

# Hydrologie

Pierre Marle

2 Janvier 2019

## Introduction

Les annexes fluviales, appelés chenaux secondaires, chenaux latéraux ou encore, bras morts sont hydrauliquement actifs qu'à partir d'une certaine hauteur d'eau dans la plaine alluviale. L'alternance de connexion/isolement d'une annexe fluviale est un enjeu fondamental pour l'ensemble du fonctionnement écologique d'un milieu alluvial en terme (1) d'échanges de matières et (2) de lieu de reproduction et de refuge vital pour de nombreuses espèces notamment piscicoles. Aujourd'hui, divers aménagements ont abouti à un resserrement et à l'incision du lit mineur des grandes rivières induisant un affaissement des lignes d'eau et par conséquent à une déconnexion la plaine alluviale par rapport au chenal principal. Ainsi, le fonctionnement des annexes peut s'en trouver fortement altérer, il s'agira de les restaurer.

Dans le cadre de ce TP, l'objectif sera de prédire les effets d'une future restauration de la mise en eau d'une annexe fluviale en comparant (1) une situation initiale actuelle avec un débit de connexion de 800 m<sup>3</sup>/s avant (2) une intervention physique visant à diminuer le débit de connexion de l'annexe.

## Régime hydrologique du secteur d'étude

L'efficacité d'une annexe fluviale porte sur la durée (nombres de jours), la saisonnalité et les conditions (forces hydrauliques) des mises en eau. Dans un premier temps, nous allons nous intéresser à l'efficacité actuelle de cette annexe. Considérons ici une chronique de débits enregistrée en de début 2016 à fin 2018 dans une grande rivière de plaine (Figure 1).

**Question 1: Quel est le régime hydrologique de ce cours d'eau (voir figure 1) ?**

```
setwd("C:/Users/marle/Dropbox/Cours")
Q <- read_csv('Q_example.csv') #Attention sep=";" ou sep=","

FALSE Parsed with column specification:
FALSE cols(
FALSE   flow = col_double()
FALSE )

Q$Date <- as.POSIXct(seq(as.Date("2016/01/01"), by = "day", length.out = nrow(Q),
                        format="%Y/%m/%d")) # format des dates

Q <- add_column(Q, x = 1:nrow(Q), .before = 1) # ajout colonne suite de nombre
Q %>% # plot
  ggplot(aes(Date, flow)) + geom_line() + theme_bw(base_size = my_base_size) +
  xlab('Années') +
  ylab('Debits (m3/s)')

flood_thresh <- quantile(Q$flow, probs = 0.95) # 5% exceedance
dry_thresh <- quantile(Q$flow, probs = 0.50) # 50% exceedance
Q %>%
  ggplot(aes(x, flow)) + geom_line() + theme_bw(base_size = my_base_size) +
```

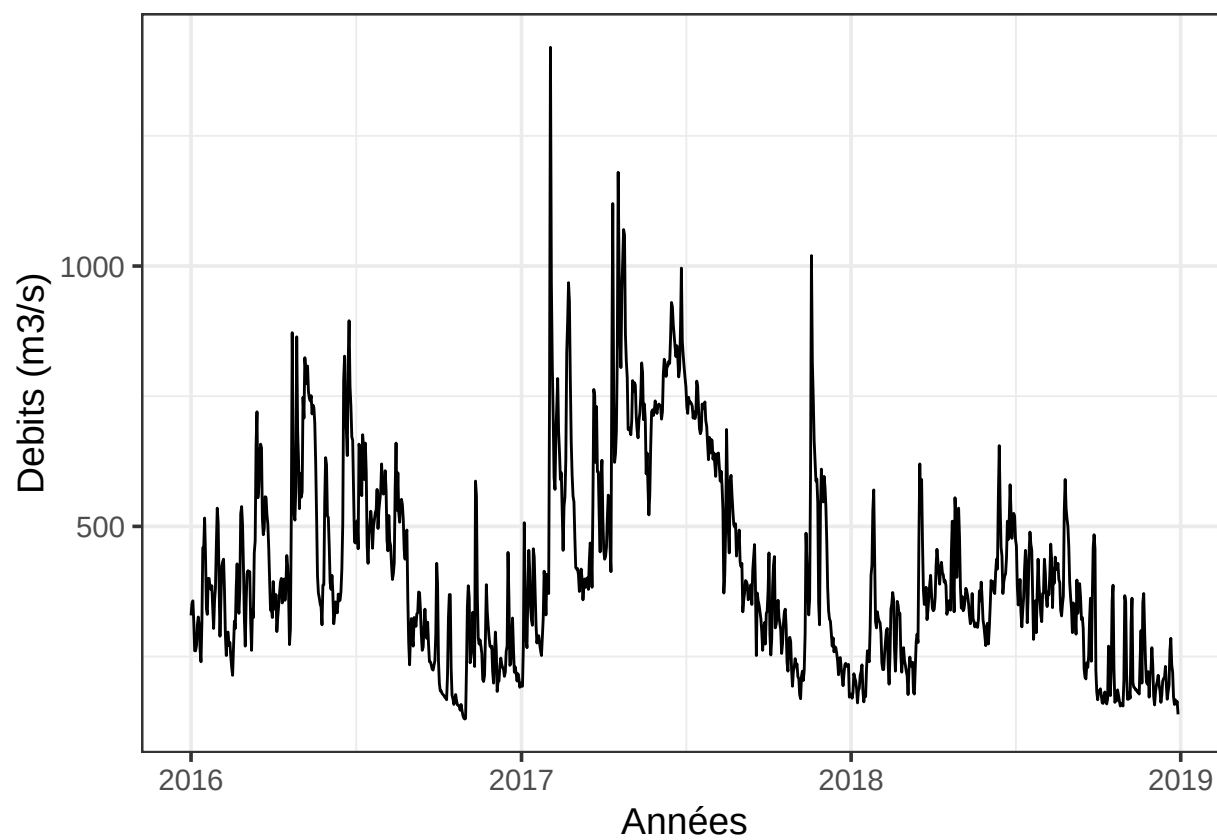


Figure 1: Débits enregistrés entre 2016 et 2019 dans la portion de rivière adjacente à l'annexe fluviale

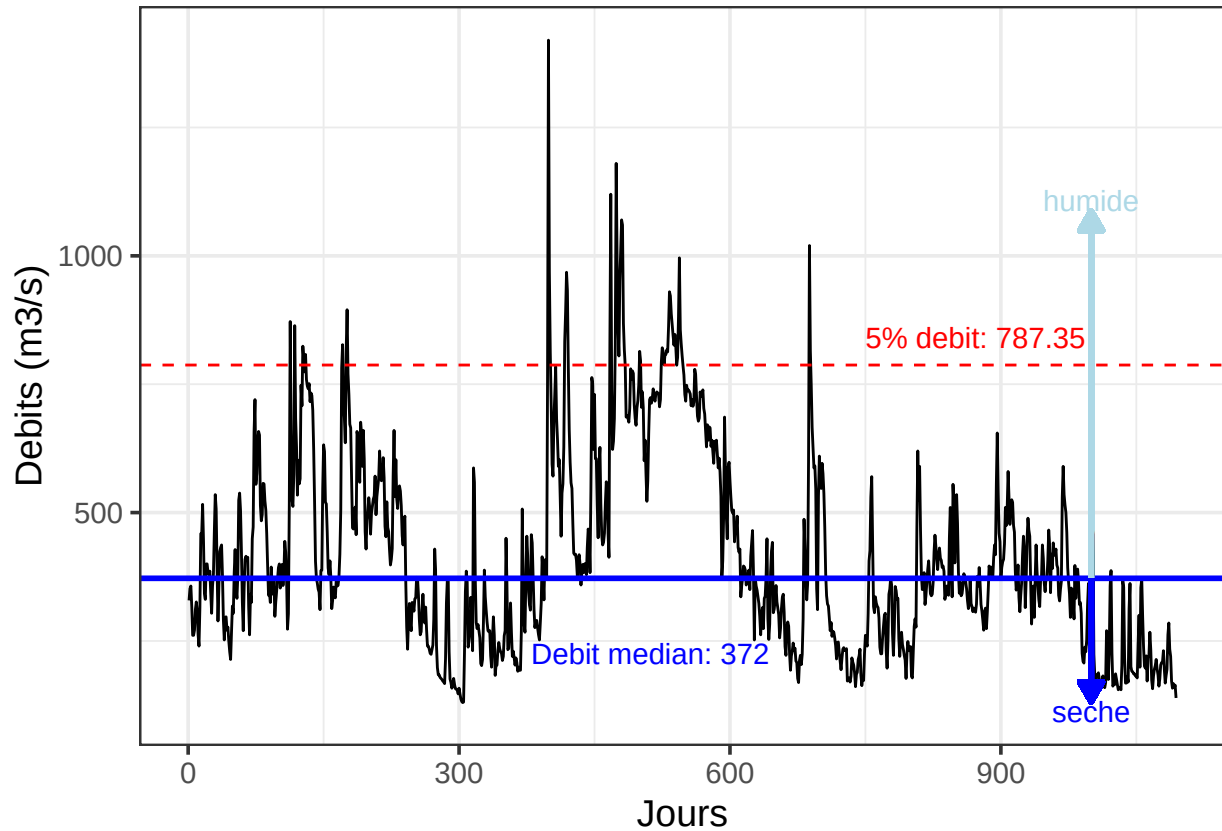


Figure 2: Débits enregistrés entre 2016 et 2019 avec identification du débit médian et du quantile 95

```
xlab('Jours') +
ylab("Débits (m3/s)") +
geom_hline(yintercept = flood_thresh, colour = 'red', size = 0.5, linetype="dashed") +
geom_hline(yintercept = dry_thresh, colour = 'blue', size = 1) +
annotate(geom = 'text', x = 750, y = flood_thresh, label = str_c('5% debit: ',
  round(flood_thresh, 2)), vjust = -0.8, hjust = 0, colour="red") +
annotate(geom = 'text', x = 380, y = dry_thresh-200, label = str_c('Debit median: ',
  round(dry_thresh, 2)), vjust = -0.8, hjust = 0, colour="blue") +
geom_segment(aes(x = 1000, y = dry_thresh, xend = 1000, yend = flood_thresh + 300),
  colour = 'light blue', size = 1, arrow = arrow(length = unit(0.3, 'cm'),
  type = 'closed')) +
annotate(geom = 'text', x = 1000, y = flood_thresh + 320, label = 'humide', colour =
  'light blue') +
geom_segment(aes(x = 1000, y = dry_thresh, xend = 1000, yend = dry_thresh - 240),
  colour = 'blue', size = 1, arrow = arrow(length = unit(0.3, 'cm'),
  type = 'closed')) +
annotate(geom = 'text', x = 1000, y = dry_thresh - 260, label = 'seche',
  colour = 'blue')
```

A titre informatif, nous ajoutons sur la figure le débit médian. Une autre métrique pourrait nous être utile, il s'agit du quantile 95, qui permet d'identifier les événements hydrologiques importants survenus dans le court-circuit. Il jouera ici le rôle de seuil d'événements hydrologiques extrêmes. Ici, le quantile 95 est situé autour de 785 m³/s. On remarque qu'en 2018 aucune crue n'a dépassé ce seuil, cette année 2018 sera notre

référence “année sèche”, contrairement à l’année 2017 qui sera notre référence année “humide” avec 3 crues au-dessus de 1000 m<sup>3</sup>/s (Figure 2).

## Efficacité actuelle de l’annexe fluviale

Le débit seuil de connexion actuel de l’annexe est de 800 m<sup>3</sup>/s. Afin de connaître son l’efficacité, nous allons visualiser les connexions entre le chenal et l’annexe pendant cette période (Figure 3).

```
# http://stackoverflow.com/questions/7883154/how-do-i-fill-a-geom-area-plot-using-ggplot/
# http://stackoverflow.com/questions/1716600/ggplot2-using-the-geom-area-function
thresh <- 800 # le seuil de connexion actuel
yvals <- Q$flow # les débits
d = data.frame(x=seq(1,length(yvals)),y=yvals) # tableau avec chronique
rx <- do.call("rbind", # calculs relatifs
              sapply(1:(nrow(d)-1), function(i){ # au design
                f <- lm(x~y, d[i:(i+1),])
                if (f$qr$rank < 2) return(NULL)
                r <- predict(f, newdata=data.frame(y=thresh))
                if(d[i,]$x < r & r < d[i+1,]$x)
                  return(data.frame(x=r,y=thresh))
                else return(NULL)
              })
d2 <- rbind(d,rx)
d2 <- d2[order(d2$x), ]
cat.rle = rle(d2$y < thresh)
d2$group = rep.int(1:length(cat.rle$lengths), times=cat.rle$lengths)
ggplot(data = d2) + # plot
  geom_area(aes(x, y), fill = 'light blue') + # aires bleues
  geom_area(aes(x = x, y = y, fill= y < thresh, group=group)) + # aire grises
  geom_line(aes(x,y)) + # ajout de la ligne
  scale_fill_manual(name = 'Etat', values = c('light blue', 'light grey'), # couleurs
                    labels = c('Connecte', 'Deconnecte')) + # étiquettes
  geom_hline(yintercept = thresh, linetype = 'dashed') + # ligne à 800 m3/s
  theme_bw(base_size = my_base_size) +
  theme(legend.position=c(.8, .8)) +
  xlab('Jours') +
  ylab('Débits (m3/s)') +
  annotate(geom = 'text', x = 20, y = 850, label = 'Threshold = 800 m3/s',
         vjust = -0.8, hjust = 0)
```

Question 2: Que penser de l’efficacité de l’annexe fluviale ? Quelle est la saison durant laquelle sa connexion est la plus probable ? Ces périodes de connexions concordent-elles avec le cycle de certaines espèces piscicoles ? Qu’en déduire de l’efficacité actuelle de l’annexe fluviale ? Quels procédés expérimentaux peuvent-être développés sur le terrain afin de vérifier cette hypothèse ?

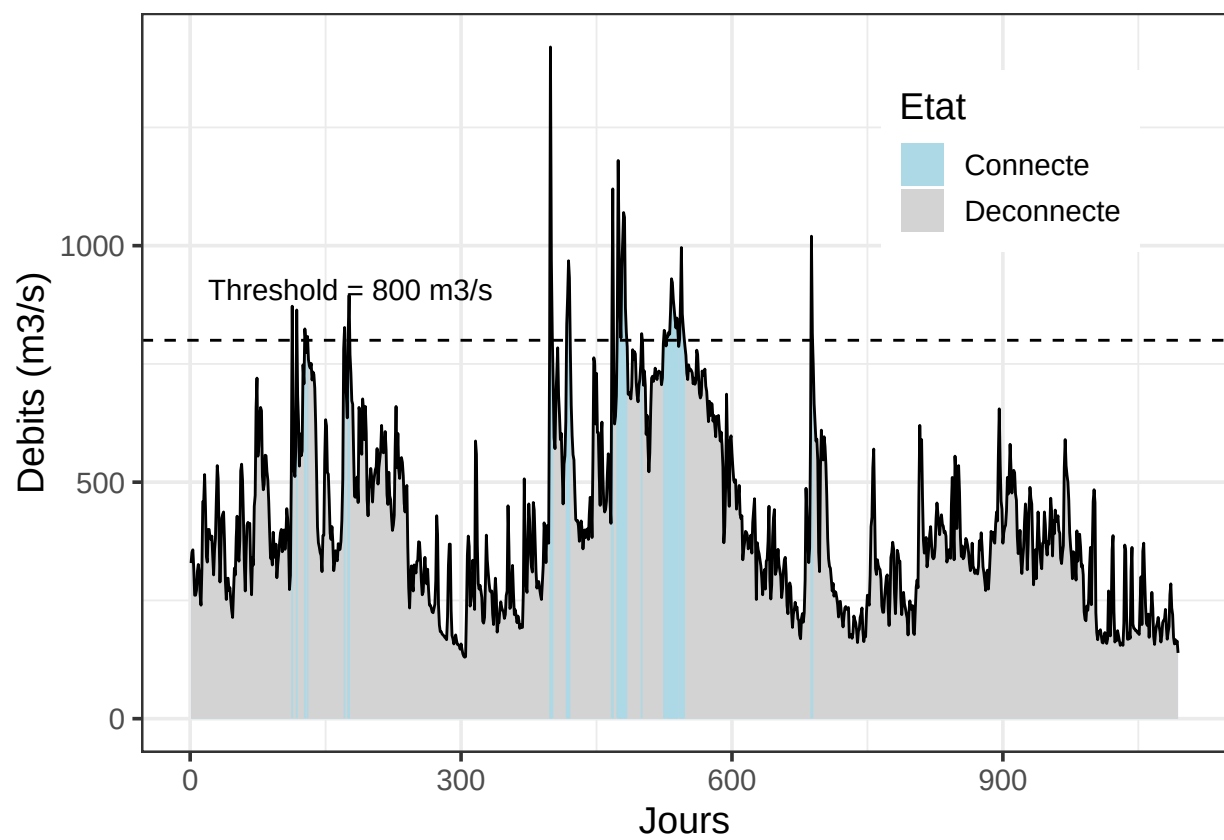


Figure 3: Débits enregistrés entre 2016 et 2019 avec identification des périodes de connexions actuelles de l'annexe

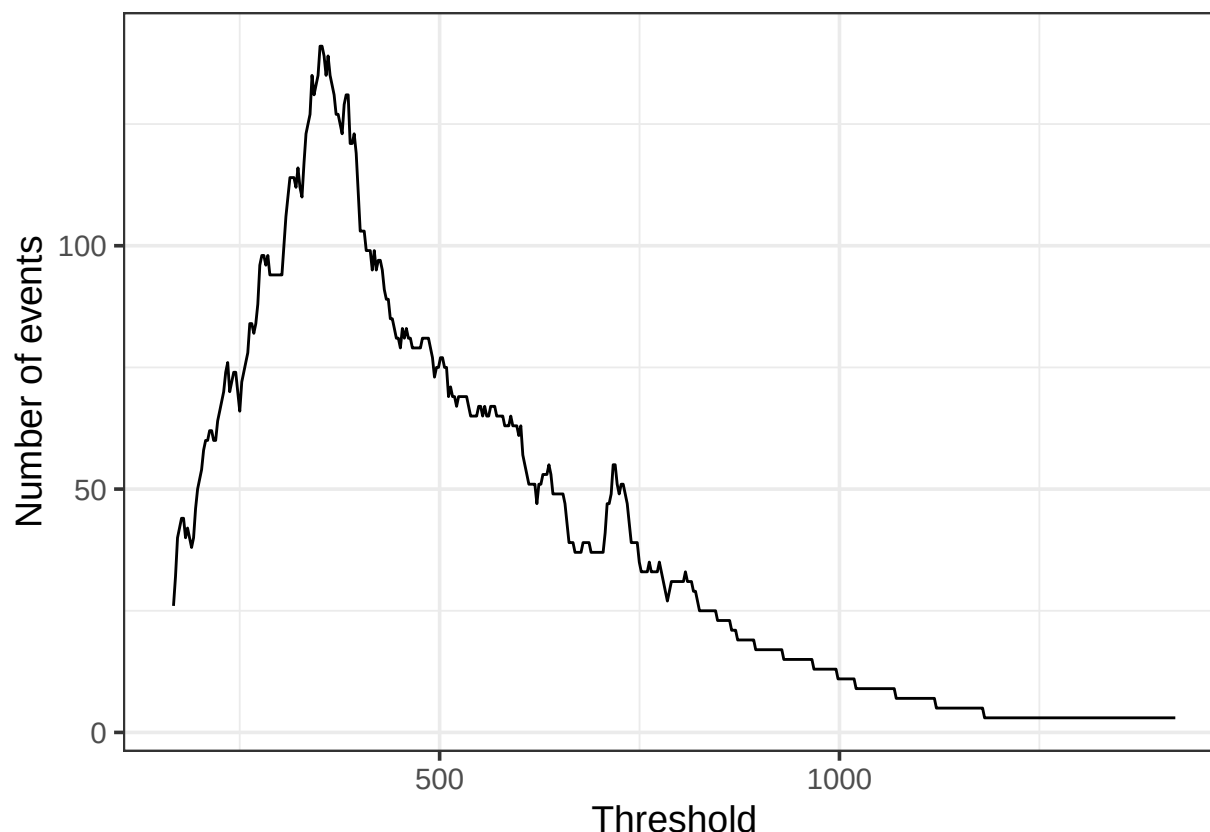


Figure 4: Number of events as a function of flow threshold

## Scénario d'une restauration physique

Les gestionnaires de ce secteur expriment une volonté de reconnecter cette annexe afin de la rendre beaucoup plus disponible y compris lors de petites pulsations hydrologiques inférieures à 250m<sup>3</sup>/s en fin de débit hivernal (Figure 3). Afin de choisir un débit de connexion, plusieurs méthodes statistiques peuvent être employées.

Notre temps étant compté, voici une méthode très efficace employée par des hydrologues. Cette méthode adoptée par Fletcher et Deletic (2002) vise à classer les débits enregistrés puis à sélectionner un débit seuil qui maximise le nombre de connexion. Ici, on calcule le nombre d'événements à 500 débits seuils différents distribué entre le débit minimum et le maximum observés dans notre chronique.

```
my_lower <- min(Q$flow) # min débits
my_upper <- max(Q$flow) # max débits

# séquence de débits min/max
thresh.seq = seq(my_lower+(dry_thresh/10), my_upper, length.out = 500)
events = map_dbl(thresh.seq, .f = Count_events, Q = Q$flow)
num_events <- data_frame(thresh.seq, events) # nbre d'événements/débits
num_events %>%
  ggplot(aes(x = thresh.seq, y = events)) + geom_line() +
  theme_bw(base_size = my_base_size) +
  xlab('Threshold') +
  ylab('Number of events')
```

Selon cette analyse, on remarque que le nombre maximum d'événements est 141 correspondant à un débit de connexion de l'annexe fluviale de 350. Ainsi, si les gestionnaires abaissent le débit de connexion de l'annexe fluviale à 350, son efficacité sera maximale. Attention tout de même ! Ce débit de connexion a été calculé sur une petite chronique de débits qui n'est peut-être pas représentative du régime hydrologique général du cours d'eau !

```
# Acknowledgements to:
# http://stackoverflow.com/questions/7883154/how-do-i-fill-a-geom-area-plot-using-ggplot/
# http://stackoverflow.com/questions/1716600/ggplot2-using-the-geom-area-function
thresh <- thresh.seq[which.max(events)] # même manip que plus haut
yvals <- Q$flow
d = data.frame(x=seq(1,length(yvals)),y=yvals)
rx <- do.call("rbind",
  sapply(1:(nrow(d)-1), function(i){
    f <- lm(x~y, d[i:(i+1),])
    if (f$qr$rank < 2) return(NULL)
    r <- predict(f, newdata=data.frame(y=thresh))
    if(d[i,]$x < r & r < d[i+1,]$x)
      return(data.frame(x=r,y=thresh))
    else return(NULL)
  })
d2 <- rbind(d,rx)
d2 <- d2[order(d2$x), ]
cat.rle = rle(d2$y < thresh)
d2$group = rep.int(1:length(cat.rle$lengths), times=cat.rle$lengths)
ggplot(data = d2) +
  geom_area(aes(x, y), fill = 'pink') +
  geom_area(aes(x = x, y = y, fill= y < thresh, group=group)) +
  geom_line(aes(x,y)) +
  scale_fill_manual(name = 'Etat', values = c('light blue', 'light grey'),
    labels = c('Connecte', 'Deconnecte')) +
  geom_hline(yintercept = thresh, linetype = 'dashed', color="red") +
  theme_bw(base_size = my_base_size) +
  xlab('Jours') +
  ylab('Débits (m3/s)') +
  theme(legend.position=c(.8, .8)) +
  annotate(geom = 'text', x = 430, y = thresh-125, label = str_c('Post. rest.'),
    vjust = -0.8, hjust = 0, color="red") +
  geom_hline(yintercept = 800, linetype = 'dotted', color="red") +
  annotate(geom = 'text', x = 220, y = 805, label = 'Avt. rest.', vjust = -0.8,
    hjust = 0, colour="red")
```

On remarque que l'annexe fluviale sera très souvent connectée en période de haute eaux lors des années sèches et connectée de façon continue lors des années humides. Afin de mieux visualiser, nous allons construire une courbe de débits classés et ajouter les débits de connexion. Cela permettra de connaître le pourcentage moyen annuel de connexion de l'annexe fluviale.

```
Q_sort <- sort(Q$flow, decreasing = T) # tri des débits par ordre décroissant
fdc <- data.frame(x = 100/length(Q_sort) * 1:length(Q_sort), y = Q_sort)

ggplot(data = fdc) +
  geom_line(aes(x,y)) + geom_point(aes(x,y), size=0.5) +
  geom_area(aes(x = x, y = y, fill= y > thresh)) +
  geom_hline(yintercept = thresh, linetype = 'dashed', color="red") +
```

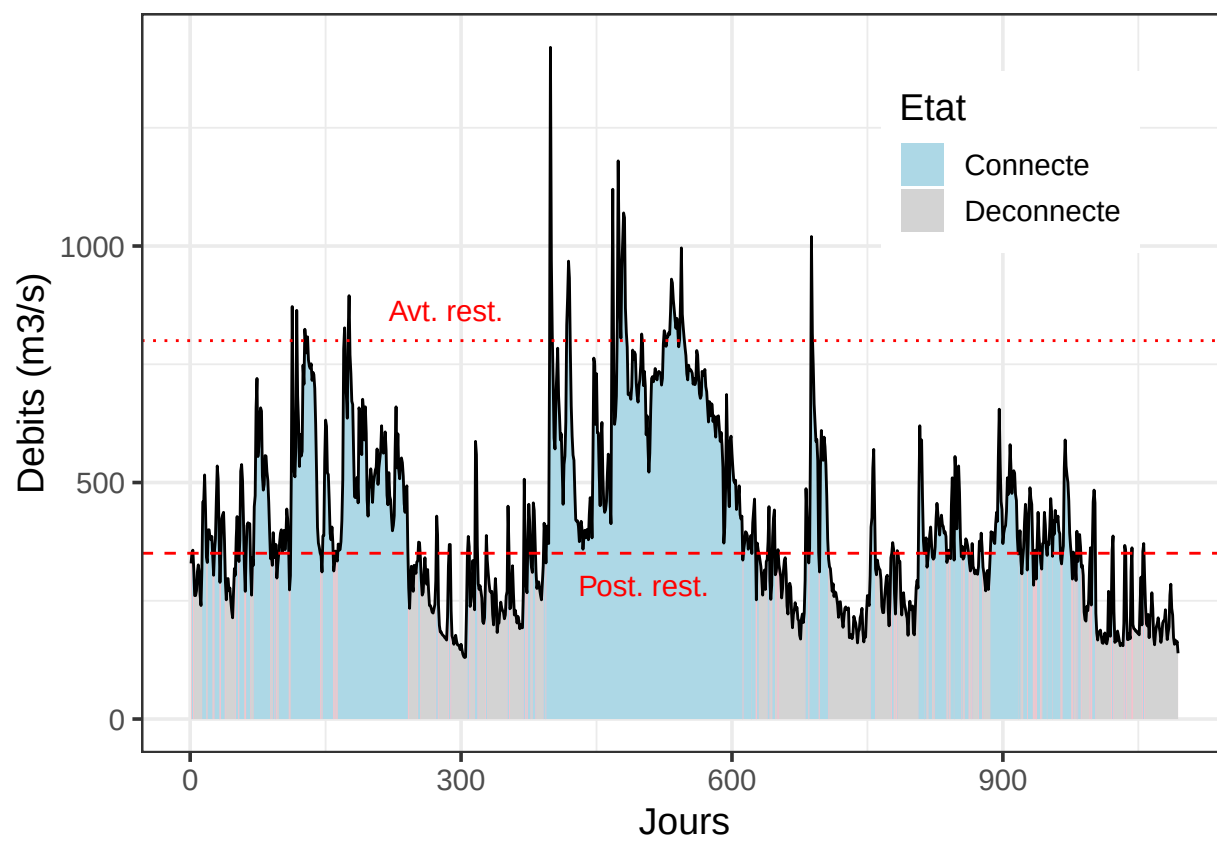


Figure 5: A threshold flow of 350 gives the maximum number of wet and dry events: 141



```

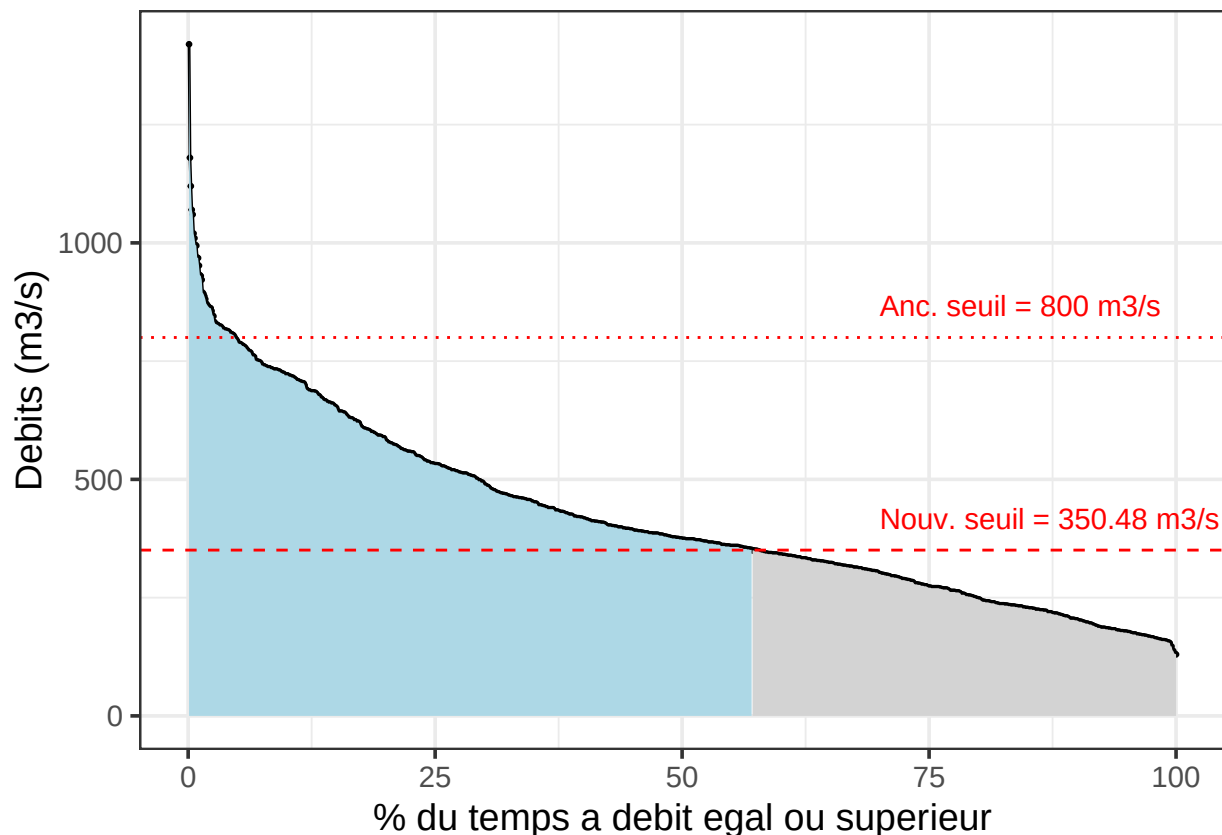
annotate(geom = 'text', x = 70, y = thresh+10, label = str_c('Nouv. seuil = ',
                                                             round(thresh,2), " m3/s"), vjust = -0.8,

scale_fill_manual(values = c('light grey', 'light blue')) +

geom_hline(yintercept = 800, linetype = 'dotted', color="red") +
annotate(geom = 'text', x = 70, y = 810, label = str_c('Anc. seuil = 800 m3/s'),
          vjust = -0.8, hjust = 0, color="red") +

theme_bw(base_size = my_base_size) + theme(legend.position="none") +
xlab('% du temps a debit egal ou superieur') +
ylab('Debits (m3/s)')

```



Avec son débit de connexion actuel, l'annexe fluviale est connectée moins de 5% du temps, c'est à dire entre 15 et 20 jours par an. Post-restauration, l'annexe sera connectée environ 57% du temps c'est à dire autour de 210 jours par an, soit 10 fois plus !

**Question 4:** Le fait d'augmenter les durées de connexion d'une annexe fluviale en période printanière et estivale peut viser à une diminution de la productivité planctonique dans le milieu. En quoi cette diminution de la productivité peut impacter le cycle de développement de certaines espèces piscicoles ?

```

Q <- read_csv('Q_example.csv') #Attention sep=";" ou sep=","
Q$Date <- as.POSIXlt(seq(as.Date("2016/01/01"), by = "day", length.out = nrow(Q),
                        format="%Y/%m/%d"))

```

```

Q$month <- format(Q$Date,"%B")

Flow <- Q
colnames(Flow)[1] = "Q"

New <- as.data.frame(high.spell.lengths(Flow, threshold = thresh, ind.days = 2,
                                       ignore.zeros = T))
Old <- as.data.frame(high.spell.lengths(Flow, threshold = 800, ind.days = 2,
                                       ignore.zeros = T))

New$Year <- format(New$start.date,"%Y")
Old$Year <- format(Old$start.date,"%Y")

mat <- as.data.frame(matrix(ncol=4, nrow=2))
colnames(mat) <- c("Seuil","2016", "2017", "2018")
rownames(mat) <- c("New","Old")

mat["New","2016"] <- sum(New$spell.length[New$Year == 2016])
mat["New","2017"] <- sum(New$spell.length[New$Year == 2017])
mat["New","2018"] <- sum(New$spell.length[New$Year == 2018])

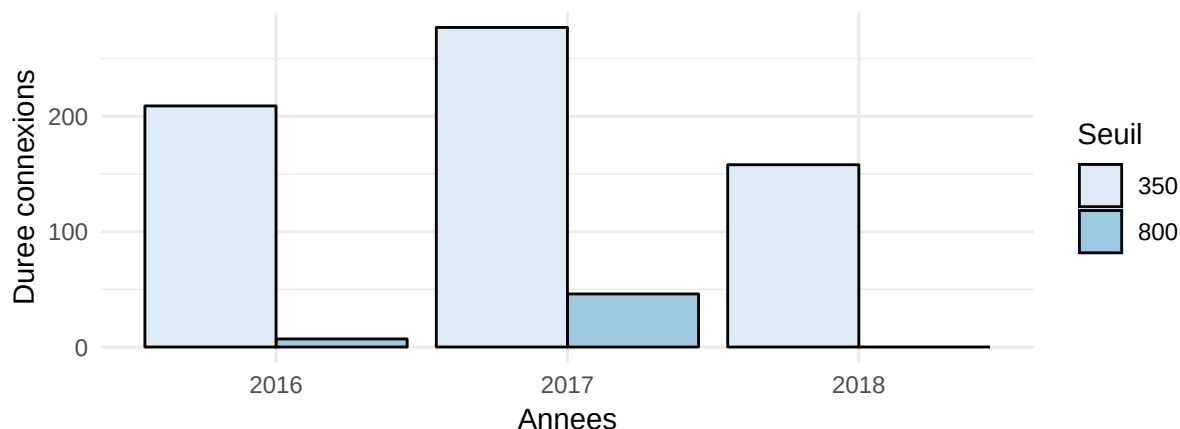
mat["Old","2016"] <- sum(Old$spell.length[Old$Year == 2016])
mat["Old","2017"] <- sum(Old$spell.length[Old$Year == 2017])
mat["Old","2018"] <- sum(Old$spell.length[Old$Year == 2018])
mat[, "Seuil"] <- c("350","800")
mat$Seuil <- as.factor(mat$Seuil)

gathercols <- c("2016", "2017", "2018")

mat_long <- gather(mat, year, value, gathercols)

ggplot(data=mat_long, aes(x=year, y=value, fill=Seuil)) +
  geom_bar(stat="identity", color="black", position=position_dodge()) +
  theme_minimal() + scale_fill_brewer(palette="Blues") +
  ylab("Durée de connexions") + xlab("Années")
ggsave("histo.pdf", width = 16, height = 6, units = "cm")

```



Cet histogramme confirme nos résultats mais il ajoute 2 aspects importants:

- Les durées de connexions ont été augmentées de façon proportionnelles (évident)
- Post-restauration et en année sèche, l'annexe fluviale sera tout de même efficace.

## Saisonnalité des connexions

Jusqu'à maintenant, nous avons remarqué que la durée des connexions sera nettement augmentée si le projet de restauration suit notre scénario. Cependant, l'abaissement d'un débit de connexion d'une annexe peut également agir sur la saisonnalité des connexions.

A partir d'un "polar plot", nous allons pouvoir identifier les périodes potentielles de connexions de l'annexe au cours des saisons.

```
Q$Date <- as.POSIXlt(seq(as.Date("2016/01/01"), by = "day", length.out = nrow(Q),
                        format="%Y/%m/%d"))
Q$month <- format(Q$day, "%B")

Flow <- Q
colnames(Flow)[1] = "Q"

New <- as.data.frame(high.spell.lengths(Flow, threshold = thresh, ind.days = 5,
                                       ignore.zeros = T))
Old <- as.data.frame(high.spell.lengths(Flow, threshold = 800, ind.days = 5,
                                       ignore.zeros = T))

Date_to_Angle <- function(my.date){

  start.year <- floor_date(my.date, 'year')
  end.year <- ceiling_date(my.date, 'year')
  length.year <- as.numeric(difftime(end.year, start.year, units = 'sec'))
  time.since.year.start <- as.numeric(difftime(my.date, start.year, units = 'sec'))

  2 * pi * time.since.year.start/length.year # date as angle
}

# Angles for month start

month.start <- yday(seq(as.Date('2016-01-01'), as.Date('2016-12-31'), by='1 months'))
month.start.radians <- 2*pi*month.start/365.25

# For New threshold
# Labels for the largest n points

labeled.dat <- New %>%
  mutate(angle = Date_to_Angle(start.date)) %>%
  arrange(desc(spell.length)) %>%
  slice(1:5)

New %>%
```

```

mutate(angle = Date_to_Angle(start.date)) %>%
ggplot(aes(x=angle, y=spell.length)) +
coord_polar('x', start = 0, direction = 1) +
geom_segment(aes(y = 0, xend = angle, yend = spell.length)) +
scale_x_continuous(name = 'Floods - time of year', breaks = month.start.radians,
                    labels = month.name, limits = c(0, 2*pi)) +
scale_y_continuous(name = 'Peak flow') + #, labels = comma) +
#scale_y_continuous(name = bquote('Peak discharge (m' ~3 *'s' ~-1 *')')) +
geom_text_repel(data = labeled.dat, aes(x = angle, y = spell.length,
                                         label = as.character(format(labeled.dat$start.date,"%Y"))),
                segment.size = 0) +

theme_bw() +
theme(
  #panel.background = element_rect(fill="gray99"),
  axis.title.x = element_text(colour="grey20", size=10, margin=margin(20,0,0,0)),
  axis.text.x = element_text(colour="grey20",size=10),
  axis.title.y = element_text(colour="grey20",size=10, margin = margin(0,20,0,0)),
  axis.text.y = element_text(colour="grey20",size=10),
  legend.title = element_text(colour="grey20",size=10),
  plot.margin = unit(c(0.5, 0, 1, 0), "cm")) # top, right, bottom, left

ggsave("seasonality_new.pdf", width = 20, height = 20, units = "cm")

```

```

# For Old threshold
# Labels for the largest n points

```

```
labeled.dat <- Old %>%
```

```

  mutate(angle = Date_to_Angle(start.date)) %>%
  arrange(desc(spell.length)) %>%
  slice(1:5)

```

```
Old %>%
```

```

  mutate(angle = Date_to_Angle(start.date)) %>%
  ggplot(aes(x=angle, y=spell.length)) +
  coord_polar('x', start = 0, direction = 1) +
  geom_segment(aes(y = 0, xend = angle, yend = spell.length)) +
  scale_x_continuous(name = 'Floods - time of year', breaks = month.start.radians,
                    labels = month.name, limits = c(0, 2*pi)) +
  scale_y_continuous(name = 'Peak flow') + #, labels = comma) +
  #scale_y_continuous(name = bquote('Peak discharge (m' ~3 *'s' ~-1 *')')) +
  geom_text_repel(data = labeled.dat, aes(x = angle, y = spell.length,
                                         label = as.character(format(labeled.dat$start.date,"%Y"))), segment.size = 0) +

  theme_bw() +
  theme(
    #panel.background = element_rect(fill="gray99"),
    axis.title.x = element_text(colour="grey20", size=10, margin=margin(20,0,0,0)),
    axis.text.x = element_text(colour="grey20",size=10),
    axis.title.y = element_text(colour="grey20",size=10, margin = margin(0,20,0,0)),
    axis.text.y = element_text(colour="grey20",size=10),
    legend.title = element_text(colour="grey20",size=10),
    plot.margin = unit(c(0.5, 0, 1, 0), "cm")) # top, right, bottom, left

```

```
#grid.arrange(p1, p2, ncol=2)
ggsave("seasonality_old.pdf", width = 20, height = 20, units = "cm")
```

En visualisant ces graphiques, on voit en contexte de post-restauration, que les périodes de connexions les plus longues (max 250 jours) se sont déplacées plutôt en début de saison. Alors qu'en conservant l'état actuel de connexion, l'annexe fluviale voyait ses périodes de connexions "longues" (max 20 jours) plutôt au printemps.

**Question 5: Quelle espèce piscicole risque d'être potentiellement favorisée post-restauration si la zone inondée est tapissée par des plantes de type herbacées ?**

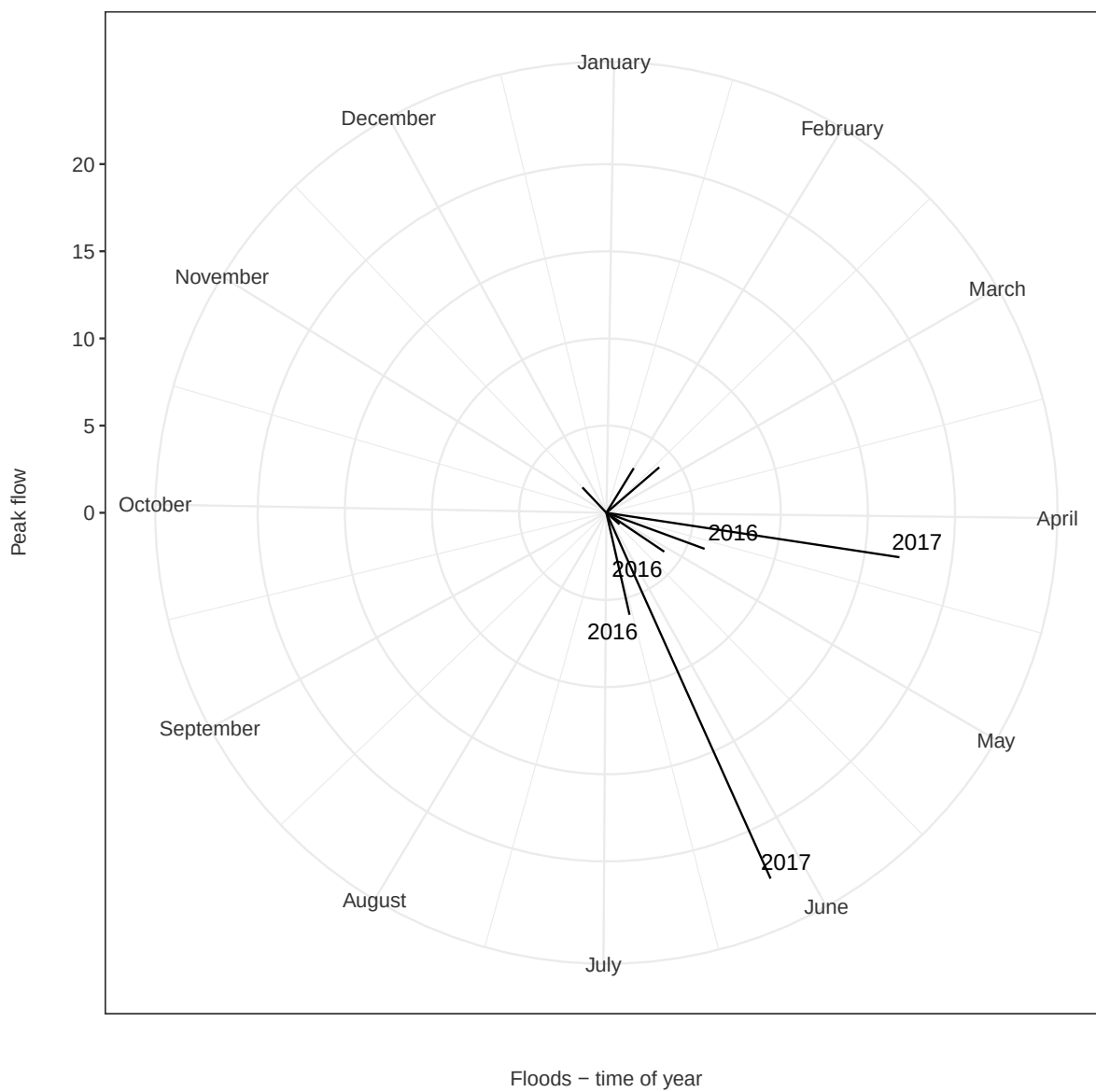


Figure 6: Saisonnalité pré restauration

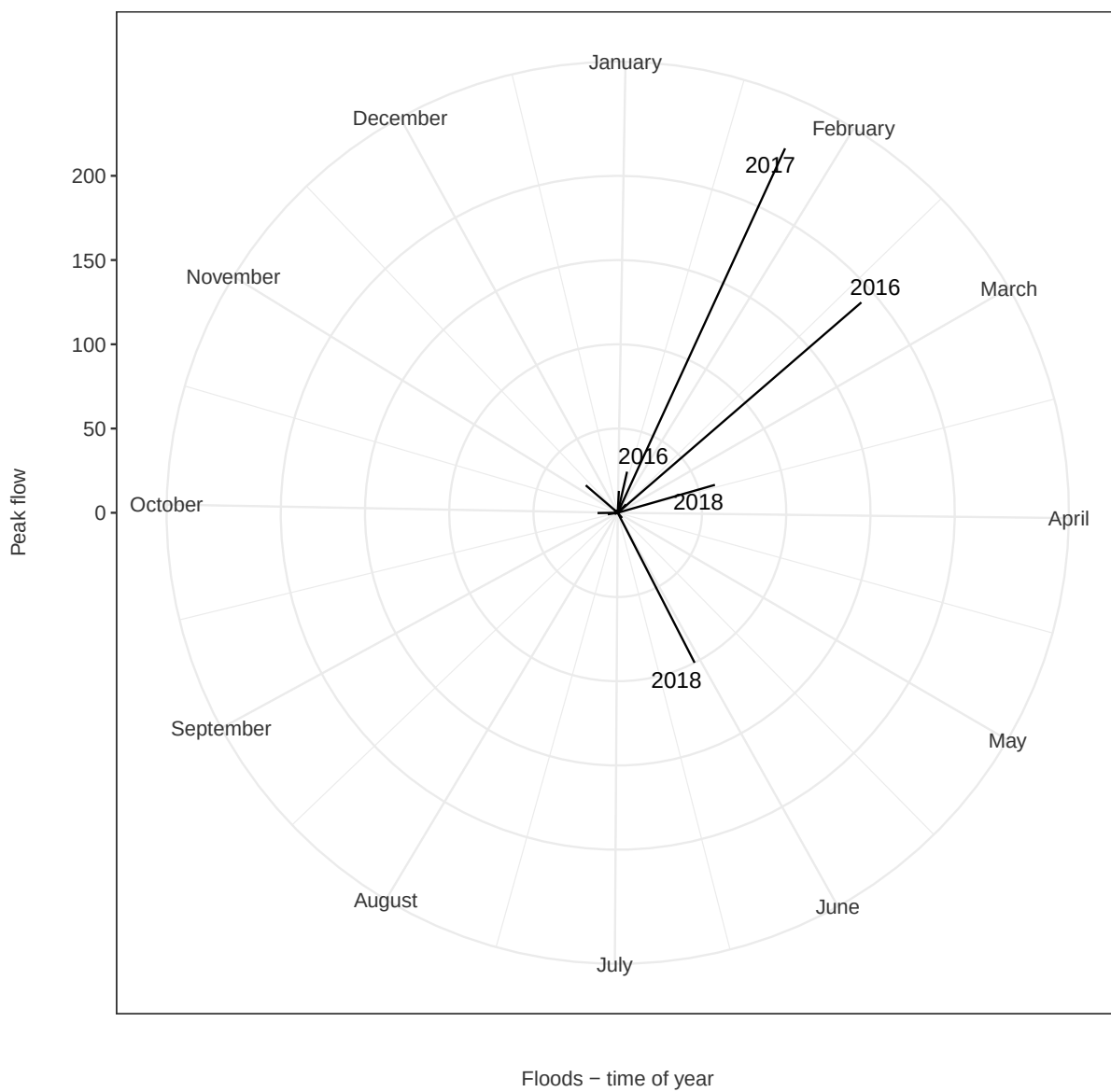


Figure 7: Saisonnalité post restauration