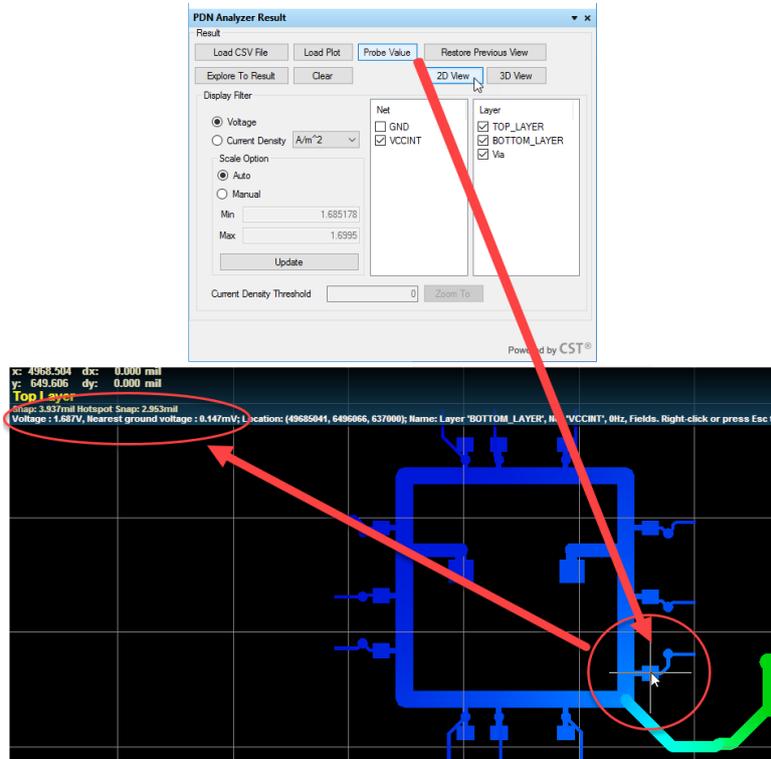
19. Cliquez sur le bouton **2D View**, puis sélectionnez la feuille... **PcbDoc** dans Altium Designer pour l'amener au premier plan. Vos résultats en **vue 2D** doivent être similaires à la figure ci-dessous :



Tracé de la chute de tension (vue 2D)

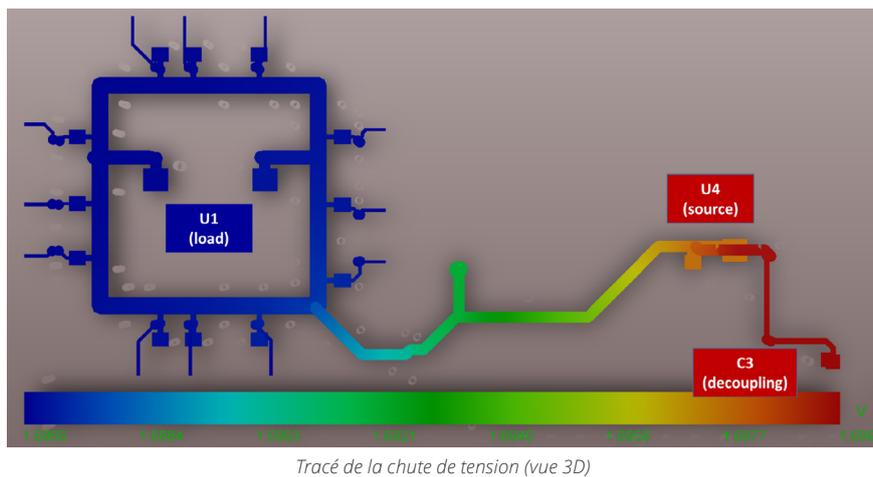


20. Dans la fenêtre **PDN Analyzer Result**, sélectionnez le bouton **Probe Value** (valeur de la sonde) et cliquez sur une section du chemin **VCCINT** pour voir la tension à cet endroit, ainsi qu'à l'endroit le plus proche de la masse.



21. Cliquez sur le bouton « 3D View » pour afficher une vue 3D similaire à la figure 13 ci-dessous.

Vos résultats doivent ressembler à la figure ci-dessous lorsque vous passez à la **vue 3D** :



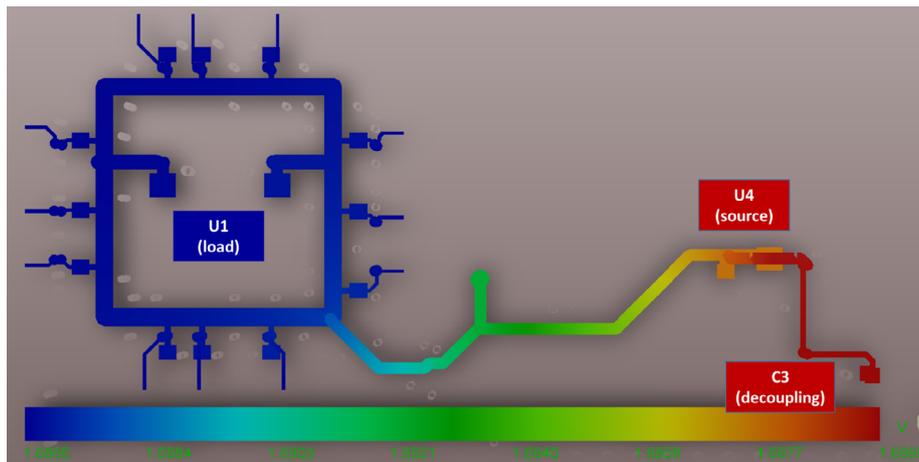
Veillez noter les informations suivantes au sujet de l'image en dégradé actuelle :

- La plus grande tension affichée est de **1,7 V**, à la **source (U4)**.
- Il n'y a aucune chute significative de la tension DC entre **U4** et **C3** étant donné que le condensateur n'a pas été défini comme une charge, (ce qui est normalement le cas, vu que les condensateurs sont considérés comme des circuits ouverts quand ils sont soumis à des courants CC et donc ils ne sont pas modélisés).
- La plus basse tension affichée est de **1,69 V**, à la **charge (U1)**.



- Si l'image semble suggérer une chute de tension importante à travers cette forme de distribution de courant (à cause de la valeur de l'option **Auto Scale (mise à l'échelle automatique)**, qui étend le spectre des couleurs sur toute la plage de tension résultante), il n'y a en fait qu'une très faible chute de tension (moins de **15 millivolts**) quand on suppose qu'une charge de **0,5 A** est appliquée.
- Si vous affichez les **tensions** en **3D**, vous serez en mesure de voir qu'il y a une chute de tension aux trois vias (une différence de couleur entre le haut et le bas des vias) et dans la piste entre **U4** et **U1**.

Si vous affichez les **tensions** en **3D**, vous verrez une chute de tension dans les trois vias (un changement de couleur entre le haut et le bas des vias) et dans la piste entre **U4** et **U1**.

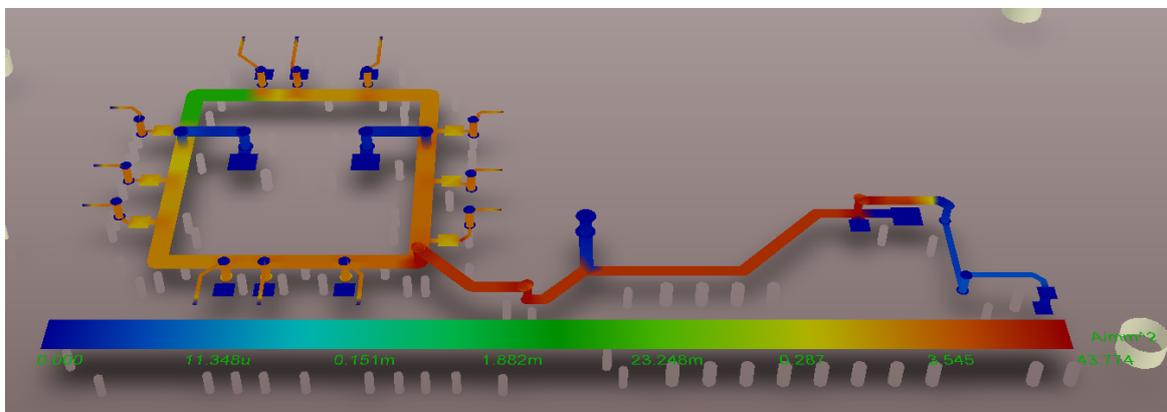


Vue 3D montrant la tension dans les vias

20. Affichez graphiquement les résultats de densité de courant du nœud de tension. Sélectionnez la case d'option Current Density dans la fenêtre PDN Analyzer Result et remplacez les unités par A/mm².

21. Sélectionnez le nœud VCCINT et les couches Top_layer, Bottom_layer et Via.

Notez (figure ci-dessous) que la piste entre **U4** et **U1** a la plus forte densité de courant et que ce devrait être la première portion à élargir s'il y a une chute de tension excessive sur ce nœud. Notez également dans la fenêtre **PDN Analyzer Result** que la densité de courant varie de **0 A/mm²** à **43,77 A/mm²**.

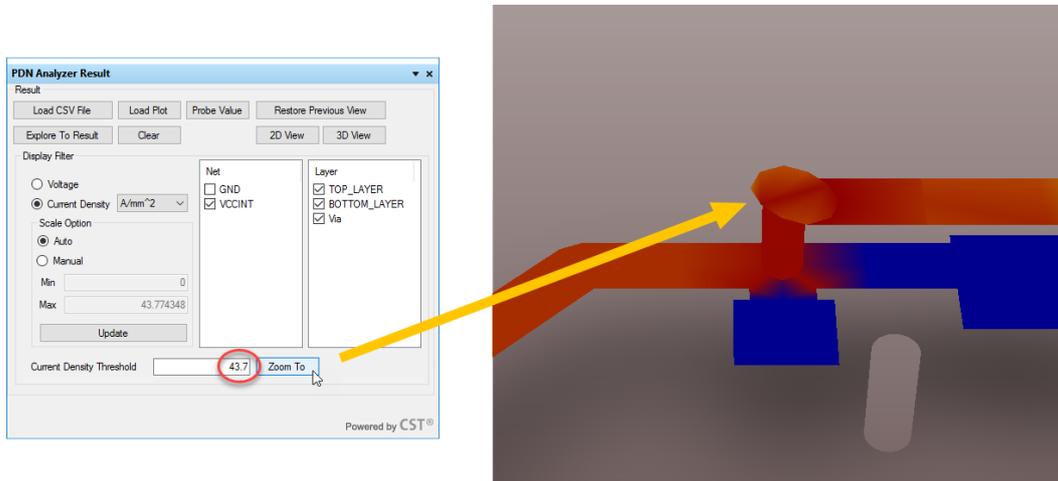


Visualisation en 3D des résultats de densité de courant pour le nœud VCCINT

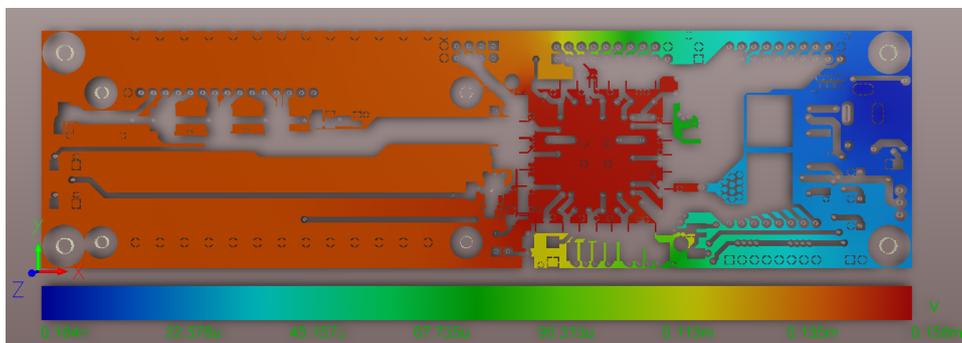


Pour localiser les zones de cuivre les plus **chaudes** automatiquement, effectuez les étapes suivantes :

- a. Saisissez une valeur juste en dessous de la valeur **Max** rapportée de **43,77** dans le champ **Current Density Threshold (seuil de densité de courant)** comme illustré ci-dessous – utilisez **43,7** dans ce cas. Maintenant, cliquez sur le bouton **Zoom To (zoomer vers)** pour zoomer et centrer le premier élément du maillage qui dépasse le seuil défini. Continuez de cliquer sur **Zoom To** pour faire défiler tous les éléments du maillage qui dépassent le seuil défini.

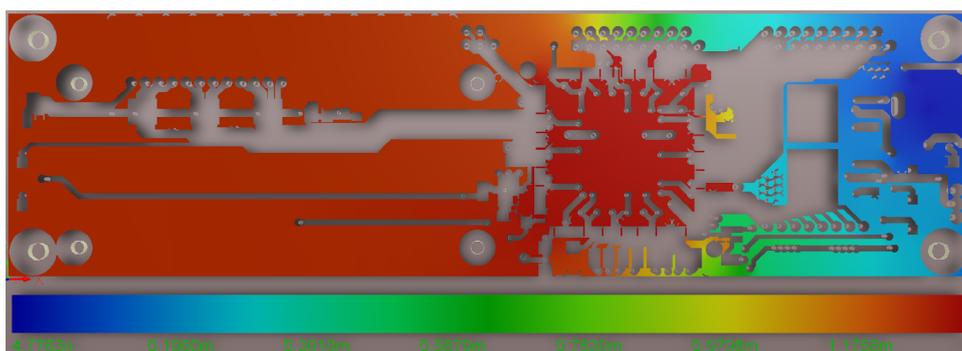


22. Sélectionnez le bouton radio **Voltage (tension)** et activez le **nœud GND** ainsi que la couche **Top_Layer**. Notez qu'il y a une petite montée de tension sur la grande forme **GND** – la tension maximale est seulement **158 uV**.



Tension du plan de masse GND

23. Affichez les résultats de la tension du nœud de **masse** graphiquement. Sélectionner le **nœud GND** et la couche **Top_Layer**. Notez qu'il n'y a pratiquement aucune tension sur la grande forme de masse GND, la tension maximale est seulement de **1,17 mV**.



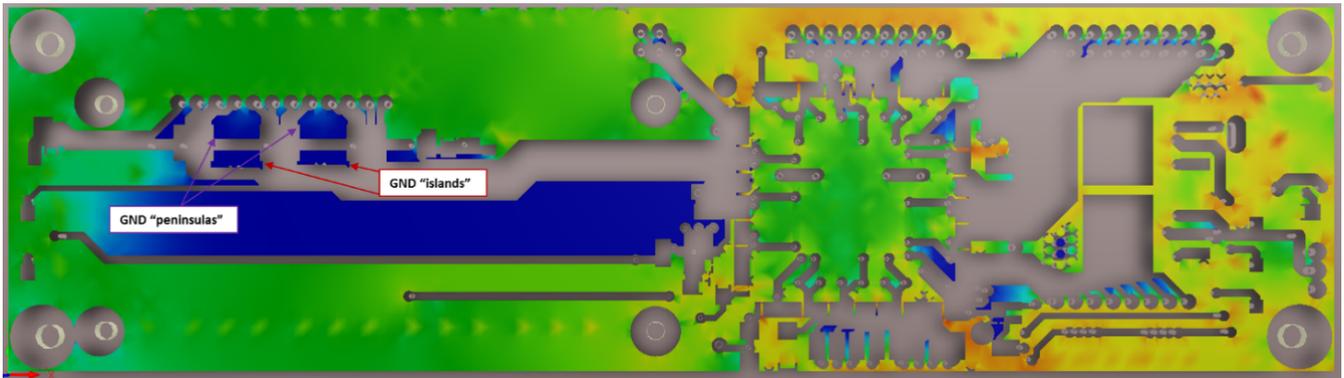
Visualisation en 3D des résultats de densité de courant pour le nœud de masse



Analyse des résultats

Si vous choisissez **Current Density (densité de courant)** et visualisez le nœud de masse **GND**, vous constaterez que cette conception peut poser des problèmes – il y a des péninsules et des îles dans la forme **GND**, comme en témoigne leur couleur bleu (aucun flux de courant). Bien sûr, cela ne représente que le flux de courant CC pour **VCCINT** – toutes les autres tensions CC doivent être vérifiées avant de pouvoir savoir si certaines parties d'une forme de masse **GND** ne sont pas utilisées.

Il est également indispensable de vérifier que les formes de masse ne sont pas utilisées pour le retour de courant CA avant de les retirer, peut-être en remplaçant les condensateurs par des résistances de **1 k ohms** dans une simulation pour voir leur impact sur le chemin du retour. Il est évident que même les petites connexions dans un emplacement critique (en bas à gauche de **U1**) feraient de la grande péninsule **GND** une forme de masse moins problématique.



Identification des problèmes de péninsule et d'île dans la forme de masse GND

Ces îles et péninsules peuvent causer des problèmes en courant alternatif et des tensions transitoires et doivent être évitées. Les formes de distribution de courant devraient également avoir des points de connexion sur tous leurs côtés principaux.

Vous remarquerez également dans cette vue que le courant qui passe de gauche à droite est limité à des bandes étroites au-dessus et en dessous de **U1** dans la conception. Si le courant total circulant dans cette conception était significatif, ce serait problématique et la tension sur le plan de masse serait significativement plus élevée que la valeur de 1,17 mV de la conception. La visualisation des formes de masse avec l'affichage de la densité de courant peut donner des renseignements précieux sur le routage d'une conception.

Paramétrage de l'exemple 2 : VCCO (3,3 V)

Cet exemple illustre les fonctionnalités suivantes de PDN Analyzer :

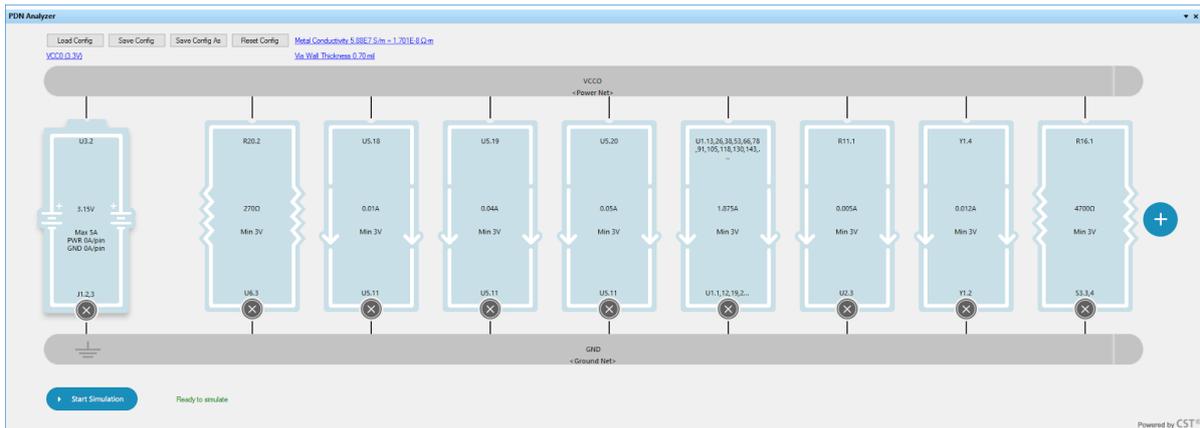
- Combien il est facile d'ajouter des charges multiples à une simulation.
- La valeur de la représentation graphique d'une topologie de simulation pour vérifier que les paramètres ont été saisis correctement.
- La possibilité d'attribuer des valeurs de courant différentes à des broches particulières pour un composant de charge (U5, dans ce cas).

Effectuez les étapes ci-dessous pour terminer le paramétrage de cet exemple :

1. Effectuez un exercice similaire avec les nœuds d'alimentation et de masse du **SpiritLevel VCCO (3,3 V)**. Dans la fenêtre de **PDN Analyzer**, enregistrez votre configuration actuelle et appuyez sur reset pour effacer cette configuration.
2. Saisissez les paramètres suivants, en utilisant le **symbole +** pour ajouter des charges supplémentaires au besoin :



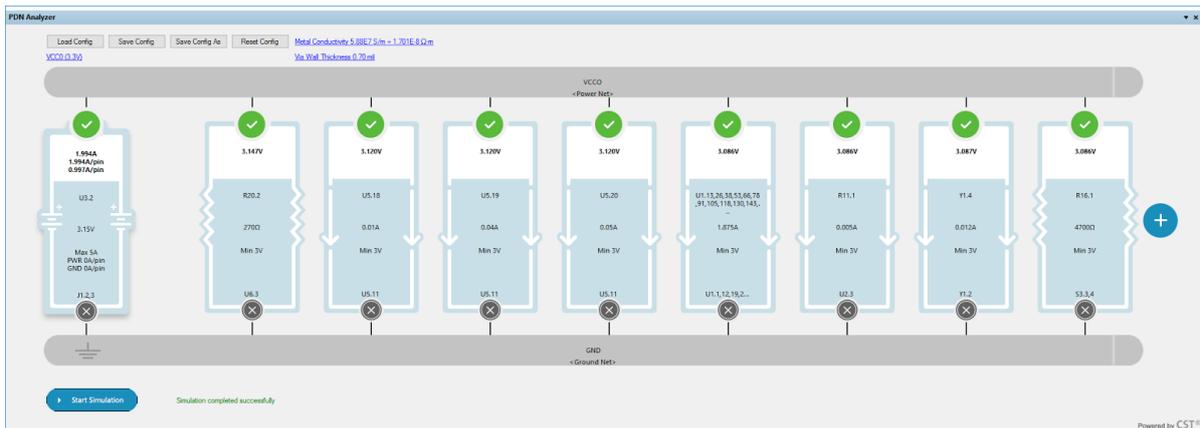
Paramètres d'alimentation	<p>Nœud d'alimentation (source et charges) : VCCO</p> <p>Nœud de masse : GND</p> <p>Source : U3.2 (alimentation), J1.2, 3 (masse)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 3,15 V (3,3 V – 5 %), en assumant un déclassement de 5 % • Maximum de 5 A à travers la source et toutes les broches de la source
Paramètres des charges	<p>R20.2 (alimentation), U6.3 (masse) : LED Done</p> <ul style="list-style-type: none"> • 270 Ω • Tension minimale de 3 V (3,3 V – 10 %) <p>U5.18 (alimentation), U5.11 (masse) : JTAG VCCINT</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0,01 A • Tension minimale de 3 V (3,3 V – 10 %) <p>U5.19 (alimentation), U5.11 (masse) : JTAG VCCO</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0,04 A • Tension minimale de 3 V (3,3 V – 10 %) <p>U5.20 (alimentation), U5.11 (masse) : JTAG VCC</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0,05 A • Tension minimale de 3 V (3,3 V – 10 %) <p>U1.* (alimentation, utilisation de toutes les broches disponibles), U1.* (masse, utilisation de toutes les broches disponibles) : FPGA 3,3 V</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1,875 A • Tension minimale de 3 V (3,3 V – 10 %) <p>R11.1 (alimentation), U2.3 (masse) : Courant U2</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0,005 A • Tension minimale de 3 V (3,3 V – 10 %) <p>R16.1 (alimentation), E3.3, 4 (masse) : Courant Y1</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0,012 A • Tension minimale de 3 V (3,3 V – 10 %)



Configuration de VCCO (3,3 V)

Analyse des résultats

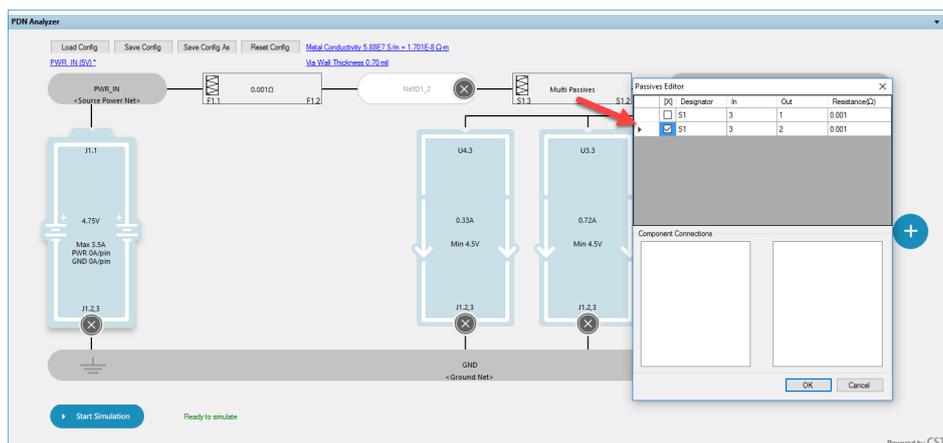
Si vous affichez la tension sur le plan de masse, vous y trouverez une tension de 5,3 mV, soit une tension bien supérieure à la tension de **1,17 mV** générée par **VCCINT**, à cause du courant plus élevé du nœud **VCCO**. Notez également que les résistances ne rapportent pas les valeurs de tension et la réussite/échec de ces valeurs par rapport aux paramètres.



Résultats de VCCO (3,3 V)

Paramétrage de l'exemple 3 : PWR_IN (5 V)

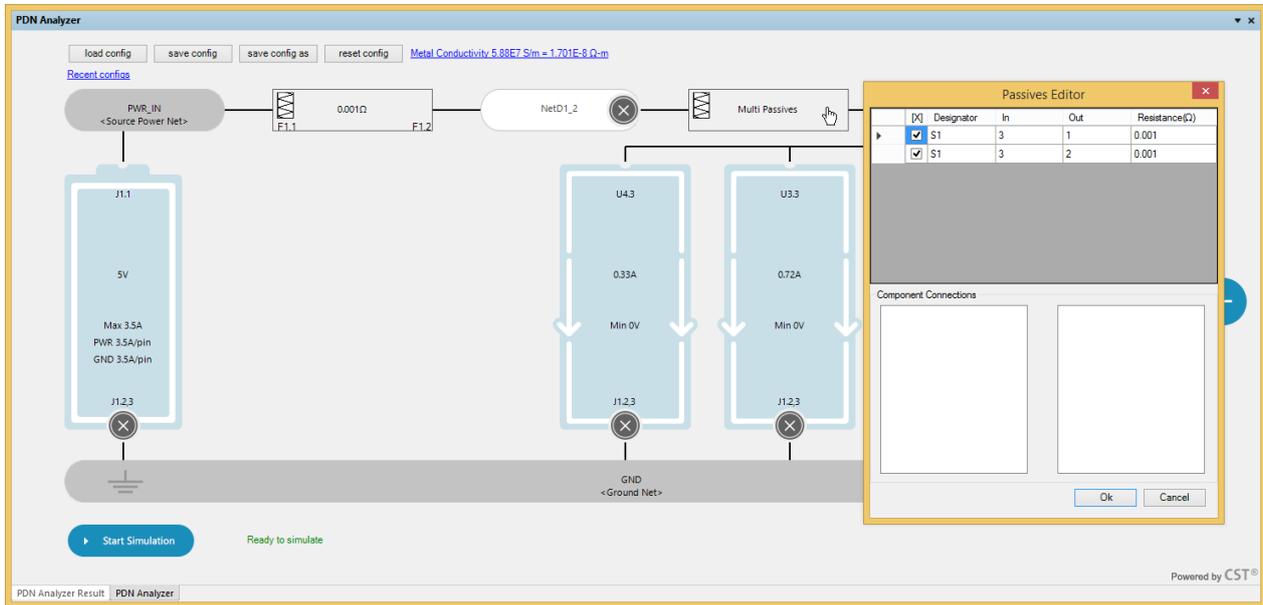
1. Le **SpiritLevel 5 V** (nom de nœud **PWR_IN** du connecteur **J1**) peut être analysé facilement en sélectionnant **PWR_IN** comme nœud d'alimentation source et **5 V** comme nœud d'alimentation des charges. **PDN Analyzer** construit automatiquement le chemin DC entre les deux nœuds, y compris le nœud intermédiaire **NetD1_2**.



Paramétrage correct du chemin de NetD1_2 à 5 V pour PWR_IN (5 V)

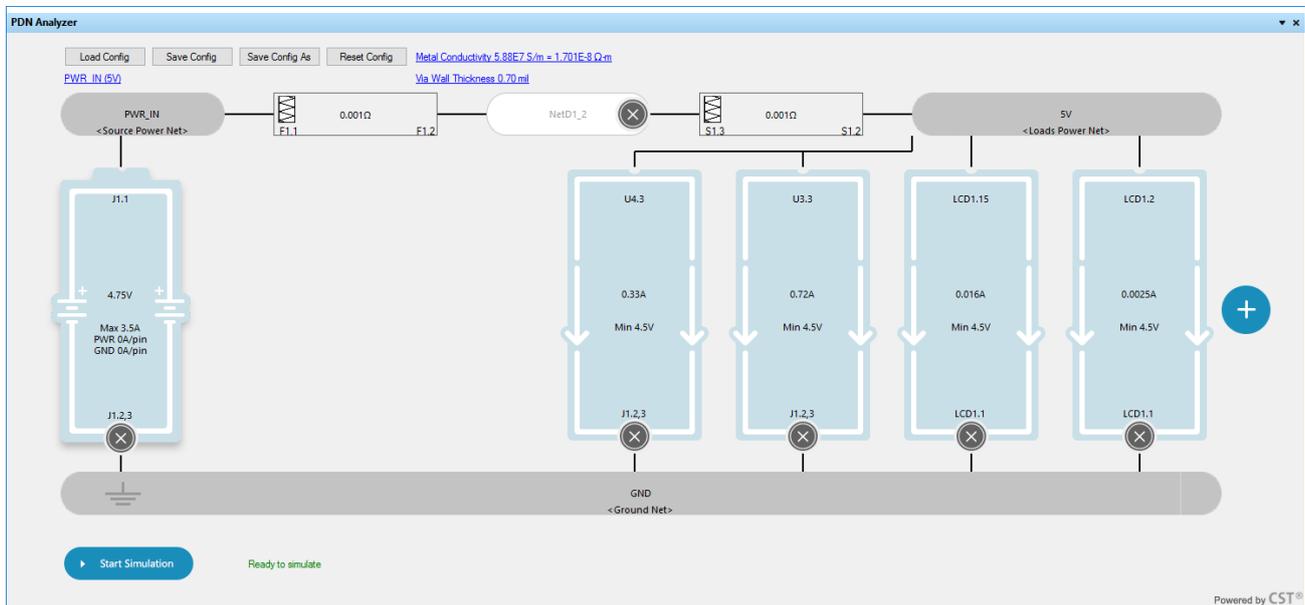


2. Les composants passifs multiples (**E1.3-S1-2**, **E1.3-E1.1**) entre **NetD1_2** et **5V** devraient être remplacés par seulement **S1-3** à **S1-2** pour être précis et aboutir à la configuration illustrée à la figure ci-dessous.

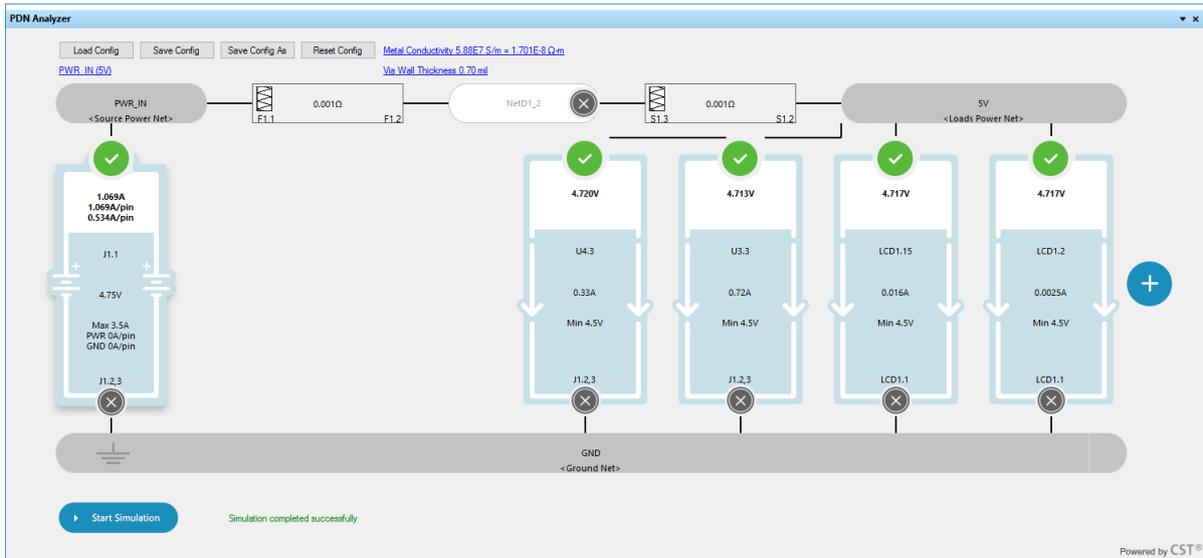


Changement des désignateurs de composants passifs multiples entre S1-3

Analyse des résultats



Configuration finale de PWR_IN (5 V)



Résultats de PWR_IN (5 V)

PWR_IN = 5 V : démontre la capacité à utiliser un nœud différent pour la source et les charges, en passant par des composants passifs (ceux qui peuvent être modélisés comme une résistance uniquement). Quand des chemins traversent des composants actifs, les chemins d'entrée et de sortie de ces composants actifs doivent être modélisés séparément. Le chemin des nœuds de la source et des charges sont obtenus automatiquement.

Notez que la tension sur le plan de masse, en raison d'une alimentation de **5 V**, est seulement au maximum de **11 µV** comparés à **1,17 mV** pour **VCCINT** et **5,3 mV** pour **VCCO**. Cela est dû à la grande surface de la forme de masse entre la source et les charges principales, **U3** et **U4**.

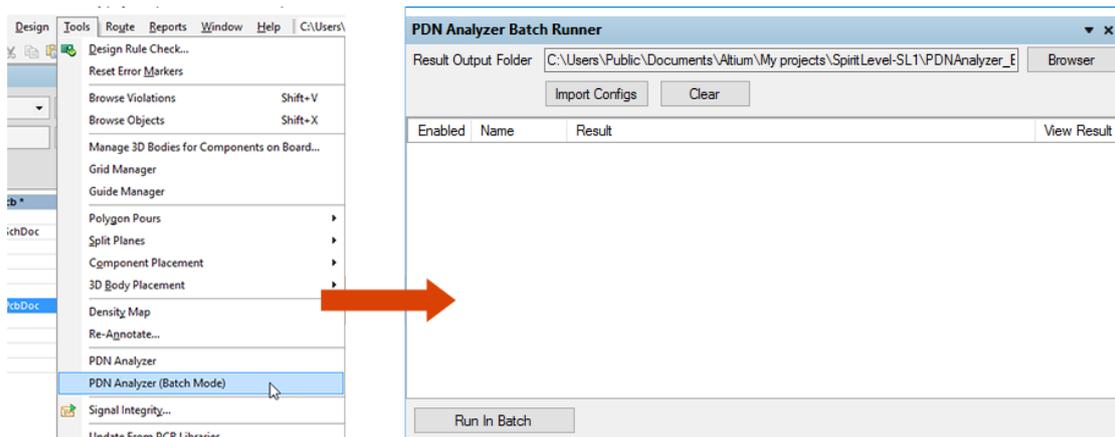
Exemple de simulation par lot :

Le mode par lot permet à l'utilisateur de mettre dans une file d'attente plusieurs configurations enregistrées et de les exécuter dans un même lot. Les fichiers de travail et les résultats de ces exécutions sont conservés séparément des autres résultats, dans le dossier **PDNAnalyzer_BatchResults** et dans un sous-dossier nommé d'après chaque fichier de configuration.

Configuration et lancement du mode de traitement par lot

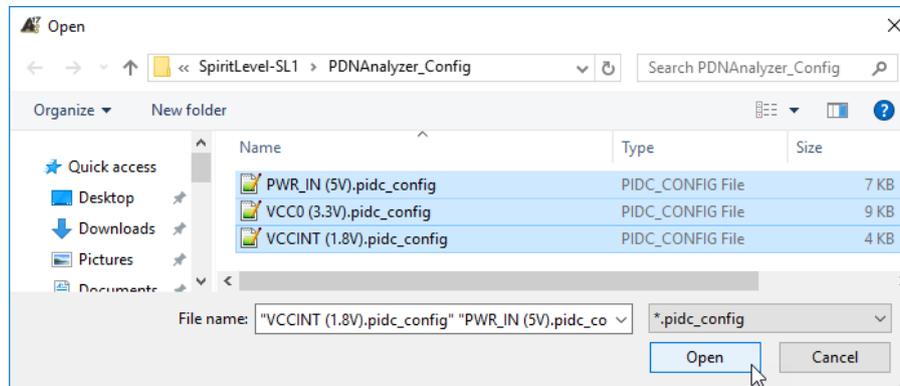
1. Lorsque **PcbDoc** est affiché dans Designer, sélectionnez **Tools (outils) >> PDN Analyzer (Batch Mode)**.

L'interface **PDN Analyzer Batch Runner (traitement de lot de PDN Analyzer)** s'ouvre. Les fenêtres **PDN Analyzer** et **Results (résultats)** s'ouvrent aussi si elles étaient fermées. Les configurations ouvertes ne sont pas pertinentes à ce stade, vu qu'elles seront ouvertes dans un espace indépendant. Vous devriez veiller cependant à enregistrer tous les travaux en cours.



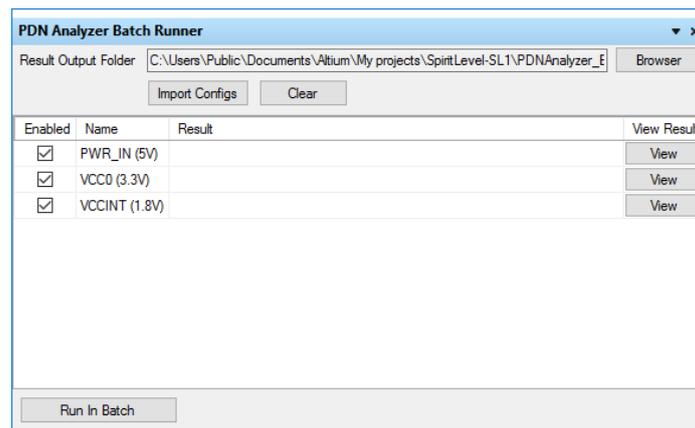


- Sélectionnez le bouton **Import Configs (importer les configurations) en haut à gauche** pour ouvrir le navigateur de fichiers et naviguez jusqu'au dossier **PDNAnalyzer_Config**. Vous devriez voir vos fichiers de configuration créés durant cette session dans la fenêtre du navigateur.



Sélection de plusieurs fichiers de configuration

- Utilisez les touches **MAJ-sélectionner** ou **CTRL-sélectionner** de Windows pour sélectionner les configurations qui doivent être exécutées dans le lot, puis sélectionnez **Ouvrir**. Les configurations sélectionnées sont chargées dans **Batch Runner**.

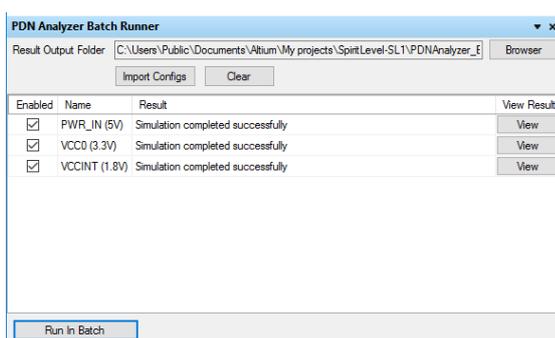


Plusieurs configurations ont été chargées

Simulation par lot et résultats

- Sélectionnez **Run In Batch (exécuter par lot)** pour démarrer la série de simulations. **Batch Runner** vous tiendra au courant de l'avancement de l'exécution par lot jusqu'à son terme. Une fois terminé, le résultat sera similaire à la figure ci-dessus.

Les fichiers de travail et les résultats de chaque exécution sont stockés dans le dossier **PDNAnalyzer_BatchResults**, dans un sous-dossier nommé d'après chaque fichier de configuration.



Simulations par lot terminées avec succès

- Pour visualiser les résultats d'une simulation donnée, cliquez sur le bouton **View (visualiser)** à côté de cette simulation. La configuration est rapidement ouverte dans la toile de **PDN Analyzer** et la fenêtre **Results (résultats)** et la vue **PcbDoc** sont actualisées en fonction des options.



CONCLUSION

Après avoir passé en revue ces exemples, vous devez maintenant être familiarisé avec la configuration, l'exécution et l'analyse de simulations de **PDN Analyzer** dans **Altium Designer**. Le processus de conception est long. La dernière chose que vous voulez faire, c'est de recommencer votre processus de conception à cause de problèmes de PDN. Le fait d'intégrer l'analyse PDN dans votre processus de conception simplifie la transition de la conception à la production. Au début de ce guide, nous avons posé deux questions :

1. Comment garantir que vous avez mis suffisamment de cuivre entre vos sources de tension et vos charges ?
2. Est-ce que les plans fournissent la plage de tension nécessaire pour alimenter vos charges ?

Avec **PDN Analyzer**, ces questions ne resteront plus sans réponses tant que vous n'avez pas de prototype physique ou de long processus de simulation. À l'aide de la technologie de simulation robuste de CST®, l'extension PDN Analyzer met la puissance de la technologie avancée d'analyse entre les mains de tous les concepteurs de circuits imprimés, indépendamment de leur niveau d'expérience. **PDN Analyzer de CST®** permet d'identifier facilement les **chutes de tension** et les **densités de courant** dans le **routing d'un circuit imprimé**. L'optimisation de votre PDN durant la conception n'a jamais été aussi facile avec cette nouvelle technologie dans l'environnement unifié d'**Altium Designer**.

ANNEXE

Informations sur la conductivité du métal

Lorsque l'option **Metal Conductivity (conductivité du métal)** est sélectionnée, vous pouvez définir les valeurs de la conductivité (1/résistivité) du métal utilisé dans une conception. N'oubliez pas les points ci-dessous lorsque vous configurez vos paramètres de conductivité :

[Metal Conductivity 5.88E7 S/m = 1.701E-8 Ω-m](#)

- La valeur par défaut est **Pure Copper (cuivre pur)**, dont la conductivité est habituellement de **5,88e7 S/m à 25 °C** et le coefficient de conductivité thermique de **0,4 %/°C**. Notez que le fait d'accroître la température de compensation de **25 °C à 125 °C (une différence de 100 °C)** abaissera la conductivité de simulation de **40 %**, jusqu'à **3,53e7 S/m**, par exemple.

Metal Conductivity			
Contuctivity @ Room Temp :	Resistivity	Temp. Compensation	Sim. Conductivity
<input checked="" type="radio"/> Pure Copper	5.88e7 S/m	1.7e-8 Ω-m	3.528E7
<input type="radio"/> PCB Copper	4.7e7 S/m	2.1e-8 Ω-m	Sim. Resistivity
<input type="radio"/> Custom	<input type="text"/>	<input type="text"/>	2.834E-8

°C °C %/°C

Ok Cancel

Configuration des paramètres de conductivité pour différents types de cuivre

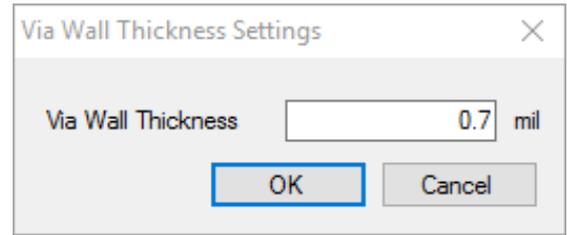
- **PCB Copper (cuivre de circuit imprimé)** reflète les valeurs de conductivité rapportées dans la littérature de l'industrie comme les plus représentatives du métal trouvé dans le **cuivre déposé par électrolyse sur les cartes de circuit imprimé**, c'est-à-dire **4,7e7 S/m à 25 °C**, avec un coefficient thermique de **0,4%/°C**.
- La **conductivité de base** (ou **résistivité de base**), le **coefficient de température** et/ou la **température** peuvent être modifiés pour refléter les propriétés métalliques d'une conception. La **Sim Conductivity (conductivité de simulation)** représente la valeur de conductivité finale après avoir pris en compte tous les paramètres.



Épaisseur des vias

Lorsque le bouton Via Wall Thickness (épaisseur des vias) est sélectionné, vous pouvez définir l'épaisseur de la partie cylindrique des vias.

1. Le **matériau du cylindre** est le même que celui spécifié dans la fenêtre **Metal Conductivity**.



Épaisseur des vias

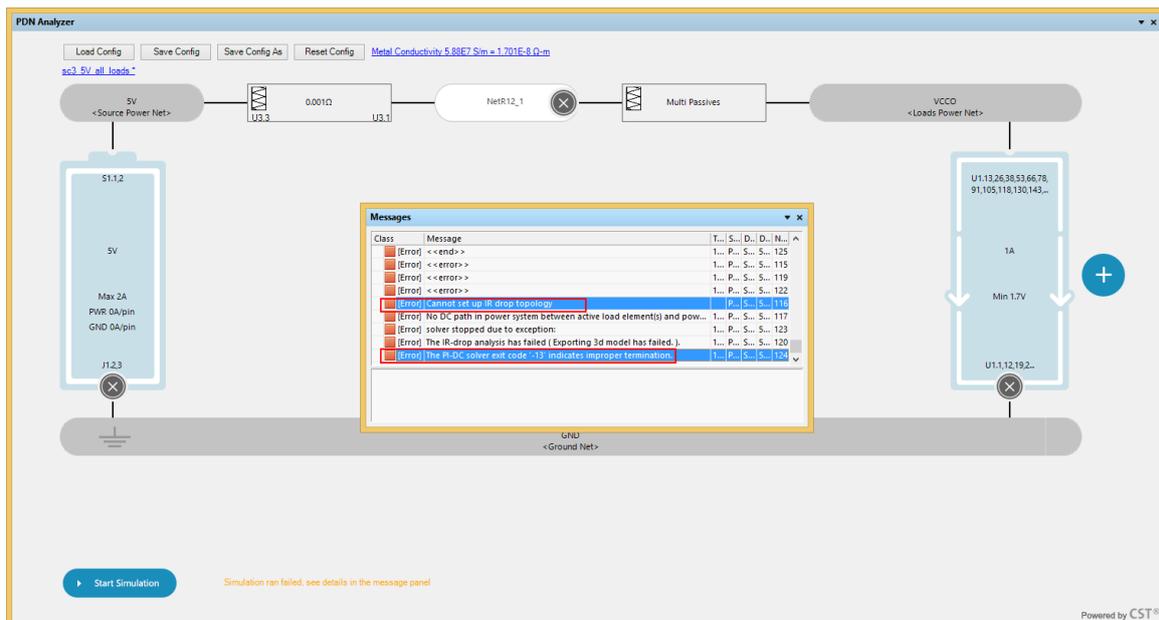
Erreurs communes et conditions d'avertissement

Lorsque la source et la charge sont connectées à des nœuds d'alimentation différents, vous constaterez que le chemin du signal va simuler automatiquement les composants qui relient les deux nœuds. En général, vous aurez une série de composants passifs, toutefois, des composants actifs inattendus dans le chemin entraîneront une topologie ambiguë, des nœuds multiples ou un chemin non valide. Dans un tel cas, vous rencontrerez des conditions où la topologie ou le chemin ne peut être correctement déterminé. Cela génère couramment la classe d'erreur **Cannot set up IR drop topology (impossible de configurer la topologie de chute de tension)**, suivie du **code de sortie -13**, ou d'un code similaire, comme illustré ci-dessous :

```
[Erreur] PDN Analyzer Cannot set up IR drop topology (impossible de configurer la
topologie de chute de tension)
```

```
[Erreur] PDN Analyzer The PI-DC solver exit code '-13' indicates improper termination
(le code de sortie '-13' du résolveur d'intégrité d'alimentation CC indique que
l'exécution s'est terminée incorrectement)
```

Si cela arrive, revoyez soigneusement les nœuds de la source et de destination, ainsi que les composants, afin que le chemin correct de la source à toutes les charges puisse être reconnu. Un exemple d'une telle situation est illustré à la figure 27 ci-dessous où le chemin de la source à la charge passe par un régulateur de tension. Le résultat de la simulation se terminera avant la fin avec les erreurs indiquées. L'approche correcte consiste à spécifier la sortie du régulateur de tension comme étant la source, en gardant à l'esprit que l'analyseur n'a pas été conçu pour tracer le courant à travers des composants actifs.



Un chemin de la source à la charge passant par un régulateur de tension, ce qui entraîne des erreurs

Remarque : Si vous rencontrez des conditions d'erreur similaires avec un numéro de code de sortie différent, veuillez contacter l'assistance technique d'Altium pour un dépannage.