



Rapport à remettre par Moodle au plus tard le vendredi 27 septembre 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 : 2024-09-11

## Objectifs

- Comparer le rayonnement projeté sur une surface calculé par TRNSYS avec des valeurs calculées à l'aide du modèle isotrope présenté au cours
- Observer la position apparente du soleil calculée par TRNSYS pour un endroit du globe et analyser la courbe obtenue

## 1. Partie A : Calcul de l'irradiance incidente sur une surface inclinée

 Note : Un tutoriel vidéo est fourni sur Moodle pour vous aider dans cette partie.

### 1.1. Création du projet TRNSYS

Vous devez créer un projet TRNSYS qui contiendra les composants décrits aux sections suivantes.

#### 1.1.1. Lecteur de données météo

Ce composant lit le fichier météo au format EPW et calcule le rayonnement incident sur une ou des surfaces inclinées. Ce composant est connu comme le « Type 15 », et on le trouve dans `\Weather Data Reading and Processing\Standard Format\Energy+ Weather Files (EPW)` sous le nom de « Type15-3 ».

Configuration :

- Changer le nom du fichier météo dans « *External Files* »
- Note : le composant est configuré pour utiliser le modèle de Perez pour la projection du rayonnement incident sur une surface quelconque (paramètre 3 = 5). On ne modifie pas ce paramètre.
- Changer le nombre de surfaces (Paramètre 6) pour 2
- Changer les paramètres de la pente pour la surface 1 :
  - Surface 1 : Paramètre 7 (*tracking*) à 4 pour indiquer une surface qui suit le soleil (c'est une surface « normale » au rayons du soleil en permanence. Les paramètres 8 (*slope*) et 9 (*azimuth*) sont sans effet dans ce cas.
  - Surface 2 : Paramètre 10 (*tracking*) laissé à 1 pour indiquer une surface fixe, paramètre 8 (*slope*) à 45° et paramètre 9 (*azimuth*) à 90°, ce qui signifie 90° vers l'ouest à partir du sud (soit plein ouest), ce qui est l'équivalent de 270° avec la convention du cours (voir plus loin pour des détails sur les conventions d'angle).

### 1.1.2. Indicateur de la date et l'heure

TRNSYS utilise l'heure de l'année pour la variable temps, donc par exemple l'heure 50 correspond à l'heure 2 de la 3<sup>ème</sup> journée. Le composant accessible dans `Utility\Time Values` sous le nom de `Type21` permet d'obtenir le mois, le jour du mois et l'heure du jour, ce qui peut être pratique.

Configuration :

- Vous ne devez rien changer dans ce composant.

### 1.1.3. Fichier de sortie

On utilise une imprimante (*Printer*) qui permet d'envoyer un grand nombre de variables dans un fichier de sortie. On prendra le composant que l'on trouve dans `Output\Printer\Unformatted\No Units` sous le nom de `Type25c`.

Configuration :

- Changer le nom du fichier de sortie dans « *External Files* ». On configurera l'imprimante pour utiliser un format séparé par des virgules (*Comma-Separated Values, CSV*). On va donc donner le nom « `***.csv` » au fichier de sortie. Le code `***` signifie « prendre le nom du projet TRNSYS », donc si votre projet s'appelle « Devoir2 », le fichier s'appellera « Devoir2.csv ».
- Dans les « *Parameters* », changer le paramètre 9 (*Delimiter*) pour indiquer le format CSV, en entrant la valeur 2.
- Dans les « *Inputs* », changer le nombre de variables à imprimer en indiquant 14, ce qui créera 14 entrées. On peut entrer le nom des variables dans les champs « Value » à la place de « label », avant ou après avoir connecté les variables.

### 1.1.4. Optionnel : Online plotter

L'*Online plotter* crée un graphique qui s'affiche pendant la simulation. On le trouve dans `Output\Online Plotter\Online Plotter Without File` sous le nom de `Type65d`.

Configuration :

- On pourra par exemple configurer l'online plotter pour représenter les 2 angles solaires (angle de zénith  $\theta_z$  et azimut  $\gamma_s$ ) sur l'axe de gauche, et 2 valeurs d'ensoleillement (l'ensoleillement global horizontal  $G$  et l'ensoleillement global sur la surface inclinée  $G_t$ ) sur l'axe de droite. Pour ce faire :
  - On ne doit pas changer le nombre de variables sur les axes (paramètres 1 et 2) qui sont par défaut à 2, mais on peut changer les limites des axes :
    - Paramètres 3 et 4 (limites de l'axe de gauche) : -100 et 400
    - Paramètres 5 et 6 (limites de l'axe de droite) : -5000 et 5000
  - Dans les « *Special Cards* », on peut changer les lignes suivantes :
    - Ligne 2, Titre de l'axe de gauche : "Angles [°]" (attention, il faut bien inclure les guillemets)

- Ligne 3, Titre de l'axe de droite : "Solar irradiance [kJ/h-m2]" (attention, il faut bien inclure les guillemets)
- Dans les « Inputs », on peut entrer le nom des variables dans les champs « Value » à la place de « label », avant ou après avoir connecté les variables.

### 1.1.5. Connexions

Les seules connexions à réaliser sont celles vers le fichier de sortie (et vers l'*online plotter* si désiré).

Ces connexions sont illustrées à l'Annexe 1.

- Entre le Type21 et le Type25c : connecter le « calendar month », « day of month », et « hour of day ».
- Entre le Type15-3 et le Type25c : connecter les angles donnant la position du soleil, les valeurs pertinentes d'irradiance solaire, et la réflectance du sol (albedo).
- Entre le Type15-3 et le Type65d (optionnel) : connecter les angles donnant la position du soleil, les valeurs pertinentes d'irradiance solaire.

Ne pas oublier de changer le nom des variables, soit directement en double-cliquant sur leur nom dans la fenêtre de connexion, soit dans l'onglet « Inputs » des composants.

### 1.1.6. Durée de la simulation et pas de temps

Dans Assembly > Settings (ou en cliquant sur l'icône d'engrenage à gauche), vous pourrez changer la durée de la simulation et le pas de temps. Par défaut, la simulation utilise un pas de temps de 0.125 h (7 min 30 sec), il faut le changer à 1 h ici, et par défaut la simulation s'arrête à l'heure 168 (après une semaine), il faut changer la fin de la simulation pour 8760 h (une année standard).

## 1.2. Comparaison de l'irradiance incidente sur une surface inclinée entre le modèle de Perez (dans TRNSYS) et le modèle isotrope (calcul manuel)

La surface inclinée considérée est celle que vous avez configurée dans TRNSYS, avec une pente de 45° et un azimut de 270° selon la convention géographique (vers l'ouest), soit un azimut de 90° dans TRNSYS.

- En utilisant les résultats de TRNSYS, représentez l'évolution de l'ensoleillement incident sur la surface inclinée au cours des 16 et 17 avril (heures 2520 à 2568 de la simulation).
- Calculez la position apparente du soleil ( $\gamma_s$  et  $\theta_z$ ) et le rayonnement projeté sur la surface ( $G_{bt}$ ,  $G_{dt}$ ,  $G_{rt}$ , et  $G_t$ ) pour les mêmes pas de temps en utilisant les valeurs de  $G_{bn}$  et  $G_d$  fournies par TRNSYS et le modèle isotrope présenté au cours pour le calcul du rayonnement diffus. Vous devrez fournir les valeurs obtenues dans un fichier Excel à remettre avec le devoir.
  - Pour ce calcul, vous aurez besoin d'éléments liés au fichier météo (latitude, longitude, fuseau horaire). Ces éléments sont indiqués dans la première ligne du fichier EPW, que l'on peut ouvrir dans un éditeur de texte ou dans Excel (voir l'Annexe 3 pour interpréter cette ligne).

- Comparez vos résultats à ceux de TRNSYS et discutez des différences : y a-t-il des différences notables, et si oui, qu'est-ce qui les explique? Pour illustrer votre discussion, vous devriez utiliser des graphiques de l'ensoleillement sur la surface inclinée ( $G_t$ ) et de ses 3 composantes ( $G_{bt}$ ,  $G_{dt}$ ,  $G_{rt}$ ).

Note : quand vous présentez les valeurs d'irradiance (graphiquement ou dans des tableaux, etc.), utilisez des unités SI ( $W/m^2$ ) et pas les unités de TRNSYS. Pour les valeurs intégrées (irradiation sur une journée, un mois ou un an par exemple), utilisez des  $kWh/m^2$ , des  $MJ/m^2$  ou des  $GJ/m^2$ .

## 2. Partie B : position du soleil tous les jours à la même heure pour un endroit choisi dans le monde

### 2.1. Notes sur les conventions de TRNSYS pour la position apparente du soleil et pour la référence de temps

Vous devez étudier le comportement des deux angles indiquant la position solaire, qui sont rapportés dans le fichier de sortie que vous avez configuré :

- Angle d'azimut (appelé  $\gamma_s$  dans le cours, position Nord, Sud, etc.). Attention, la convention utilisée par TRNSYS est de donner l'angle d'azimut en degrés par rapport à la direction qui fait face à l'équateur, avec des valeurs positives vers l'ouest et négatives vers l'est. Donc pour l'hémisphère nord, la valeur de zéro correspond au sud, la valeur de  $-90^\circ$  correspond à l'est,  $+90^\circ$  à l'ouest, et  $+180^\circ$  (ou  $-180^\circ$ ) au nord. Pour l'hémisphère sud, la valeur de 0 correspondrait au nord, mais  $-90^\circ$  correspondrait toujours à l'est. La correspondance entre les azimuts donnés par TRNSYS et les azimuts suivant la convention géographique classique ( $0^\circ$  = nord, positif vers l'est) est expliquée dans un document disponible sur Moodle (rubrique « Exemples et documents additionnels »).
- Angle du zénith (appelé  $\theta_z$  dans le cours), mesuré par rapport à la verticale. Cet angle est le complémentaire de l'altitude solaire (appelée  $\alpha_s$  dans le cours, et on a donc  $\theta_z = 90^\circ - \alpha_s$ ).

La convention de temps utilisée par TRNSYS est celle-ci :

- TRNSYS utilise le temps civil d'hiver en tout temps (pas de passage à l'heure d'été). Le fuseau horaire est indiqué dans le fichier météo (voir Annexe 3) et pour celui de Montréal il s'agit de UTC-5 (Heure Normale de l'Est, *Eastern Standard Time, EST*).
- L'heure utilisée dans TRNSYS pour désigner un pas de temps correspond à la fin du pas de temps concerné et toutes les variables sont fournies comme des moyennes sur le pas de temps. Donc la valeur affichée/imprimée pour l'heure 100 avec un pas de temps horaire correspond à la moyenne de la variable en question entre l'heure 99 et l'heure 100.
- Lorsqu'on calcule le rayonnement solaire avec un pas de temps horaire, on utilise généralement la valeur de  $\omega$  (angle horaire) au milieu du pas de temps pour faire les calculs. Donc la valeur du temps civil de 11 h 30 est celle utilisée pour effectuer les calculs de position solaire et de rayonnement moyen entre 11 et 12 heures, ce qui correspond au pas de temps « 12 h » de TRNSYS.

## 2.2. Représentation de la trajectoire apparente du soleil pour toutes les journées d'une année à 11 h 30

- Enregistrez le projet TRNSYS de la partie A sous un nom différent, et changez le fichier météo en remplaçant celui de Montréal par un fichier que vous aurez choisi sur le site PVGIS (voir instructions en annexe, choisissez un endroit à plus de 500 km de Montréal).
- En utilisant les résultats dans le fichier de sortie, présentez un graphique de la position apparente du soleil (altitude solaire  $\alpha_s$  en fonction de l'azimut  $\gamma_s$ ) pour tous les jours de l'année à 11 h 30 (donc correspondant à l'heure « 12 » de la journée pour des pas de temps horaires dans TRNSYS). Le graphique devrait préférentiellement être en coordonnées polaires, si vous choisissez des coordonnées cartésiennes, veillez à ce que la représentation choisie permette d'interpréter le graphique.
- Discutez de la forme du graphique : qu'est-ce qui explique le trajet de la position apparente du soleil ?

## 3. Rapport, fichier Excel et fichier météo à remettre

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

- Le fichier Excel fourni sur Moodle avec vos réponses pour la partie A.
- Le fichier météo que vous aurez téléchargé de PVGIS pour la partie B.

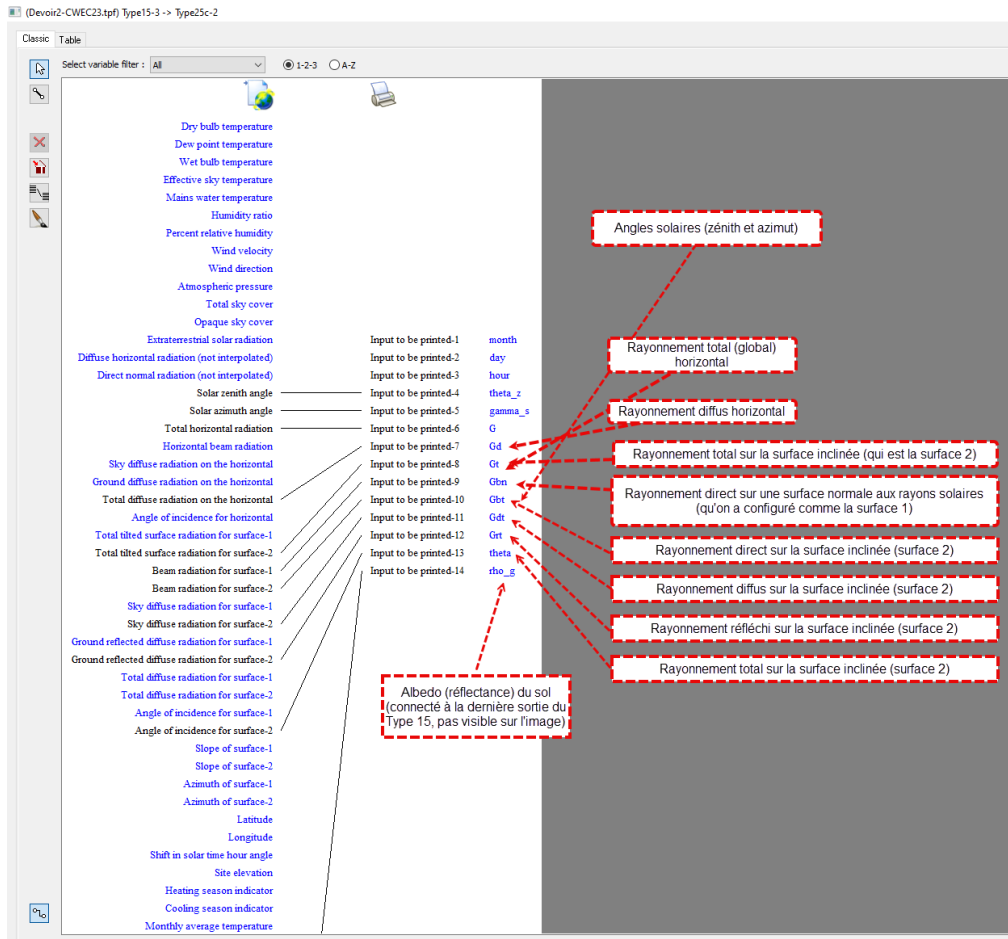
Note : votre rapport devrait avoir 3 à 4 pages. Il devrait compter de 1000 à 1500 mots environ. La concision est un des critères de correction, vous serez pénalisé-e si vous soumettez un rapport inutilement long.

Barème de correction :

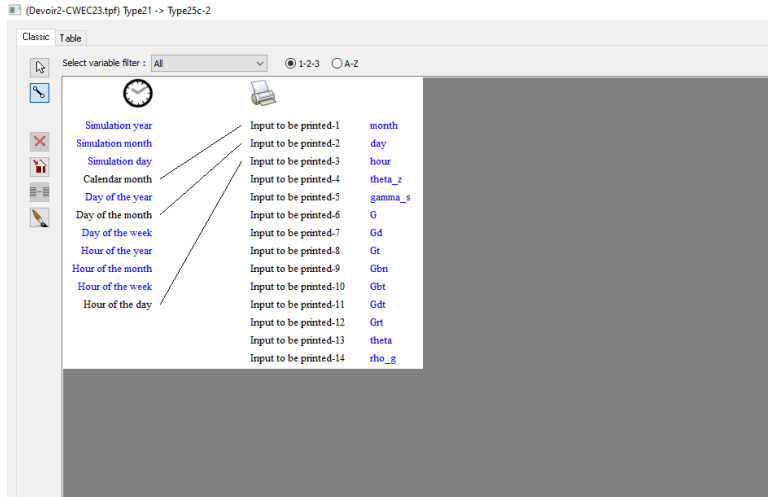
- Partie A
  - Justesse des résultats de TRNSYS : 3 points
  - Justesse des résultats calculés manuellement) : 3 points
  - Analyse des résultats et des différences potentielles : 6 points
- Partie B : 5 points
- Qualité générale du rapport (y compris la concision!) : 3 points

# Annexe 1 : Captures d'écrans des connexions dans TRNSYS

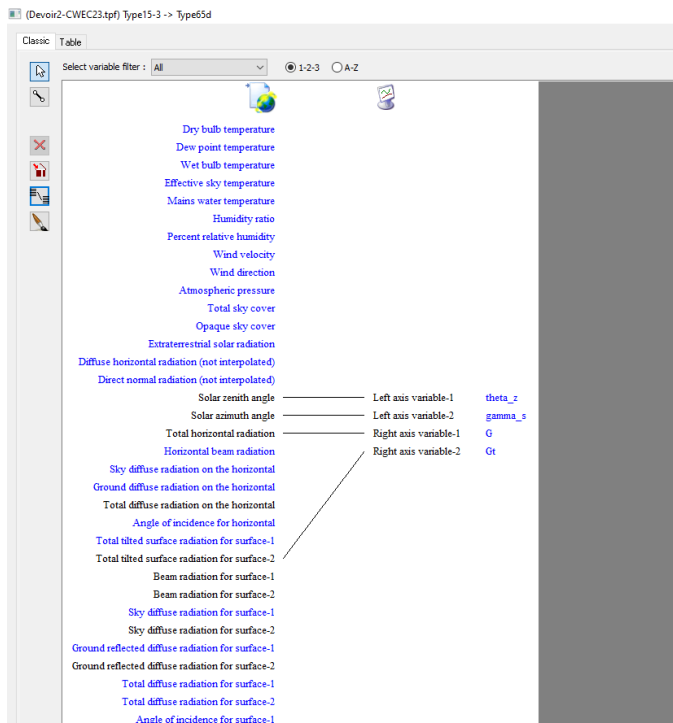
## Connexions entre le Type 15-3 et le Type 25c



### Connexions entre le Type 21 et le Type 25c



### Connexions (optionnelles) entre le Type 15-3 et le Type 65d



## Annexe 2 : Instructions pour changer le fichier météo

Vous devez changer les données de Montréal par celles d'un endroit de votre choix. Vous trouverez le fichier de données sur le site « Photovoltaic Geographical Information System » de la Commission européenne, qui fournit des fichiers typiques basés sur des estimations satellites pour une grande partie de la planète.

- Allez sur [http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html#TMY](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#TMY) et acceptez les cookies.
- Choisissez sur la carte un endroit pour lequel il y a des données (fond de carte en gradient coloré). Vous pouvez zoomer pour choisir un endroit précis. Cliquez sur cet endroit.
- Dans la rubrique « Select Period » à droite (menu déroulant), choisissez la période proposée par défaut.
- Cliquez en bas à droite sur le bouton EPW et enregistrez le fichier.
- Localisez le fichier téléchargé sur votre ordinateur, et placez le dans le répertoire où vous avez enregistré votre projet TRNSYS.
- Ouvrez le projet TRNSYS, double-cliquez sur le lecteur de fichier météo (Type 15-3), allez dans l'onglet « External files », et sélectionnez votre fichier à la place du fichier de Montréal.
- Enregistrez le projet sous un autre nom (vous aurez besoin du projet original pour la partie A)
- Exécutez la simulation (F8) pour vérifier que les résultats ont changé. Vous pouvez consulter le fichier log pour voir s'il y a des erreurs ou warnings. (bouton « flèche vers fichier » en bas à gauche ou Calculate > Open > List file).



## Annexe 3 : Interprétation de l'entête des fichiers au format « EPW »

La première ligne du fichier fourni est la suivante :

```
LOCATION,MCTAVISH,QC,CAN,CWEEDS2023,7024745,45.50,-73.58,-5.0,72.8
```

Cette ligne contient 10 champs séparés par des virgules :

- LOCATION indique que la ligne donnera les informations sur l'endroit représenté par le fichier
- Station météo ou ville (ici McTavish, près de l'Université McGill à Montréal)
- Province ou État (souvent vide), ici QC
- Pays, ici CAN pour le Canada
- Source des données (ici CWEEDS2023 est une base de données canadienne)
- Numéro de la station. Selon la source cela peut être un numéro selon L'Organisation Météorologique Mondiale (*World Meteorological Organisation*) ou un numéro national, il peut aussi être vide ou inconnu.
- Latitude en °N (donc par exemple -20 signifierait 20° sud, +45.5 signifie 45.5° nord)
- Longitude en °E (donc par exemple -73.58 est 73.58° vers l'ouest, 15 serait 15° vers l'est)
- Différence entre le fuseau horaire (time zone) et UTC. Par exemple -5 veut dire UTC-5, qui est le fuseau horaire de Montréal. Le nombre 1.0 voudrait dire UTC+1, qui est le fuseau horaire de l'Europe continentale de l'ouest (France, Belgique, etc.)
- Altitude en mètres au-dessus du niveau de la mer

Note : pour les fichiers obtenus de PVGIS, le pays, la station météo, la province, sont souvent « unknown », mais les informations utiles pour les calculs (latitude, longitude, fuseau horaire) sont bien présentes.