

TP SIMULATION LTspice :
application aux cellules solaires et dispositifs
photovoltaïques.

Marcel PASQUINELLI
V2M20

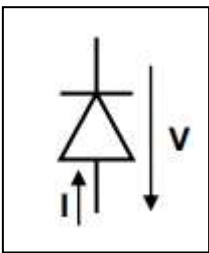
CELLULES SOLAIRES ET MODULES PHOTOVOLTAIQUES

Ce TP vous permettra d'analyser le fonctionnement des dispositifs photovoltaïques (cellules et modules) et d'appréhender les paramètres fondamentaux caractérisant leurs performances.

- Pour vérifier les valeurs de polarisation (tension, courant) aux différents nœuds des montages, ceci permettra par exemple de distinguer des régimes de fonctionnement pour les diodes. **Analyse DC op pnt.**
- Pour visualiser les variations de ces signaux continus, l'analyse DC sera utilisée. **Analyse DC.**
- Nous pouvons envisager également d'utiliser une cellule solaire en photodiode c.-à-d. en tant que détecteur ou capteur optique réceptionnant un signal lumineux véhiculant une information (voix, images,...). Il faut alors étudier le comportement de ce dispositif au regard de ses propriétés fréquentielle **Analyse DC** et temporelle **Analyse TRAN.**

I – LA CELLULE SOLAIRE

Une cellule solaire réalisée à partir d'un matériau semiconducteur utilise les propriétés électriques de la jonction PN qui est matérialisée par le composant DIODE.

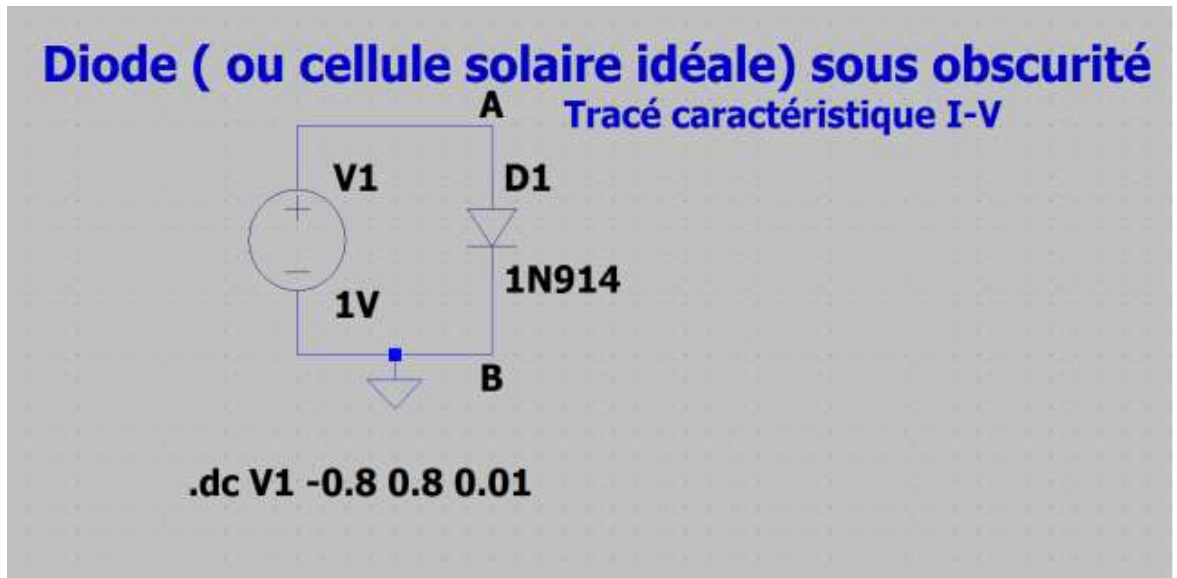


Sous obscurité c'est une simple diode qui fonctionne en **récepteur** (charge) mais sous éclairement la cellule se comporte alors comme un **générateur** électrique (source). En fait c'est simplement une **photodiode** adaptée à la récupération de l'énergie lumineuse.

A – COMPORTEMENT SOUS OBSCURITE

1. Tracé de la caractéristique $I=f(V)$ de la diode : Éditez le schéma suivant : (On choisira la diode type 1N914)

CELLULES SOLAIRES ET MODULES PHOTOVOLTAIQUES



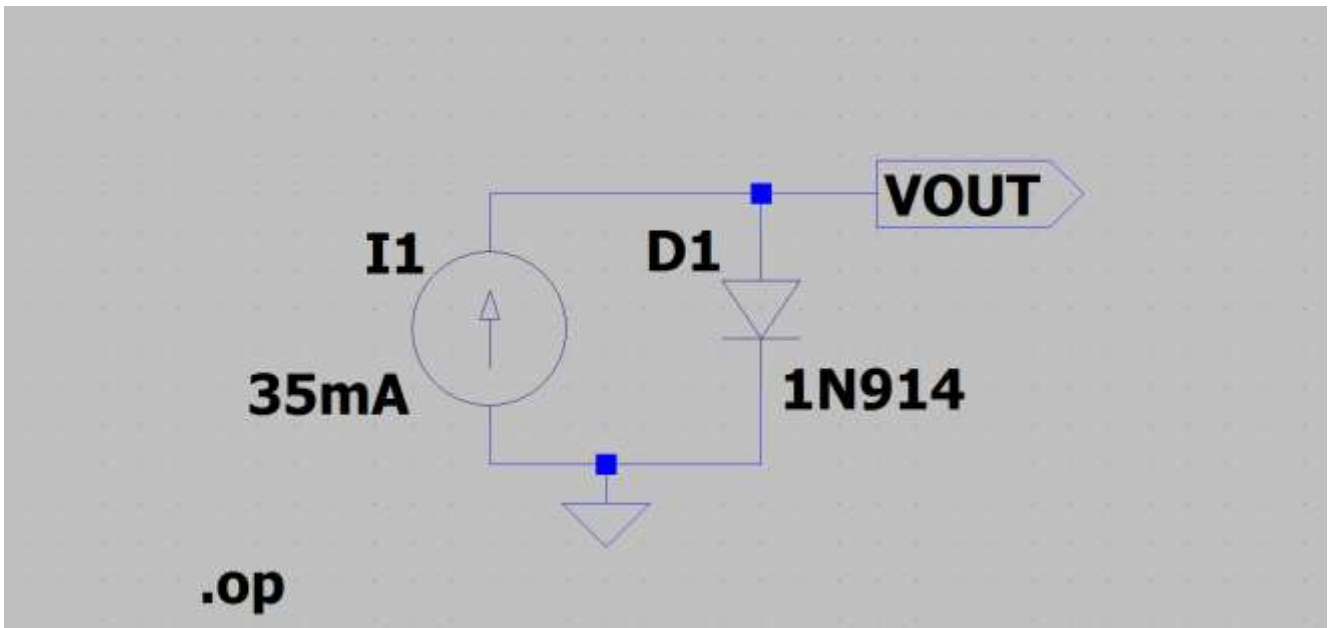
2. Effectuez une analyse .DC (T = 27°C par défaut) et pour la variation de V1 indiquée sur le schéma
3. Notez la valeur de ID1 pour V=-0,7V et V=0,7V
4. Effet de la température de la jonction ; éditez le schéma suivant : (la directive .STEP TEMP LIST 27 50 permet de tracer la caractéristique I-V pour ces deux températures)
5. Notez la valeur du courant traversant la diode V=0,7V pour T=50°C que constatez-vous ?

B – COMPORTEMENT SOUS ECLAIREMENT

Le comportement électrique d'une cellule solaire idéale peut être schématisé par le circuit ci-après. Le générateur de courant représente l'effet de l'éclairement (conversion photon-électron) et la diode le composant cellule solaire qui est une jonction redresseuse élaborée à partir de matériaux semiconducteurs. C'est une photodiode mais avec une surface de détection beaucoup S plus grande ($1\text{cm}^2 < S < 400\text{ cm}^2$)

La valeur DC du courant est égale ici à 35mA ce qui est une valeur standard pour une cellule de surface égale à 1cm² lorsque elle est éclairée par un spectre solaire « normalisé » d'intensité égale à 1000W/m²

CELLULES SOLAIRES ET MODULES PHOTOVOLTAIQUES

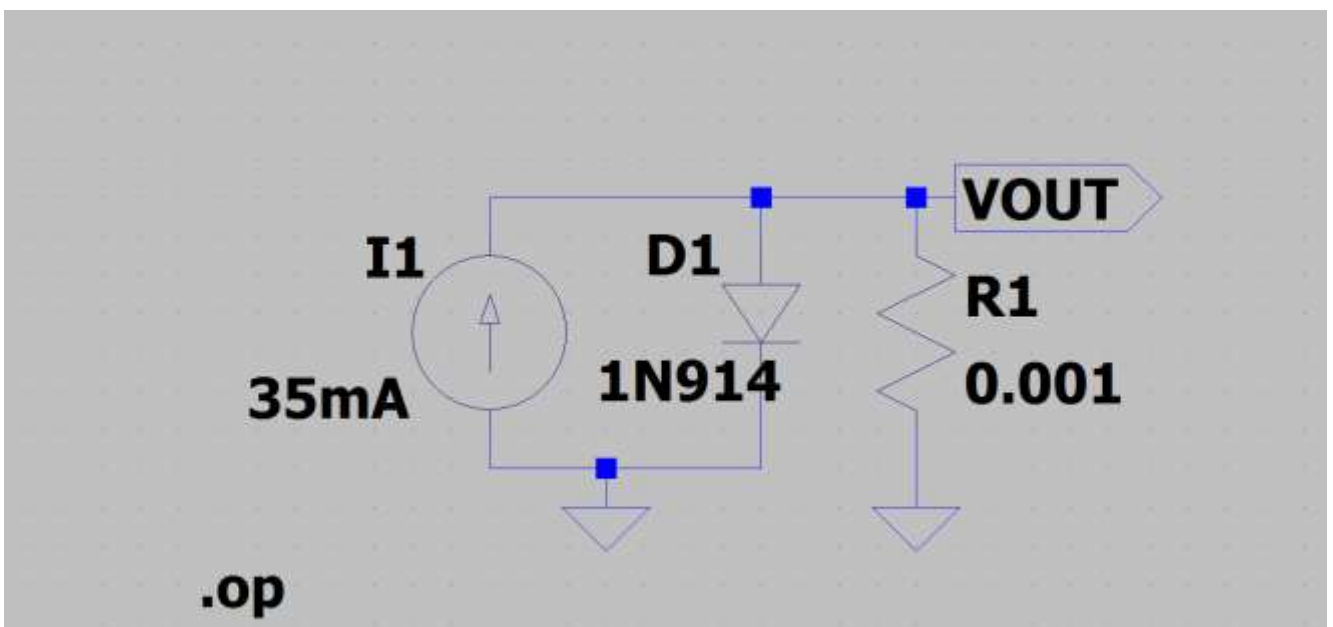


1. TENSION DE CIRCUIT OUVERT (VCO)

- Editez le montage
- Effectuez une simulation **DC op pnt**
- Notez la valeur de **VOUT**

2. COURANT DE COURT-CIRCUIT (ICC)

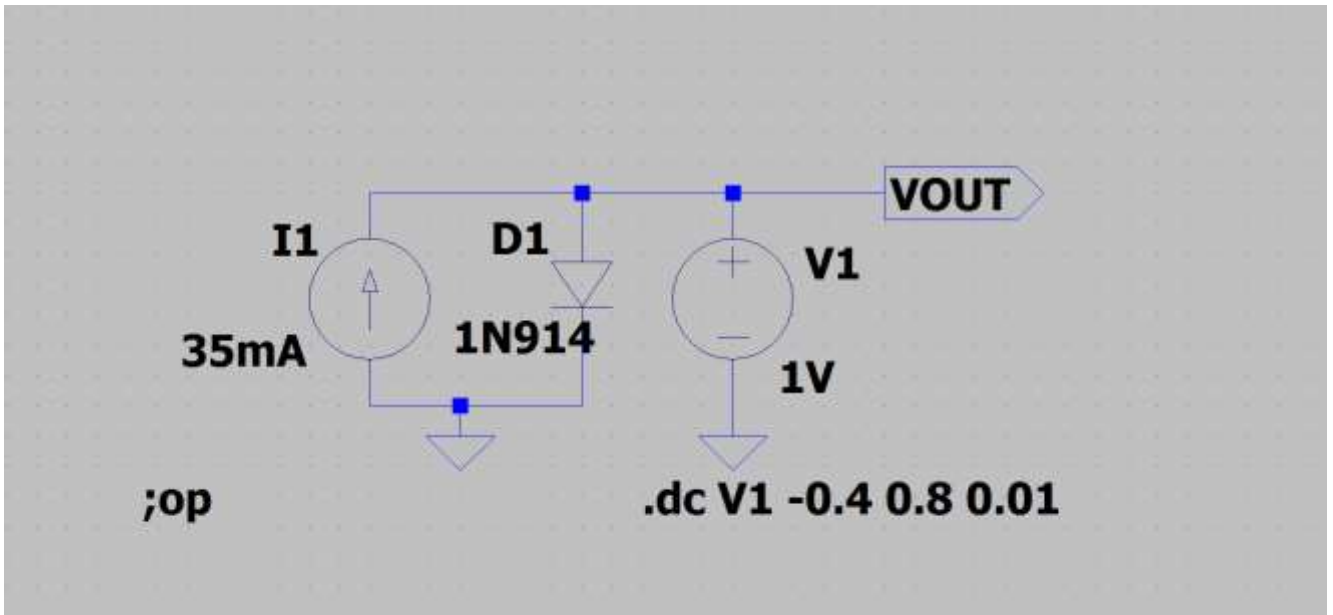
- Editez le montage (la résistance **R1** en parallèle sur la sortie de très faible valeur modélise le court-circuit)
- Effectuez une simulation **DC op pnt**
- Notez la valeur de **VOUT**
- Notez la valeur d'ICC (courant traversant **R1**)



CELLULES SOLAIRES ET MODULES PHOTOVOLTAIQUES

3. CARACTERISTIQUE COURANT-TENSION $I=f(V)$ SOUS ECLAIREMENT

- Editez le montage (le générateur V1 est utilisé pour effectuer la simulation DC)

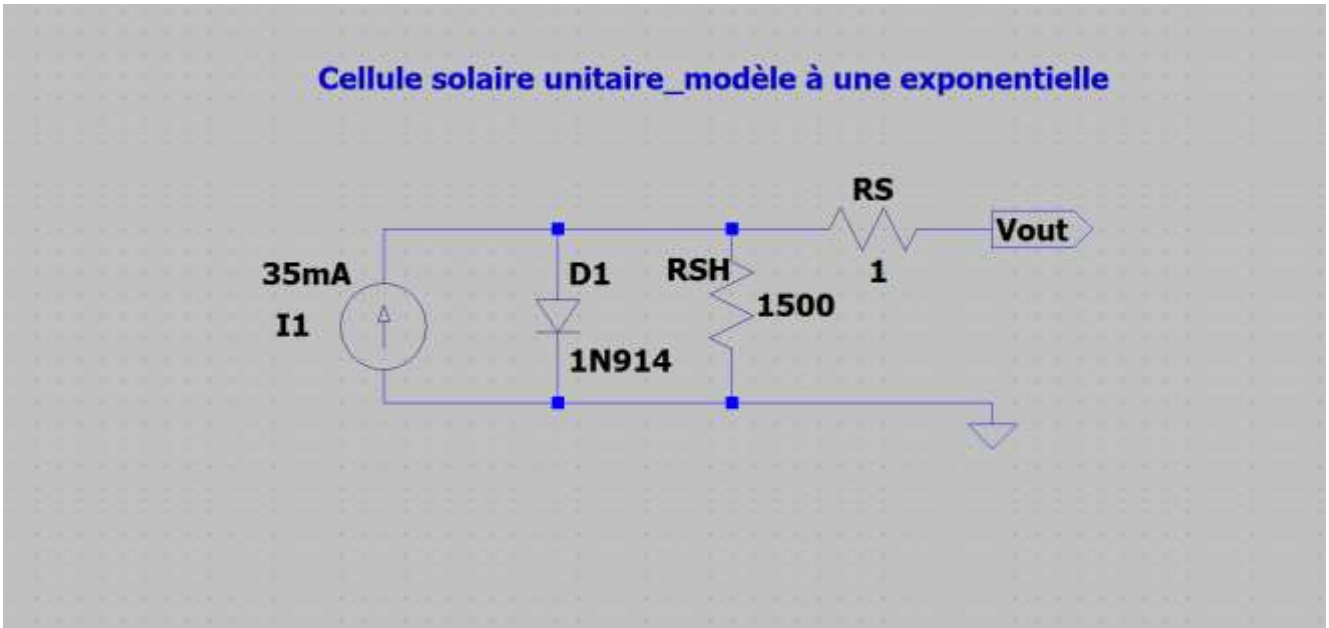


- Effectuez la simulation DC indiquée sur le circuit
- Visualisez la courbe $I(V1) = f(V1)$
- Relevez graphiquement les valeurs d' I_{CC} , V_{C0} et les coordonnées du point de puissance maximal P_{MAX} ($V_{P_{MAX}}$, $I_{P_{MAX}}$)
- Calculez les valeurs de :
 - ✓ La puissance maximale P_{MAX}
 - ✓ Du facteur de Forme FF
 - ✓ Du rendement de conversion PCE (Power Conversion Efficiency) – l'éclairement est de $1000W/cm^2$ et la surface de la cellule égale à $1 cm^2$

C – CELLULE SOLAIRE REELLE

Le composant réel présente des écarts au modèle idéal, en effet pour le régime de fonctionnement en continu, il faut intégrer les résistances électriques des matériaux et des contacts (Résistance série ; R_S), les fuites de courant hors de la jonction (Résistance shunt ; R_{SH}).

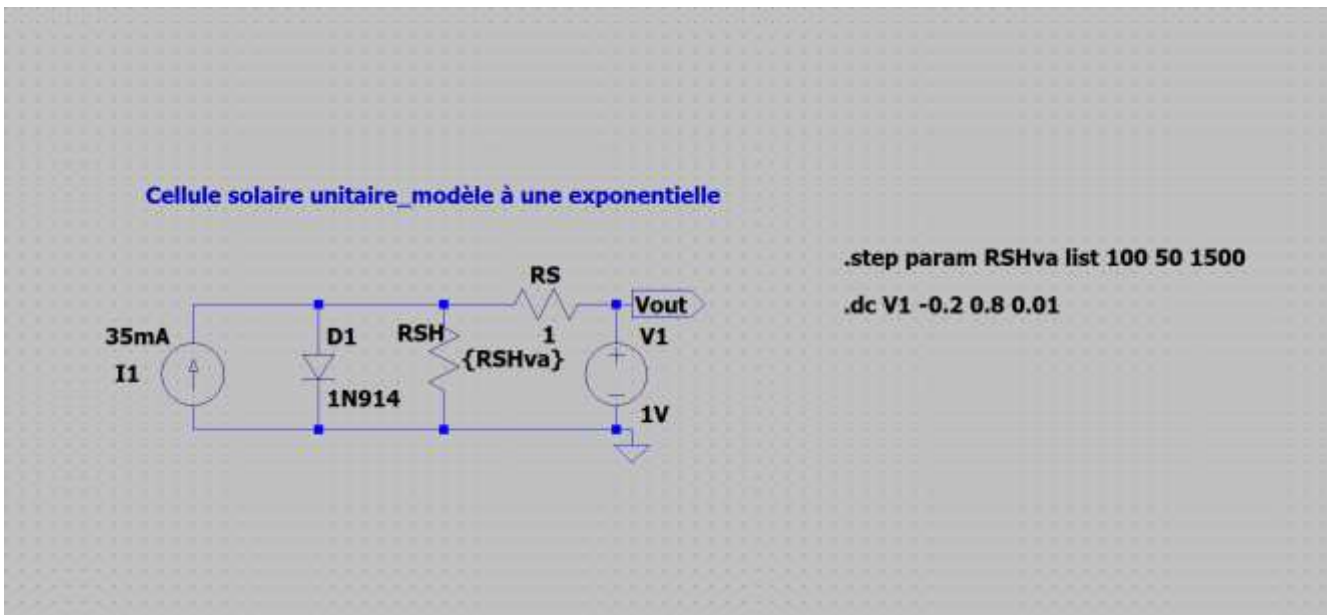
CELLULES SOLAIRES ET MODULES PHOTOVOLTAIQUES



Les valeurs de RS et RSH sont typiques pour une cellule silicium de 1cm².

Reprenez les questions 1,2 et 3 vues précédemment et mettez en évidence les similitudes et les différences.

1. TENSION DE CIRCUIT OUVERT (VCO)
2. COURANT DE COURT-CIRCUIT (ICC)
3. CARACTERISTIQUE COURANT-TENSION SOUS ECLAIREMENT
4. INFLUENCE DE LA RESISTANCE SHUNT (voir analyse .step param sur le schéma suivant)



- Editez le schéma ou l'on fait une simulation DC pour tracer la caractéristique $I=f(V)$ pour trois valeurs de RSH. (utilisation de la directive SPICE .STEP)

CELLULES SOLAIRES ET MODULES PHOTOVOLTAIQUES

- Observez sur la courbe les conséquences des différentes valeurs de RSH et complétez le tableau

RSH (ohm)	VOC (V)	ICC (mA)	PMAX (mW)	FF	PCE (%)
1500					
500					
100					

5. INFLUENCE DE LA RESISTANCE SERIE

- Modifiez le schéma pour observer les tracés I-V pour trois valeurs de RS : 1ohm, 2 ohms et 5 ohms
- Observez sur la courbe les conséquences des différentes valeurs de RS et complétez le tableau

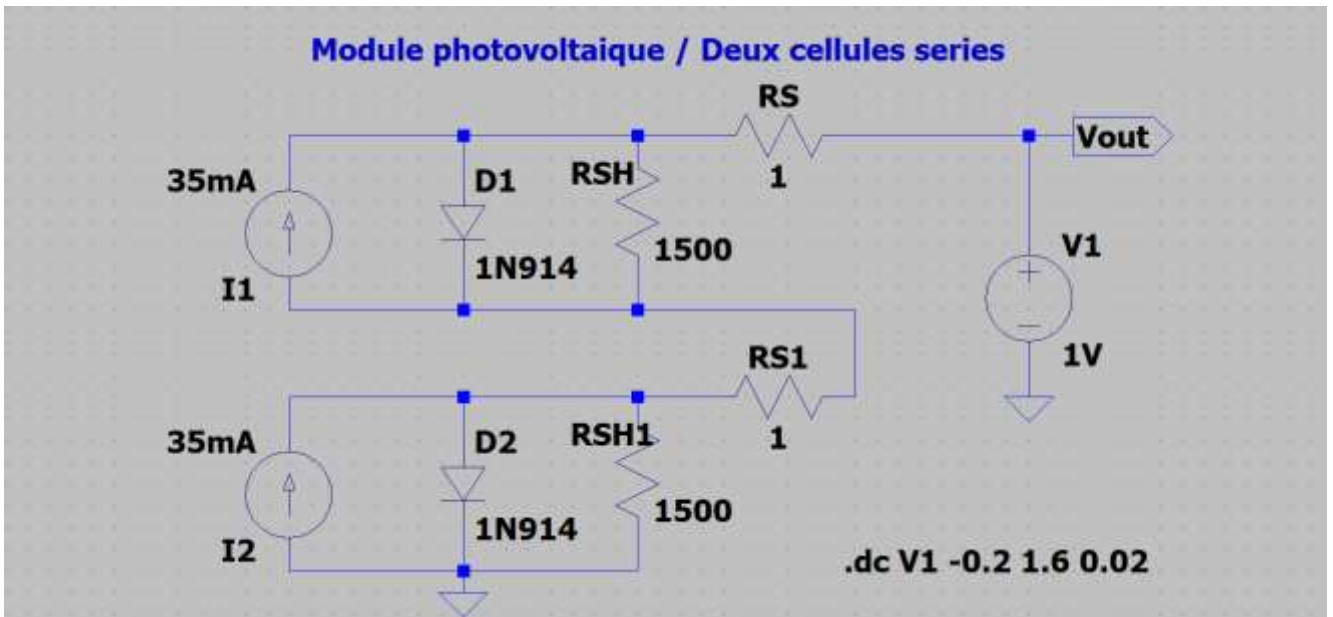
RS (ohm)	VOC (V)	ICC (mA)	PMAX (mW)	FF	PCE (%)
1					
2					
5					

C – MODULE PHOTOVOLTAIQUE

Un module photovoltaïque est constitué d'association série et/ou parallèle de cellules solaires pour présenter en sortie les valeurs nominales de tension, courant et puissance désirée. Par exemple un module commercial pour installation en centrale solaire présente une puissance crête nominale voisine de 300 Wc.

1. ASSOCIATION SERIE

CELLULES SOLAIRES ET MODULES PHOTOVOLTAIQUES

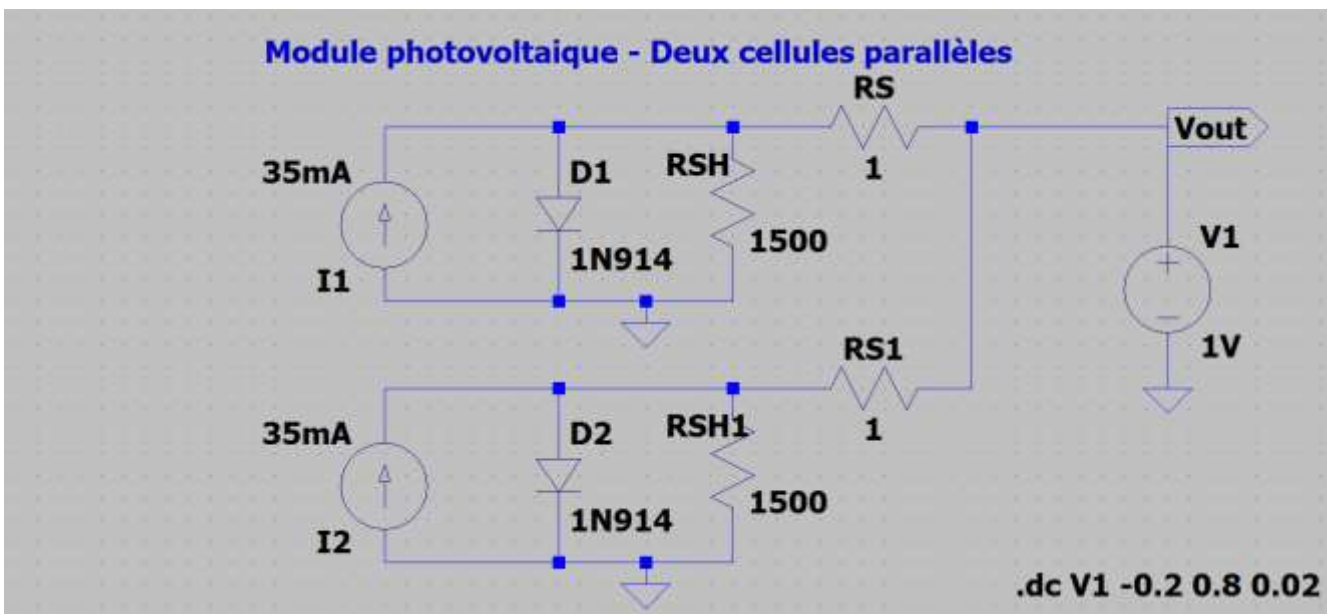


- Editez le schéma
- Effectuez la simulation DC indiquée
- Observez la courbe I-V obtenue et complétez le tableau suivant :

VOC (V)	ICC (mA)	PMAX (mW)	FF	PCE (%)

- Commentez les valeurs

2. ASSOCIATION PARALLELE



- Editez le schéma
- Effectuez la simulation DC indiquée
- Observez la courbe I-V obtenue et complétez le tableau suivant :

CELLULES SOLAIRES ET MODULES PHOTOVOLTAIQUES

VOC (V)	ICC(mA)	PMAX (mW)	FF	PCE (%)

- Commentez les valeurs

3. DYSFONCTIONNEMENT DES MODULES (Module série et parallèle)

Un dysfonctionnement apparaît si une cellule génère moins de photocourant par ce qu'elle est de moins bonne qualité électrique, dégradée ou bien insuffisamment éclairée (ombrée).

- Vérifiez en les conséquences sur la caractéristique de sortie $I=f(V)$ en fixant la valeur DC de I2 à 20mA.
- Observez les courbes I-V obtenues et complétez les tableaux suivant :

	VOC (V)	ICC(mA)	PMAX (mW)	FF	PCE (%)
SERIE					
PARRALELE					

- Commentez les valeurs

D – PROPRIETE DYNAMIQUE DES CELLULES SOLAIRES

Comme évoqué en introduction, une cellule solaire n'est qu'une photodiode présentant une surface de détection beaucoup plus importante. Ces composants optoélectroniques sont massivement utilisés dans la plupart des applications de communications et de transmission des signaux. Il serait envisageable d'utiliser une cellule solaire ou un module photovoltaïque pour à la fois réaliser une récupération d'énergie et une réception de données. Dans cette dernière application les performances fréquentielles et temporelles conditionnent leur utilisation pour augmenter notamment le débit et la qualité de la transmission.

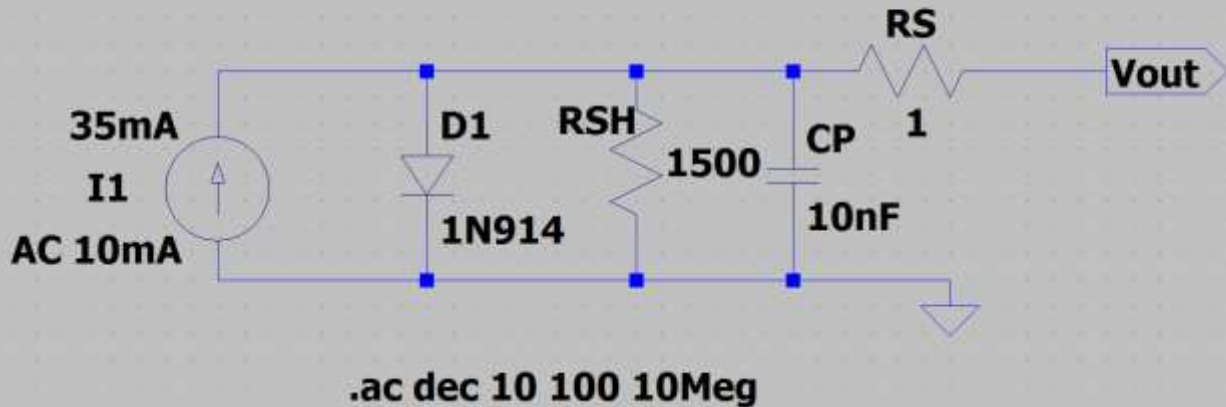
1. ANALYSE FREQUENTIELLE (BANDE PASSANTE ET FREQUENCE DE COUPURE)

En régime dynamique, le modèle électrique doit prendre en compte une capacité parallèle CP qui représente la capacité de la jonction semi-conducteur et les autres capacités parasites des couches additionnelles et connexions du composant. Pour une cellule de surface égale à 1cm^2 on peut prendre une valeur de CP égale à 10nF.

- Editez le schéma ci-après

CELLULES SOLAIRES ET MODULES PHOTOVOLTAIQUES

Cellule solaire unitaire_modèle AC à une exponentielle



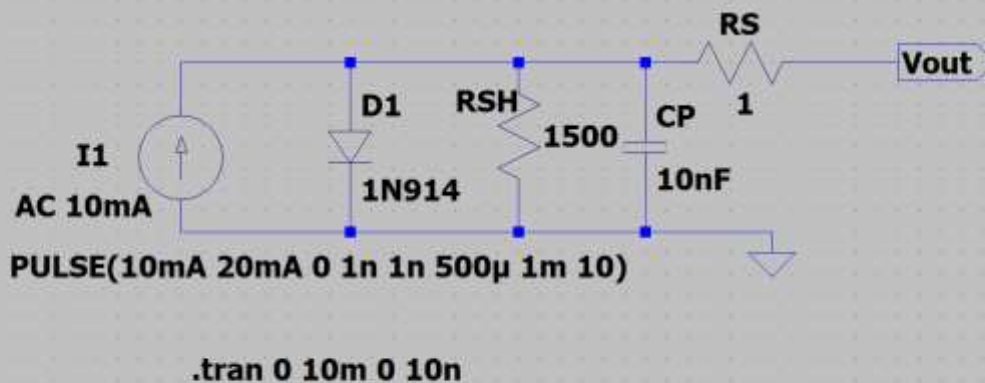
- Effectuez une simulation AC avec les paramètres indiqués sur le schéma
- Observez la variation de la tension de sortie sur cet intervalle de fréquence
- Mesurez en utilisant le curseur la fréquence de coupure F_c .
- Modifiez la valeur de CP, prendre CP = 100nF et faites une nouvelle simulation et mesure de la fréquence de F_c .

2. ANALYSE TEMPORELLE (RECEPTION DE SIGNAUX NUMERIQUES)

Les photodiodes

- Editez le schéma suivant

Cellule solaire unitaire_modèle AC à une exponentielle



- Réglez le générateur de courant afin qu'il délivre un train d'impulsion avec les paramètres donnés sur le schéma.
- Effectuez une simulation temporelle sur 10 périodes de ce signal
- Observez sur deux tracés l'évolution d'I1 (t) et de Vout(t)

CELLULES SOLAIRES ET MODULES PHOTOVOLTAIQUES

- Modifiez le signal $I_1(t)$ en indiquant une période de 100ns et une durée à l'état haut de 50ns μ sec
- Observez sur deux tracés l'évolution d' $I_1(t)$ et de $V_{out}(t)$ et commentez l'allure de la tension V_{out} .
- Le signal reçu est-il encore exploitable ?