



## *Projet AP3C*

# *Adaptation des Pratiques Culturelles au Changement Climatique*

### **Fiche méthode :**

## **AP3C, un projet qui renouvelle les méthodes d'estimation de l'Evapo-Transpiration Potentielle**

*Juillet 2018*

*ETP « mesurée » VS ETP estimée*

L'évapo-transpiration potentielle (ETP) est, par définition, l'évaporation-transpiration réelle d'un couvert herbeux suffisamment alimenté en eau pour ne pas subir de stress. Ce concept peut amener au calcul de l'évapo-transpiration réelle d'un végétal, quel qu'il soit, via un coefficient cultural (dépendant de la phénologie du végétal) et un coefficient de stress hydrique (dépendant du sol). Associé à la mesure des précipitations, il permet alors de calculer un bilan hydrique réel.

Or les points de mesures météorologiques disposant de l'ensemble des paramètres constitutifs de l'ETP au sens classique de Penman-Monteith (soit température, humidité, rayonnement et vent) sont peu nombreux et la taille du réseau a tendance à se restreindre. Aussi, pour effectuer un bilan hydrique au plus près d'une parcelle agricole, il peut être très utile de disposer d'une formule d'estimation précise et robuste de l'ETP à partir des paramètres météorologiques les plus communément mesurés soit la température et les précipitations.

Dans le cadre du projet AP3C, l'intérêt originel est de nature climatologique. Il s'agit, sur les 11 départements engagés dans le projet, de calculer l'ensemble des Indicateurs AgroClimatiques (IAC) hydriques, non pas uniquement sur le réseau des 29 stations « mesurant » l'ETP de Penman-Monteith, mais sur le réseau des 67 stations mesurant la température et les précipitations.



Cependant, étant donné la qualité attendue de cette estimation, il peut être également pertinent de tester sa validité pour des applications opérationnelles de suivi de bilan hydrique réel en cours de saison.

## Une innovation dans le traitement statistique

Implicitement ou explicitement, bon nombre de formules d'estimation de l'ETP (quel que soit leur pas de temps) sont de nature :

- Annuelle, pas de modification des coefficients selon la saison ou le mois
- Moyenne, pas de modification des coefficients selon la position géographique ou l'altitude
- Fixe, pas d'évolution des coefficients selon la situation des pas de temps précédents
- Immuable, pas d'évolution à long terme des coefficients, due au Changement Climatique par exemple
- mOno-prédicteur, un seul paramètre météorologique sert d'estimateur, souvent il s'agit de la température

En abrégé, on peut parler de formules AMFIO.

Or, avec la masse considérable de données quotidiennes observées utilisées par AP3C (environ 250 000 ETP Penman-Monteith par exemple), il devient possible d'envisager les modalités alternes des formules soit Saisonnière, Géo-référencée, Advective, Tendancielle et mUlti-prédicteurs. En abrégé, on tendra donc vers une formule SGATU.

On comparera les différentes formules à celle de De Montard, de type AMFIO, qui est classiquement utilisée dans le réseau des Chambres d'Agriculture du Massif Central. Elle s'écrit au pas de temps quotidien :

$ETP=0,24*(T_n+T_x)/2$  avec  $T_n$  et  $T_x$  températures minimales et maximales quotidiennes

A noter que cette formule a été conçue au départ pour traiter des pas de temps au moins décennaires durant la saison de pousse des végétaux. Il ne faudra donc pas s'étonner que les résultats quotidiens, appliqués toute l'année, soient médiocres.

## Une importante base de données

Pour calibrer les diverses formules, nous utiliserons 32 séries d'ETP Penman-Monteith (données quotidiennes homogénéisées) sur la période 1980-2015. Les 32 stations correspondantes sont représentées sur la figure n°1 ci-après.

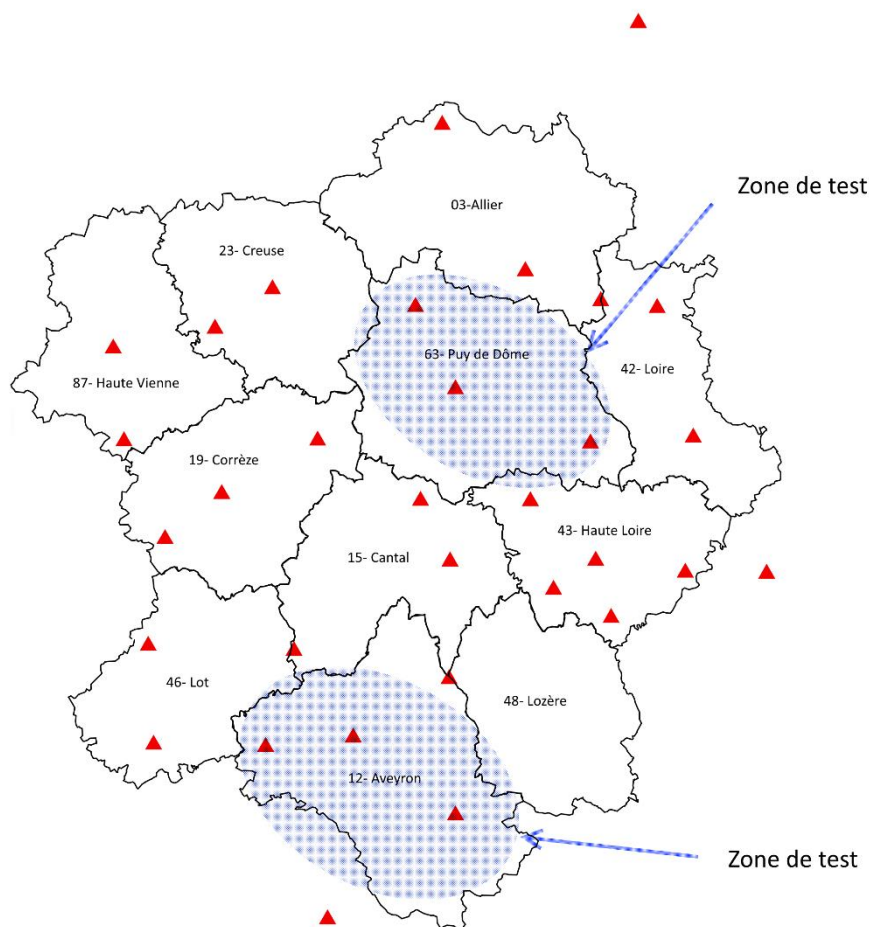


Figure 1 : disposition des 32 stations de mesure de l'ETP Penman-Monteith, disponibles sur la période 1980-2015, sur la carte des 11 départements engagés dans AP3C.

Comme il est de règle en statistique, nous séparons une zone d'apprentissage de la méthode (données effectivement utilisées pour calibrer les coefficients) d'une zone de test où la qualité de la méthode est vérifiée mais dont les données observées n'ont pas été utilisées pour la calibration.

Il a été décidé de séparer cette zone de test en deux :

- Les 3 stations du département du Puy de Dôme, situées au cœur du Massif-Central.
- Les 3 stations du Sud de l'Aveyron, situées en périphérie

Le but est de mettre au jour d'éventuelles divergences de qualité entre un point central et un point en marge. Cependant, tous les tests ultérieurs ont donné les mêmes résultats pour l'une et l'autre zone aussi ont-elles été regroupées pour diminuer l'incertitude statistique (6 données au lieu de 2\*3).

Les 26 autres stations représentent donc la zone d'apprentissage des diverses formules d'estimation de l'ETP.

## Explication des niveaux de complexité

Pour aider à la désignation des différents types de formule d'estimation de l'ETP quotidienne, on a choisi de désigner leur niveau de complexité par le nombre de modalités alternatives utilisées par rapport à AMFIO. Les niveaux varient ainsi de 0 (AMFIO) à 5 (SGATU), avec un nombre total de désignations possibles qui atteint  $2^5=32$ . Nous n'avons pas eu le temps de tester l'intégralité de ces 32 possibilités dans le cadre de AP3C. Aussi nous avons résolu de suivre *a priori* un chemin de complexification en 5 étapes pour passer « du coq à l'âne », autrement dit de AMFIO à SGATU, comme suit :

- Niveau 0 : AMFIO (De Montard)
- Niveau 1 : SMFIO
- Niveau 2 : SMFIU
- Niveau 3 : SGFIU principal, SMAIU secondaire (3b) préalable à niveau 4
- Niveau 4 : SGAIU principal, SMATU secondaire (4b) préalable à niveau 5
- Niveau 5 : SGATU

Comme on peut le remarquer, les 5 étapes se sont transformées en 7 en cours de route, à cause de la manière particulière dont a été effectué le géo-référencement. Concrètement le géo-référencement a consisté en un calcul des coefficients des modèles de niveau N-1 de chaque point de mesure, suivi d'une régression sur les coordonnées géographiques de ces coefficients, d'où les modèles 3b et 4b.

## Déroulement synthétique du calcul des formules

Pour le niveau 0, la formule nous était imposée par l'usage donc n'a nécessité aucune recherche.

Pour les autres formules, il a fallu tout d'abord bien spécifier les prédicteurs. Au départ, on dispose de Tn (température minimale quotidienne), de Tx (température maximale quotidienne) et de RR (cumul quotidien de précipitations). Des essais de régression de niveau 0 et 1 ont montré que le meilleur prédicteur était Tx, suivi de RR et que Tn n'était généralement pas significatif. De plus, l'analyse des résidus des régressions en RR a montré qu'il était nettement préférable de transformer cette variable de manière logarithmique, de la manière suivante :

- $LR = \text{Log}_{10}(RR+0,01)$



La constante dans le logarithme est nécessaire pour éviter de tendre vers  $-\infty$  lorsque RR est nul. La valeur de cette constante a été reprise du générateur stochastique de temps utilisé dans la méthode de projection climatique statistique de AP3C.

### Formule SMFIO (Saisonnière, Moyenne, Fixe, Immuable, mOno-prédicteur)

Donc, pour le niveau 1, on a un modèle du type :

$$- \text{ETP} = A * T_x + B, \text{ avec } A \text{ et } B \text{ variables en fonction de la saison}$$

Pour la description temporelle dans A et B, nous avons utilisé le même type de formulation que pour le générateur stochastique de temps, à savoir un cycle sinusoïdal de 12 mois, associé à son harmonique de 6 mois. Donc, on peut écrire :

$$A = CT_x + \text{Amp}1T_x * \sin(2 * \text{Pi} * \text{case} / 365.25 + \text{Phas}1T_x) + \text{Amp}2T_x * \sin(2 * \text{Pi} * \text{case} / 182.625 + \text{Phas}2T_x)$$

$$B = C + \text{Amp}1 * \sin(2 * \text{Pi} * \text{case} / 365.25 + \text{Phas}1) + \text{Amp}2 * \sin(2 * \text{Pi} * \text{case} / 182.625 + \text{Phas}2) \quad \text{avec case, le numéro du jour à partir du 01/01/1980}$$

Les périodes fractionnaires sont nécessaires pour éviter les dérives dues aux années bissextiles.

En effectuant ces régressions (non-linéaires) station par station, on a pu vérifier que la totalité des 10 coefficients est statistiquement significatif.

### Formule SMFIU (Saisonnière, Moyenne, Fixe, Immuable, mUlti-prédicteurs)

Pour le niveau 2, on ajoute le deuxième prédicteur, donc on a un modèle du type :

$$- \text{ETP} = A' * T_x + B' * LR + C', \text{ avec } A', B' \text{ et } C' \text{ variables en fonction de la saison}$$

Avec le même type de description temporelle, un certain nombre de coefficients se révèlent non significatifs, il en reste 13 :

$$A' = CT_x + \text{Amp}1T_x * \sin(2 * \text{Pi} * \text{case} / 365.25 + \text{Phas}1T_x) + \text{Amp}2T_x * \sin(2 * \text{Pi} * \text{case} / 182.625 + \text{Phas}2T_x)$$

$$B' = CLR + \text{Amp}1LR * \sin(2 * \text{Pi} * \text{case} / 365.25 + \text{Phas}1LR)$$

$$C' = C + \text{Amp}1 * \sin(2 * \text{Pi} * \text{case} / 365.25 + \text{Phas}1) + \text{Amp}2 * \sin(2 * \text{Pi} * \text{case} / 182.625 + \text{Phas}2)$$

### Formule SGFIU (Saisonnière, Géo-référencée, Fixe, Immuable, mUlti-prédicteurs)

Le niveau 3 est un géo-référencement de la formule de niveau 2. On effectue une régression linéaire multiple des coefficients  $CT_x$ ,  $\text{Amp}1T_x \dots \text{Phas}2$  en fonction de X,Y,Z coordonnées Lambert des stations et altitude et on garde l'expression de ces 13 coefficients dans la formule générale d'estimation de l'ETP.

Formule SGAIU (Saisonnère, Géo-référencée, Advective, Immuable, mUlti-prédicteurs)

Pour le niveau 3b, on ajoute au niveau 2 les prédicteurs Tx et LR du pas de temps précédent. On écrit Tx0 et LR0 pour les valeurs du jour J et Tx1 et LR1 pour les valeurs du jour J-1. On a donc un modèle du type :

- $ETP = A'' * Tx0 + B'' * LR0 + C'' * Tx1 + D'' * LR1 + E''$ , avec les coefficients A'', B'', C'', D'' et E'' variables en fonction de la saison

Avec le même type de description temporelle, une fraction plus importante des coefficients se révèlent non significatifs, il en reste 17 :

$$A'' = CTx0 + Amp1Tx0 * \sin(2 * \pi * case / 365.25 + Phas1Tx0) + Amp2Tx0 * \sin(2 * \pi * case / 182.625 + Phas2Tx0)$$

$$B'' = CLR0 + Amp1LR0 * \sin(2 * \pi * case / 365.25 + Phas1LR0)$$

$$C'' = CTx1$$

$$D'' = CLR1 + Amp1LR1 * \sin(2 * \pi * case / 365.25 + Phas1LR1)$$

$$E'' = C + Amp1 * \sin(2 * \pi * case / 365.25 + Phas1) + Amp2 * \sin(2 * \pi * case / 182.625 + Phas2)$$

Le niveau 4 est un géo-référencement de la formule de niveau 3b. On effectue une régression linéaire multiple des coefficients CTx0, Amp1Tx0...Phas2 en fonction de X,Y,Z coordonnées Lambert des stations et altitude et on garde l'expression de ces 17 coefficients dans la formule générale d'estimation de l'ETP.

Formule SGATU (Saisonnère, Géo-référencée, Advective, Tendancielle, mUlti-prédicteurs)

Pour le niveau 4b, on ajoute la possibilité de dérive temporelle linéaire sur chacun des 17 coefficients du modèle de niveau 3b. On a donc un modèle du même type que précédemment :

- $ETP = A'' * Tx0 + B'' * LR0 + C'' * Tx1 + D'' * LR1 + E''$ , avec les coefficients A'', B'', C'', D'' et E'' variables en fonction de la saison, mais aussi du « temps long »

Une fraction encore plus importante des coefficients se révèlent non significatifs. Il en reste 23, ce qui veut dire aussi que seuls 6 des 17 issus du niveau inférieur ont une tendance de long terme significative :

$$A'' = (CTx0C) + (Amp1Tx0C) * \sin(2 * \pi * case / 365.25 + (Phas1Tx0C + Phas1Tx0Tend * case / 36524)) + (Amp2Tx0C) * \sin(2 * \pi * case / 182.625 + (Phas2Tx0C + Phas2Tx0Tend * case / 36524))$$

$$B'' = (CLR0C + CLR0Tend * case / 36524) + (Amp1LR0C + Amp1LR0Tend * case / 36524) * \sin(2 * \pi * case / 365.25 + (Phas1LR0C))$$

$$C'' = CTx1C$$

$$D'' = (CLR1C) + (Amp1LR1C) * \sin(2 * \pi * case / 365.25 + (Phas1LR1C))$$

$$E'' = (CC + CTend * case / 36524) + (Amp1C) * \sin(2 * \pi * case / 365.25 + (Phas1C + Phas1Tend * case / 36524)) + (Amp2C) * \sin(2 * \pi * case / 182.625 + (Phas2C))$$

Le niveau 5 est un géo-référencement de la formule de niveau 4b. On effectue une régression linéaire multiple des coefficients CTx0C, Amp1Tx0C...Phas2C en fonction de X,Y,Z coordonnées Lambert des stations et altitude et on garde l'expression de ces 23 coefficients dans la formule générale d'estimation de l'ETP.

## Critères de qualité des formules

Nous avons donc 6 formules à notre disposition (et même 8 en comptant les modèles de niveau 3b et 4b). Pour en choisir une ou plusieurs, il nous faut expliciter et utiliser des critères de vérification de la robustesse et de la précision de ces formules.

On peut en lister 3 catégories, ce qui est relatif au biais (dit aussi « erreur systématique »), ce qui est relatif aux fluctuations aléatoires et ce qui est relatif à l'erreur maximale qui peut être produite.

Concernant le biais, on calculera la moyenne des biais relatifs « Biais moyen » (proche de zéro si la régression est correctement effectuée) ainsi que la médiane des valeurs absolues de ces biais « Biais médian abs. ». Ce dernier critère permet d'exprimer que si on choisit un point au hasard sur le Massif Central, alors il y a une chance sur deux pour que l'erreur systématique (en valeur absolue) soit inférieure au seuil calculé. Les valeurs seront exprimées en pourcentage de la valeur moyenne observée sur l'ensemble du réseau entre 1980 et 2015, à savoir 2,15mm en valeur quotidienne et 65,5mm en cumul mensuel.

Concernant les fluctuations aléatoires, on calculera la très classique Erreur Quadratique Moyenne (EQM), c'est-à-dire la racine carrée de la moyenne des carrés des erreurs d'estimation, au pas de temps quotidien « EQM quot. » et au pas de temps mensuel « EQM mens. ». Ce dernier pas de temps est plus représentatif de la durée habituelle sur laquelle on effectue un bilan hydrique. Les valeurs seront également exprimées en pourcentage des valeurs moyennes observées sur l'ensemble du réseau.

Enfin, concernant l'erreur maximale, on calculera la moyenne spatiale des erreurs maximales (en valeur absolue) obtenues une fois sur les 36 années d'observation sur chacune des stations, en valeur quotidienne « Err Max quot. » et en cumul mensuel « Err Max mens. ». Les probabilités correspondantes sont 1/13149 en données quotidiennes et 1/432 en données mensuelles. Ces critères seront exprimés directement en mm.

## Discussion sur le choix de la formule retenue dans AP3C

On représente d'abord sous forme graphique synthétique les évolutions des 3 critères « Biais médian abs. », « EQM mens. » et « Err Max mens. ». Pour cette représentation simplifiée, on se concentre sur l'échelle mensuelle, plus représentative de l'usage des données que l'échelle quotidienne, et on omet le biais moyen qui est censé être nul en cas de modélisation statistique (par régression) correctement effectuée.

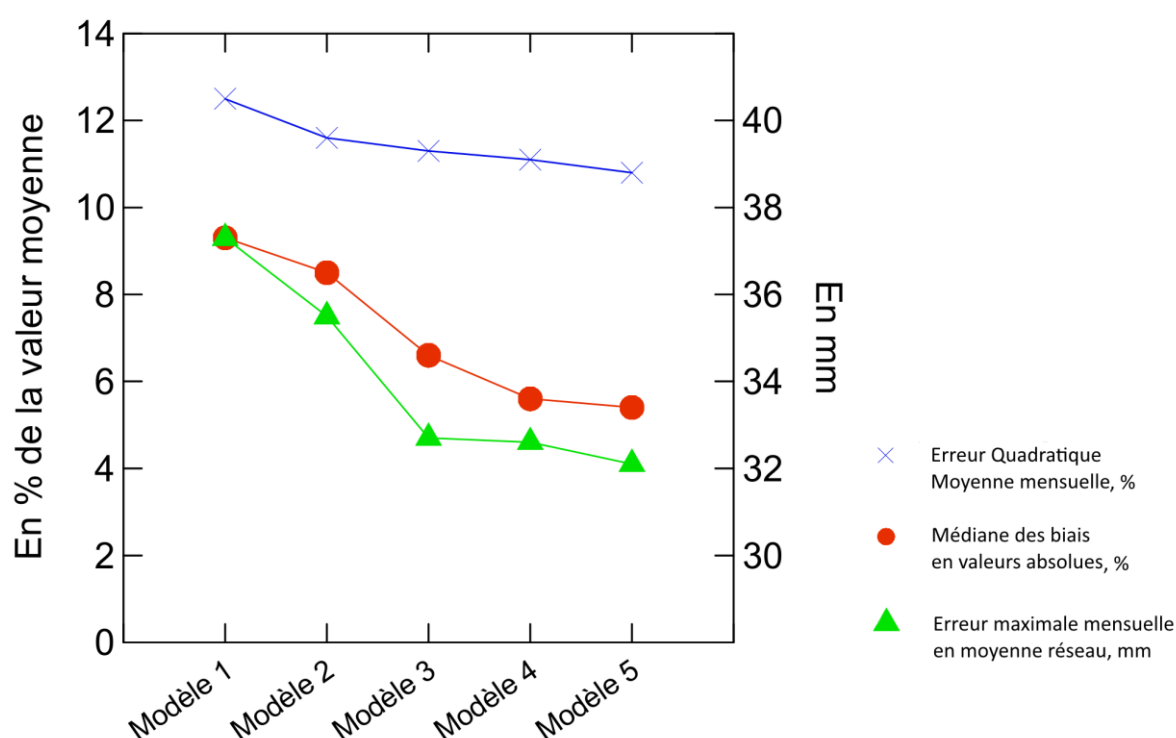


Figure 2 : quelques critères de qualité en fonction du niveau des modèles d'estimation de l'ETP quotidienne

Sur ces critères principaux, de meilleure qualité lorsqu'ils sont petits et calculés uniquement sur la zone d'apprentissage, on peut voir sans ambiguïté l'amélioration de la qualité du modèle statistique avec la complexification du schéma. Etant donné la manière dont les modèles ont été imbriqués, par complexification itérative, cette évolution est normale.

A noter que le modèle de niveau 0 (De Montard) n'a pas été représenté car les différents critères sortent tous largement de la gamme représentée. Ceci n'est pas étonnant car sa calibration a été



faite originellement sur la saison de pousse et pas sur l'année entière. Pour information, si on se limite à cette période, avec le bénéfice d'une formule très simple adaptée au calcul manuel, elle est alors de qualité peu dégradée par rapport à la formule de niveau 1.

En chiffres ronds, en passant du niveau 1 à 5, l'Erreur Quadratique Moyenne mensuelle est réduite de 15%, la médiane des biais absolus est réduite de 40% et l'erreur maximale moyenne est réduite de 15%.

D'où une conclusion évidente de choix de la formule de niveau 5, mais sous réserve de vérifier que ses diverses qualités se maintiennent (robustesse) en dehors de la zone d'apprentissage.

On présente donc ci-après un tableau complet de comparaison des 6 critères de qualités, modèle par modèle et en représentant aussi les valeurs relatives à la zone de test.

| Critère                           | Biais moyen | Biais médian abs. | EQM quot. | EQM mens. | Err Max quot. | Err Max mens. |
|-----------------------------------|-------------|-------------------|-----------|-----------|---------------|---------------|
| <b>Modèle</b>                     |             |                   |           |           |               |               |
| AMFIO<br>(niveau 0)<br>De Montard | 16,1%       | 18,9%             | 42,8%     | 26,8%     | 3,83mm        | 58,0mm        |
|                                   | 13,3%       | 14,4%             | 43,1%     | 27,1%     | 3,80mm        | 57,2mm        |
| SMFIO<br>(niveau 1)               | -0,6%       | 9,3%              | 29,2%     | 12,5%     | 4,07mm        | 37,3mm        |
|                                   | -0,9%       | 7,1%              | 29,1%     | 12,5%     | 3,91mm        | 37,2mm        |
| SMFIU<br>(niveau 2)               | -0,5%       | 8,5%              | 27,7%     | 11,6%     | 4,18mm        | 35,5mm        |
|                                   | -0,7%       | 6,3%              | 27,5%     | 11,7%     | 4,00mm        | 35,4mm        |
| SGFIU<br>(niveau 3)               | 0,3%        | 6,6%              | 27,4%     | 11,3%     | 4,12mm        | 32,7mm        |
|                                   | -0,1%       | 8,3%              | 27,3%     | 11,5%     | 4,00mm        | 35,1mm        |
| SGAIU<br>(niveau 4)               | -0,3%       | 5,6%              | 27,1%     | 11,1%     | 4,10mm        | 32,6mm        |
|                                   | 0,6%        | 7,0%              | 27,1%     | 11,2%     | 3,98mm        | 34,2mm        |
| SGATU<br>(niveau 5)               | 0,6%        | 5,4%              | 27,0%     | 10,8%     | 4,08mm        | 32,1mm        |
|                                   | 1,6%        | 7,7%              | 26,9%     | 10,9%     | 4,00mm        | 32,9mm        |

Tableau 1 : Grille de comparaison des 6 critères de qualité pour les modèles de niveau 0 à 5, sur la zone d'apprentissage (en noir) et sur la zone de test (en rouge).

Les évolutions des critères en fonction de la complexification de la formule sont un peu plus bruitées avec la zone test, ce qui est normal étant donné la plus petite taille de l'échantillon (6 points de mesure au lieu de 26). C'est en particulier le cas pour le biais médian en valeurs absolues. Cependant, il n'y a pas d'évolutions divergentes de celles obtenues sur la zone

d'apprentissage et, mieux encore, les valeurs des critères sont très proches et parfois meilleures. Ceci prouve le caractère robuste de toutes les méthodes étudiées.

Quelques détails supplémentaires : la formule de De Montard a un biais systématique moyen de 15% environ alors que les autres ont un biais négligeable. C'est encore à cause de la calibration de cette méthode sur les quelques mois où l'ETP est importante. Ramenée à cette période, le biais serait aussi négligeable. Le seul critère pour lequel elle fait jeu égal avec les autres est l'erreur maximale quotidienne. Pour ce critère très particulier (lié à un évènement très rare), il y a compétition entre la simplicité de la formule et sa précision. A noter également que, pour des raisons semblables, l'EQM quotidienne évolue moins favorablement que l'EQM mensuelle (amélioration relative de 7,5% au lieu de 15%).

Ceci ne remet pas en cause la conclusion obtenue sur l'échantillon restreint de critères.

---

*Et le gagnant est... la formule SGATU, de niveau 5.*

---

$$\begin{aligned}
 \text{ETP} = & \text{MAX}(0, ((0,1410 - 0,0361 * \text{Zkm}) + (0,1489 - 0,0095 * \text{XhKm}) * \sin(2 * \text{Pi} * \text{case} / 365,25 + (-1,6388 + 0,1914 * \text{Zkm} + (-0,1155 - 0,6753 * \text{Zkm}) * \text{case} / 36524)) \\
 & + (0,0033 + 0,0014 * \text{XhKm}) * \sin(2 * \text{Pi} * \text{case} / 182,625 + (-8,4768 + 0,1281 * \text{YhKm} + (1,0381 + 1,7061 * \text{Zkm}) * \text{case} / 36524))) * \text{TxD} \\
 & + ((-0,2863 + 0,0286 * \text{XhKm} + (-0,1520 - 0,2819 * \text{Zkm}) * \text{case} / 36524) + (0,6632 - 0,0343 * \text{Zkm} + 0,0233 * \text{XhKm} - \\
 & 0,0111 * \text{YhKm} + (0,1622 * \text{case} / 36524) * \sin(2 * \text{Pi} * \text{case} / 365,25 + (2,5035 - 0,0890 * \text{XhKm}))) * \text{LRD} \\
 & + ((0,2999 - 0,0070 * \text{Zkm} + 0,0088 * \text{XhKm} - 0,0054 * \text{YhKm})) * \text{Txl} \\
 & + ((-0,0705) + (1,0484 + 0,0077 * \text{XhKm} - 0,0164 * \text{YhKm}) * \sin(2 * \text{Pi} * \text{case} / 365,25 + (-15,8078 - 0,2643 * \text{XhKm} + 0,3071 * \text{YhKm}))) * \text{LRI} \\
 & + (-0,7860 + 0,8935 * \text{Zkm} + (0,0315 - 0,1779 * \text{Zkm}) * \text{case} / 36524) + (1,2670 - 0,6409 * \text{Zkm}) * \sin(2 * \text{Pi} * \text{case} / 365,25 + (1,2554 - 0,2578 * \text{Zkm} + (-0,1478 - \\
 & 0,9776 * \text{Zkm}) * \text{case} / 36524)) \\
 & + (0,3750 - 0,0970 * \text{Zkm}) * \sin(2 * \text{Pi} * \text{case} / 182,625 + (-2,5301 + 0,1579 * \text{Zkm}))
 \end{aligned}$$

L'opérateur MAX permet d'éviter les (rares) valeurs négatives. Zkm est l'altitude en km. XhKm et YhKm sont les coordonnées géographiques du lieu, en Lambert 93 et en centaines de km. Cette formule a été appliquée à 67 stations \* 71 ans de données quotidiennes \* 10 000 simulations, soit environ 17 milliards de fois, pour construire une base de données projetées d'ETP estimés.

---

*Attention, cette formule n'a été calibrée que sur le territoire du Massif Central. Son caractère géo-référencé rend sa qualité imprédictible en dehors de ce domaine.*

*Vous pouvez l'utiliser sous réserve d'en mentionner l'origine « SIDAM, projet AP3C ».*

---

Bien, mais peut mieux faire...

Par rapport à une formule de référence, les diverses formules testées dans le cadre du projet AP3C ont montré une très nette amélioration de la précision, couplée à une grande robustesse. L'avancée est telle que les formules de niveau 2 et 4 sont en phase de test pour un suivi opérationnel de bilan hydrique avec la Chambre d'Agriculture du Puy-de-Dôme. Ces tests donneront lieu très probablement à la rédaction de comptes-rendus indépendants et éventuellement à une diffusion d'outils techniques ad-hoc.

Quoi qu'il en soit, lorsqu'on regarde la qualité des formules obtenues station par station, on se rend compte qu'elles sont beaucoup plus précises en EQM (de 30 à 50%) que les formules «réseau» correspondantes. Après rapide analyse, il semble que la marge de progrès soit liée à la non-prise en compte de l'exposition spécifique au vent. Ce sur-ventement ou sous-ventement peut amener ponctuellement à des biais systématiques atteignant 20%. Or, l'exposition au vent est très bien approchée par la prise en compte du relief de proximité dans le cadre d'une analyse en composantes principales (ACP). Pour chaque point, en plus des coordonnées classiques X, Y et Z, on devrait donc disposer des coordonnées sur la base des reliefs élémentaires issus de l'ACP.

Or, il se trouve qu'une telle ACP sera tentée durant la dernière année du projet AP3C en 2019, ce qui pourrait amener à une autre salve de formules, avec des caractéristiques nettement améliorées. En ce cas, cependant, l'usage de ces formules nécessitera la mise à disposition de la base de données des coordonnées sur reliefs élémentaires à une échelle infra-kilométrique sur l'ensemble du Massif Central. L'informatique permet certes sans grande difficulté l'intégration d'une telle quantité d'information mais on pourra alors se demander s'il convient de garder l'expression de « formule d'estimation » ou, plutôt, de dénommer le procédé « modèle d'estimation ».

Contact :

- Vincent CAILLIEZ, Climatologue, Chambre d'agriculture de la Creuse,  
[vincent.cailliez@creuse.chambagri.fr](mailto:vincent.cailliez@creuse.chambagri.fr)

AP3C, Juillet 2018