



Rapport à remettre par Moodle au plus tard le vendredi 11 octobre à 18 h 00

Pondération : voir plan de cours (tous les devoirs ont le même poids)

Ce devoir peut être réalisé en équipe de 2 ou individuellement

Révision : 2024-09-26

Mise à jour (26/09) : Nouveau zip d'installation pour TRNSYS

Objectifs

- Calculer le rendement maximal théorique d'une cellule photovoltaïque en tenant compte de la distribution spectrale du rayonnement solaire
- Calculer l'absorptance et l'émittance d'un absorbeur solaire sélectif possédant une couche thermochromique à deux températures de fonctionnement
- Modéliser le capteur avec couche thermochromique dans TRNSYS et analyser son rendement à l'aide d'une simulation annuelle

1. Partie A : rendement « ultime » d'une cellule photovoltaïque

Le rendement d'une cellule photovoltaïque simple (à jonction unique) est limité par plusieurs facteurs, dont un des principaux est lié aux « pertes spectrales ». Un photon possédant une longueur d'onde donnée (et donc une énergie donnée) pourra seulement créer une paire « électron – trou » s'il est capable de faire passer un électron de la bande de valence à la bande de conduction, en augmentant le niveau d'énergie de cet électron d'une quantité étant égale à la bande interdite (g_{ap}). On pourra donc avoir 3 situations selon le niveau d'énergie des photons reçus :

- Si un photon a une énergie E_{photon} inférieure à E_{gap} , il sera incapable de créer une paire électron – trou et son énergie sera entièrement convertie en chaleur (c'est-à-dire perdue si on considère la production d'électricité comme effet utile).
- Si $E_{photon} = E_{gap}$, 100 % de cette énergie sera utile, puisqu'elle servira à faire augmenter le niveau d'énergie d'un électron d'une quantité égale à E_{gap} .
- Si $E_{photon} > E_{gap}$, le photon pourra faire passer un électron dans la bande de conduction, mais seule la quantité d'énergie E_{gap} sera utile pour cet effet, le reste de l'énergie ($E_{photon} - E_{gap}$) sera perdu sous forme de chaleur.

Le « rendement » d'un photon d'une longueur d'onde donnée (et donc d'une énergie E_{photon} donnée) sera donc égal à 0 si $E_{photon} < E_{gap}$, sinon il sera égal à E_{gap}/E_{photon} .

Le rendement « ultime » d'une cellule photovoltaïque est le rendement maximal théorique atteignable en ne prenant en compte que les pertes spectrales décrites ci-dessus. On peut calculer ce rendement en intégrant pour toutes les longueurs d'ondes le produit entre le rayonnement solaire et le « rendement » des photons décrit ci-dessus.

On vous demande de calculer le rendement ultime d'une cellule photovoltaïque au silicium ($E_{gap} = 1.12$ eV) en utilisant les différentes distributions spectrales de l'irradiance solaire fournies dans le fichier Excel qui accompagne le devoir. Représentez ensuite le rendement ultime de la cellule en fonction de la masse d'air.

Le silicium est souvent utilisé pour les cellules photovoltaïques. Ce matériau est-il un bon choix pour une cellule destinée à être utilisée sur terre, comparé au Germanium, qui a une énergie de bande interdite $E_{gap} = 0.65 \text{ eV}$?

2. Partie B : absorptance et émittance d'un absorbeur solaire avec une couche thermochromique

Pour éviter les dommages aux systèmes solaires en cas de stagnation (arrêt du système lorsque le soleil brille), certains capteurs solaires utilisent un absorbeur dont les propriétés radiatives changent avec la température. À basse température, l'absorbeur possède une basse émittance afin d'assurer un bon rendement, mais à haute température, son émittance augmente afin qu'il perde plus de chaleur. Son absorptance dans la gamme solaire change également légèrement. Ce type d'absorbeur (ou la couche qui est appliquée sur un absorbeur classique) est appelé « thermochromique ».

Les propriétés radiatives d'un absorbeur solaire sélectif possédant une couche thermochromique sont données dans le fichier Excel qui accompagne le devoir. On donne la réflectance monochromatique ρ_λ en fonction de la longueur d'onde λ .

Questions :

- Quelle est l'absorptance totale de l'absorbeur, en utilisant les propriétés radiatives à basse et à haute température, si on considère la distribution spectrale du rayonnement solaire sur terre (AM 1.5) ? On donne cette distribution spectrale dans le fichier Excel (distribution pour le rayonnement direct et circumsolaire à AM 1.5 sur une surface normale aux rayons du soleil).
- Calculez l'émittance du capteur solaire à une température de 70 °C en utilisant les propriétés à basse température, et ensuite à 80 °C, en utilisant les propriétés à haute température. En supposant que le changement entre les propriétés s'opère entre ces deux températures, l'absorbeur permettrait-il effectivement de protéger le capteur solaire et le reste du système contre les surchauffes (périodes de stagnation)?

Vous pouvez utiliser EES pour résoudre ce problème, en vous inspirant des exemples disponibles sur Moodle (exemples 3.6.1 et Table 3.6.1a). Vous pouvez également utiliser Excel ou n'importe quelle autre méthode pour réaliser les intégrales numériques. La méthode du trapèze est recommandée.

Notes :

- Lorsque vous calculez le rayonnement de corps noir $E_{b\lambda}$, des instabilités numériques peuvent survenir pour les petites longueurs d'onde. Vous pouvez supposer que $E_{b\lambda} = 0$ pour $\lambda < 100 \text{ nm}$.
- Les propriétés données ne couvrent pas nécessairement toute la gamme spectrale du rayonnement $E_{b\lambda}$. Vous pouvez extrapoler les données fournies (ρ_λ en fonction de λ) en supposant que ρ_λ est constant au-delà de la gamme donnée (donc vous pouvez répéter la dernière valeur donnée pour toutes les longueurs d'onde plus grandes que celles données).

Présentez la méthode que vous avez utilisée et les résultats obtenus, ainsi que vos réponses aux questions posées.

3. Partie C : Simulation TRNSYS

Note : le projet TRNSYS ne pourra pas être exécuté sans ajouter un nouveau modèle au logiciel. Pour cela, reportez-vous aux instructions de l'Annexe 1.

Le projet TRNSYS est fourni dans une archive zip sur Moodle. Il s'agit du même système que pour le devoir 1, mais il est cette fois situé à Montréal. Le profil de besoins en eau chaude est plus réaliste, il ne se répète pas chaque jour. On a remplacé le modèle de capteur solaire par un modèle théorique qui calcule la performance du capteur à partir de différents paramètres de construction, dont l'absorptance de la plaque dans la gamme solaire et son émittance dans les grandes longueurs d'onde. Ces deux variables sont fournies en entrée (entrées 16 et 17). Le projet de départ contient des valeurs fausses (absorptance de 1 et émittance de 0). On vous demande de configurer la simulation pour utiliser l'absorptance et l'émittance que vous aurez trouvées dans la partie B. Afin de tenir compte de l'évolution de ces variables en fonction de la température de la plaque, vous devrez utiliser un bloc d'équations (Assembly > New equation), y connecter en entrée la température de la plaque (sortie 8 du capteur) et calculer l'absorptance et l'émittance en fonction de la température de la plaque avec les hypothèses suivantes :

- En-dessous de 70 °C, ce sont les propriétés à basse température qui s'appliquent
- Au-dessus de 80 °C, ce sont les propriétés à haute température qui s'appliquent
- Entre les deux, les propriétés évoluent linéairement entre les valeurs à basse et haute température. Par exemple, à 75 °C, l'absorptance sera égale à la moyenne entre les valeurs à 70 °C et à 80 °C.

Des instructions pour utiliser les blocs d'équation dans TRNSYS sont données en Annexe 2.

On vous demande de regarder en particulier la journée du 31 juillet (heures 5064 à 5088) et d'analyser les différences entre le comportement du capteur avec les propriétés variables et celui d'un capteur qui conserverait tout le temps les propriétés à basse température. Ce genre d'analyse dynamique est la même que dans le devoir 1, mais vous devrez comparer 2 capteurs.

On demande aussi de représenter en graphique (pour les deux cas, capteur avec couche thermochromique et sans) le rendement du capteur solaire en fonction de la différence de température réduite, qui vaut $(T_{in} - T_{amb})/G_t$ et qui est exprimée en $m^2 K W^{-1}$ (T_{in} est la température du fluide à l'entrée du capteur, qui s'appelle T_{iCol} dans le fichier de sortie, et T_{amb} est la température ambiante, qui s'appelle T_{dbAmb} dans le fichier de sortie). Attention à convertir les unités TRNSYS. Pour ces graphiques, on demande des nuages de points dans lequel chaque point représente un pas de temps de la simulation. Vous pouvez éliminer du graphique les valeurs négatives et les valeurs aberrantes.

Notez que la simulation utilise un artifice pour modéliser 2 modules identiques de capteur : le débit est divisé en 2, et la moitié est envoyée au modèle de capteur, puis un « Tee piece » (mélangeur) regroupe les deux moitiés du débit en faisant comme si les deux moitiés venaient du même capteur. La puissance thermique Qu_{Col} dans le fichier de sortie représente l'énergie utile d'un seul module, qui a une superficie brute de $2.51 m^2$ (à utiliser pour calculer le rendement, même si la superficie dans le Type 3361 est celle de l'absorbeur, qui est légèrement plus petite).

Présentez les graphiques (rendement pour tous les pas de temps de l'année et analyse dynamique de la journée demandée) et analysez les résultats.

4. Rapport à remettre

Remettez un rapport au format PDF par Moodle avant la date indiquée au début du document.

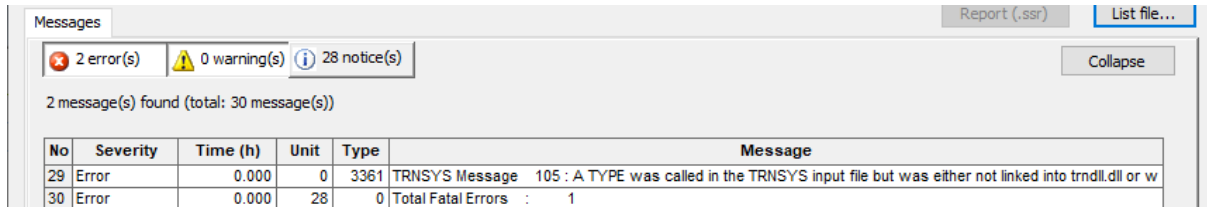
Note : votre rapport devrait avoir 4 à 5 pages. Il devrait compter de 1500 à 2000 mots environ. La concision est un des critères de correction, vous serez pénalisé-e si vous soumettez un rapport inutilement long.

Barème de correction :

- Partie A
 - Résultats et graphique pour le Silicium : 3 points
 - Comparaison avec Germanium et discussion : 3 points
- Partie B
 - Résultats et présentation de la méthode utilisée : 4 points
- Partie C
 - Analyse dynamique de la journée demandée et analyse : 3 points
 - Présentation du rendement en fonction de la différence de température réduite (nuage de points) et analyse : 3 points
- Qualité générale du rapport (y compris la concision!) : 4 points

Un moyen de vous assurer du bon placement des fichiers est d'ouvrir l'archive, et de faire glisser les répertoires Studio et UserLib Dans votre répertoire d'installation. Un moyen de vérifier que vous avez bien respecté la structure est de vous assurer de l'existence du fichier `C:\TRNSYS18\UserLib\ReleaseDLLs\BeeLab.dll`

Ensuite, vous pourrez ouvrir le projet du devoir et l'exécuter. Si vous avez une erreur qui dit « TRNSYS Message 105: A TYPE was called in the TRNSYS input file... Reported information : Type3361 could not be located ... », cela signifie que les fichiers n'ont pas été correctement installés.



The screenshot shows the 'Messages' window in TRNSYS. At the top, it indicates '2 error(s)', '0 warning(s)', and '28 notice(s)'. Below this, it states '2 message(s) found (total: 30 message(s))'. A table lists the messages:

No	Severity	Time (h)	Unit	Type	Message
29	Error	0.000	0	3361	TRNSYS Message 105 : A TYPE was called in the TRNSYS input file but was either not linked into trndll.dll or w
30	Error	0.000	28	0	Total Fatal Errors : 1

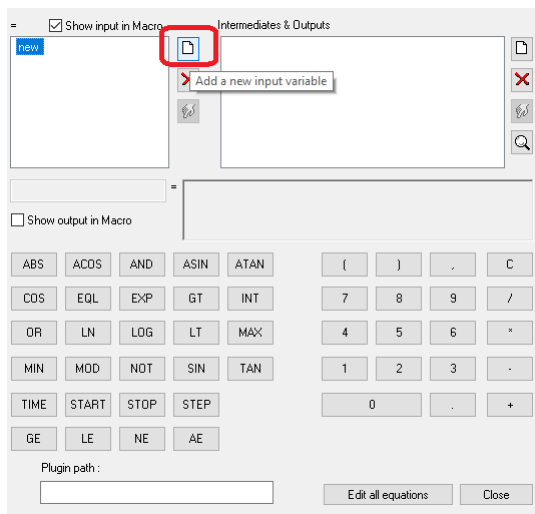
Figure 1 : Message d'erreur si l'installation n'a pas été complétée correctement

Annexe 2 : Instructions pour utiliser un bloc d'équations

Pour insérer un bloc d'équations, il faut aller dans **Assembly > Insert new equation** et simplement placer le bloc d'équations dans le projet. Ensuite, il faut connecter des variables en entrées aux équations.

Étape 1 : Créer la variable

La première capture d'écran ci-dessous montre comment créer la variable d'entrée pour les équations : cliquer sur l'icône de page blanche à gauche, ce qui crée une variable « new » qu'on peut renommer, par exemple en Tp. On peut ensuite utiliser cette variable dans les équations, soit en tapant son nom soit en utilisant la « main » à gauche, en-dessous de l'icône pour créer une variable.



Étape 2 : Créer une connexion entre le composant et le bloc d'équation, et à l'intérieur de cette connexion, relier la variable voulue.

Les deuxième et troisième captures d'écran montrent les deux connexions à créer entre le bloc d'équations et le capteur. Il faut une connexion depuis le bloc vers le capteur (lien vert) mais il faut aussi une connexion depuis le capteur vers le bloc d'équations (rouge). Et à l'intérieur de cette dernière, il faut connecter "plate temperature" à la variable qu'on a créée.

