

Formulation des indices agroclimatiques

1. Définition des variables quotidiennes

T_{min_j} : Température minimale du jour j en °C

T_{max_j} : Température maximale du jour j en °C

T_{moy_j} : Température moyenne du jour j en °C

$$T_{moy_j} = \frac{T_{min_j} + T_{max_j}}{2}$$

P_j : Total des précipitations du jour j en mm

2. Indices agroclimatiques

2.1. Date du dernier gel printanier

Définition : Le dernier jour suivant l'hiver où la température minimale quotidienne est inférieure ou égale à un seuil de température gélive T_{gel} . La recherche du dernier jour de gel se fait entre le 1^{er} janvier (jour julien 1) et le 31 juillet (jour julien 212) inclusivement

Unités : Date ou jour julien

Formule :

$$DGP_{T_{gel}} = \max\{j | T_{min_j} \leq T_{gel}\}$$

dans laquelle

$$T_{gel} = \{-4\text{ °C}, -3\text{ °C}, -2\text{ °C}, -1\text{ °C}, 0\text{ °C}\}$$
$$j = 1, \dots, 212$$

2.2. Date du premier gel automnal

Définition : Le premier jour de l'automne où la température minimale quotidienne est inférieure ou égale à un seuil de température gélive T_{gel} . La recherche du premier jour de gel se fait entre le 1^{er} août (jour julien 213) et le 31 décembre (jour julien 365) inclusivement.

Unités : Date ou jour julien

Formule :

$$PGA_{T_{gel}} = \min\{j | T_{min_j} \leq T_{gel}\}$$

dans laquelle

$$T_{gel} = \{-4\text{ °C}, -3\text{ °C}, -2\text{ °C}, -1\text{ °C}, 0\text{ °C}\}$$
$$j = 213, \dots, 365$$

2.3. Longueur de la saison sans gel

Définition : Le nombre de jours entre le dernier gel printanier et le premier gel automnal selon un seuil de température gélive T_{gel} .

Unités : Jours

Formule :

$$LSSG_{T_{gel}} = PGA_{T_{gel}} - DGP_{T_{gel}}$$

dans laquelle

$$T_{gel} = \{-4\text{ °C}, -3\text{ °C}, -2\text{ °C}, -1\text{ °C}, 0\text{ °C}\}$$

2.4. Fréquence des températures supérieures à 30°C

Définition : Nombre de jours dans une année (occurrences annuelles) où la température maximale quotidienne est supérieure à 30°C.

Unités : jours

Formule :

$$OCA_{TSUP30} = \sum_{j=1}^{365} TSUP30_j$$

dans laquelle

$$TSUP30_j = \begin{cases} 1 & \text{si } T_{max_j} > 30\text{ °C} \\ 0 & \text{si } T_{max_j} \leq 30\text{ °C} \end{cases}$$

2.5. Température minimale annuelle

Définition : La plus froide des températures minimales quotidiennes d'une année.

Unités : °C

Formule :

$$TMA = \min(T_{min_j}) \quad j=1, \dots, 365$$

2.6. Date de début de la saison de croissance

Définition : Le début de la saison de croissance (*DSC*) suivant un hiver correspond au 5^{ième} jour d'une période de 5 jours consécutifs où la moyenne mobile pondérée des températures moyennes quotidiennes (*TMMP5*) est supérieure à 5.5°C.

Unités : Date

Formule :

$$DSC = \min\{j | TMMP5_j > 5.5 \text{ }^\circ\text{C}\}$$

dans laquelle

$$TMMP5_j = \frac{Tmoy_{j-4} + 4Tmoy_{j-3} + 6Tmoy_{j-2} + 4Tmoy_{j-1} + Tmoy_j}{16}$$

$$j = 1, \dots, 365$$

2.7. Date de fin de la saison de croissance

Définition : La fin de la saison de croissance (*DSC*) correspond au 5^{ième} jour d'une période de 5 jours consécutifs où la moyenne mobile pondérée des températures moyennes quotidiennes (*TMMP5*) est supérieure à 5.5°C pour la dernière fois suivant un été.

Unités : Date

Formule :

$$FSC = \max\{j | TMMP5_j > 5.5 \text{ }^\circ\text{C}\}$$

dans laquelle

$$TMMP5_j = \frac{Tmoy_{j-4} + 4Tmoy_{j-3} + 6Tmoy_{j-2} + 4Tmoy_{j-1} + Tmoy_j}{16}$$

$$j = 1, \dots, 365$$

2.8. Longueur de la saison de croissance

Définition : Le nombre de jours entre le début et la fin de la saison de croissance.

Unités : Jours

Formule :

$$LSC = FSC - DSC$$

2.9. Cumul des degrés-jours d'avril à octobre

Définition : Cumul, entre le 1^{er} avril (jour julien 91) et le 31 octobre (jour julien 304), de l'excédent de la température moyenne quotidienne par rapport à un seuil de température T_{base} .

Unités : Degrés jours

Formule :

$$DJ = \sum_{j=91}^{304} DJ_j$$

dans laquelle

$$DJ_j = \max[0, (T_{moy_j} - T_{base})]$$

$$T_{base} = \{0\text{ }^{\circ}\text{C}, 5\text{ }^{\circ}\text{C}, 10\text{ }^{\circ}\text{C}\}$$

2.10. Cumuls mensuels des degrés-jours d'avril à octobre

Définition : Cumul, entre le premier jour (jp) et le dernier jour (jd) du mois, de l'excédent de la température moyenne quotidienne par rapport à un seuil de température T_{base} , pour chaque mois entre avril et octobre.

Unités : Degrés jours

Formule :

$$DJ_m = \sum_{j=jp}^{jd} DJ_j$$

dans laquelle

$$DJ_j = \max[0, (T_{moy_j} - T_{base})]$$

$$T_{base} = \{0\text{ }^{\circ}\text{C}, 5\text{ }^{\circ}\text{C}, 10\text{ }^{\circ}\text{C}\}$$

jp : premier jour julien du mois m

jd : dernier jour julien du mois m

2.11. Cumul des degrés-jours durant la saison de croissance

Définition : Cumul, entre le début et la fin de la saison de croissance (DSC) et (FSC), de l'excédent de la température moyenne quotidienne par rapport à un seuil de température T_{base} de 5°C

Unités : Degrés jours

Formule :

$$DJ = \sum_{j=DSC}^{FSC} DJ_j$$

dans laquelle

$$DJ_j = \max[0, (T_{moy_j} - T_{base})]$$

$$T_{base} = 5^{\circ}\text{C}$$

2.12. Date de début de cumul des unités thermiques maïs

Définition : Suivant l'approche proposée par le groupe de travail « UTM » formé dans le cadre du projet de l'atlas agroclimatique, on débute le cumul des UTM à la première occurrence d'une moyenne mobile sur 5 jours de la température moyenne quotidienne ($TMM5$) supérieure ou égale à 12.8°C . La date du début du cumul des UTM (DDC_UTM) correspond à la 5^{ème} journée de cette fenêtre mobile. La toute première fenêtre de 5 jours considérée débute avec la médiane pour la période 1971-2000 (ou 2041-2070) des dates de dernier gel printanier par rapport à une température gélive de 0°C (MED_DGPO). Le calcul de la date du dernier gel printanier est présenté à la section 2.1.

Unités : Date

Formule :

$$DDC_UTM = \min\{j | TMM5_j \geq 12.8^{\circ}\text{C}\}$$

dans laquelle

$$TMM5_j = \frac{Tmoy_{j-4} + Tmoy_{j-3} + Tmoy_{j-2} + Tmoy_{j-1} + Tmoy_j}{5}$$

$$j \geq MED_DGPO + 4$$

2.13. Date de fin de cumul des unités thermiques maïs

Définition : Suivant l'approche proposée par le groupe de travail « UTM » formé dans le cadre du projet de l'atlas agroclimatique, la fin du cumul des UTM (DFC_UTM) correspond au premier gel automnal par rapport à une température gélive de -2°C ($PGA_{-2^{\circ}\text{C}}$).

Unités : Date

Formule :

$$DFC_UTM = PGA_{-2^{\circ}\text{C}}$$

dans laquelle

$$PGA_{-2^{\circ}\text{C}} = \min\{j | Tmin_j \leq -2^{\circ}\text{C}\}$$

$$j = 213, \dots, 365$$

2.14. Cumul des unités thermiques maïs

Définition : La somme des UTM journalières (UTM_j) sur une période comprise entre la date de début (DDC_UTM) et la date de fin (DFC_UTM) mentionnées

précédemment. Le calcul des UTM journalières est basé sur la formule de Bootsma et al., 1999.

Unités : UTM

Formule :

$$UTM = \sum_{j=DDC_UTM}^{DFC_UTM} UTM_j$$

dans laquelle

$$UTM_j = \frac{1}{2}(Ymax_j + Ymin_j)$$

$$Ymax_j = \begin{cases} 3.33 (Tmax_j - 10) - 0.084(Tmax_j - 10)^2 & \text{si } Tmax_j > 10 \text{ } ^\circ\text{C} \\ 0 & \text{si } Tmax_j \leq 10 \text{ } ^\circ\text{C} \end{cases}$$

$$Ymin_j = \begin{cases} 1.8 (Tmin_j - 4.44) & \text{si } Tmin_j > 4.44 \text{ } ^\circ\text{C} \\ 0 & \text{si } Tmin_j \leq 4.44 \text{ } ^\circ\text{C} \end{cases}$$

2.15. Cumul des degrés-froid durant la période d'endurcissement (potentiel d'endurcissement)

Définition : Cumul des degrés-froids nets ($DF5_j$) journaliers entre le 1 août (jour julien 213) et la fin de la période d'endurcissement (FPE) correspondant à la première occurrence d'une température minimale inférieure ou égale à -10°C . À noter que les $DF5_{j=FPE}$ ne sont pas inclus dans le cumul. Les degrés froids nets proviennent de l'écart entre les degrés froids ($CDD5$) et les degrés jours de croissance ($DD5$). À chaque jour, on vérifie si le cumul des degrés-froids nets ($CDF5$) devient négatif et on le remet à zéro le cas échéant.

Unités : Degrés froids

Formule :

$$CDF5 = \sum_{j=213}^{FPE-1} \{CDF5_j | CDF5_j = \max[0, (CDF5_{j-1} + DF5_j)]\}$$

initialisée au 1 août avec,

$$CDF5_{j=213-1} = 0$$

et dans laquelle

$$FPE = \min\{j | Tmin_j \leq -10^\circ\text{C et } j \geq 213\}$$

$$DF5_j = CDD5_j - DD5_j$$

$$CDD5_j = \begin{cases} 0 & \text{si } T_{moy_j} \geq 5^\circ C \\ |T_{moy_j} - 5| & \text{si } T_{moy_j} < 5^\circ C \end{cases}$$

$$DD5_j = \begin{cases} T_{moy_j} - 5 & \text{si } T_{moy_j} > 5^\circ C \\ 0 & \text{si } T_{moy_j} \leq 5^\circ C \end{cases}$$

2.16. Cumul des degrés-jours au cours de la période froide (perte d'endurcissement)

Définition : Cumul des degrés-jours base 0°C pendant la saison froide comprise entre de la première (*DHIV*) et la dernière (*FHIV*) occurrence d'une température minimale de -15°C. *DHIV* et *FHIV* sont en jours juliens.

Unités : Degrés jours

Formule :

$$DJO_HIV = \sum_{j=DHIV}^{FHIV} \max(0, T_{moy_j})$$

dans laquelle

$$DHIV = \min\{j | T_{min_j} \leq -15^\circ C\}$$

$$FHIV = \max\{j | T_{min_j} \leq -15^\circ C\}$$

2.17. Cumul des précipitations d'avril à octobre

Définition : Somme des précipitations journalières entre le premier avril (jour julien 91) et le 31 octobre (jour julien 304).

Unités : mm

Formule :

$$P = \sum_{j=91}^{304} P_j$$

2.18. Cumul des précipitations pendant la saison de croissance

Définition : Somme des précipitations journalières entre le début (*DSC*) et la fin de la saison de croissance (*FSC*) inclusivement.

Unités : mm

Formule :

$$P_{SC} = \sum_{j=DSC}^{FSC} P_j$$

2.19. Cumuls mensuels des précipitations d'avril à octobre

Définition : Somme des précipitations journalières entre le premier (jp) et dernier (jd) jour de chaque mois compris entre avril et octobre inclusivement.

Unités : mm

Formule :

$$P_m = \sum_{j=jp}^{jd} P_j$$

jp : premier jour julien du mois m

jd : dernier jour julien du mois m

2.20. Cumul des précipitations moins évapotranspiration potentielle (P-ETP) de mai à octobre

Définition : Cumul de l'indice hydrique P-ETP défini comme étant la différence entre les précipitations et l'évapotranspiration potentielle journalières entre le 1^{er} mai et le 31 octobre inclusivement. L'évapotranspiration potentielle est calculée selon la formule de Baier et Robertson (1965). Elle est fonction des températures ($FTmax$ et $FTmin$) en °F ainsi que du rayonnement extraterrestre (Re) en MJ/m²/min. Ce rayonnement est calculé à l'aide de la constante solaire (GSC), de la déclinaison solaire (ds , sans unité), de la correction d'excentricité (dr , sans unité), de l'angle horaire (Ω) en radians et de la latitude (LAT) en degrés du lieu considéré (station ou point de grille d'un modèle climatique).

Unités : mm

Formule :

$$C_{PETP} = \sum_{j=1 \text{ mai}}^{31 \text{ oct}} P_j - ETP_j$$

dans laquelle

$$ETP_j = 0.094[-87.03 + 0.928FTmax_j + 0.933(FTmax_j - FTmin_j) + 0.0486Re]$$

$$FTmax_j = \frac{9}{5}Tmax_j + 32$$

$$FTmin_j = \frac{9}{5}Tmin_j + 32$$

$$Re = \frac{1440}{\pi} GSC dr \left[\Omega \sin\left(\frac{\pi LAT}{180}\right) \sin(ds) + \cos\left(\frac{\pi LAT}{180}\right) \cos(ds) \sin(\Omega) \right]$$

$$dr = 1 + 0.033 \left[\cos\left(\frac{2\pi JJ}{365}\right) \right]$$

$$ds = 0.409 \sin\left(\frac{2\pi JJ}{365} - 1.39\right)$$

JJ = la date en jours juliens

$$GSC = 0.082 \text{ MJ/m}^2/\text{min}$$

2.21. Cumul des précipitations moins évapotranspiration potentielle pendant la saison de croissance

Définition : Cumul de l'indice hydrique P-ETP défini comme étant la différence entre les précipitations et l'évapotranspiration potentielle journalières entre le début (DSC) et la fin (FSC) de la saison de croissance inclusivement. L'évapotranspiration potentielle est calculée selon la formule de Baier et Robertson (1965). Elle est fonction des températures ($FTmax$ et $FTmin$) en °F ainsi que du rayonnement extraterrestre (Re). Ce rayonnement est calculé à l'aide de la constante solaire (GSC), de la déclinaison solaire (ds , sans unité), de la correction d'excentricité (dr , sans unité), de l'angle horaire (Ω) en radians et de la latitude (LAT) en degrés du lieu considéré (station ou point de grille d'un modèle climatique).

Unités : mm

Formule :

$$C_{PETP_{SC}} = \sum_{j=DSC}^{FSC} P_j - ETP_j$$

dans laquelle

$$ETP_j = 0.094[-87.03 + 0.928FTmax_j + 0.933(FTmax_j - FTmin_j) + 0.0486Re]$$

$$FTmax_j = \frac{9}{5}Tmax_j + 32$$

$$FTmin_j = \frac{9}{5}Tmin_j + 32$$

$$Re = \frac{1440}{\pi} GSC dr \left[\Omega \sin\left(\frac{\pi LAT}{180}\right) \sin(ds) + \cos\left(\frac{\pi LAT}{180}\right) \cos(ds) \sin(\Omega) \right]$$

$$dr = 1 + 0.033 \left[\cos\left(\frac{2\pi JJ}{365}\right) \right]$$

$$ds = 0.409 \sin\left(\frac{2\pi JJ}{365} - 1.39\right)$$

JJ = la date en jours juliens

$$GSC = 0.082 \text{ MJ/m}^2/\text{min}$$