

Exercice 19

PREVISION D'ETIAGE A LONGUE ECHEANCE

Fin de l'été 2009, 8h00 du matin : la Trec a atteint son plus bas niveau depuis plusieurs années et la pluie se fait toujours attendre sur ce bassin versant caractérisé par de nombreux usages de l'eau en cette période estivale (agriculture, tourisme, hydroélectricité, etc.). En charge de la surveillance des débits en période d'étiage, vous venez d'être appelé par les élus du Syndicat Intercommunal de la Trec qui s'affolent de la situation de sécheresse et vous demande de produire une estimation des débits futurs de la rivière avant la fin de la journée.

Malheureusement, vous ne recevez plus les prévisions météorologiques du service de prévision de la région depuis plusieurs semaines... Vous ne disposez donc d'aucune prévision des pluies à venir, mais devez tout de même quantifier les débits à venir sur le bassin versant de la Trec.

L'exercice consiste donc à utiliser les données hydro-climatiques disponibles (au pas de temps journalier) sur le bassin versant de la Trec à Pricieuse (2543 km²) et un modèle pluie-débit pour prévoir les débits des semaines à venir en utilisant (1) le dernier débit observé sur le bassin versant considéré, (2) l'historique des pluies observées et (3) l'historique des débits observés. Ces informations permettront d'obtenir des fourchettes de débits potentiels pour les semaines à venir.

Le modèle pluie-débit GR6J, disponible et utilisable facilement grâce au package R (2014) d'Irstea airGR a été développé principalement pour améliorer la modélisation des bas débits et semble donc particulièrement adapté pour cette étude.

Procédé :

Ce travail sera réalisé en 4 étapes :

1. Analyse statistique de la climatologie des débits pour avoir un ordre de grandeur des débits historiquement observés durant la période d'étude, i.e. le régime des débits journaliers.
2. Calage de GR6J sur la période historique en considérant un critère centré sur les bas-débits.
3. Scénario pessimiste de pluie nulle : simulation pluie-débit sur l'été étudié à partir du dernier débit observé en ne considérant aucune pluie

à venir et une série d'ETP constituée à partir des ETP moyennes interannuelles.

4. Scénarios de pluies futures non nulles : simulations pluie-débit sur l'été étudié à partir du dernier débit observé en "rejouant" la climatologie des pluies, i.e. les pluies observées durant les autres étés. Il y aura donc autant de simulations à faire que d'années historiques passées.

Consignes

Cette section vise à expliciter certaines tâches attendues et à décrire les conditions de calage et de simulation du modèle GR6J pour cet exercice (période de calage des paramètres, périodes d'initialisation des réservoirs, critère de calage, etc.). La définition de ces différents termes peut être trouvée dans l'exercice 18.

Analyse de la climatologie des débits

Dans un contexte de prévision hydrologique, la "climatologie des débits" désigne le régime des débits, i.e. la série de débits moyens interannuels. Si l'on veut prévoir le débit du jour à venir (par exemple le 1er septembre 2009), la prévision la plus "simple" d'un point de vue technique consiste en effet à calculer la moyenne des débits observés en ce même jour lors des années passées (donc l'ensemble des débits observés les 1ers septembres des années passées). Cette moyenne peut également être encadrée grâce aux calculs de quantiles de ces mêmes débits historiques (par exemple les quantiles 10 et 90%), ce qui permet d'avoir une première estimation "probabiliste" des débits futurs, sans réaliser de transformation pluie-débit et sans utiliser de prévision de pluie.

Dans cet exercice, il s'agit d'analyser l'ensemble des débits observés sur la période de prévision (du 01/09/2009 au 20/10/2009) lors des années précédentes. 38 années sont disponibles pour cette analyse, ce qui permet de constituer 38 séries de débits journaliers historiques pour la période de prévision. Une fois regroupés dans un même tableau, ces débits peuvent être résumés grâce au calcul, pour chaque journée considérée, de quantiles tels que les quantiles 10, 25, 50, 75 et 90%. Ces quantiles seront ensuite utilisés comme première estimation des débits futurs

Modèle GR6J

GR6J est un modèle pluie-débit conceptuel et global, fonctionnant au pas de temps journalier et possédant 6 paramètres. Il nécessite en entrée des séries temporelles continues de pluies et d'évapotranspirations potentielles (ETP) journalières.

Les séries temporelles de pluies, ETP et débits peuvent être facilement mises en forme pour G6J grâce à la fonction *CreateInputsModel* du package airGR. Ensuite, réaliser une simulation pluie-débit avec le modèle pluie-débit GR6J est possible grâce à la fonction *RunModel_GR6J* du package airGR.

Période de calage (et d'initialisation)

La période à considérer pour caler les paramètres de GR6J sur le bassin de la Trec débute le 01/09/1972 et s'achève le 31/08/2009. Une période d'initialisation d'un an et demi doit également être considérée du 01/01/1971 au 31/08/1972. De plus, des niveaux initiaux de 80% et de 20% seront fixés pour les deux principaux réservoirs de GR6J, à savoir les réservoirs de production et de routage. Ces niveaux initiaux peuvent être renseignés avec l'argument *IniResLevels* de la fonction *CreateRunOptions* du package airGR.

Les périodes de calage et les périodes d'initialisation sont à renseigner avant de réaliser une simulation pluie-débit grâce à la fonction *CreateRunOptions* du package airGR.

Critère de calage

Le critère de calage a considéré dans cet exercice est le critère de Nash et Sutcliffe (1970) calculé sur les logarithmes des débits et donc noté NSE_{\log} par la suite (expression 19.1).

Le critère NSE, borné entre $-\infty$ et 1, permet de quantifier la performance d'un modèle en comparant une série de débits simulés avec un modèle dit « naïf », ici la moyenne des débits observés (i.e. une série de débits constituée en chaque pas de temps par la moyenne des débits observés). Ainsi, une valeur de NSE égale à 1 signifie une concordance parfaite entre les séries de débits observés et simulés, alors qu'une valeur de NSE inférieure à 1 signifie que la simulation considérée est moins performante que la simulation de référence. Le calcul de NSE_{\log} est détaillé dans l'expression 19.1, dans laquelle $Q_{obs,t}$ est le débit observé au pas de temps t , $Q_{sim,t}$ est le débit simulé au pas de temps t , $\overline{Q_{obs}}$ est la moyenne des débits observés et n est le nombre d'observations :

$$NSE_{\log} = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (\ln(Q_{obs,t} + \epsilon) - \ln(Q_{sim,t} + \epsilon))^2}{\sum_{t=1}^n (\ln(Q_{obs,t} + \epsilon) - \overline{\ln(Q_{obs} + \epsilon)})^2} \quad (19.1)$$

Avec :

$\varepsilon = \frac{Q_{obs}}{100}$, nécessaire lorsque des débits nuls sont présents dans la série de débits observés. L'argument *epsilon* de la fonction *CreateInputsCrit* permet de renseigner cette valeur.

La transformation logarithmique permet de mettre plus de poids sur les débits les plus faibles et donc de limiter les erreurs commises sur la simulation des étiages. Considérer une série constituée par l'inverse des débits lors du calage est également recommandé pour obtenir de bonnes performances lors de la simulation des bas débits.

Les différents éléments nécessaires pour le calcul du critère de calage (calculé ici grâce à la fonction *ErrorCrit_NSE*) sont à spécifier grâce à la fonction *CreateInputsCrit* du package *airGR*, qui permet notamment de spécifier si le critère doit être calculé sur des débits « transformés » avec l'argument *transfo* (ici égal à *log*).

Calage automatique des paramètres de GR6J

L'estimation automatique de paramètres vise à utiliser un algorithme automatique qui va générer automatiquement des jeux de paramètres, les tester, et en générer d'autres en fonction des performances de ceux d'ores et déjà testés. Si plusieurs algorithmes sont renseignés dans le package *airGR*, celui développé par Michel (1991) (et noté *Calibration_Michel*) sera utilisé dans cet exercice.

Période de simulation

La période de simulation, qui peut également être appelée période de prévision dans cet exercice, s'étale du 01/09/2009 au 20/10/2009. L'ensemble des pas de temps précédant cette période de calage peut être utilisé comme période d'initialisation.

Scénario pessimiste de pluie nulle

Avoir un modèle pluie-débit calé sur le bassin versant étudié permet d'imaginer des scénarios de pluies futures et de les transformer en scénarios de débits grâce au modèle. Le scénario le plus simple à tester - et le plus pessimiste - est le scénario dit de « pluie nulle » : aucune pluie ne sera observée

sur les pas de temps de la période de prévision. Il s'agira ainsi de la borne basse de la prévision par modélisation pluie-débit.

Pour mettre en place ce scénario dans l'environnement d'airGR, il faut créer un tableau de données fictives contenant une série temporelle de pluies égales à 0 sur l'étendue de la période de prévision. Pour l'ETP, une hypothèse réaliste est d'utiliser le régime interannuel de cette variable. Ainsi, pour chaque journée de prévision, la valeur moyenne interannuelle des ETP observées sera utilisée : l'ETP du 1er septembre de ce scénario sera égale à la moyenne des valeurs d'ETP observées pour l'ensemble des 1ers septembres passés.

Scénario de pluies futures non nulles

Cette dernière étape vise à réaliser plusieurs simulations pluie-débit en considérant des scénarios de pluies futures non nulles. Ces scénarios de pluies seront construits à partir de l'historique des pluies. 38 années passées sont disponibles pour cette analyse, ce qui permet de constituer 38 séries de pluies et d'ETP journalières historiques pour la période de prévision. Une simulation pluie-débit sera réalisée pour chacune de ces années passées, en débutant la simulation par la même période d'initialisation. Une fois regroupés dans un même tableau, les débits simulés pourront être résumés grâce au calcul, pour chaque journée considérée, de quantiles tels que les quantiles 10, 25, 50, 75 et 90%. Ces quantiles seront ensuite utilisés comme indication des possibles débits futurs.

Données :

L'ensemble des données disponibles pour le calage du modèle pluie-débit est constitué :

- d'une série de cumuls de pluies (P) journaliers, exprimés en mm.
- d'une série d'évapotranspirations potentielles (ETP) journalières calculées grâce à la formule d'Oudin *et al.* (2005), exprimées en mm.
- d'une série de débits (Q) journaliers, exprimés en mm.

Le fichier « *DATA_EXO_02.csv* » contient l'ensemble des données nécessaires à cet exercice.

Corrigé :

1. Lecture et mise en forme des données

Les lignes de codes présentées ci-après permettent de lire les données nécessaires au calage du modèle pluie-débit GR6J et de définir les périodes temporelles de travail (période d'initialisation, période de calage et période de prévision) :

Lecture des données

```
data_BV <- read.table("../DATA\\DATA_EXO_XX2.csv",  
sep=";", header=TRUE)
```

Affichage des 5 premières lignes

```
head(data_BV)  
## Date P ETP Q  
## 1 1971-01-01 0.2 0 0.232  
## 2 1971-01-02 0.0 0 0.205  
## 3 1971-01-03 0.0 0 0.195  
## 4 1971-01-04 0.0 0 0.207  
## 5 1971-01-05 0.0 0 0.203  
## 6 1971-01-06 0.0 0 0.178
```

Conversion des dates

```
data_BV$Date <- as.Date(data_BV$Date, tz="UTC",  
format="%Y-%m-%d")  
data_BV$DatesR <- as.POSIXlt(data_BV$Date, tz="UTC",  
format="%Y-%m-%d")
```

Gestion des lacunes de débits

```
ind <- data_BV$Q < 0  
data_BV$Q[ind] <- NA
```

Dates de début et de fin de la période d'initialisation pré-calage

```
date_deb_INI <- as.Date("1971-01-01", tz="UTC", format="%Y-%m-%d")  
date_fin_INI <- as.Date("1972-08-31", tz="UTC", format="%Y-%m-%d")
```

Dates de début et de fin de la période de calage

```
date_deb_CAL <- as.Date("1972-09-01", tz="UTC", format="%Y-  
%m-%d")  
date_fin_CAL <- as.Date("2009-08-31", tz="UTC", format="%Y-%m-%d")
```

Indices des périodes

```
ind_WarmUp_CAL <- which(data_BV$Date >= date_deb_INI &
data_BV$Date <= date_fin_INI)
ind_Run_CAL <- which(data_BV$Date >= date_deb_CAL &
data_BV$Date <= date_fin_CAL)
```

Période de prévision

```
dates_previ <- seq(date_fin_CAL, as.Date("2009-10-20", tz="UTC",
format="%Y-%m-%d"),
"1 day")
```

2. Analyse de la climatologie des débits

Les lignes de codes présentées ci-après permettent d'analyser la climatologie des débits en calculant les quantiles de débits interannuels sur la période de prévision :

Mise en forme des dates (et affichage)

```
data_BV$A <- as.integer(format(data_BV$Date, "%Y"))
data_BV$M <- as.integer(format(data_BV$Date, "%m"))
data_BV$J <- as.integer(format(data_BV$Date, "%d"))
data_BV$MJ <- format(data_BV$Date, "%m-%d")
head(data_BV)
## Date P ETP Q DatesR A M J MJ
## 1 1971-01-01 0.2 0 0.232 1971-01-01 1971 1 1 01-01
## 2 1971-01-02 0.0 0 0.205 1971-01-02 1971 1 2 01-02
## 3 1971-01-03 0.0 0 0.195 1971-01-03 1971 1 3 01-03
## 4 1971-01-04 0.0 0 0.207 1971-01-04 1971 1 4 01-04
## 5 1971-01-05 0.0 0 0.203 1971-01-05 1971 1 5 01-05
## 6 1971-01-06 0.0 0 0.178 1971-01-06 1971 1 6 01-06
```

Années sur lesquelles l'analyse est réalisée

```
ans <- seq(from=min(data_BV$A), to=max(data_BV$A)-1, by=1)
n_an <- length(ans)
```

Tableau à remplir

```
noms_col <- c("MJ", paste("AN", ans, sep="_"))
clim_Q <- as.data.frame(matrix(NA,
nrow=length(dates_previ),
ncol=length(noms_col),
```

```

dimnames=list(format(dates_previ,
"%m-%d"),
noms_col)))
clim_Q$MJ <- format(dates_previ, "%m-%d")

# Stockage des débits observés pour chaque année passée
for (i_an in 1:n_an) {
ind_an <- (data_BV$A == ans[i_an] & data_BV$MJ %in%
clim_Q$MJ)
ind <- noms_col == paste("AN", ans[i_an], sep="_")
clim_Q[,ind] <- data_BV$Q[ind_an]
}
# Calcul des quantiles de débits
quant <- c(0.10, 0.25, 0.50, 0.75, 0.90)
noms_quant <- paste("Q", quant*100, sep="")
clim_Q[,noms_quant] <- t(apply(clim_Q[,-1], 1, function(x)
quantile(x, quant)))

# Affichage des 1er quantiles calculés
head(clim_Q[,noms_quant])
## Q10 Q25 Q50 Q75 Q90
## 08-31 0.0547 0.10475 0.1430 0.25600 0.3785
## 09-01 0.0624 0.10425 0.1375 0.22675 0.3129
## 09-02 0.0594 0.09650 0.1460 0.22475 0.2960
## 09-03 0.0678 0.09950 0.1460 0.21975 0.3220
## 09-04 0.0686 0.10200 0.1355 0.21975 0.2932
## 09-05 0.0668 0.09350 0.1390 0.21500 0.2953

```

La climatologie des débits permet d'obtenir un premier ordre de grandeur des débits possibles des prochains jours (Fig.19.1), mais ne permet pas de rendre compte des derniers débits observés.

On peut noter que les derniers débits observés pour cette année 2009 se trouvent dans la borne basse de la climatologie des débits, montrant que l'année 2009 est effectivement une année sèche relativement aux autres années passées.

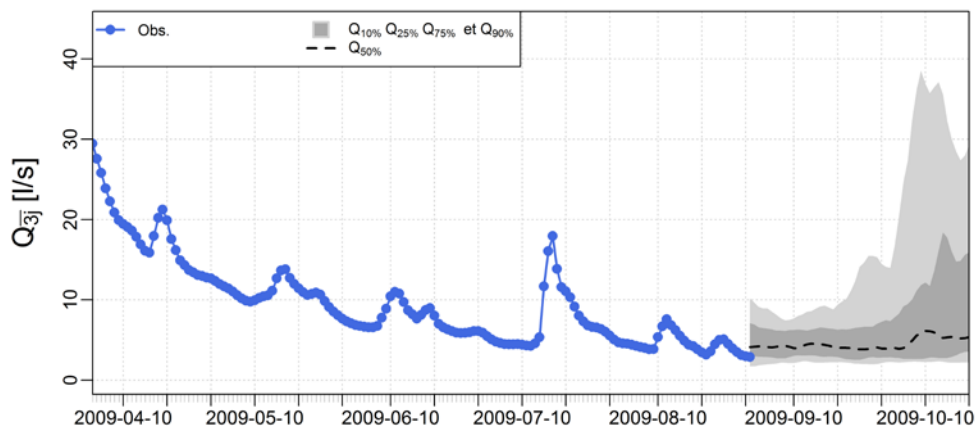


Fig.19.1. Derniers débits observés sur la Trec à Pricieuse (en bleu) et climatologie des débits sur la période étudiée (quantiles 10, 25, 50, 75 et 90%).

3. Préparation des données pour GR6J

Les lignes de codes présentées ci-après visent à préparer les données disponibles pour leur utilisation par GR6J, grâce à la fonction *CreateInputsModel* du package *airGR*.

Chargement du package airGR

```
library(airGR)
```

Préparation des données d'entrées de GR6J

```
InputsModel <- CreateInputsModel(FUN_MOD           =  
RunModel_GR6J,  
DatesR           = data_BV$DatesR,  
Precip          = data_BV$P,  
PotEvap        = data_BV$ETP,  
verbose         = TRUE)
```

4. Calage de GR6J sur la période historique

Les lignes de codes présentées ci-après permettent de caler le modèle GR6J sur la période historique :

Options de modélisation

```
lev_ini      <- c(0.80, 0.20)
epsilon      <- mean(data_BV$Q)/100
```

Définition de la période d'initialisation

```
ind_WarmUp_CAL <- which(data_BV$Date >= date_deb_INI &
data_BV$Date <= date_fin_INI)
```

Définition de la période de calage

```
ind_Run_CAL    <- which(data_BV$Date >= date_deb_CAL &
data_BV$Date <= date_fin_CAL)
```

Options de la simulation pluie-débit

```
RunOptions <- CreateRunOptions(FUN_MOD      =
RunModel_GR6J,
InputsModel = InputsModel,
IndPeriod_WarmUp = ind_WarmUp_CAL,
IndPeriod_Run    = ind_Run_CAL,
IniResLevels  = lev_ini,
verbose        = TRUE)
```

Données pour le calcul du critère

```
InputsCrit <- CreateInputsCrit(FUN_CRIT      = ErrorCrit_NSE,
InputsModel = InputsModel,
RunOptions  = RunOptions,
Qobs        = data_BV$Q[ind_Run_CAL],
transfo     = "log",
epsilon     = epsilon)
```

Options du calage

```
CalibOptions <- CreateCalibOptions(FUN_MOD      =
RunModel_GR6J,
FUN_CALIB = Calibration_Michel)
```

Calage !

```
OutputsCalib <- Calibration(InputsModel           = InputsModel,  
RunOptions      = RunOptions,  
InputsCrit      = InputsCrit,  
CalibOptions    = CalibOptions,  
FUN_MOD         = RunModel_GR6J,  
FUN_CRIT        = ErrorCrit_NSE,  
FUN_CALIB       = Calibration_Michel,  
verbose         = FALSE)
```

Stockage de la valeur des paramètres et du critère de calage

```
Param_CAL <- OutputsCalib$ParamFinalR  
NSE_CAL   <- OutputsCalib$CritFinal
```

Les six paramètres et la valeur du critère de calage (NSE_{\log}) obtenus après la procédure de calage automatique sont :

- X1 = 47.166 (mm).
- X2 = 0.36 (mm/j).
- X3 = 69.23 (mm).
- X4 = 3.946 (j).
- X5 = 0.793 (-).
- X6 = 30.582 (mm).
- NSE_{\log} = 0.9233 (-).

Les performances obtenues en calage sont très bonnes, puisque le critère NSE_{\log} est supérieur à 0.9.

Les lignes de codes présentées ci-après permettent de stocker dans un même tableau (nommé ici *tab_Q*) les débits observés et les débits simulés avec le jeu de paramètres obtenu par calage automatique, afin de les comparer.

Simulation pluie-débit sur la période de calage

```
OutputsModel_CAL <- RunModel(InputsModel           = InputsModel,  
RunOptions      = RunOptions,  
Param           = Param_CAL,  
FUN_MOD         = RunModel_GR6J)
```

```

# Stockage des chroniques de débits observés et simulés
tab_Q      <- data.frame(Date = data_BV$Date,
Qobs      = data_BV$Q,
Qsim      = NA)
ind        <- match(as.Date(OutputsModel_CAL$DatesR,
tz="UTC", format="%Y-%m-%d"),
tab_Q$Date)
tab_Q$Qsim[ind] <- OutputsModel_CAL$Qsim

```

La figure 19.2 représente les séries de débits observés et simulés sur la fin de la période de calage, ainsi que la climatologie des débits sur la période de prévision.

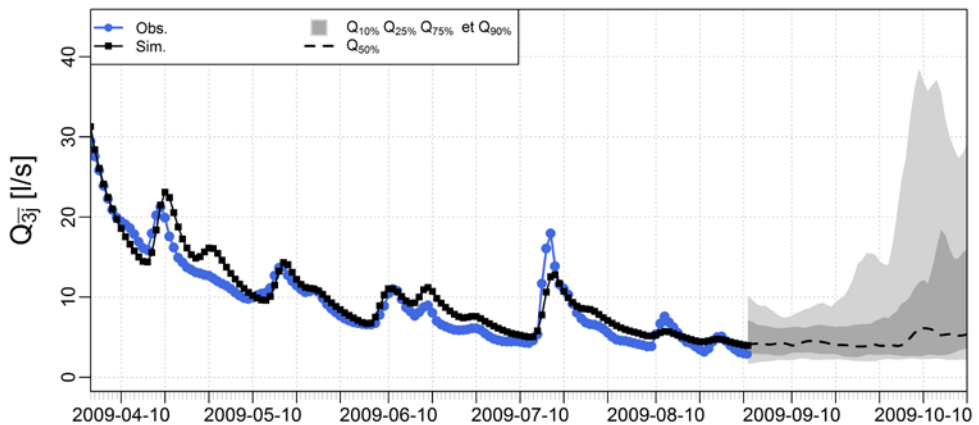


Fig.19.2. Derniers débits observés sur la Trec à Pricieuse (en bleu), débits simulés par GR6J (noir) et climatologie des débits sur la période étudiée (quantiles 10, 25, 50, 75 et 90%).

3. Scénario pessimiste de pluie nulle

Les lignes de codes présentées ci-après permettent de créer un tableau de données « fictives » regroupant des données observées (pour l'initialisation du modèle) et des données créées pour le scénario de pluie nulle. Ce tableau sera ensuite utilisé en entrée du modèle GR6J pour transformer ce scénario météorologique en scénario hydrologique.

```

# Création de nouvelles entrées "fictives" de GR6J
date_deb_INI <- min(dates_previ)-365*2
date_fin_SIM <- max(dates_previ)
data_SIM <- data.frame(Date=seq(date_deb_INI,date_fin_SIM,"1
day"),
P = NA,
ETP = NA)
data_SIM$MJ <- format(data_SIM$Date, format="%m-%d")

# Récupération des P et ETP obs., pour l'initialisation
ind_in <- match(data_SIM$Date, data_BV$Date)
data_SIM$P <- data_BV$P[ind_in]
data_SIM$ETP <- data_BV$ETP[ind_in]

# Ajout des pluies nulles pour la période de prévision
ind_NA <- is.na(data_SIM$P)
data_SIM$P[ind_NA] <- 0

# Ajout des ETP moyennes interannuelles
ETP_moy <- aggregate(ETP ~ MJ, data=data_BV, FUN=mean)
ind_ETP <- match(data_SIM$MJ[ind_NA],
ETP_moy$MJ)
data_SIM$ETP[ind_NA] <- round(ETP_moy[ind_ETP,2],2)

# Affichage des dernières lignes
tail(data_SIM)
## Date P ETP MJ
## 776 2009-10-15 0 1.13 10-15
## 777 2009-10-16 0 1.09 10-16
## 778 2009-10-17 0 1.01 10-17
## 779 2009-10-18 0 0.97 10-18
## 780 2009-10-19 0 0.97 10-19
## 781 2009-10-20 0 0.98 10-20

```

Les lignes de codes présentées ci-après permettent d'utiliser le tableau de données précédemment créé comme entrées du modèle GR6J et de réaliser une simulation pluie-débit.

```

# Préparation des données d'entrées de GR6J
InputsModel <- CreateInputsModel(FUN_MOD           =
RunModel_GR6J,
DatesR           = as.POSIXlt(data_SIM$Date),
Precip           = data_SIM$P,
PotEvap         = data_SIM$ETP,
verbose         = TRUE)
# Indices des périodes étudiées
ind_WarmUp_SIM  <- which(data_SIM$Date >= date_deb_INI &
data_SIM$Date <= head(dates_previ,1)-1)
ind_Run_SIM     <- which(data_SIM$Date %in% dates_previ)

# Options de simulation pluie-débit
RunOptions <- CreateRunOptions(FUN_MOD           =
RunModel_GR6J,
InputsModel = InputsModel,
IndPeriod_WarmUp = ind_WarmUp_SIM,
IndPeriod_Run   = ind_Run_SIM,
IniResLevels   = lev_ini,
verbose        = TRUE)

# Run du modèle !
OutputsModel_SIM <- RunModel(InputsModel = InputsModel,
RunOptions = RunOptions,
Param      = Param_CAL,
FUN_MOD    = RunModel_GR6J)

# Stockage de la chronique simulée
data_SIM$Qsim <- NA
ind           <- match(as.Date(OutputsModel_SIM$DatesR, tz="UTC",
format="%Y-%m-%d"),
data_SIM$Date)
data_SIM$Qsim[ind] <- OutputsModel_SIM$Qsim

```

La figure 19.3 représente les séries de débits observés et simulés sur la fin de la période de calage, la climatologie des débits sur la période de prévision et également le résultat de la simulation du scénario de pluie nulle. On observe la lente décroissance des débits simulés, générée par la vidange lente des réservoirs de GR6J.

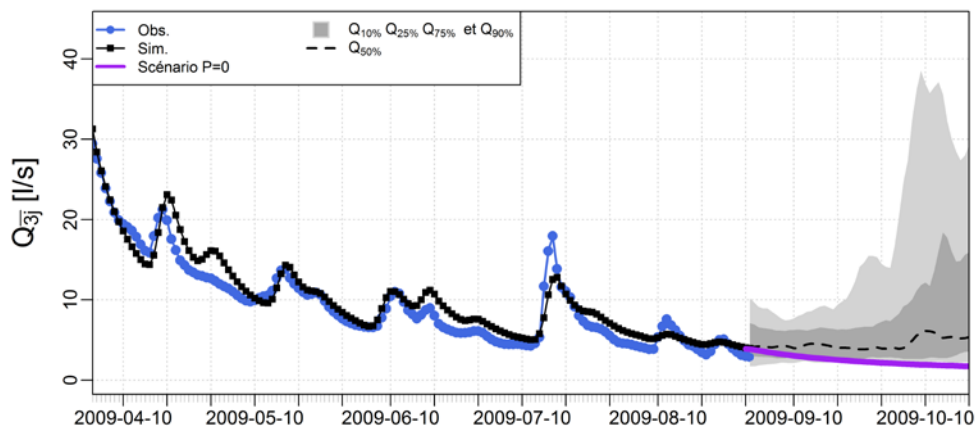


Fig.19.3. Derniers débits observés sur la Trec à Pricieuse (en bleu), débits simulés par GR6J et climatologie des débits sur la période étudiée (quantiles 10, 25, 50, 75 et 90%).

Il est important de noter que les simulations réalisées jusqu'à présent ne prennent pas en compte le dernier débit observé. Cette erreur peut être corrigée de plusieurs manières, en « assimilant » le dernier débit observé. La correction la plus simple consiste à calculer un simple ratio entre le dernier débit observé et le débit simulé correspondant et à utiliser ce ratio pour corriger l'ensemble des débits simulés suivants. Les lignes de codes présentées ci-après permettent de calculer un tel ratio, qui sera utilisé par la suite pour corriger les débits simulés par GR6J, en les divisant par ce ratio (Fig.19.4).

Correction (~assimilation)

```
ind_der      <- match(tail(data_BV$Date,1), data_SIM$Date)
cor         <- data_SIM$Qsim[ind_der] / tail(data_BV$Q,1)
```

Affichage du ratio

```
cat(round(cor,3))
## 1.253
```

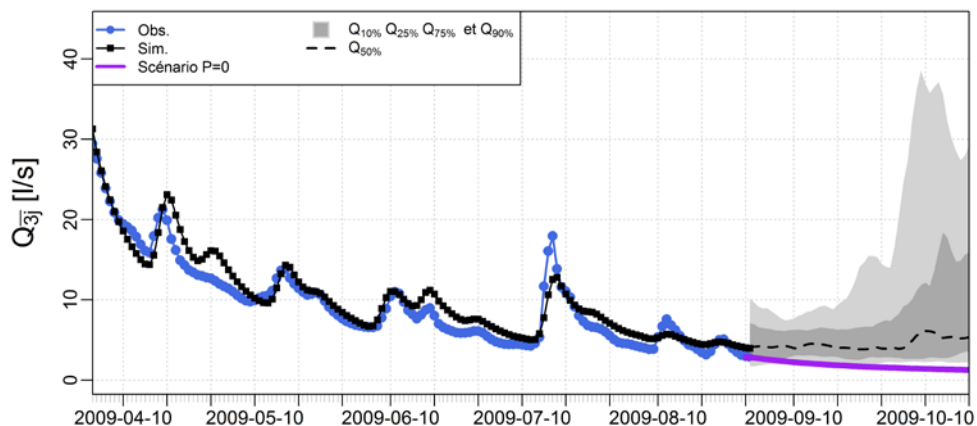


Fig.19.4. Derniers débits observés sur la Trec à Pricieuse (en bleu), débits simulés par GR6J et climatologie des débits sur la période étudiée (quantiles 10, 25, 50, 75 et 90%). Les débits simulés sur la période de prévision sont corrigés (correction calculée grâce à la comparaison entre le dernier débit observé et le débit simulé correspondant).

4. Scénarios de pluies futures non nulles

Les lignes de codes ci-dessous permettent de faire des simulations pluie-débit sur l'été étudié à partir du dernier débit observé en rejouant la « climatologie des pluies », i.e. les pluies observées durant les autres étés :

Tableau à remplir

```
clim_PQ <- data.frame(Date=data_SIM$Date)
```

Boucle sur les années historiques

```
for (i_an in 1:n_an) {
```

Récupération des P et ETP de l'année "i_an"

```
ind <- which(data_BV$A == ans[i_an] &
```

```
data_BV$MJ %in% data_SIM$MJ[ind_Run_SIM])
```

```
data_SIM$P[ind_Run_SIM] <- data_BV$P[ind]
```

```
data_SIM$ETP[ind_Run_SIM] <- data_BV$ETP[ind]
```


Préparation des données d'entrées de GR6J

```
InputsModel <- CreateInputsModel(FUN_MOD           =  
RunModel_GR6J,  
DatesR           = as.POSIXlt(data_SIM$Date),  
Precip           = data_SIM$P,  
PotEvap          = data_SIM$ETP,  
verbose          = TRUE)
```

Options de la simulation pluie-débit

```
RunOptions <- CreateRunOptions(FUN_MOD           =  
RunModel_GR6J,  
InputsModel   = InputsModel,  
IndPeriod_WarmUp = ind_WarmUp_SIM,  
IndPeriod_Run   = ind_Run_SIM,  
IniResLevels   = lev_ini,  
verbose         = TRUE)
```

Run du modèle

```
OutputsModel_SIM <- RunModel(InputsModel           = InputsModel,  
RunOptions       = RunOptions,  
Param            = Param_CAL,  
FUN_MOD         = RunModel_GR6J)
```

Stockage de la chronique simulée (et correction)

```
nom_col           <- paste("Qsim", ans[i_an], sep="")  
clim_PQ[,nom_col] <- NA  
ind               <- match(as.Date(OutputsModel_SIM$DatesR,  
tz="UTC", format="%Y-%m-%d"),  
clim_PQ$Date)
```

Correction de la simulation

```
clim_PQ[ind,nom_col] <- OutputsModel_SIM$Qsim / cor  
} # Fin de la boucle sur les années passées
```

Calcul de quantiles

```
clim_PQ[,noms_quant] <- t(apply(clim_PQ[,-1], 1,  
function(x) quantile(x, quant,na.rm=TRUE)))
```

La prévision de débits à partir de l'historique des pluies semblent indiquer que les prochains jours seront secs, et qu'une augmentation du débit de la Trec n'est a priori prévue qu'à partir du 20 septembre (Fig. 19.5). Il ne vous reste donc plus qu'à conseiller aux responsables du Syndicat Intercommunal de la Trec d'entamer une danse de la pluie !

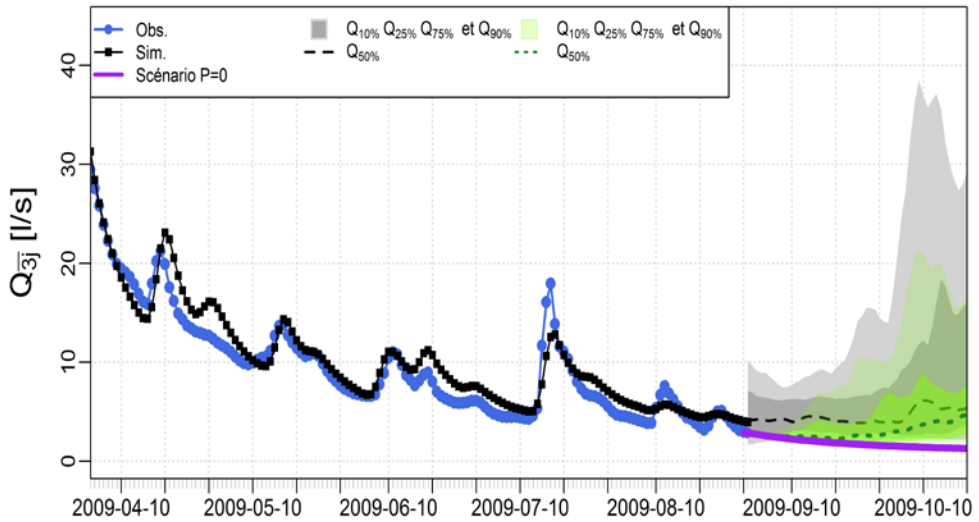


Fig.19.5. Derniers débits observés sur la Trec à Pricieuse (en bleu), débits simulés par GR6J et climatologie des débits sur la période étudiée (quantiles 10, 25, 50, 75 et 90%). Les débits simulés sur la période de prévision sont corrigés (correction calculée grâce à la comparaison entre le dernier débit observé et le débit simulé correspondant).

&&&&&