

#connaître #partager #accompagner

Les rendez-vous du karst de Bourgogne Franche-Comté,
5^e édition – 12 décembre 2024



Programme

9h00-9h30 Accueil des participants/présentation de la journée

9h30-10h15 **Dynamique hydroclimatique du Massif Jurassien : interactions et stationnarité** . *Vincent Fister (EPTB Saône et Doubs)*

10h15-11h00 **Un ruisseau souterrain intra-morainique dans le Jura : un cas unique au monde ?** *Christophe Durlet (Université de Bourgogne, CNRS)*

11h00-11h30 **Lancement d'une étude départementale (25) sur le karst afin de définir la prédisposition des terrains aux aléas affaissement / effondrement**. *Aurélien Vallet, Nejema Zergaoui, Tanguy Kasprowicz, Sylvain Haussard, Thibaut Richard (BRGM/CEREMA/DDT25)*

11h30-12h00 **Vulgariser le karst et ses vulnérabilités : exposition, conférence, BD... Un des rôles portés par les associations environnementales**. *Manon Silvant, Patrice Malavaux, Gérard Mamet (SOS Loue et Rivières comtoises)*

14h00-14h40 **La modélisation 3D des morphologies karstiques, un outil pour la description du karst et du milieu souterrain, son étude et sa conservation**. *Didier Cailhol (Association française de karstologie)*

14h40-15h20 **Récentes avancées sur le fonctionnement hydrogéologique et les interactions surface-souterrain dans le bassin de la Loue**. *Charlier J.-B., Ladouche B., Vallet A., Idoux A, Allanic C., Bailly-Comte V., Selles A. (BRGM)*

15h20-15h45 - **La radiolocalisation souterraine. Principe et applications**. *Denis Motte (GIPEK)*





Consignes

- Les créneaux pour chaque intervention sont de 20-40 minutes maximum et comprennent les parties présentations et questions. Au cas où une/des interventions serai(en)t plus courte(s), l'idée est d'enchaîner sur la présentation suivante.

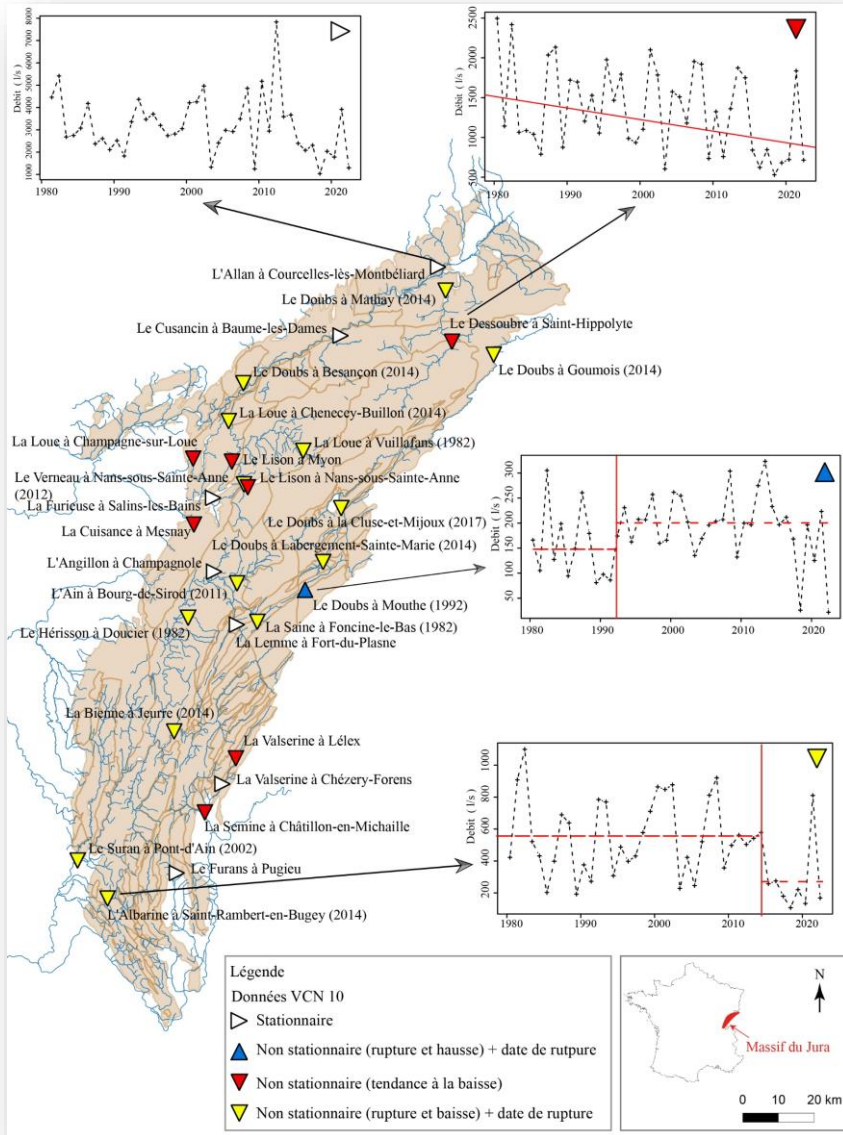
Pour les personnes en visio

- Votre micro sera éteint pendant les présentations par l'administrateur afin d'éviter les bruits intempestifs.
- Si vous souhaitez intervenir, merci d'envoyer votre question sur le tchat : nous nous efforcerons de la soumettre pendant le temps de « questions/réponses » imparti après chaque présentation. Si les conditions le justifient, certaines questions pourront être directement posées oralement, micro et caméra seront alors activés.
- Nous prendrons d'abord les questions en salle puis celles du tchat.



#connaître #partager #accompagner

« Dynamique hydroclimatique du Massif Jurassien :
interactions et stationnarité »

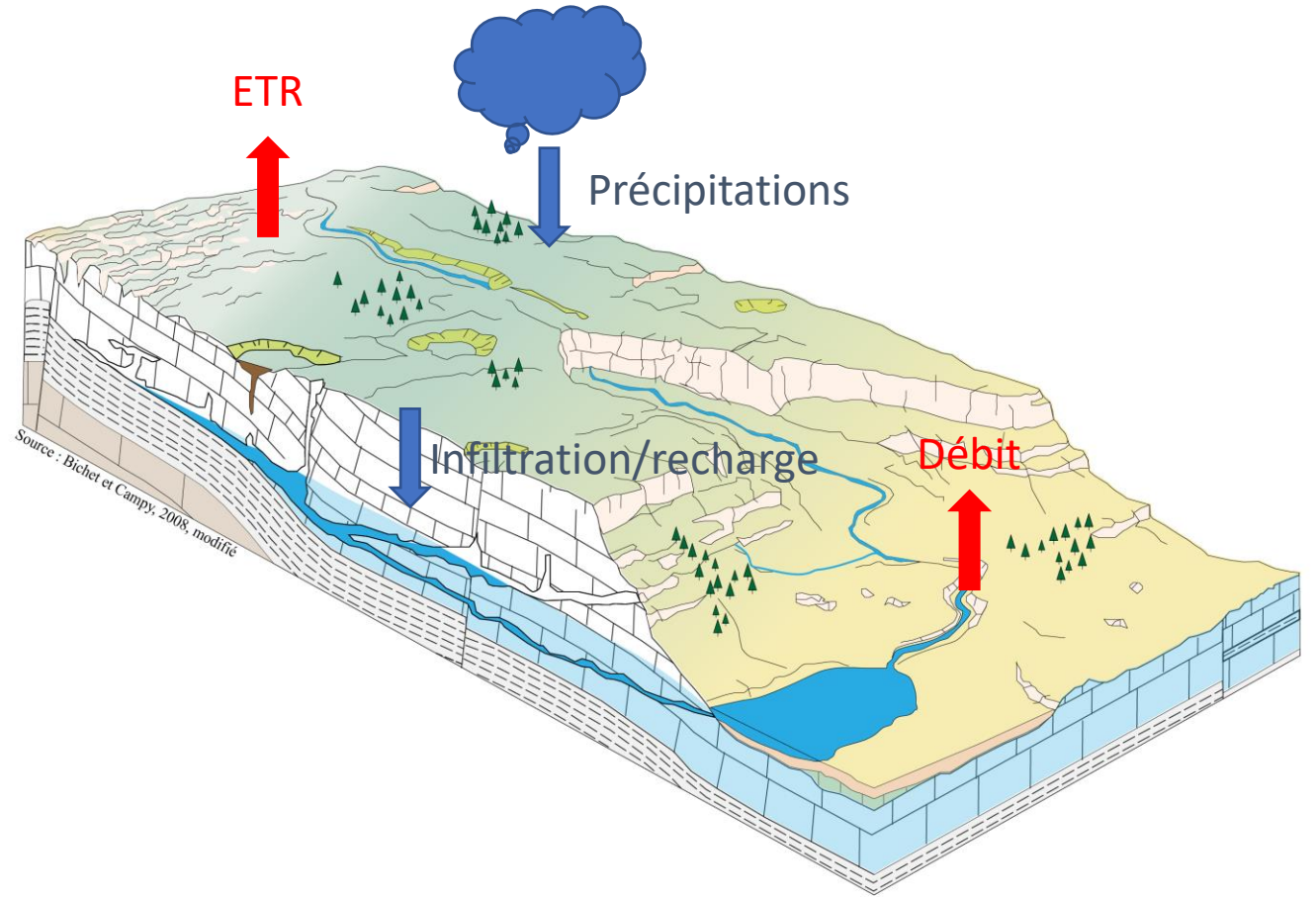
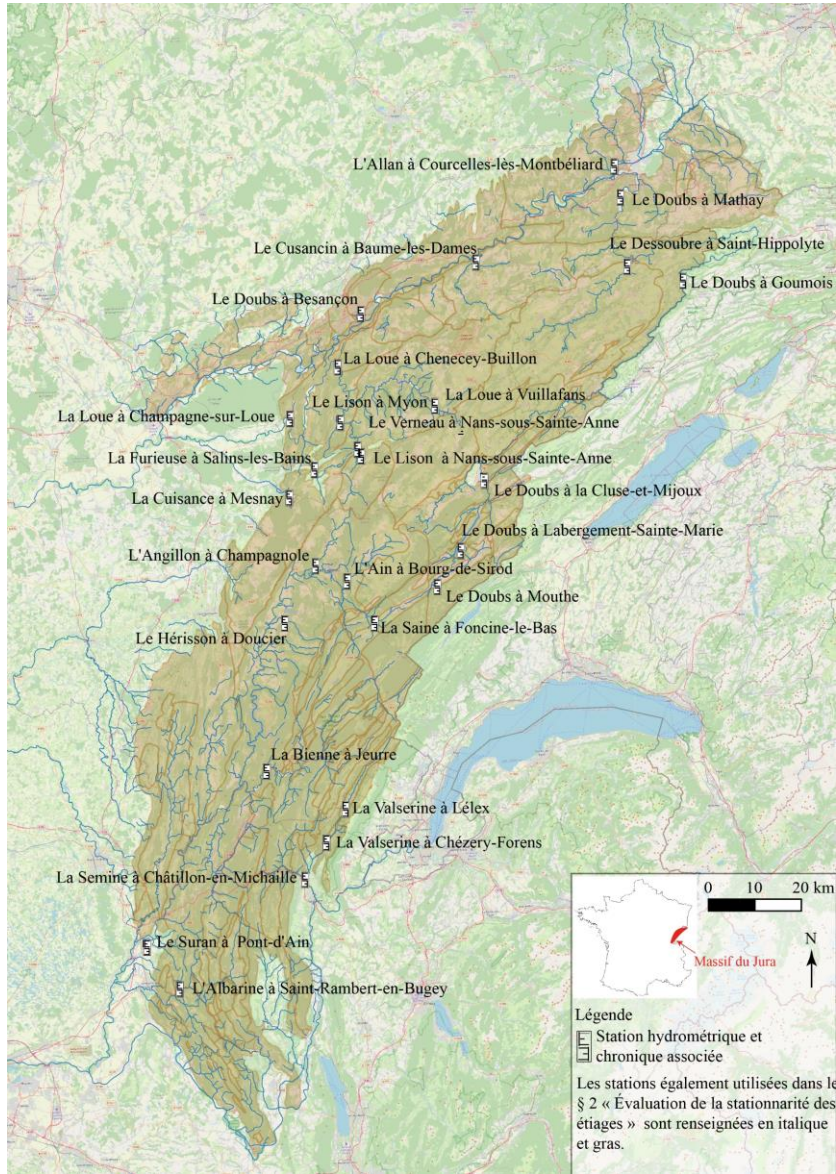


Quels paramètres influencent le plus sur les débits d'étiage et plus généralement sur les débits ?

Quelles sont les principales relations entre les variables hydroclimatiques ?

Quelles sont les principales tendances et ruptures temporelles observées ?

Y a-t-il des différences fonctionnelles majeures à l'échelle d'un massif comme celui du Jura ?

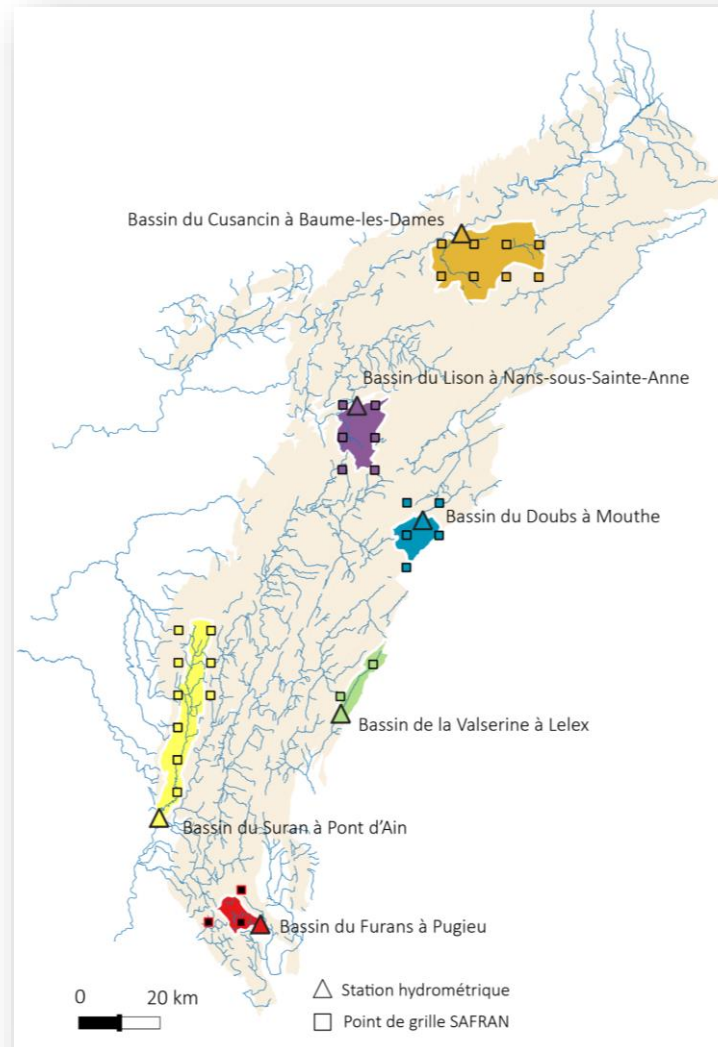


- Une dizaine de paramètres hydroclimatiques aux échelles annuelles et saisonnières sur la période 1980-2022 et à l'échelle de six bassins du massif du Jura

Paramètre	Cusancin/Baume
Surface bassin (km ²)	560
Alt. (m)	551
Débit (m ³ /s)	7.7
Précipitations tot. (mm)	1355
Température (°c)	9.4

Paramètre	Lison/NSSA
Surface bassin (km ²)	230
Alt. (m)	710
Débit (m ³ /s)	5.1
Précipitations tot. (mm)	1569
Température (°c)	8.7

Paramètre	Suran/Pontain
Surface bassin (km ²)	349
Alt. (m)	401
Débit (m ³ /s)	6.5
Précipitations tot. (mm)	1474
Température (°c)	9.9

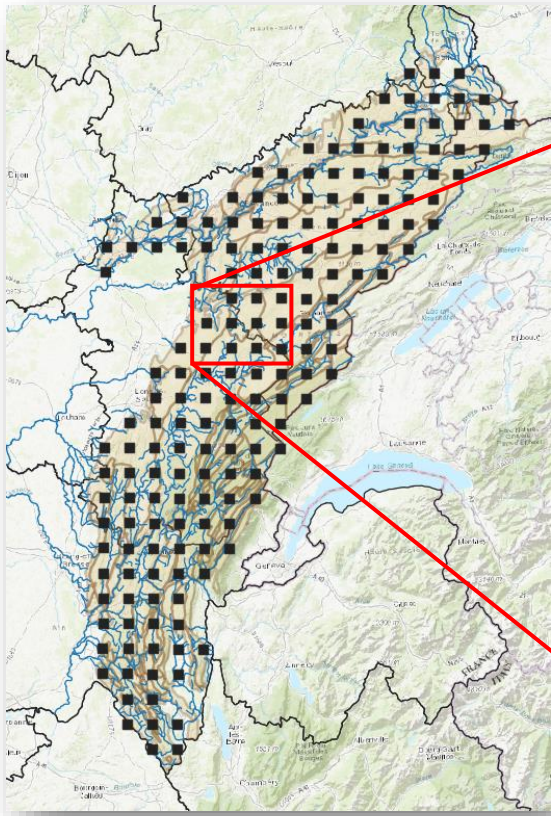


Paramètre	Doubs/Mouthe
Surface bassin (km ²)	59
Alt. (m)	1159
Débit (m ³ /s)	1.9
Précipitations tot. (mm)	1738
Température (°c)	6.5

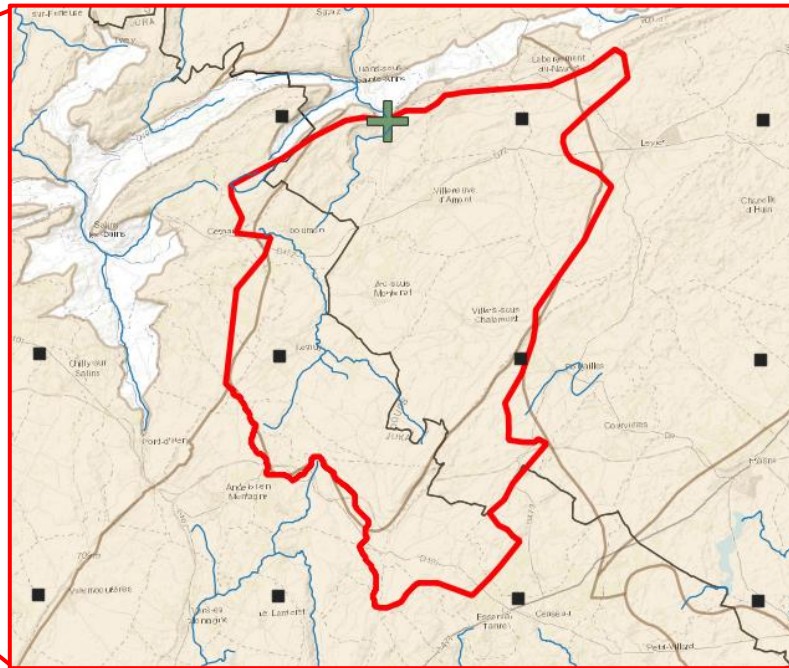
Paramètre	Valserine/Lelex
Surface bassin (km ²)	85
Alt. (m)	1232
Débit (m ³ /s)	2.2
Précipitations tot. (mm)	1916
Température (°c)	6.8

Paramètre	Furans/Pugieu
Surface bassin (km ²)	59
Alt. (m)	714
Débit (m ³ /s)	1.7
Précipitations tot. (mm)	1624
Température (°c)	8.8

- Recours aux données SAFRAN (Météo-France) : schéma d'analyse qui permet d'obtenir des données pour de nombreux paramètres climatiques à partir des observations locales (maille 8*8 km)



Exemple du bassin du Lison à NSSA



• Données : Météo-France

- PRENEI_Q : Précipitations solides
- PRELIQ_Q : Précipitations liquides
- PE_Q : Pluies efficaces
- T_Q : Température
- EVAP_Q : Evapotranspiration réelle
- ETP_Q : Evapotranspiration potentielle

⇒ SAFRAN

- Débit
- Débit de base
- Débit d'étiage (VCN10)

⇒ HydroPortail + analyses

Recharge (Thornthwaite et Wallingford)

⇒ SAFRAN + analyses

- Recharge > Les écoulements sur un massif comme le Jura vont être contrôlés par la recharge antérieure (état de remplissage du karst).

ESTIMATION de la Pluie Efficace et de la REcharge selon différentes méthodes

source : BRGM

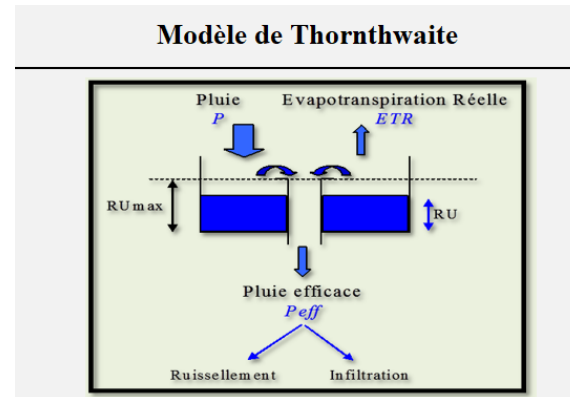
- Trois méthodes empiriques

$$R = 0.45 (P - 180) \text{ avec } P < 600 \text{ mm}$$

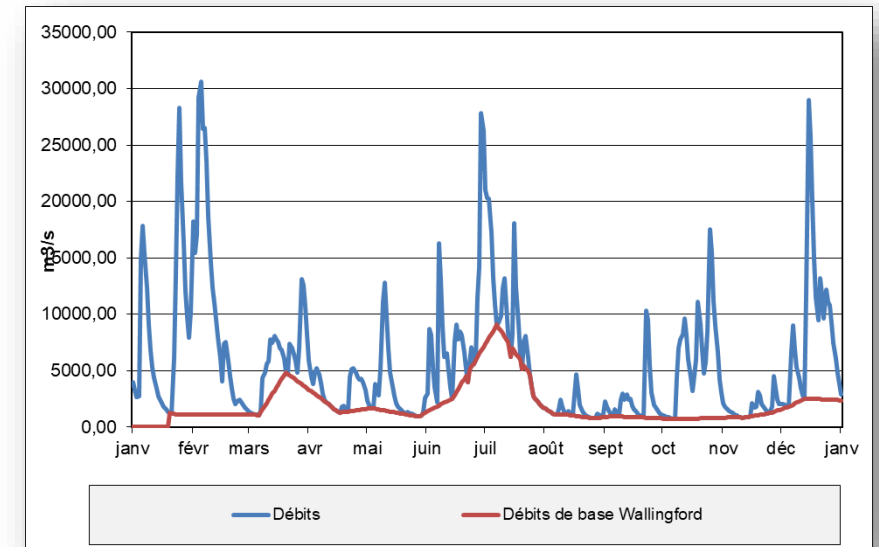
$$R = 0.88 (P - 410) \text{ avec } 600 \text{ mm} < P < 1000 \text{ mm}$$

$$R = 0.97 (P - 463) \text{ avec } P > 1000 \text{ mm}$$

- Trois méthodes de bilan hydrique du sol

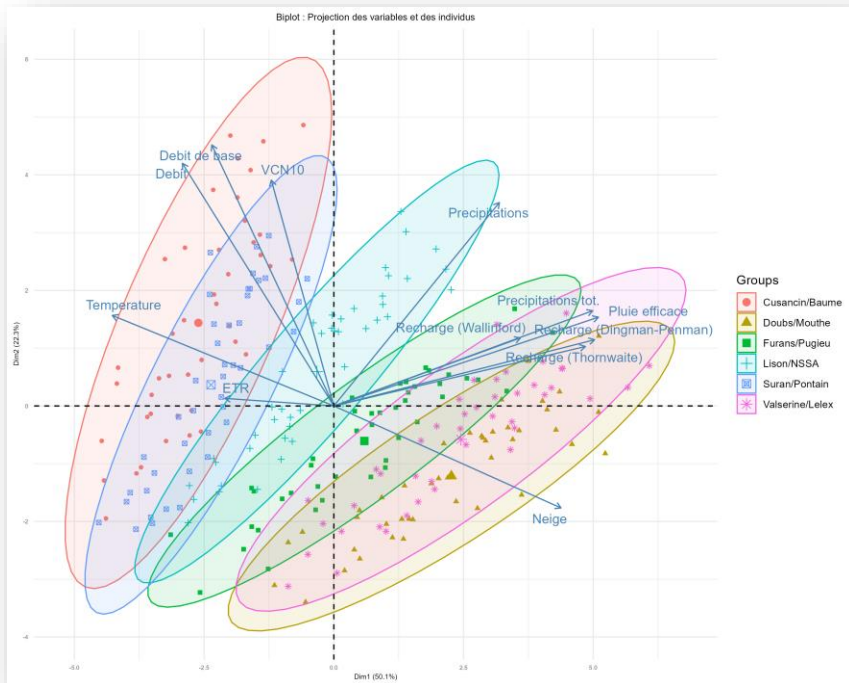


- Trois méthodes de filtre des chroniques de débits

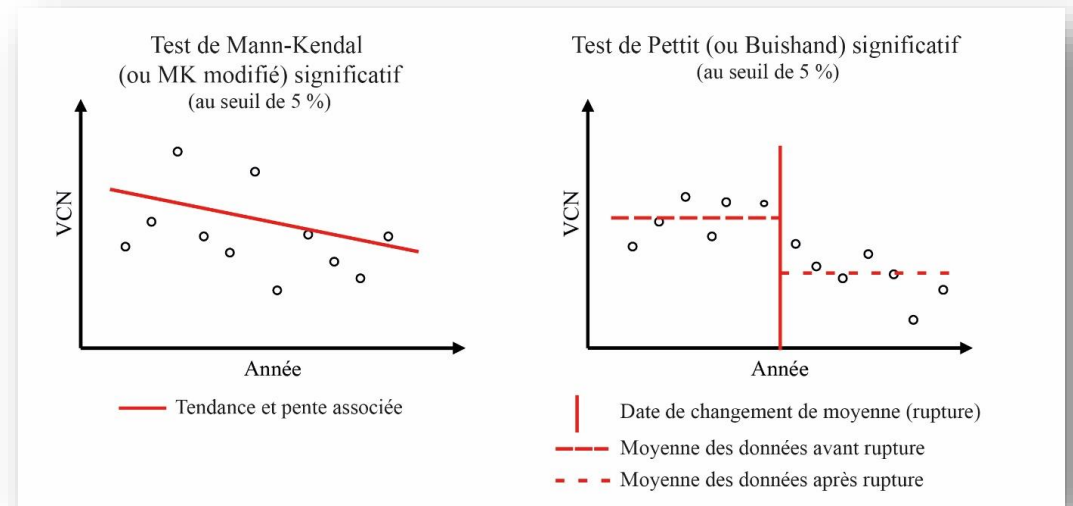


	Temperature	Neige	Precipitations	Precipitations tot.	ETR	Pluie efficace	Recharge (Thornwaite)	Recharge (Wallinford)	Debit	Debit de base	VCN10
Cusancin/Baume_1980	7.8	170	1211	1381	495	886	676	298	8408	3296	1875
Doubs/Mouthe_1980	5.1	572	1268	1840	506	1334	1169	306	1899	522	166
Furans/Pugieu_1980	7.3	283	1610	1892	529	1363	875	723	2410	1189	268
Lison/NSSA_1980	7.5	230	1423	1653	510	1143	962	429	5806	1953	963
Suran/Pontain_1980	8.7	149	1445	1594	551	1043	353	289	7917	2394	243
Valserine/Lelex_1980	5.5	592	1492	2084	509	1575	969	489	2452	1237	474

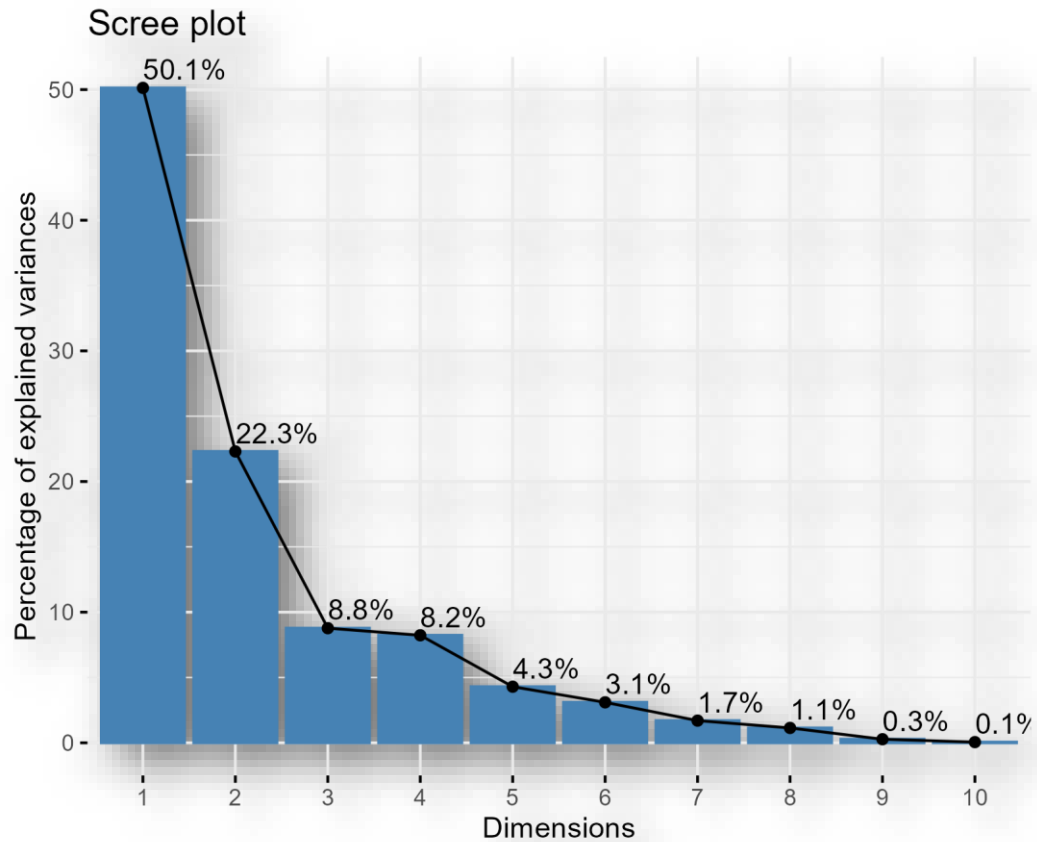
Analyses exploratoires



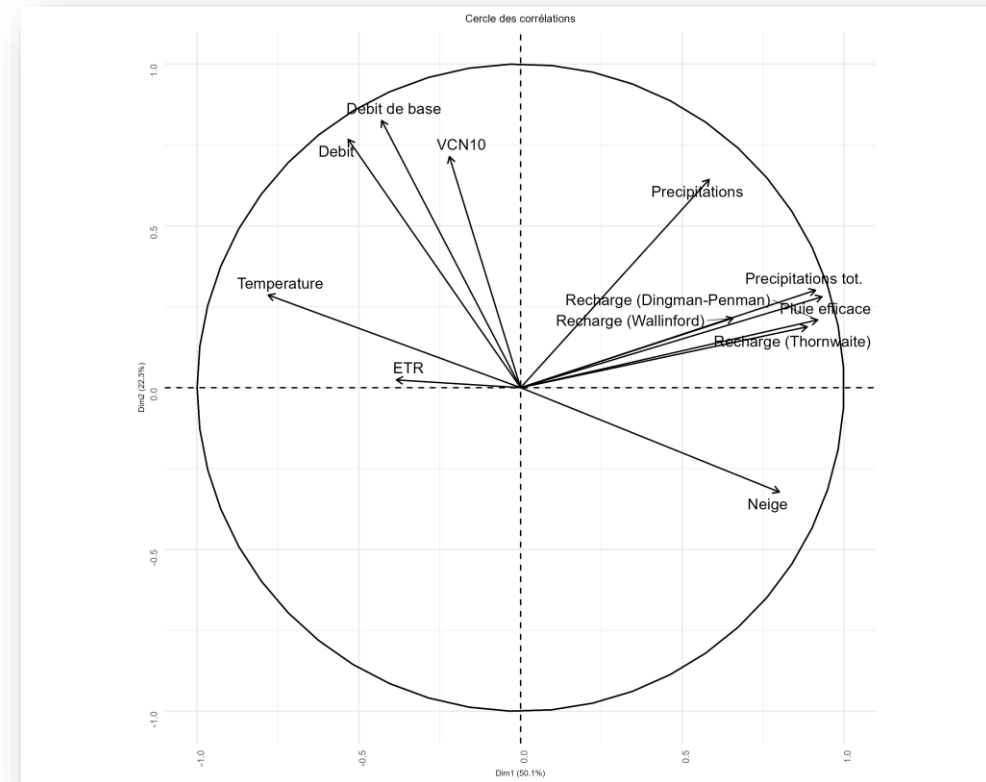
Analyse des tendances et ruptures temporelles



Analyse en composantes principales

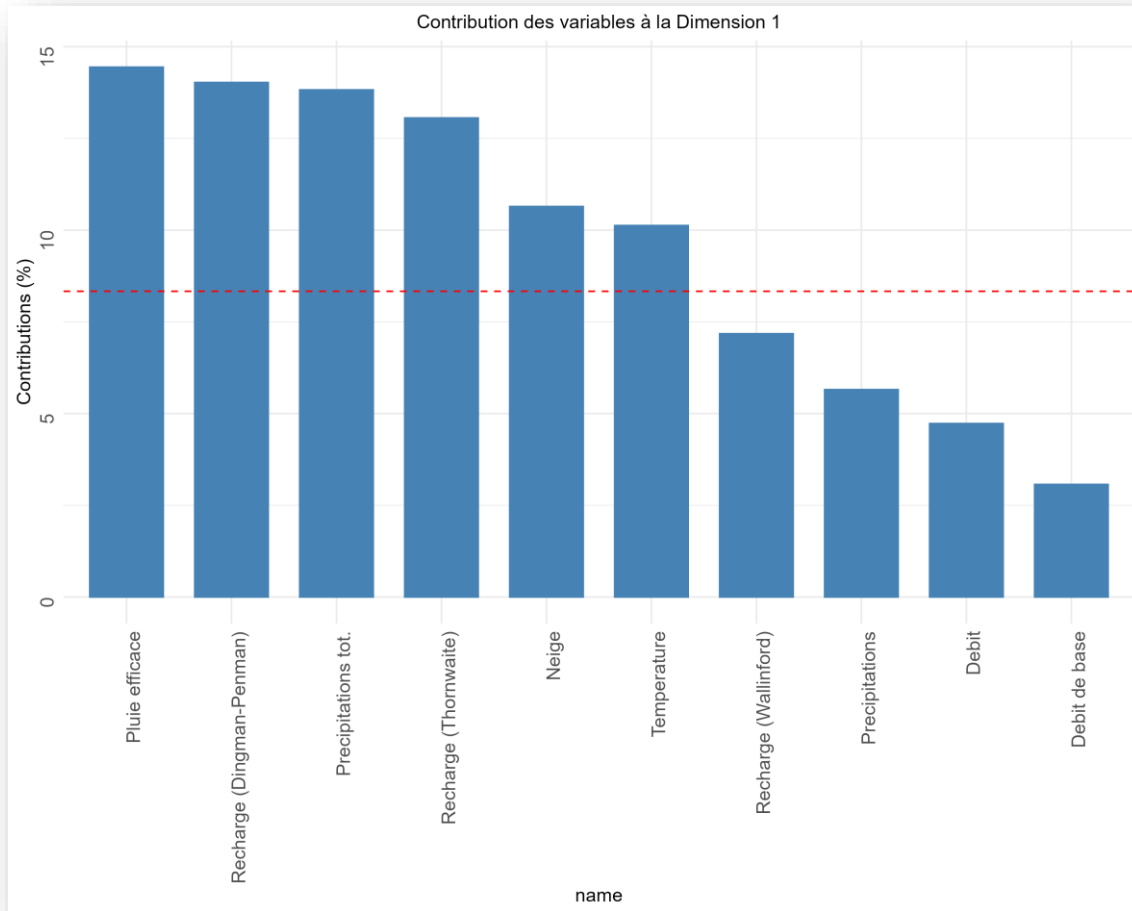


- Dimension 1 : 50% de la variance totale
- Dimension 2 : 22% de la variance totale
- Proportion importante de la variabilité globale des données

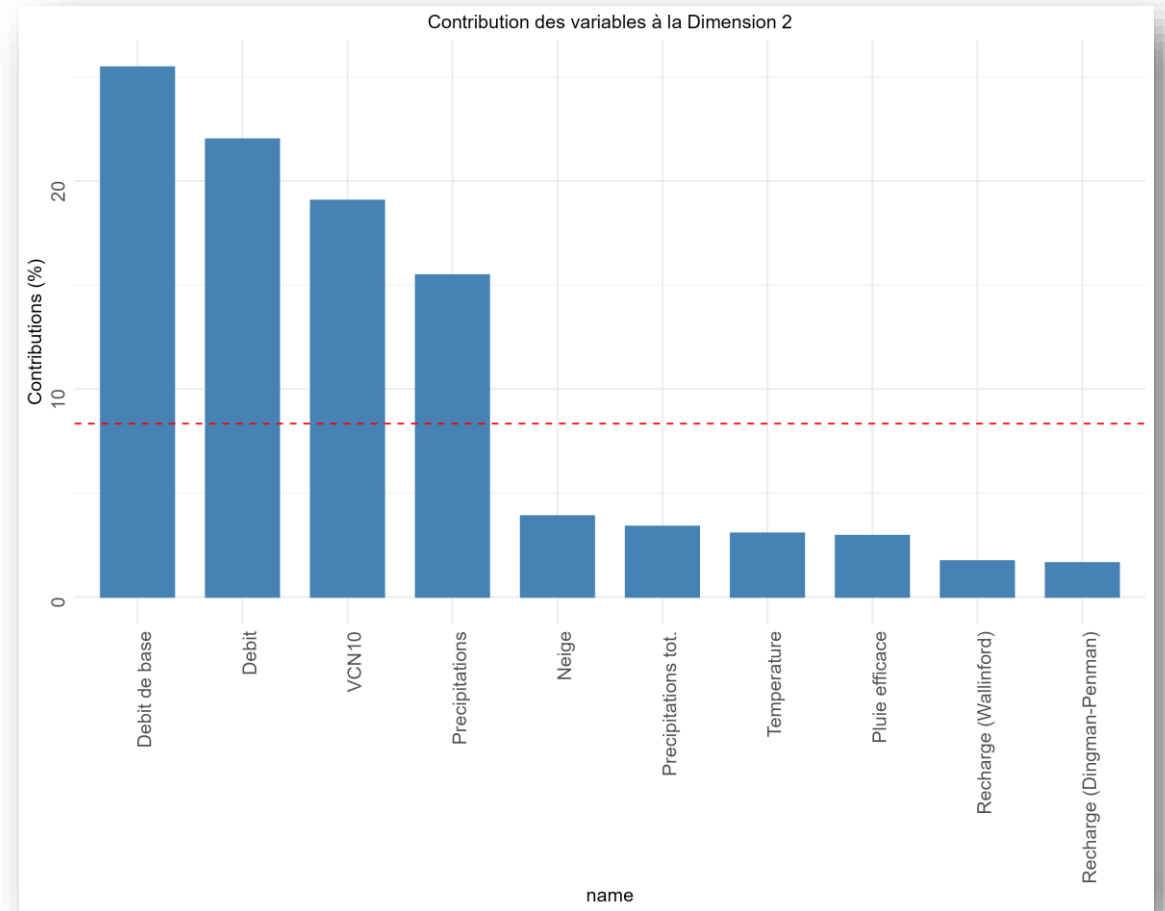


- Dimension 1. Forte corrélation pour Précipitation(s) : (coefficient proche de 0.80) et recharge(s)
- Dimension 2. Corrélation significative (coefficient proche de 0.70) pour Débit(s).

Analyse en composantes principales

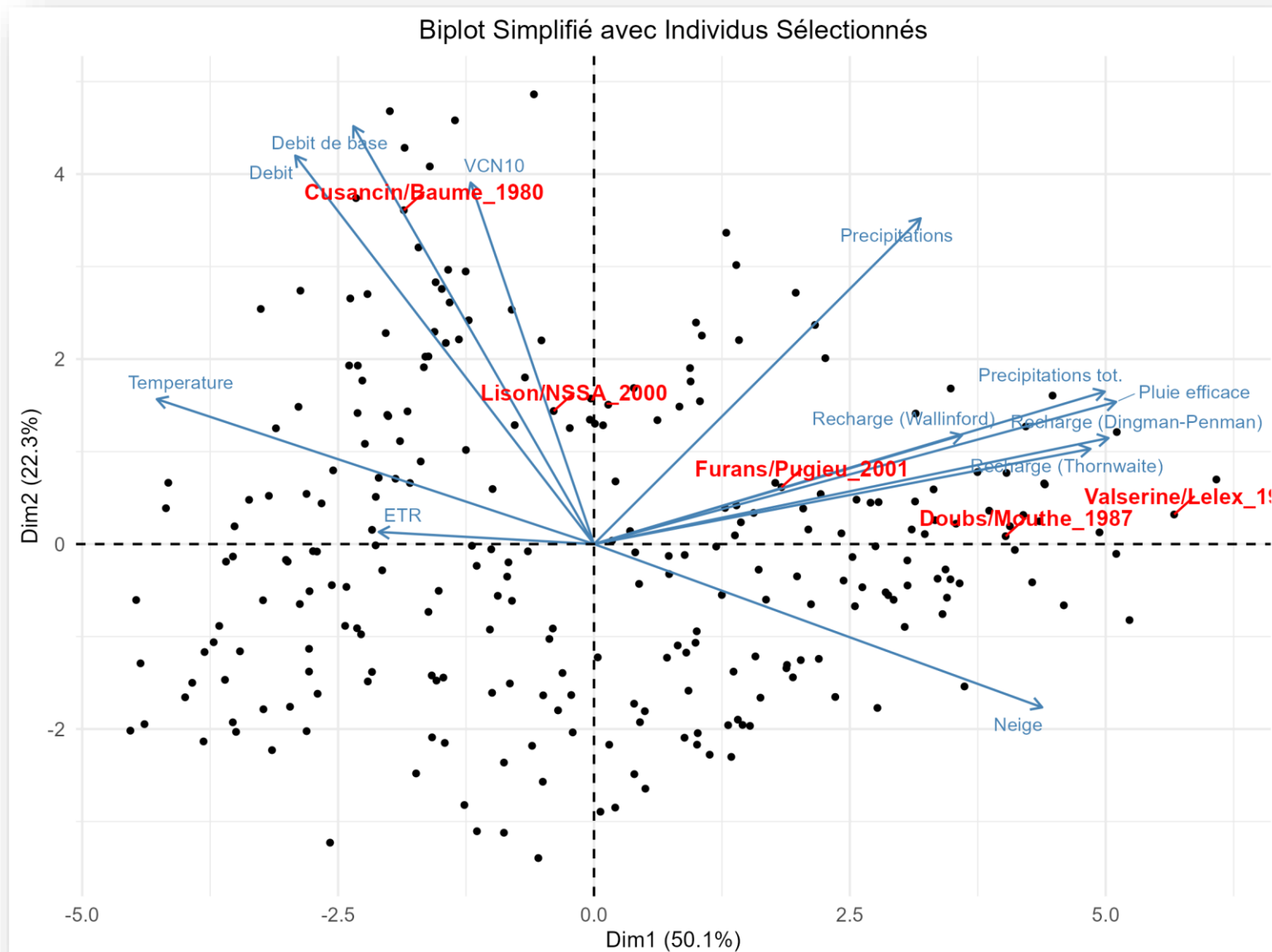


Apports hydriques globaux



Caractéristiques d'écoulement

☐ Analyse en composantes principales



☐ Analyse en composantes principales

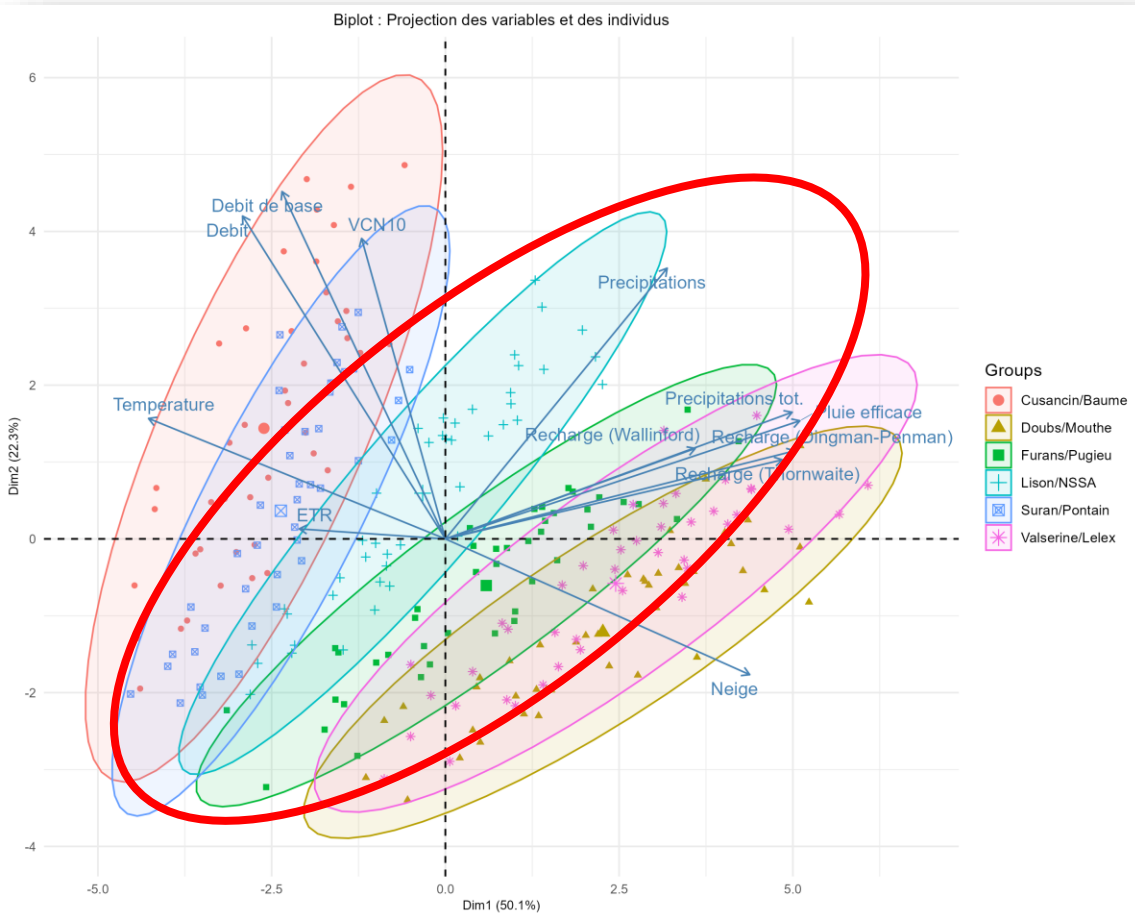


Paramètre	Type 1 : Haute Chaîne	Type 2 : Second Plateau	Type 3 : Premier Plateau
Stations	Doubs/Mouthe, Valserine/Lelex	Lison/NSSA, Furans/Pugieu	Cusancin/Baume, Suran/Pontain
Altitude moyenne (m)	1 159 à 1 232	710 à 714	401 à 551
Précipitations (mm)	1 738 à 1 916	1 569 à 1 624	1 355 à 1 474
Neige (mm)	600 à 650	350 à 400	220 à 300
Débit spécifique (l/s/km ²)	32	22 à 28	13 à 18
Débit de base spécifique (l/s/km ²)	15 à 18	10 à 12	6 à 9
Recharge (mm/an)	400 à 420	250 à 300	180 à 200

Type 1 : Haute Chaîne

- Stations associées : Doubs/Mouthe, Valserine/Lelex.
- Caractéristiques principales :
 - Altitudes les plus élevées, avec des précipitations abondantes + neige.
 - Débits spécifiques élevés et importances des contributions souterraines (débit de base significatif).
- Hypothèses fortes :
 - Recharge importante: Les conditions climatiques et géographiques favorisent une infiltration importante dans le karst, permettant un stockage conséquent et une restitution progressive.
 - Rôle régulateur de la neige : La couverture neigeuse agit comme un réservoir temporaire, prolongeant la recharge au printemps et maintenant les débits en période d'été.
 - Faible interaction avec l'écoulement de surface : Les flux souterrains dominant, avec un ruissellement limité.

Analyse en composantes principales

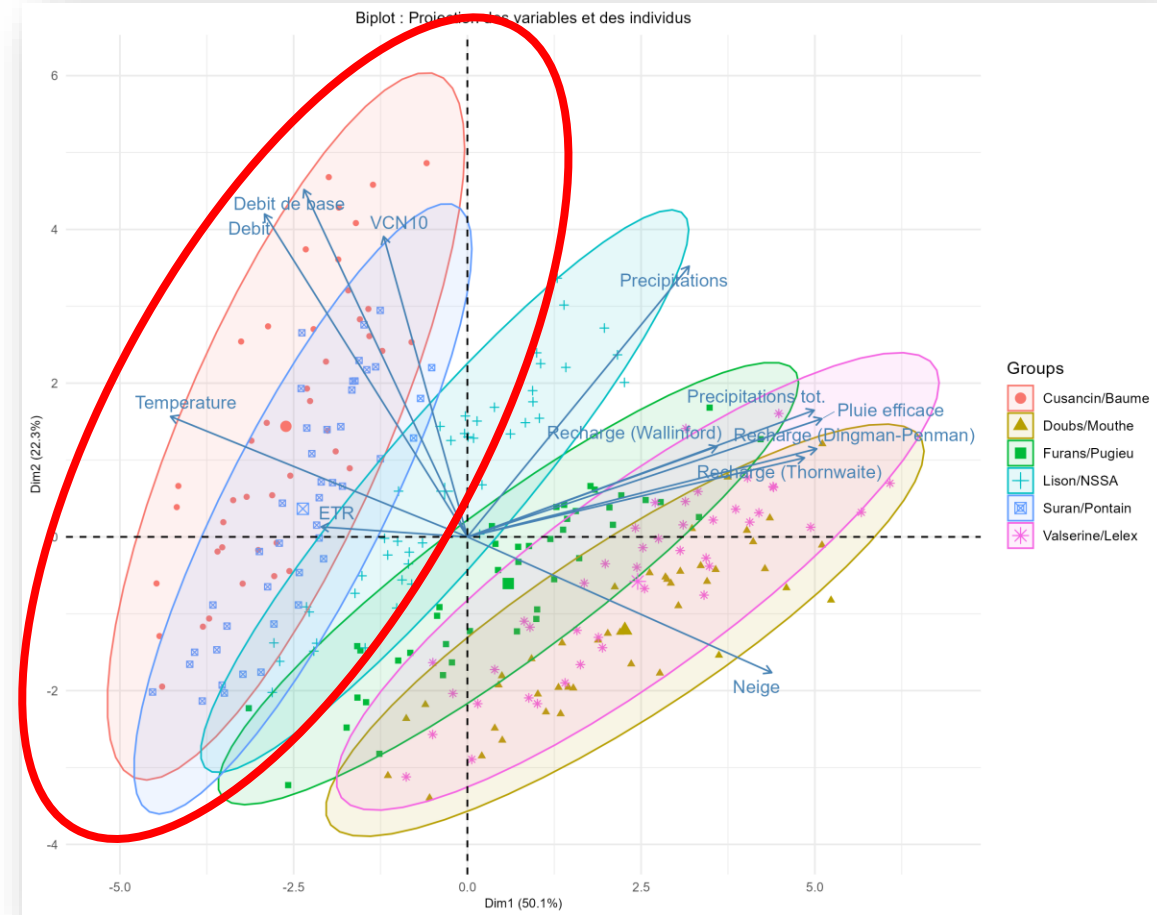


Paramètre	Type 1 : Haute Chaîne	Type 2 : Second Plateau	Type 3 : Premier Plateau
Stations	Doubs/Mouthe, Valserine/Lelex	Lison/NSSA, Furans/Pugieu	Cusancin/Baume, Suran/Pontain
Altitude moyenne (m)	1 159 à 1 232	710 à 714	401 à 551
Précipitations (mm)	1 738 à 1 916	1 569 à 1 624	1 355 à 1 474
Neige (mm)	600 à 650	350 à 400	220 à 300
Débit spécifique (l/s/km ²)	32	22 à 28	13 à 18
Débit de base spécifique (l/s/km ²)	15 à 18	10 à 12	6 à 9
Recharge (mm/an)	400 à 420	250 à 300	180 à 200

Type 2 : Deuxième Plateau

- Stations associées : Lison/NSSA, Furans/Pugieu.
- Caractéristiques principales :
 - Altitudes intermédiaires et précipitations modérées.
 - Débits spécifiques moyens, combinant flux de surface et souterrains.
- Hypothèses fortes :
 - Les flux souterrains et de surface coexistent, mais la recharge est moins efficace que dans les bassins de la Haute Chaîne.
 - La variabilité hydrologique est modérée, avec des réponses plus rapides aux précipitations par rapport aux bassins de la Haute Chaîne.

☐ Analyse en composantes principales



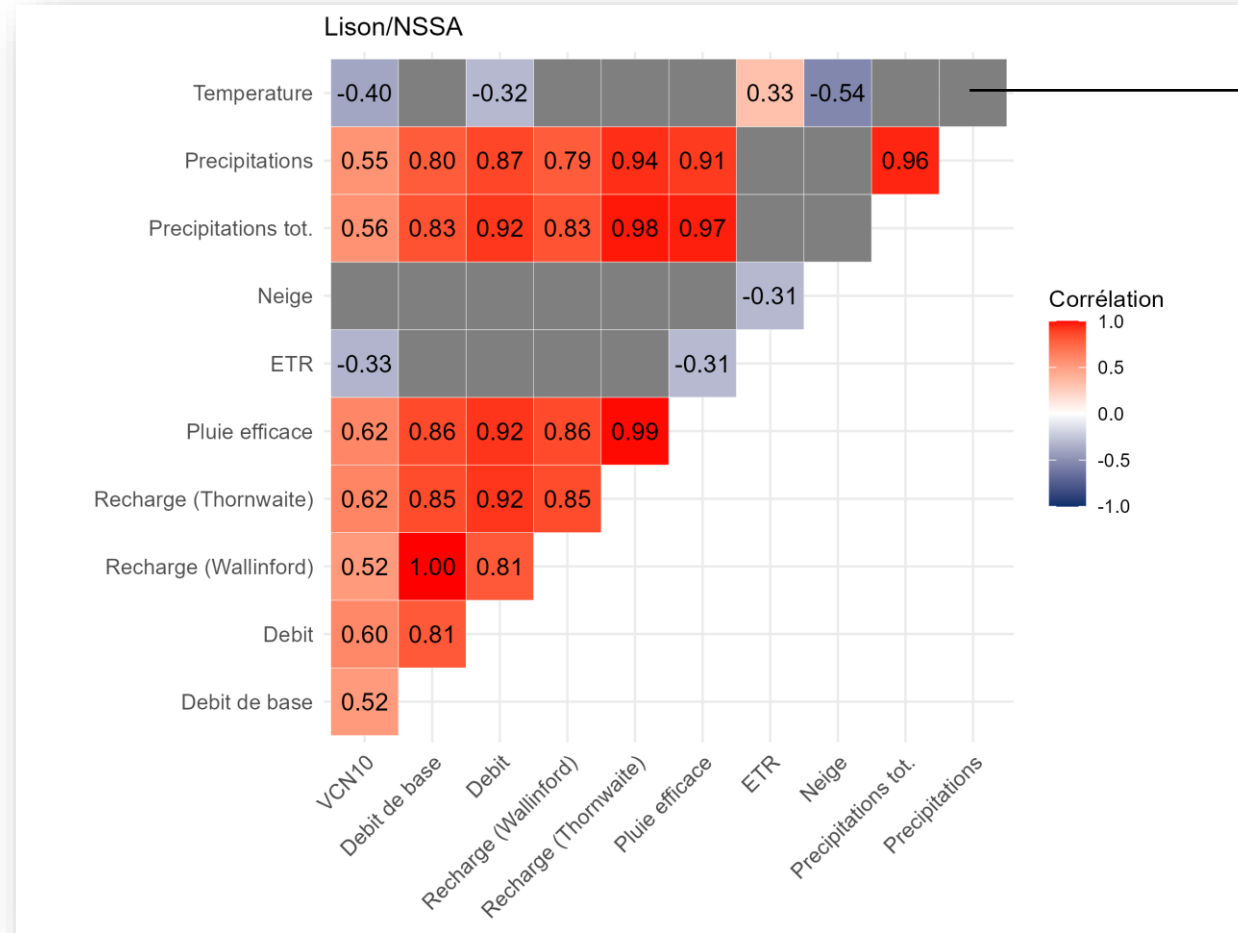
Paramètre	Type 1 : Haute Chaîne	Type 2 : Second Plateau	Type 3 : Premier Plateau
Stations	Doubs/Mouthe, Valsérine/Lelex	Lison/NSSA, Furans/Pugieu	Cusancin/Baume, Suran/Pontain
Altitude moyenne (m)	1 159 à 1 232	710 à 714	401 à 551
Précipitations (mm)	1 738 à 1 916	1 569 à 1 624	1 355 à 1 474
Neige (mm)	600 à 650	350 à 400	220 à 300
Débit spécifique (l/s/km ²)	32	22 à 28	13 à 18
Débit de base spécifique (l/s/km ²)	15 à 18	10 à 12	6 à 9
Recharge (mm/an)	400 à 420	250 à 300	180 à 200

Type 3 : Premier Plateau et Avant-Monts

Stations associées : Cusancin/Baume, Suran/Pontain.

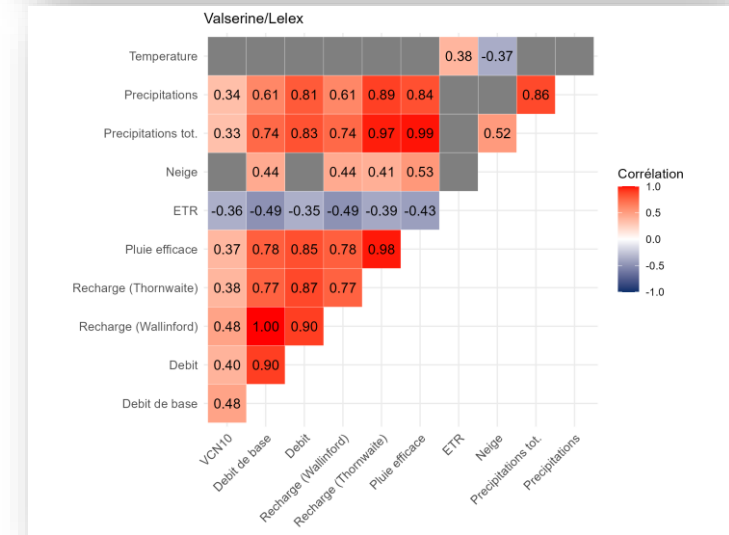
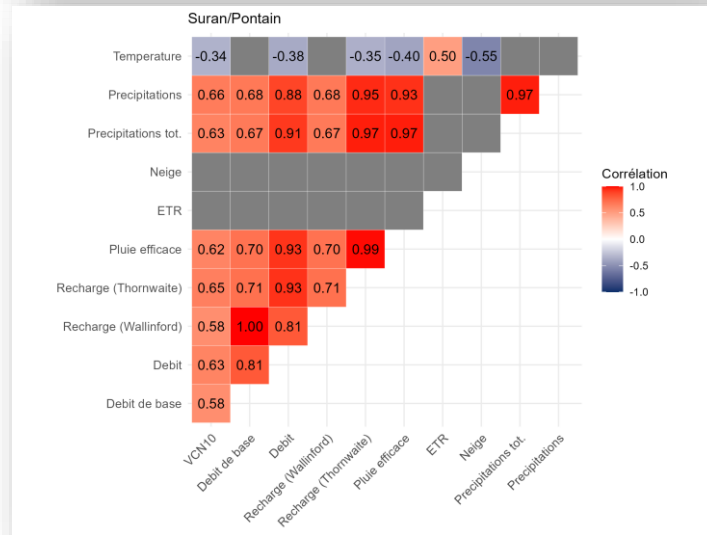
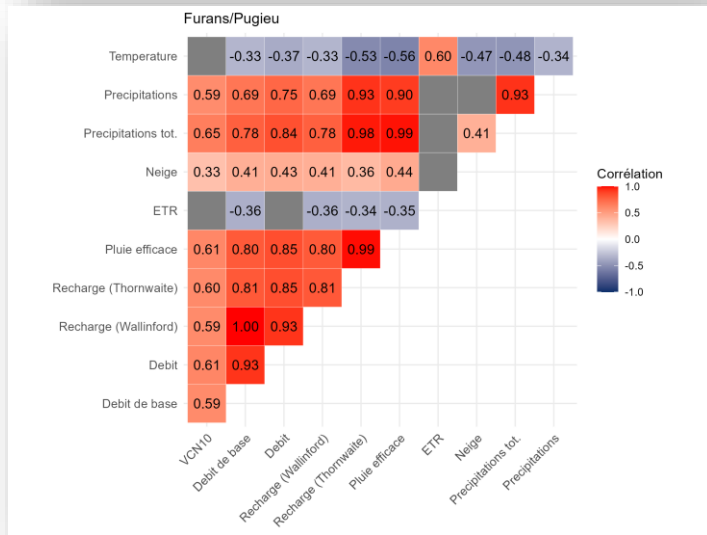
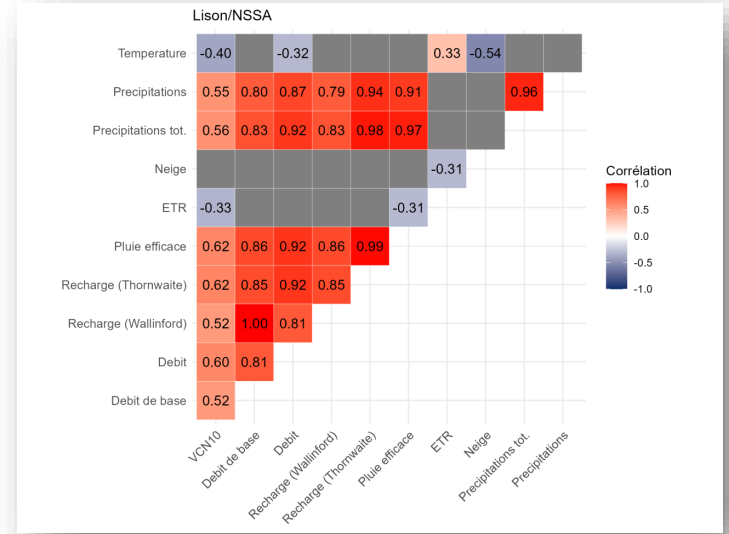
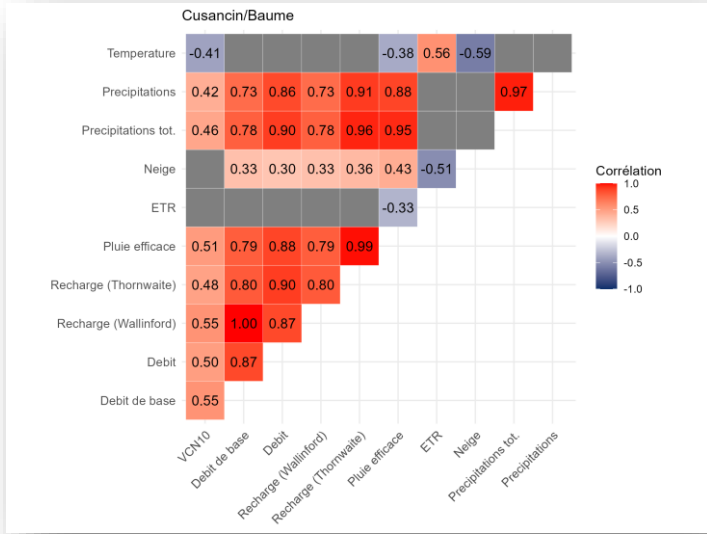
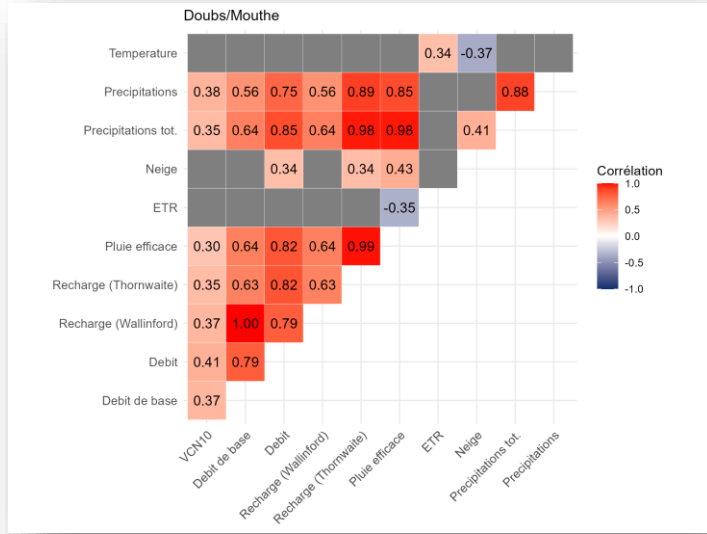
- Caractéristiques principales :
 - Recharge et débits de base faibles ;
 - Débits d'étiage (VCN10) faibles, reflétant une forte dépendance aux flux de surface.
- Hypothèses fortes :
 - Les bassins sont très sensibles aux périodes de sécheresse, en raison d'une plus faible contribution souterraine.
 - Une recharge limitée et des flux de surface plus importants rendent ces systèmes vulnérables aux variations climatiques.

❑ Corrélations inter-variables



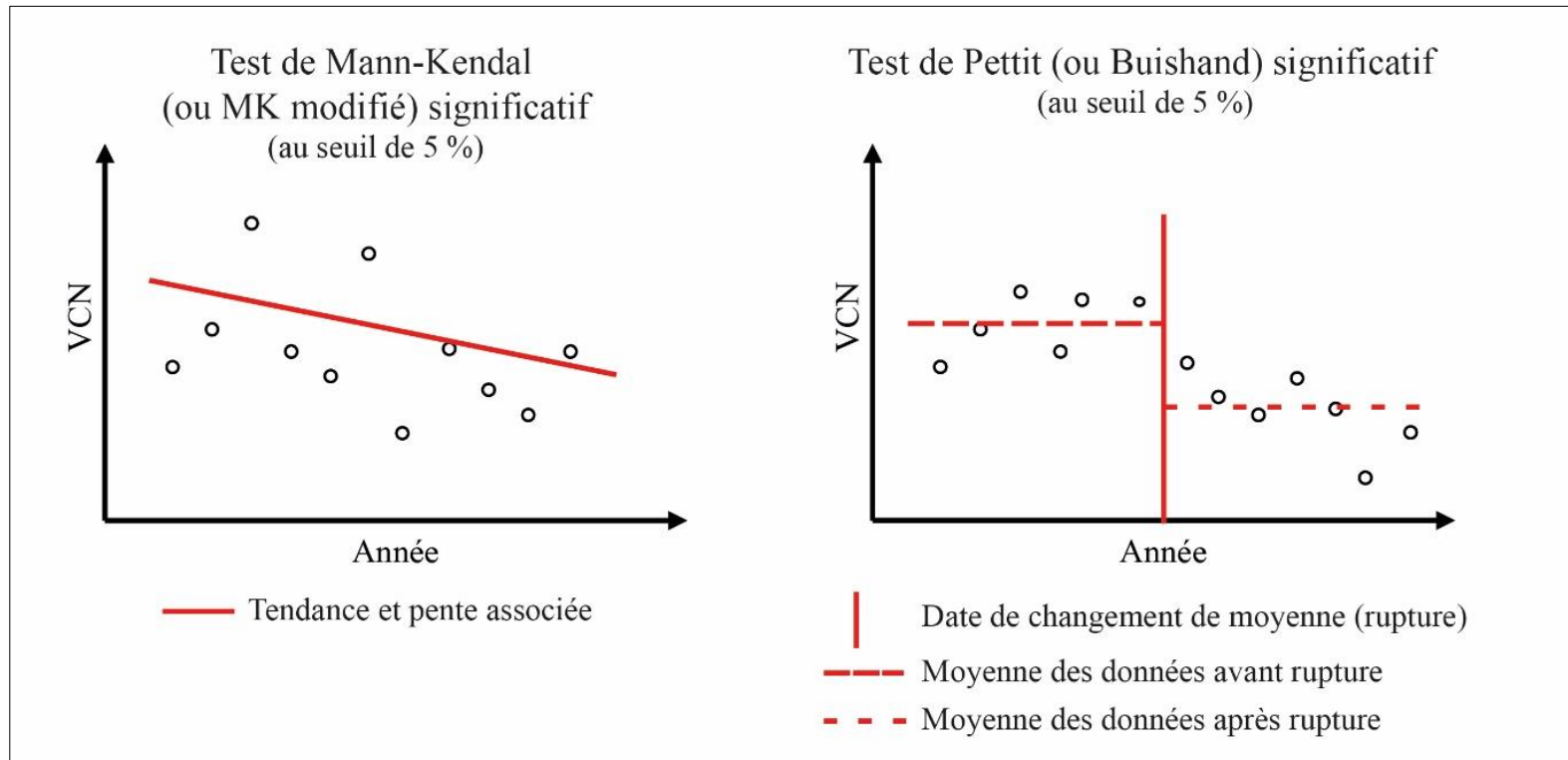
- Hypothèse de probabilité est évaluée autour d'une valeur, la p-value, et de son seuil de significativité (retenue à 5 %) : permet de considérer (ou non) les résultats comme non liés au hasard (et donc significatifs)
- Si le test présente une *pvalue* > 5% : corrélation non significatives

Corrélations inter-variables



Nombreuses méthodes qui permettent de tester si les séries hydrologiques sont homogènes (stationnarité) entre deux temps donnés :

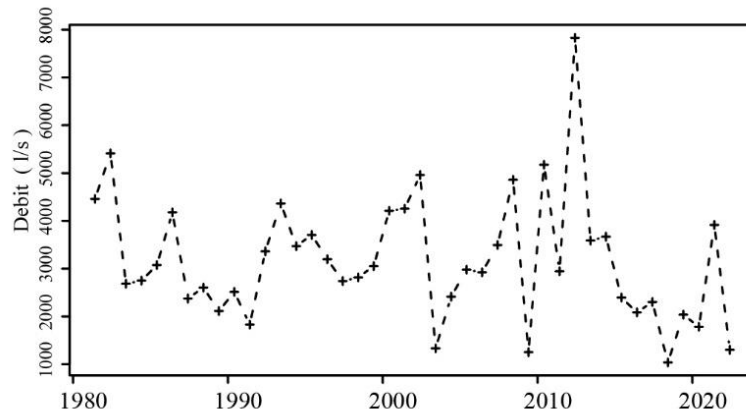
- Le test non-paramétrique de Mann-Kendall pour valider ou invalider une tendance ;
- Le test non-paramétrique de Pettit pour valider ou invalider une rupture.



- Hypothèse de probabilité est évaluée autour d'une valeur, la p -value, et de son seuil de significativité (retenue à 5 %) : permet de considérer (ou non) les résultats de ces deux tests comme non liés au hasard (et donc significatifs)
- Si le test présente une $pvalue < 5\%$: résultats significatifs et VCN non stationnaires

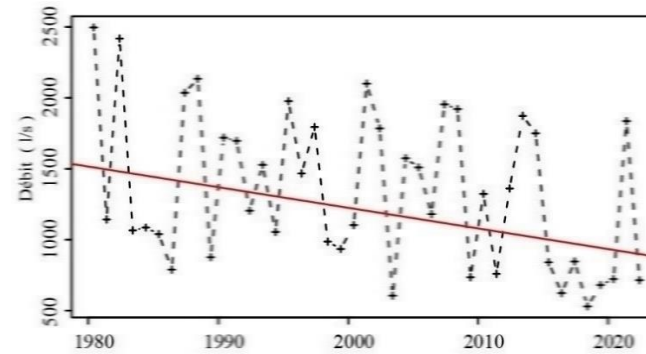
Deux configurations

Données stationnaires dans le temps

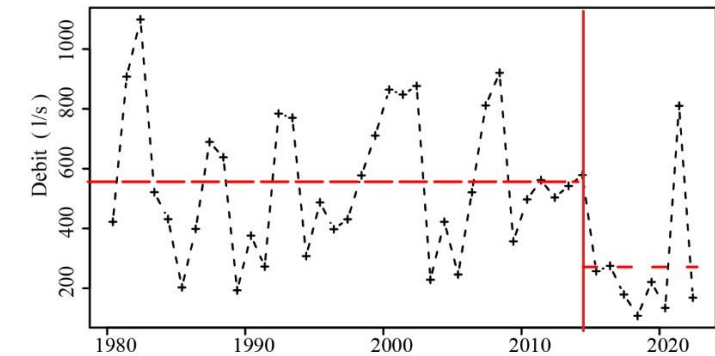


Pas d'évolution significative des débits d'étiage sur la chronique considérée

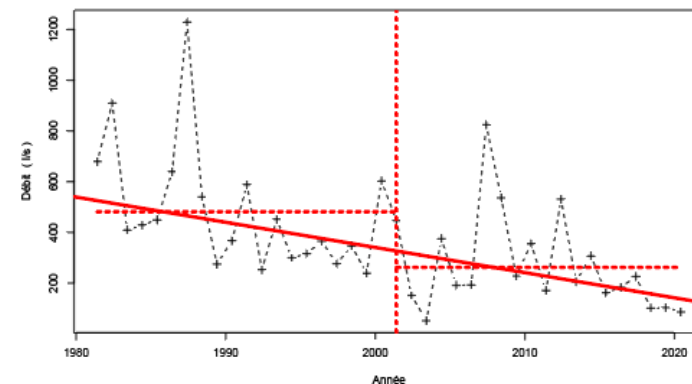
Données non-stationnaires dans le temps



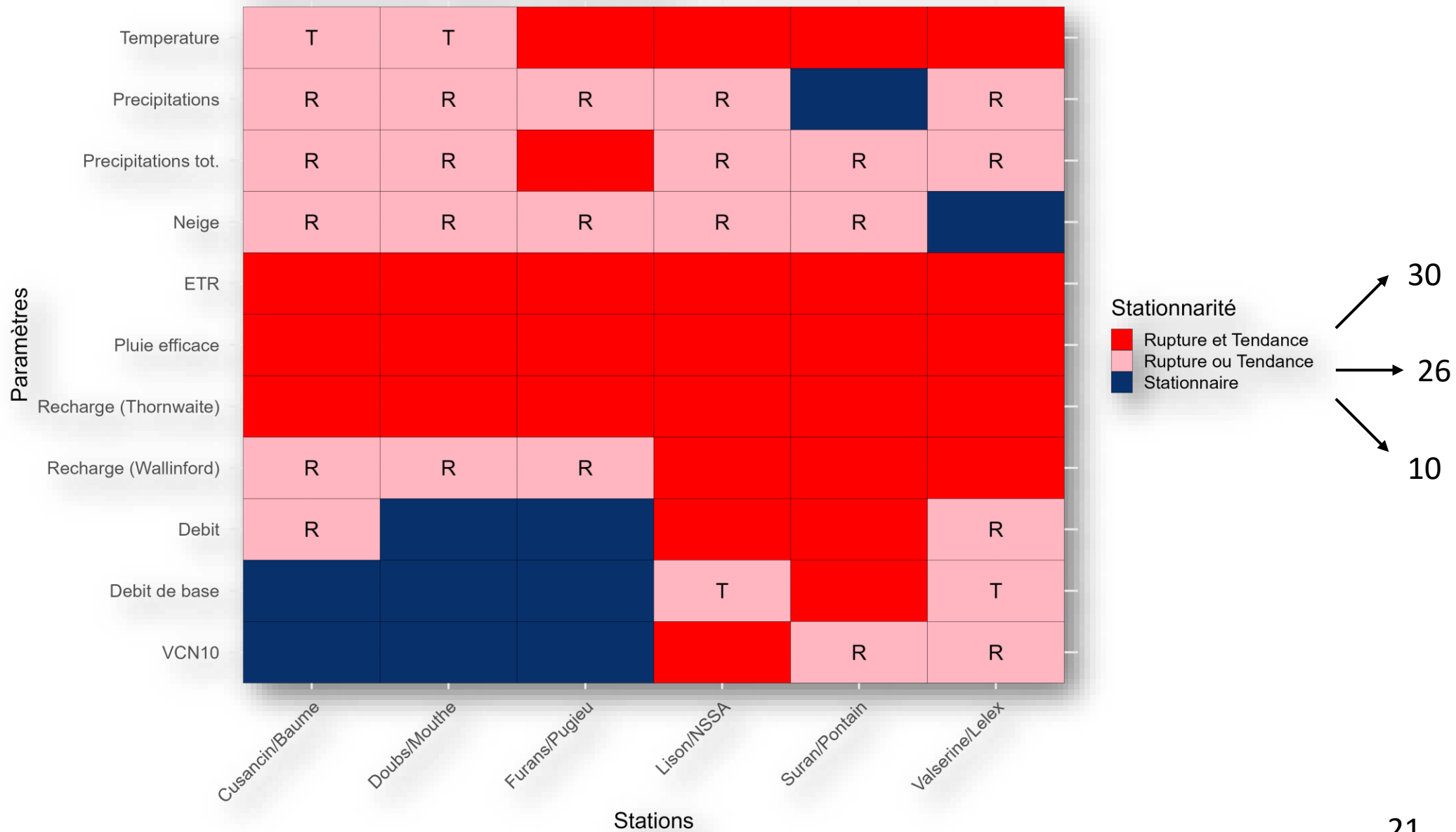
Tendance (MK) significative (à 5%) à la baisse des débits d'étiage et pente associée



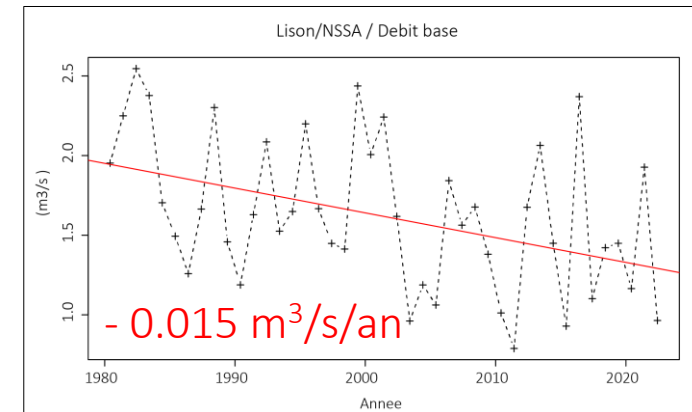
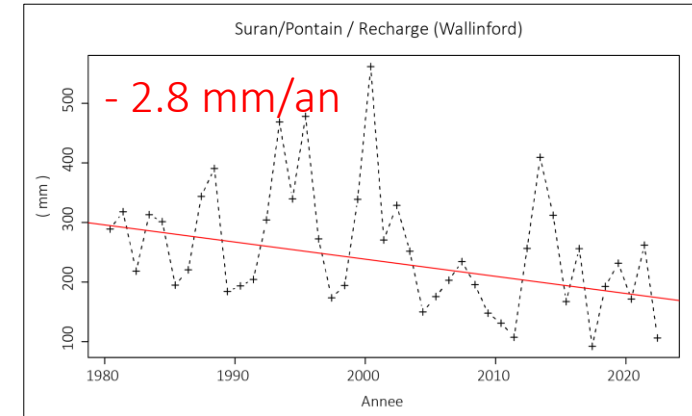
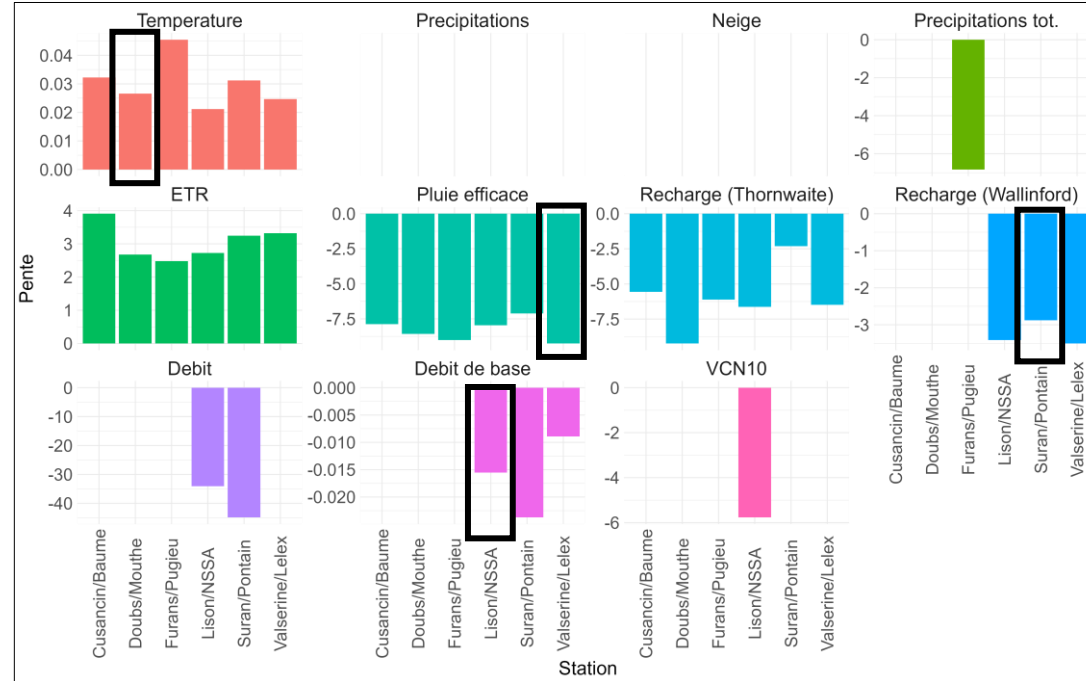
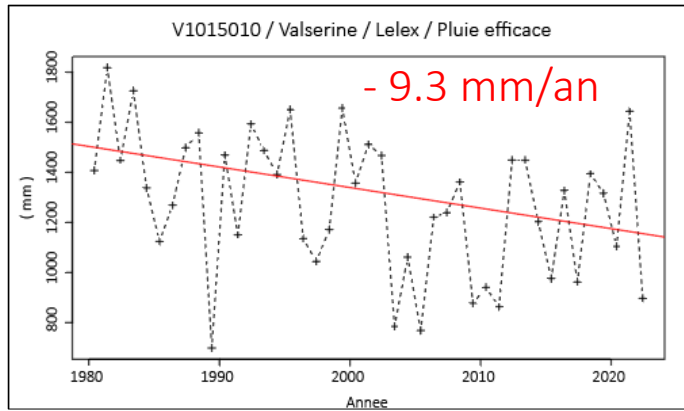
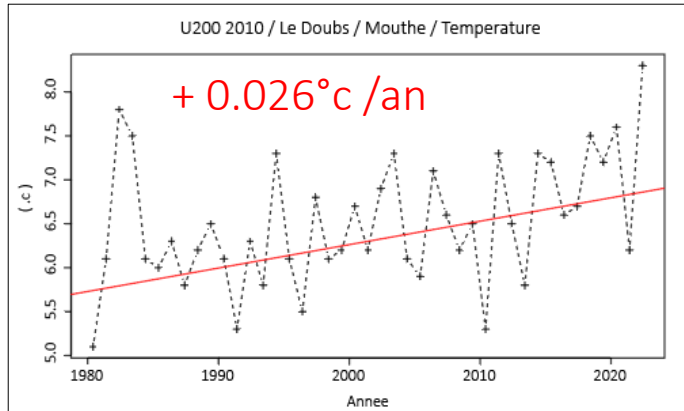
Rupture (Pettit) significative (à 5%) avec date de rupture et moyenne anté et post rupture



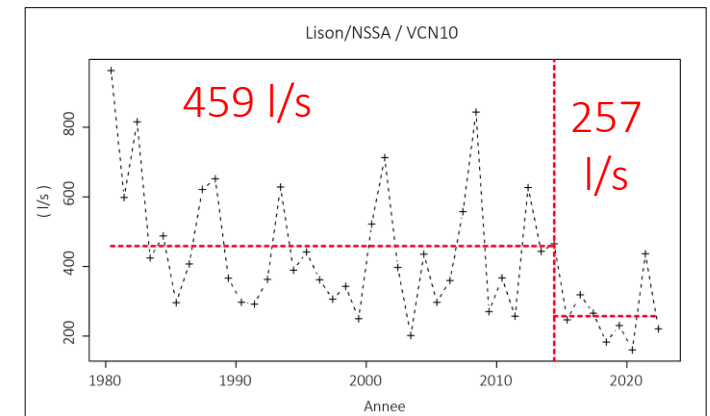
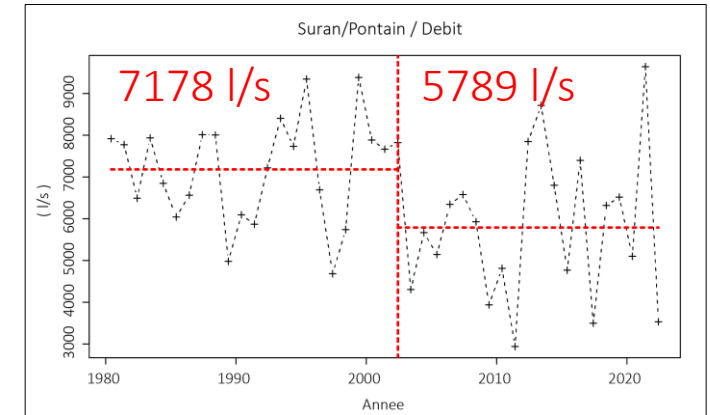
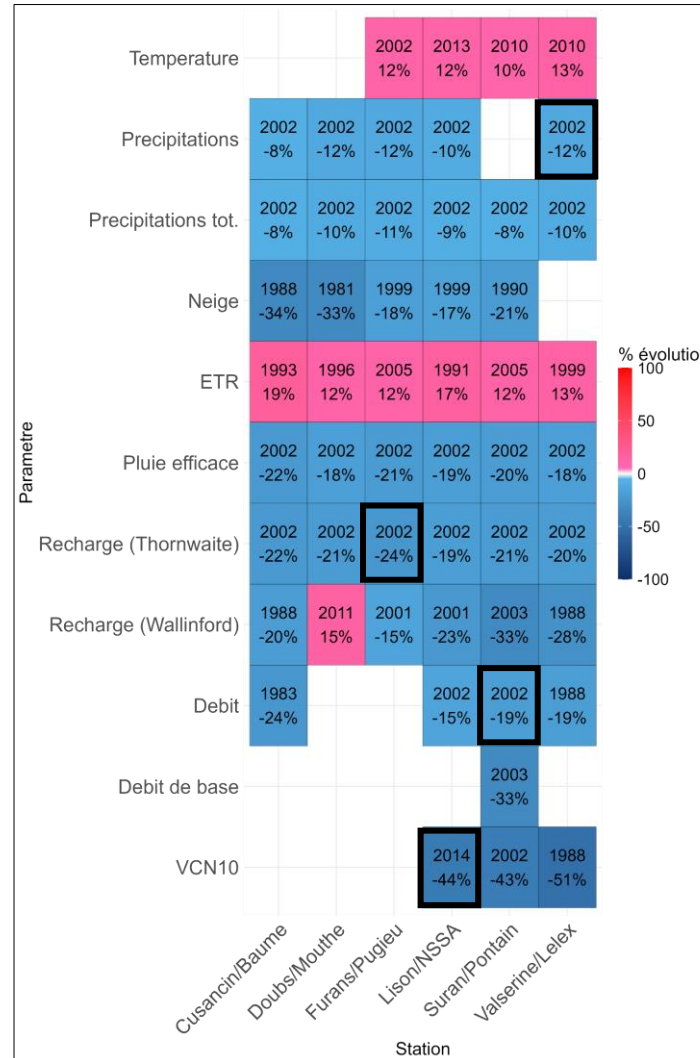
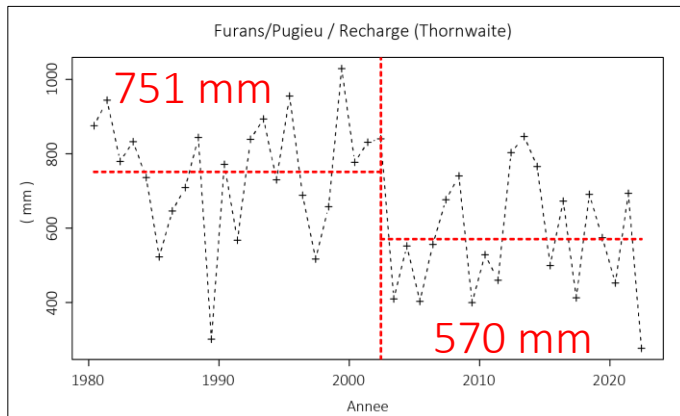
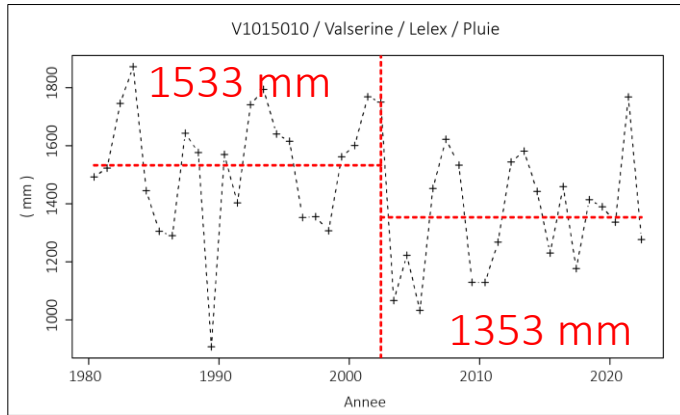
Stationnarité par station et paramètre



Stationnarité à l'échelle annuelle - tendances

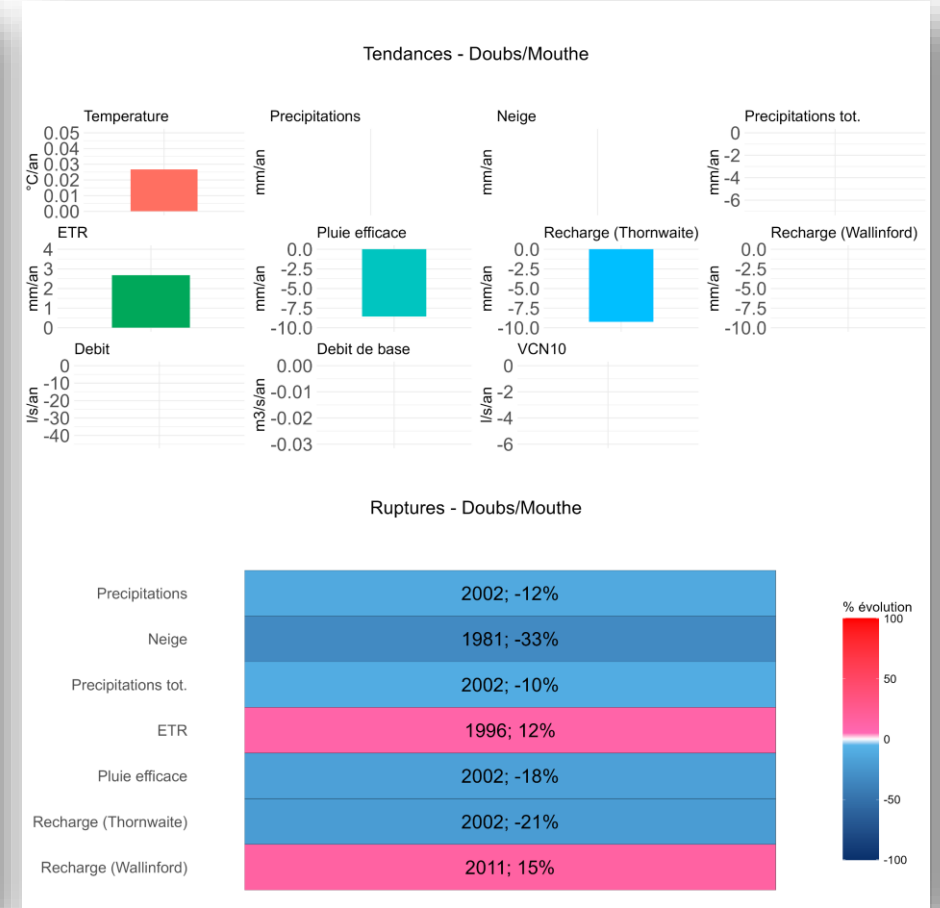
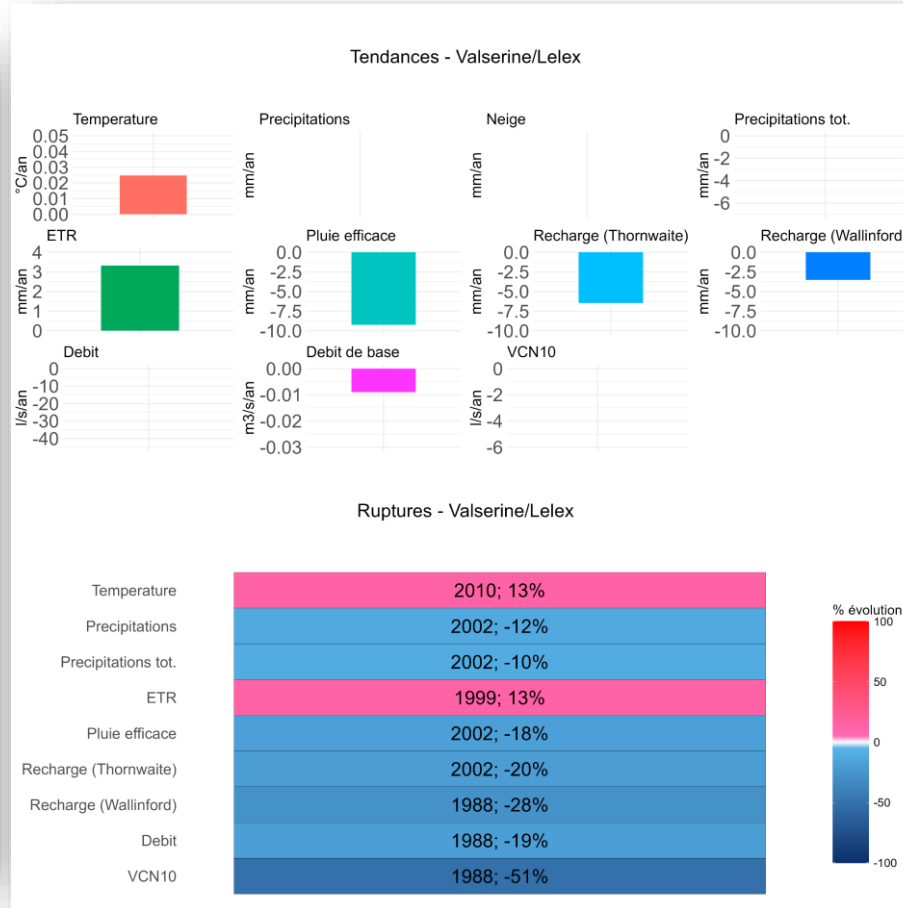
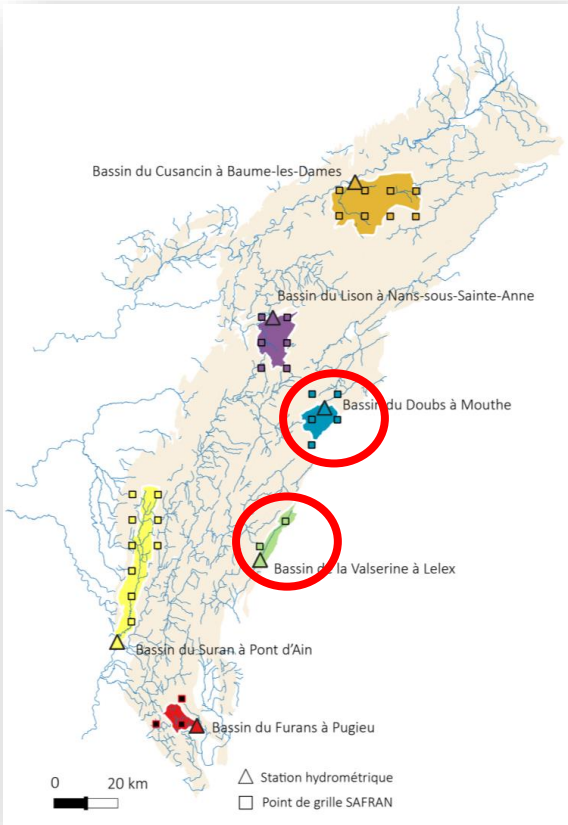


Stationnarité à l'échelle annuelle - ruptures



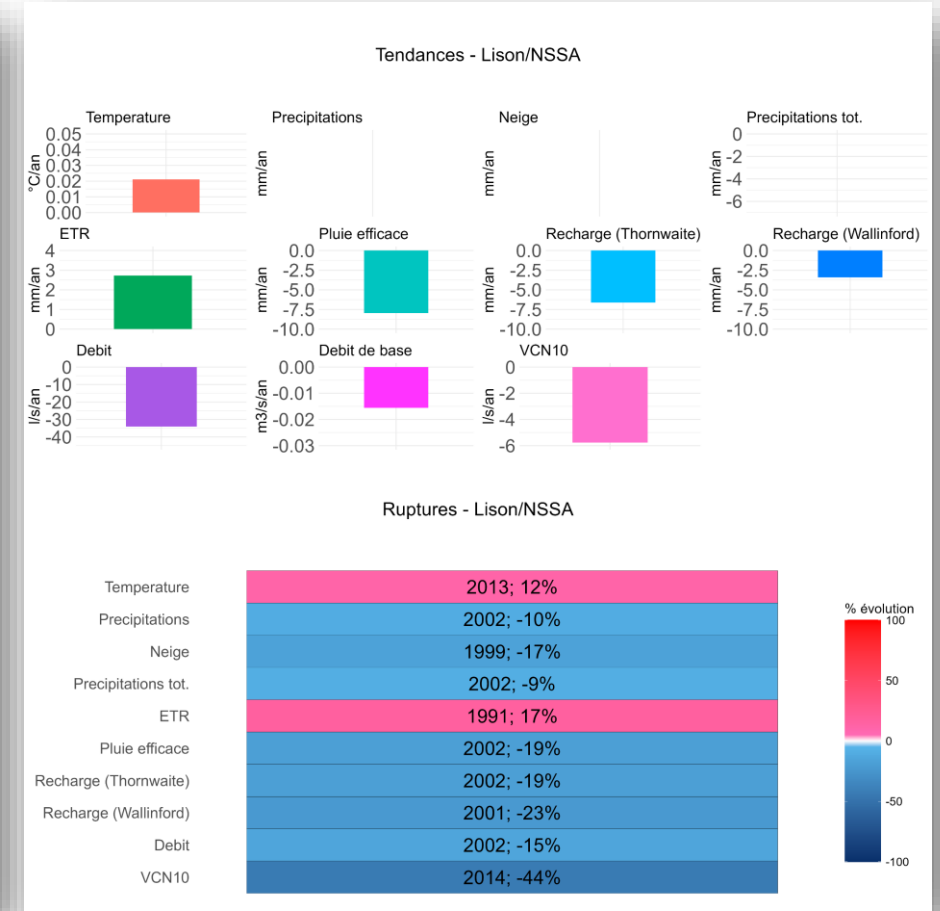
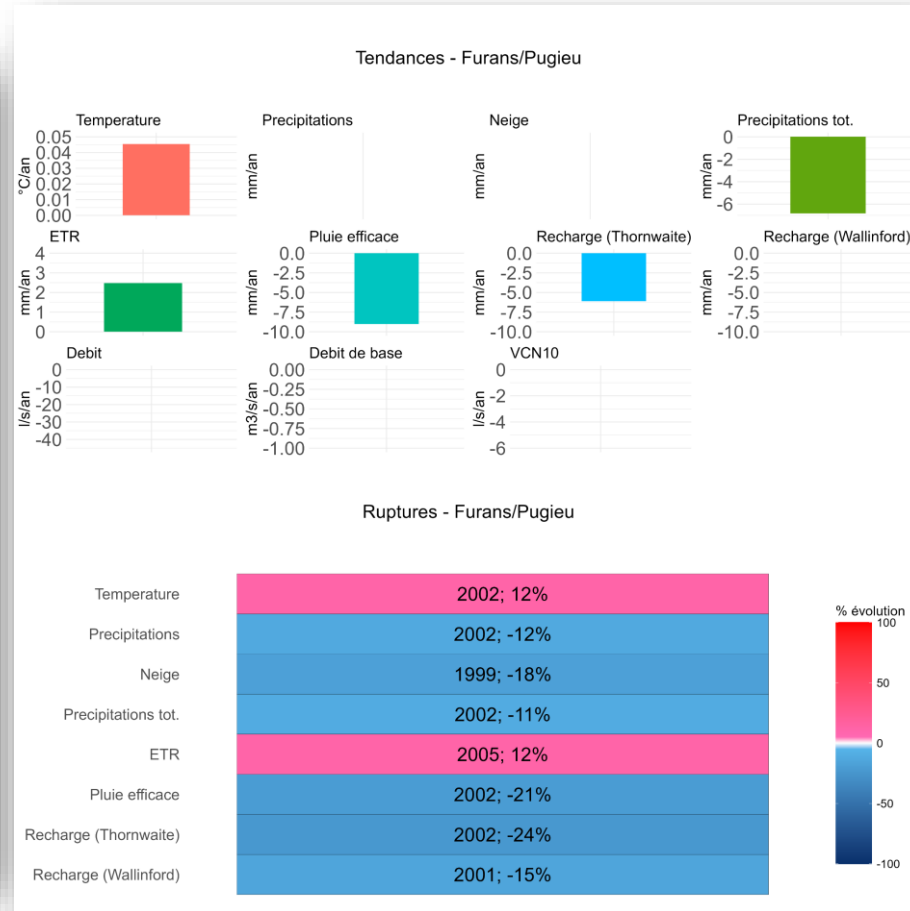
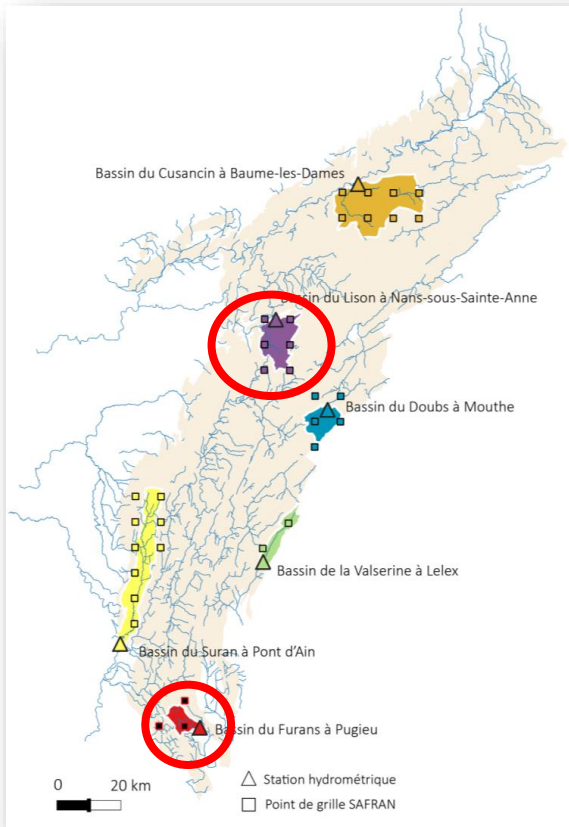
Stationnarité à l'échelle annuelle

- Haute-Chaîne



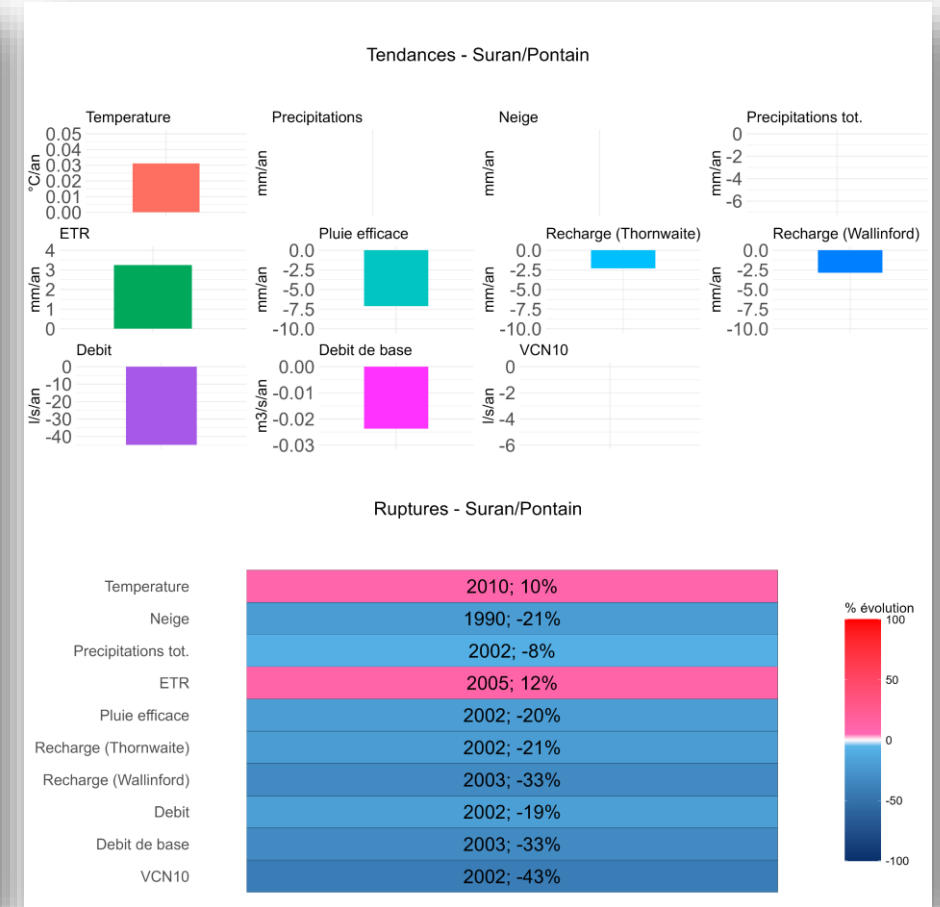
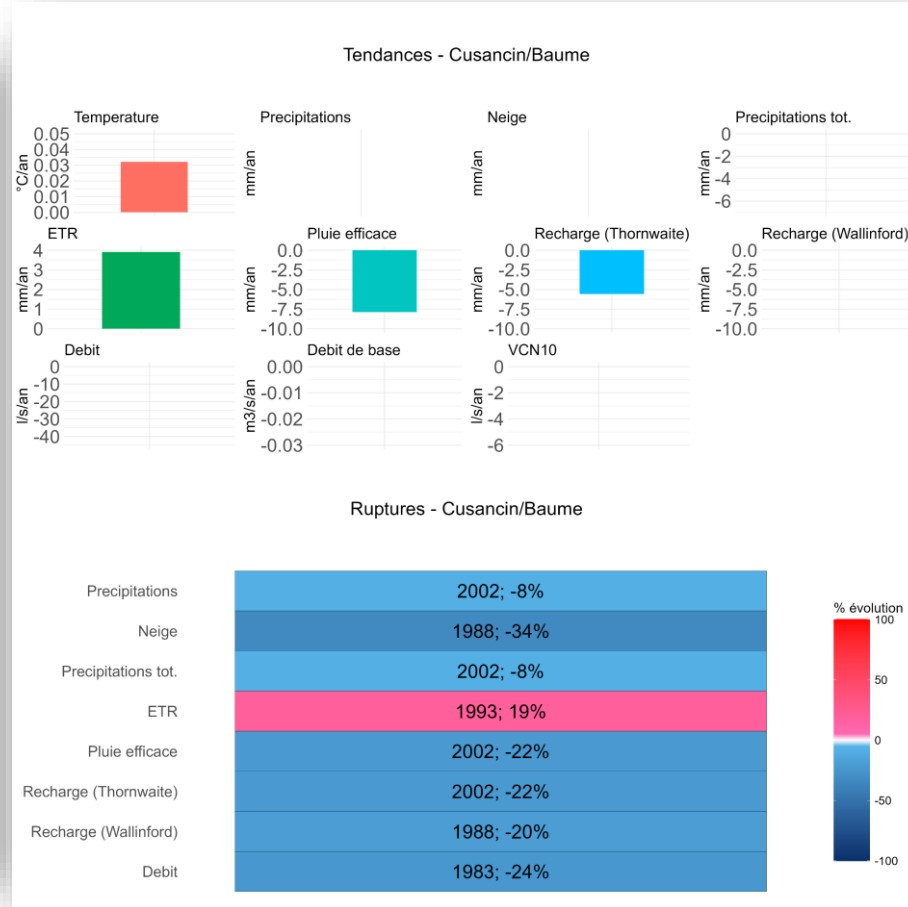
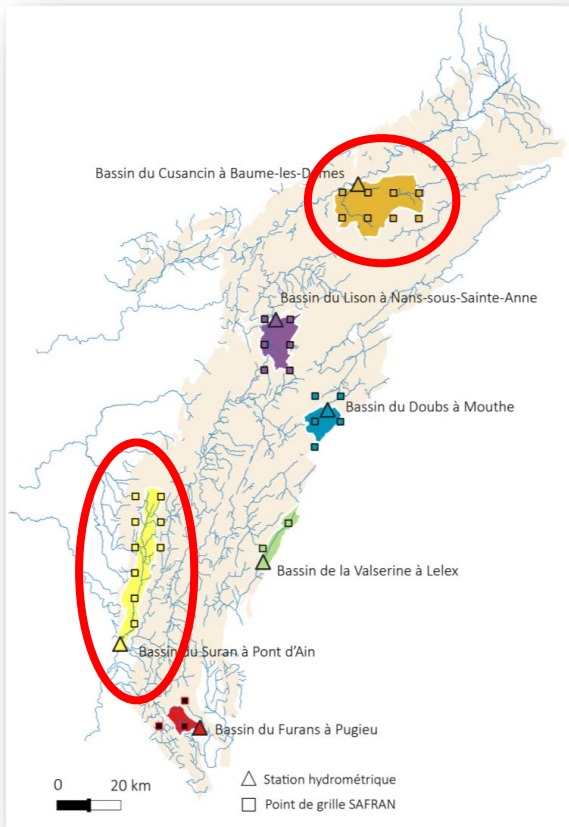
Stationnarité à l'échelle annuelle

- Deuxième Plateau

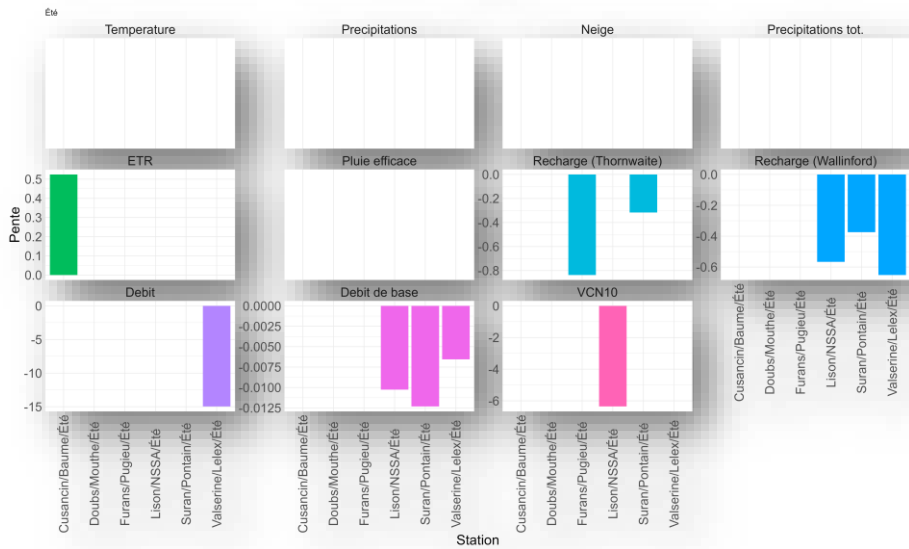
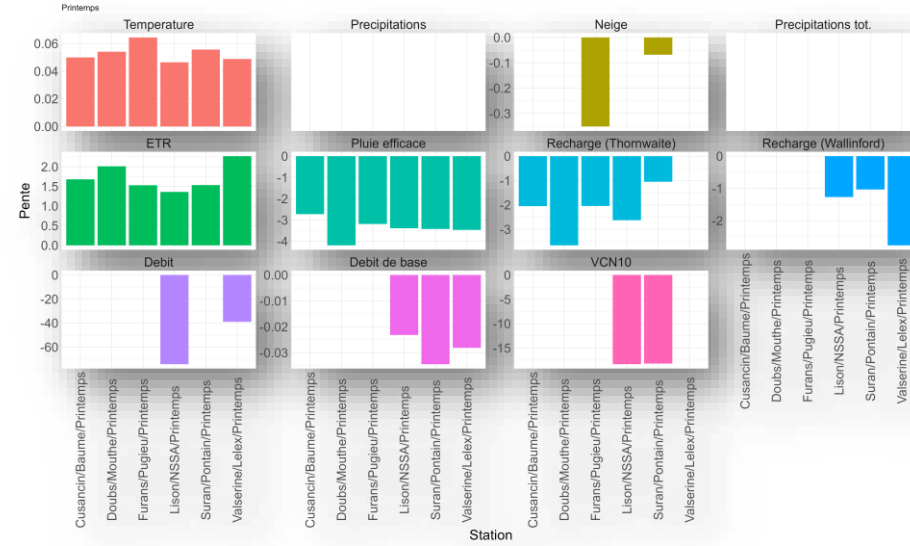
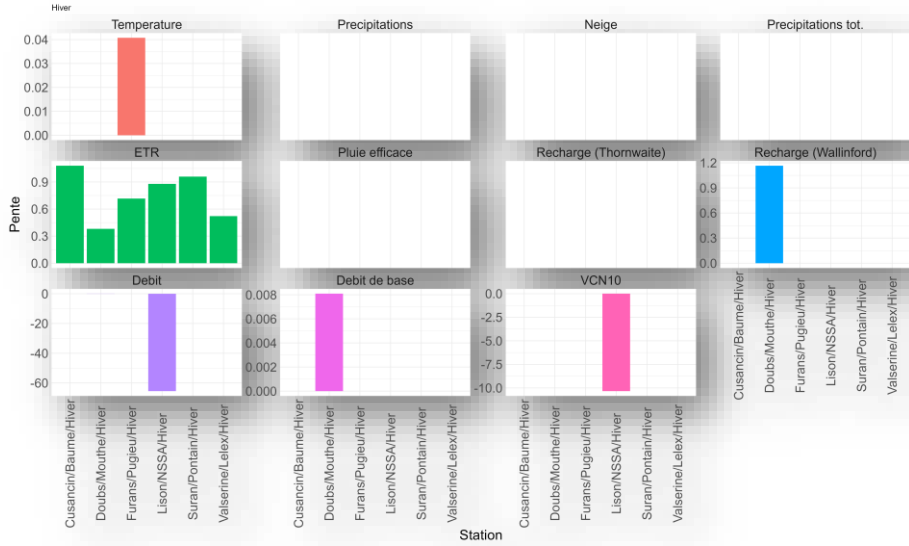


Stationnarité à l'échelle annuelle

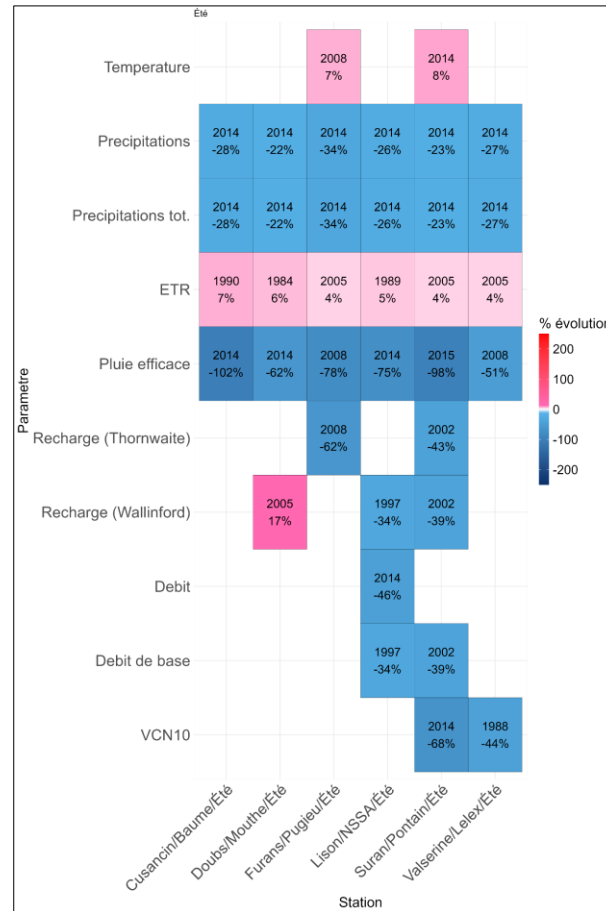
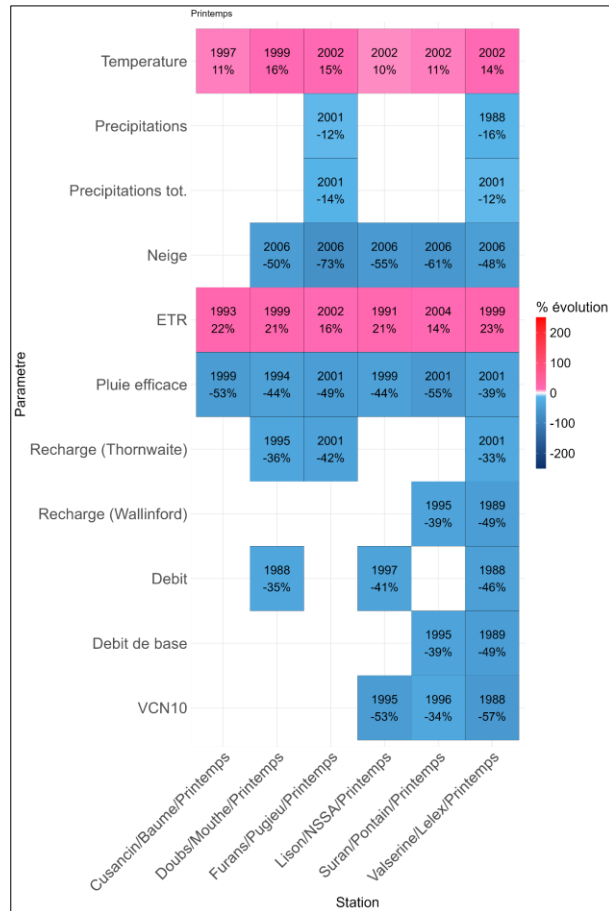
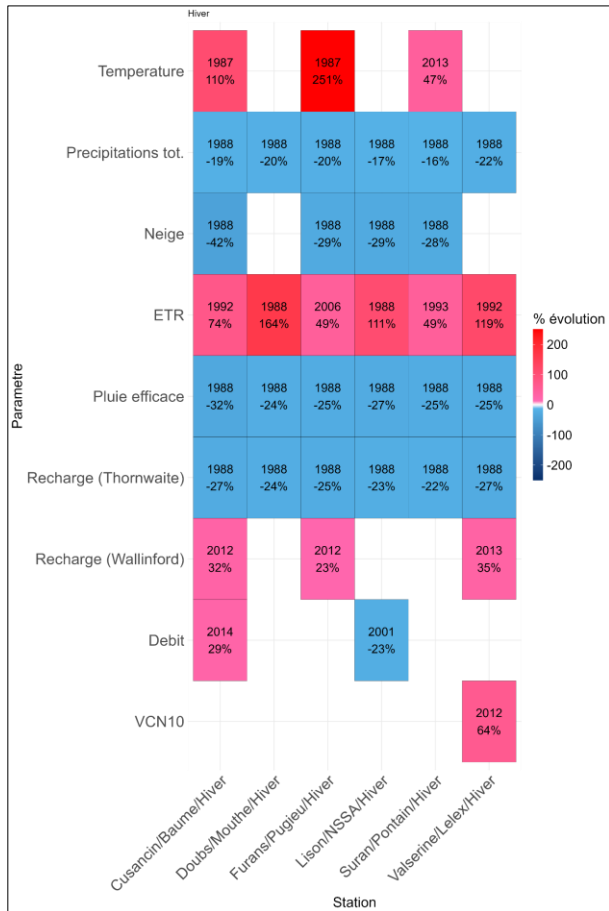
- Premier Plateau et Avant-Monts



Stationnarité à l'échelle saisonnière - tendances



Stationnarité à l'échelle saisonnière - ruptures



Interactions/influences

- Précipitations efficaces jouent un rôle central > représentent l'eau directement disponible pour alimenter les écoulements de surface et les réserves souterraines ;
- Débits d'étiage (VCN10) et les débits de base > fortement corrélés avec la recharge du karst ;
- Recharges directement influencées par les précipitations hivernales > détermine pour partie les réserves pour les étiages estivaux. Baisse notable des précipitations hivernales impacte significativement la recharge + augmentation de l'ETR (notamment estivale) exacerbant les déficits hydriques estivaux.

Tendances Temporelles

Absence stationnarité généralise avec tendances/ruptures convergent vers une raréfaction inquiétante de la ressource en eau, quelques exemples :

- Températures : Augmentation tendancielle significative dans toutes les stations (+0.3 à +0.5 °C par décennie) ;
- Précipitations : Ruptures observées sur 5 stations en 2002 ;
- Précipitations efficaces/recharges/débits : marquées par des tendances/ruptures quasi généralisées et dans certains cas particulièrement importantes (cas du Lison à NSSA)

Différences Fonctionnelles et typologie :

- Haute-Chaîne (Doubs, Valserine) : Faible variabilité hydrologique (précipitations/recharge/Q), mais impact de la diminution des précipitations neigeuses (printemps - 50 %).
- Deuxième Plateau (Lison, Furans) : Variabilité hydrologique modérée > mixité flux de surface/souterrain et une capacité intermédiaire d'adaptation.
- Premier Plateau (Cusancin, Suran) : Dépendance forte aux flux de surface, vulnérabilité accrue aux sécheresses prolongées.

Tendances Temporelles

- Hiver/printemps : Réduction des précipitations efficaces, impact direct sur la recharge hivernale et disponibilité estivale + impact pluriannuel de recharges déficitaires (âge de l'eau en étiage souvent > 5 ans) ?
- Été : Augmentation de l'ETR et accentuation des périodes d'étiage prolongées /rôle de l'évaporation sur la diminution des débits d'étiage des rivières ? + séquences d'étiage deviendraient plus longues (comme pour l'étiage 2018 qui a duré près de six mois), avec notamment un démarrage plus précoce dans l'année (couvert neigeux absent).

Typologie

- Basculement typologique : Les bassins du "Deuxième Plateau " risque de basculer vers une dynamique plus proche du "Premier Plateau« , même chose pour Haute-Chaîne > "Deuxième Plateau "
- Prendre en considération les paramètres structurels (nature des réservoirs/karstification) en plus des paramètres conjoncturels

Changement climatique

- Mettre en perspective ces résultats avec les travaux sur le CC notamment sur des paramètres comme la recharge/débits.



Des questions ?