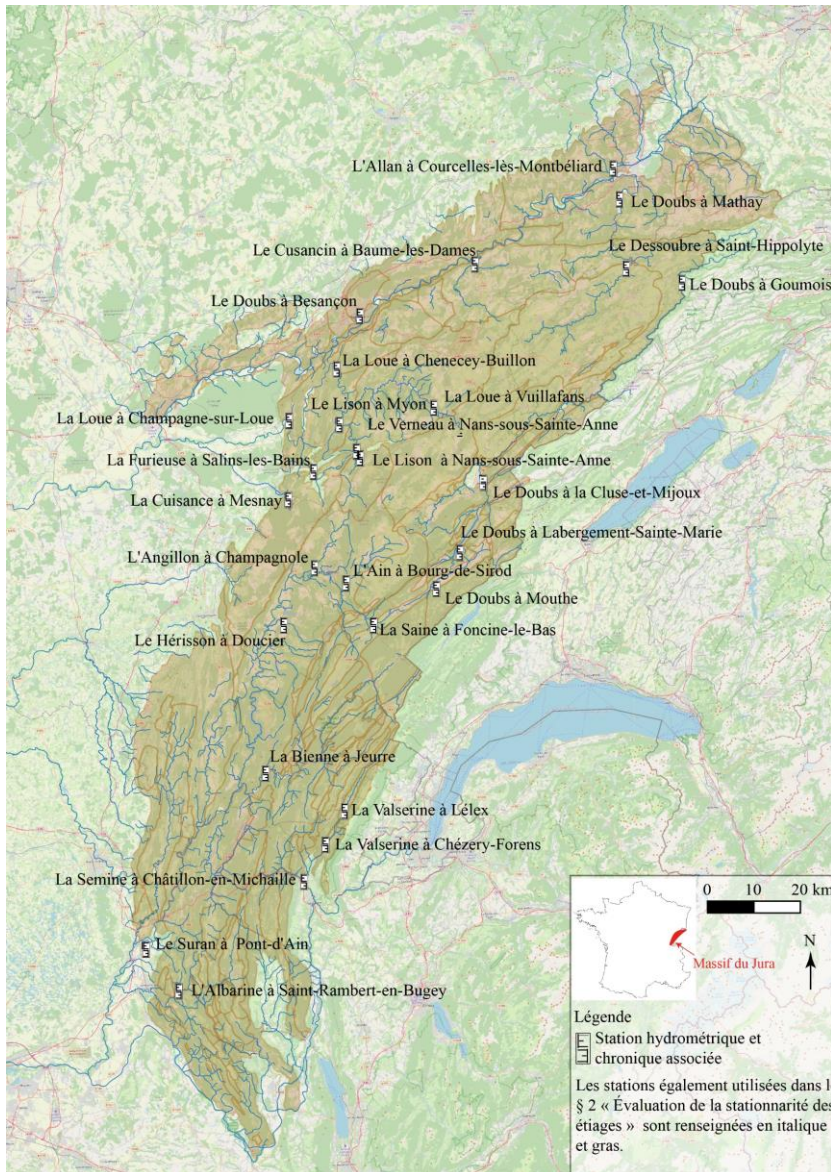


#connaître #partager #accompagner

Article : «Les étiages des rivières du massif du Jura : analyses statistiques et processus associés »



- Démarche de caractérisation des étiages portée sur les VCN10 soit les débits moyens minimums de l'année calculés sur 10 jours consécutifs
- 28 stations réparties sur tout le massif du Jura avec une concentration plus importante dans la partie centrale
- Chroniques communes et complètes sur la période 1980-2022 (pas de comblement de lacunes : complexité liée au contexte karstique)
- Stations reconnues comme non influencées sur Hydroportail

Influence locale

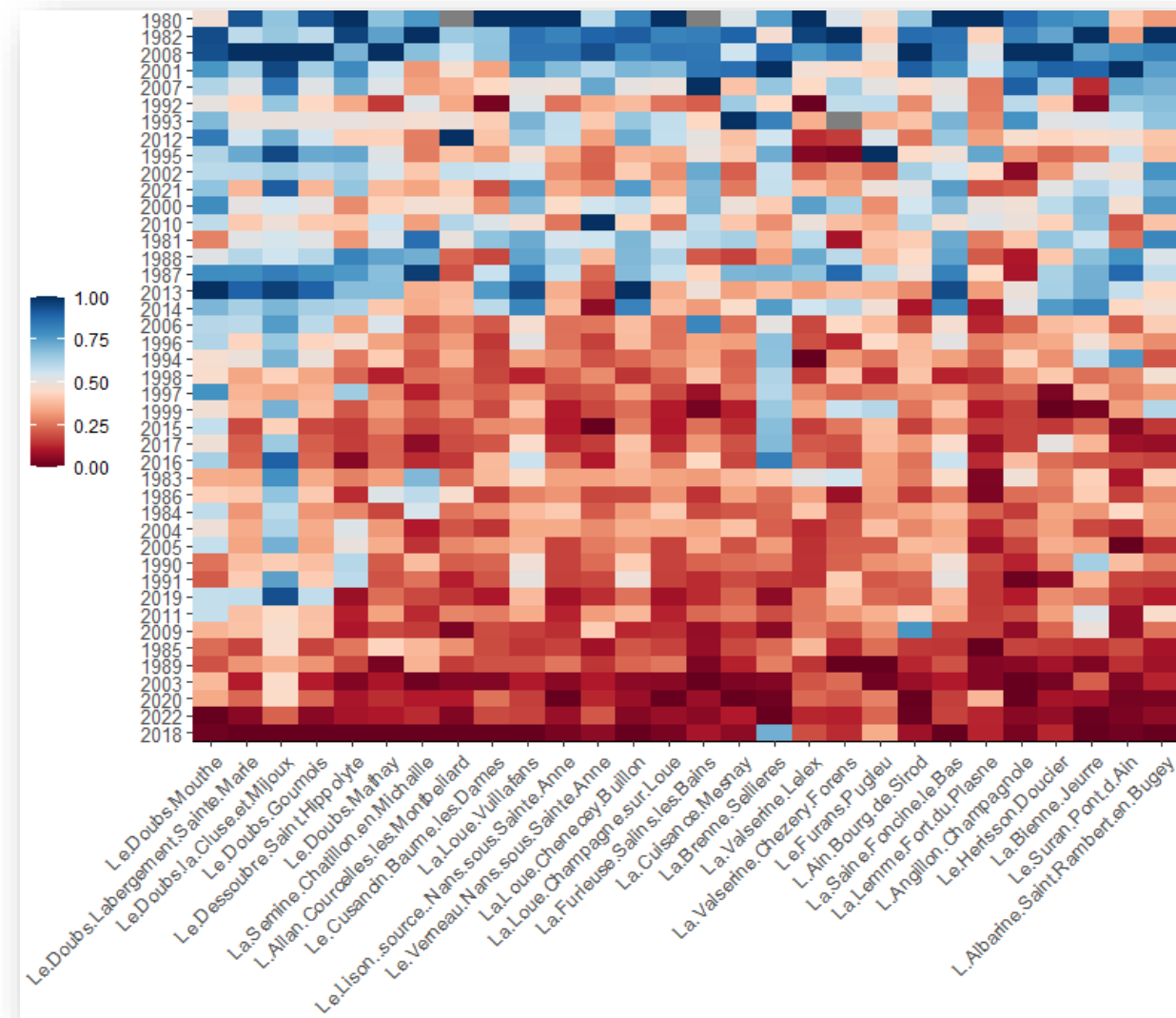
Influence nulle ou faible

Qualités de la station

Basses eaux : Données bonnes

Moyennes eaux : Données bonnes

Hautes eaux : Données bonnes

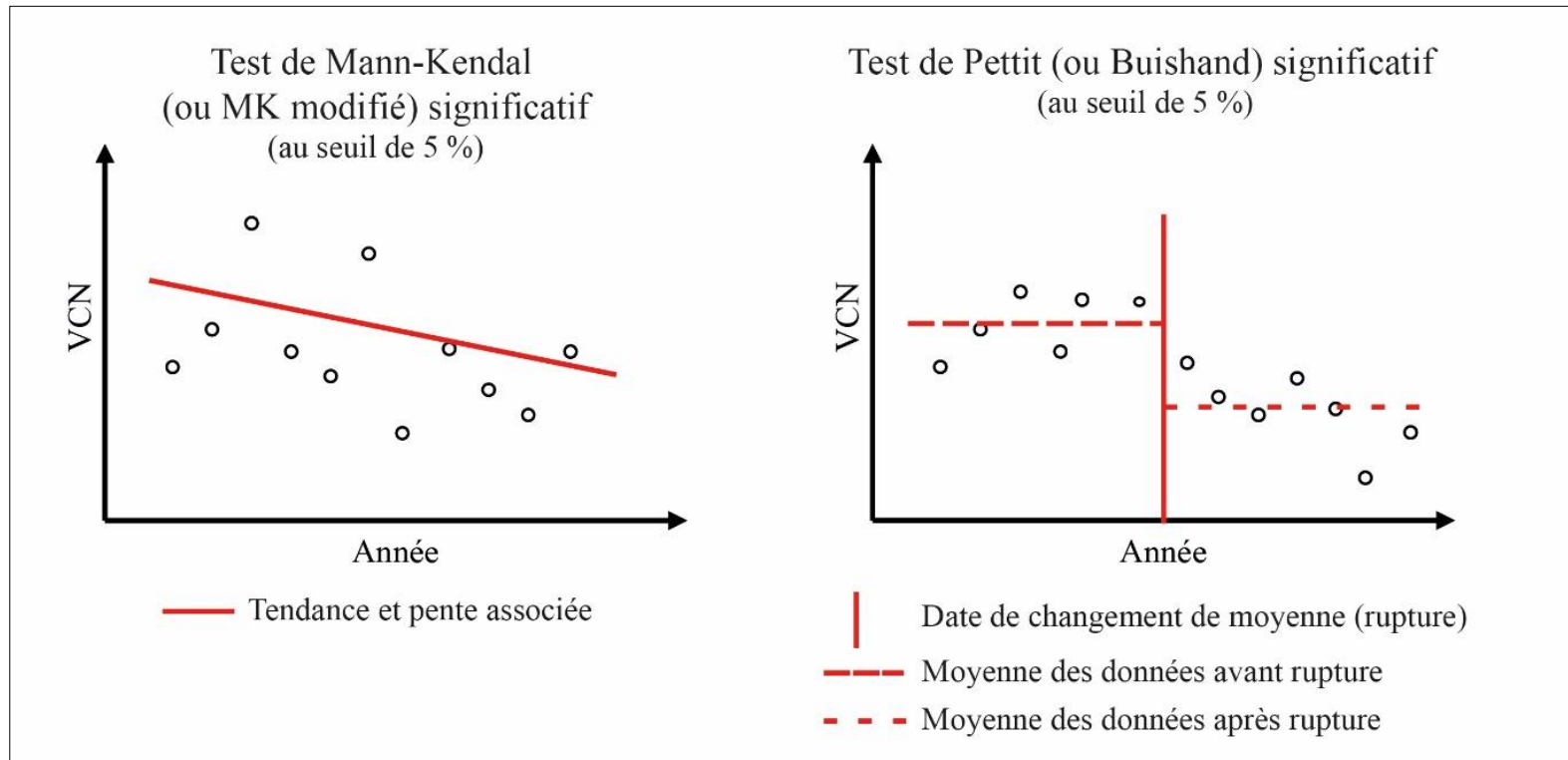


- Standardisation des VCN 10 annuel d'une 30aine de stations du massif sur la période 1980/2022
- Pour chaque station, 43 rectangles dont la couleur varie en fonction de la sévérité de l'étiage : du bleu foncé lorsque l'étiage est très peu marqué au bordeaux foncé lorsque l'étiage est très important.
- En sommant par année les valeurs, il est facile d'ordonner les étiages sur le lot de stations et d'organiser la heatmap (ici classement par ordre décroissant des Q)
- Sur cette chronique de plus de 40 ans, les trois étiages les plus importants ont été relevés sur les rivières du massif lors des cinq dernières années : en 2018, 2022 et 2020

1^{ère} question : Identifier si cette récurrence traduit de véritables tendances statistiques à la baisse des débits de (très) basses eaux ou si ce sont des épisodes isolés dans le temps et dans l'espace ?

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

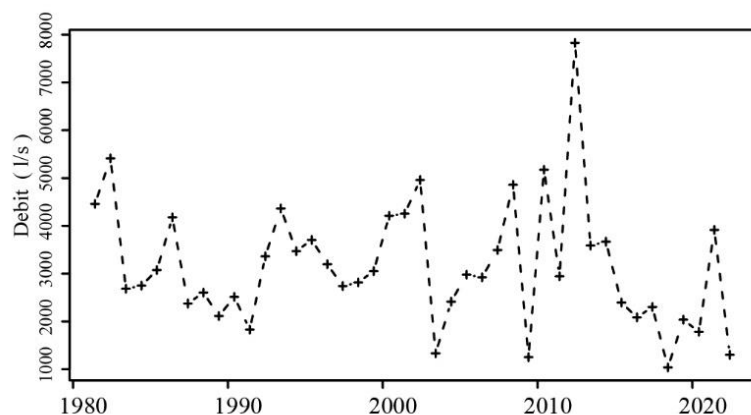
- Le test non-paramétrique de Mann-Kendall pour valider ou invalider une tendance ;
- Le test non-paramétrique de Pettit pour valider ou invalider une rupture.



- 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

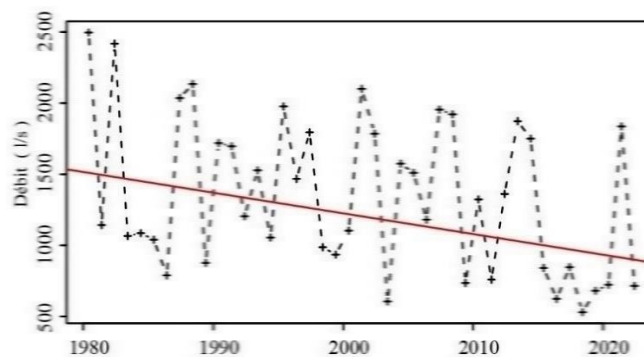
Deux configurations

VCN stationnaires dans le temps

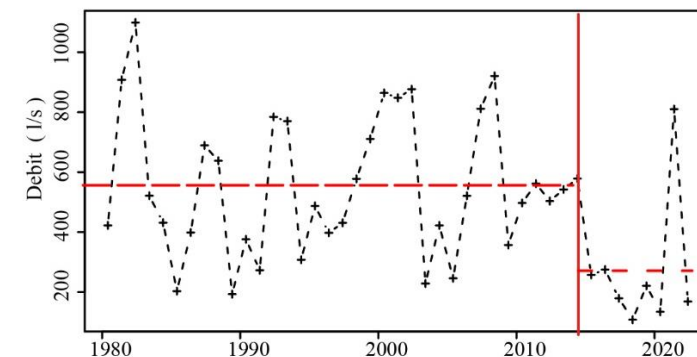


Pas d'évolution significative des débits d'étiage sur la chronique considérée

VCN non-stationnaires dans le temps



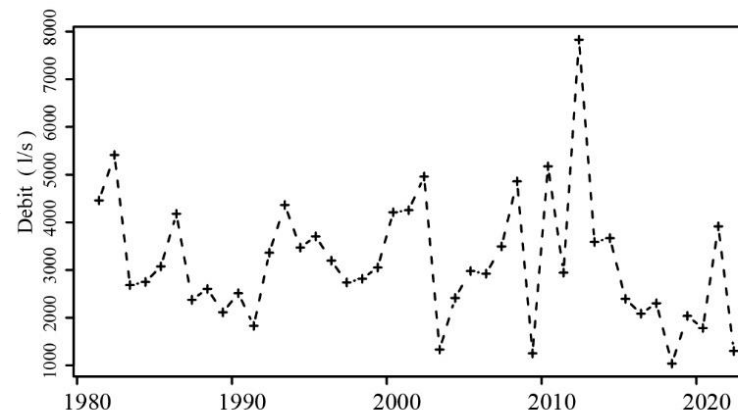
Tendance (MK) significative (à 5%) à la baisse des débits d'étiage et pente associée



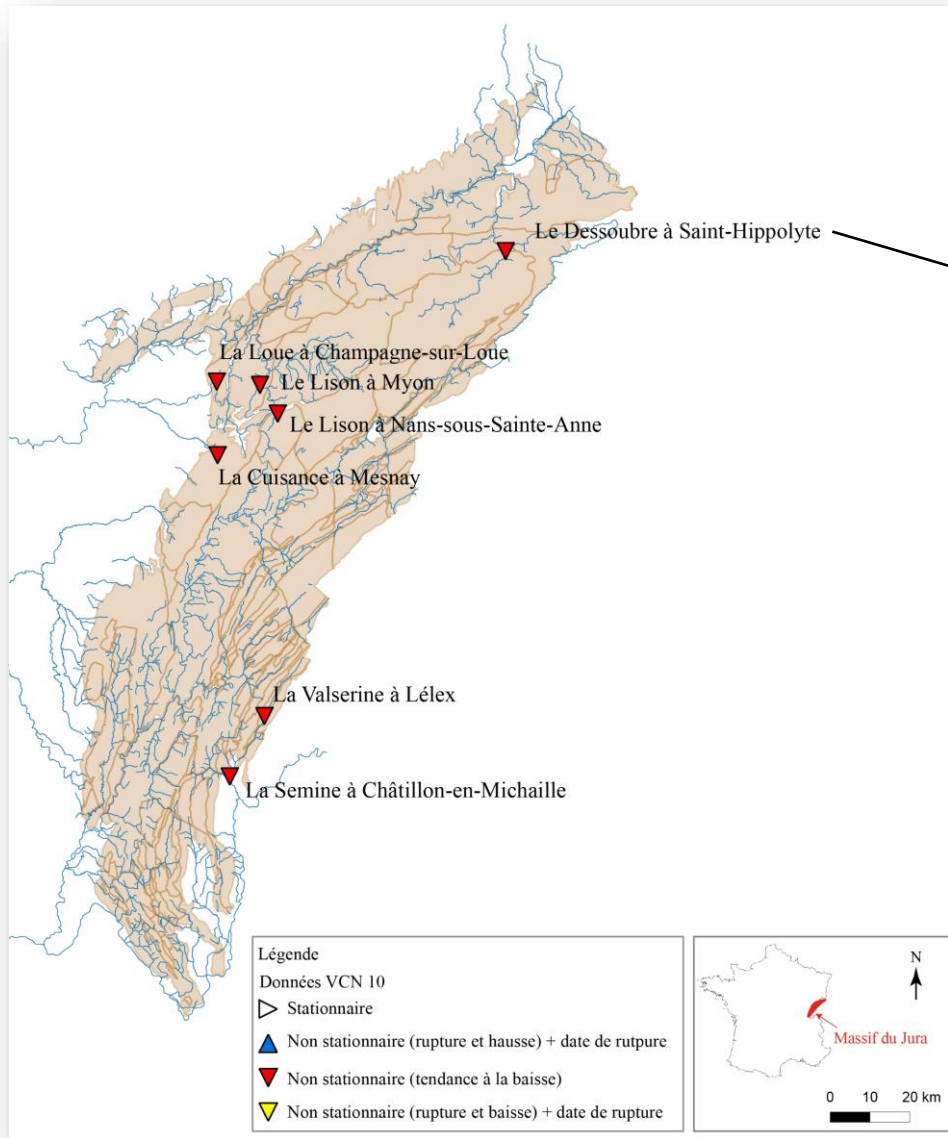
Rupture (Pettit) significative (à 5%) avec date de rupture et moyenne anté et post rupture



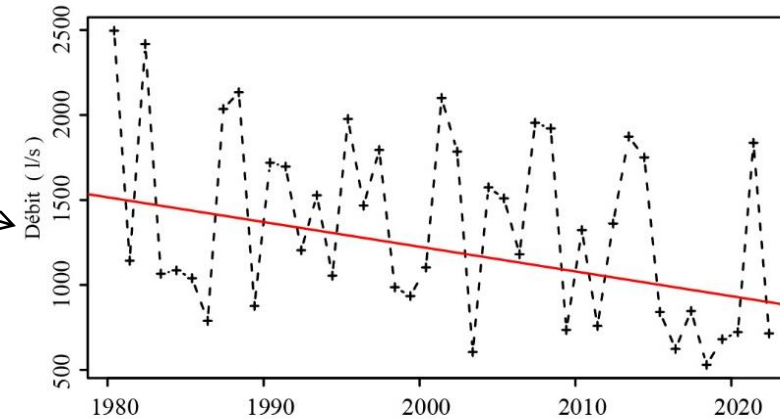
Configuration « VCN10 stationnaire »



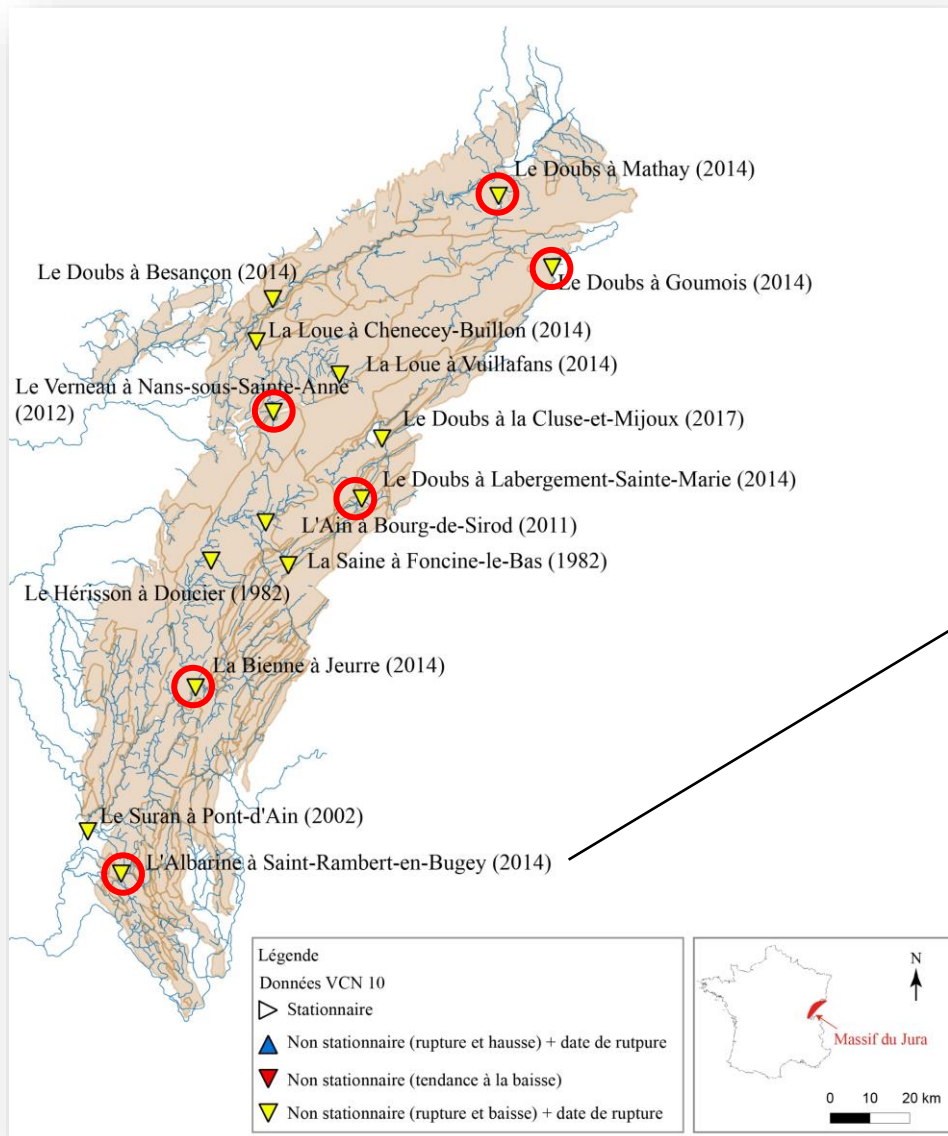
- Tests de tendance et de rupture ne sont pas significatifs
- Configuration représentée par 7 stations soit un quart du panel
- Pas d'organisation spatiale



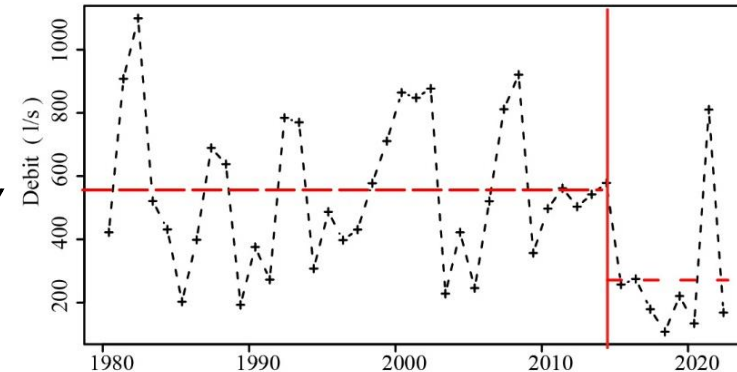
Configuration « VCN10 non stationnaire » et tendance à la baisse



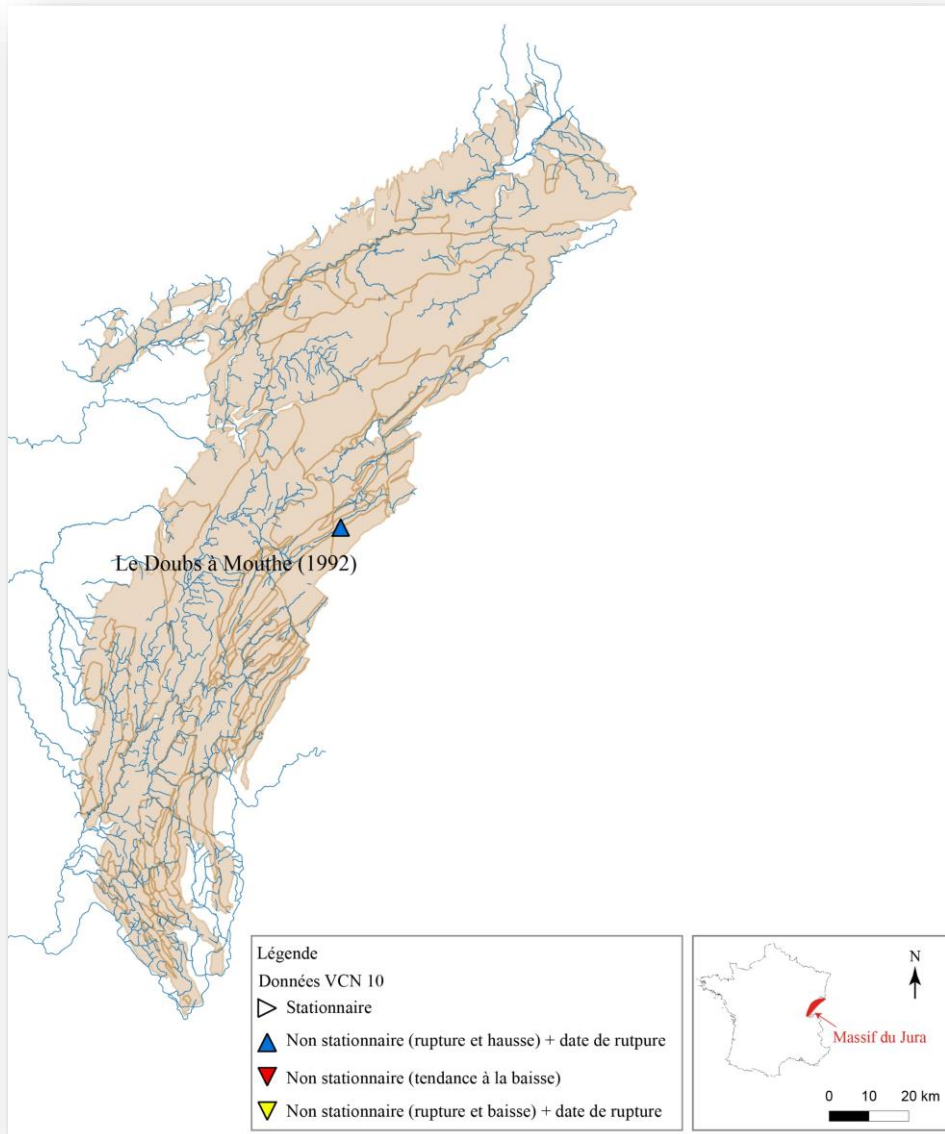
- Tests de MK significatifs avec pentes très variables
- Configuration représentée par 7 stations soit un quart du panel
- Caractère presque « rassurant » : pas (encore) de tendance à la baisse généralisée



Configuration « VCN10 non stationnaire » avec rupture et baisse de moyenne



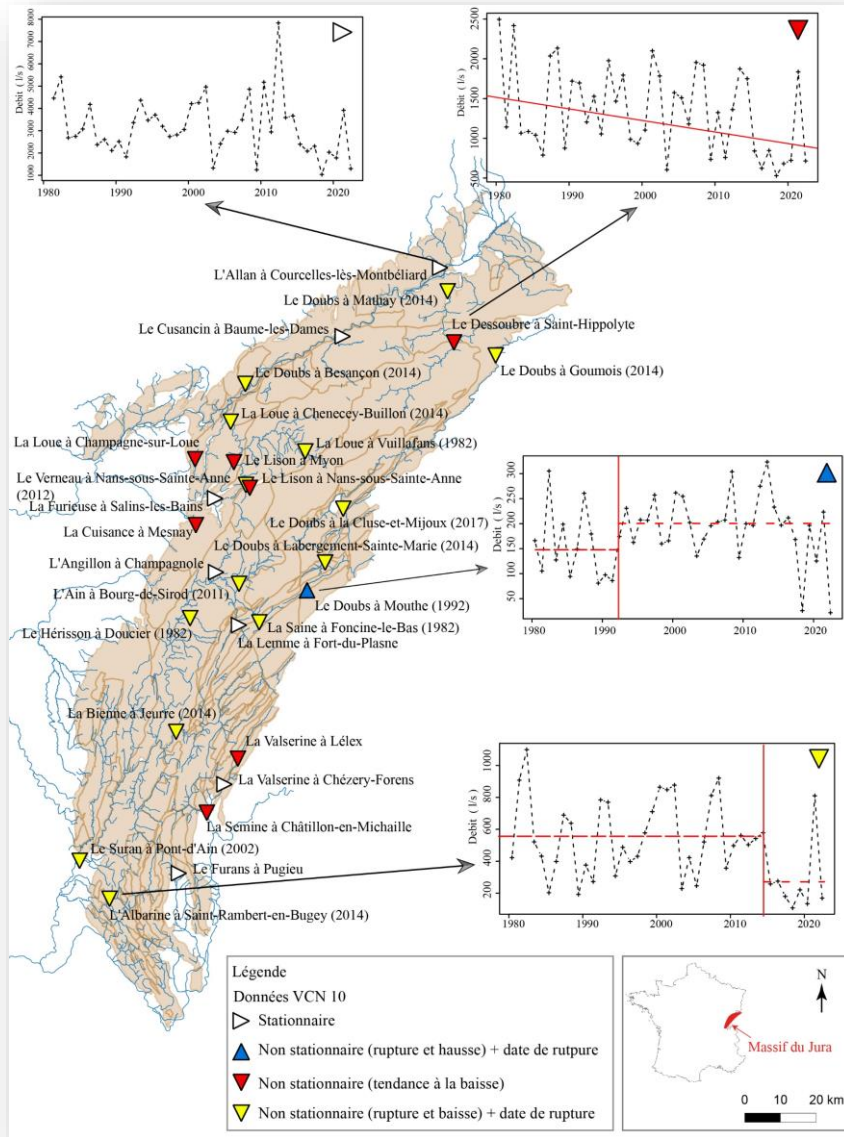
- Tests de Pettit significatifs
- Configuration dominante avec la $\frac{1}{2}$ du panel
- Rupture qui s'individualise très majoritairement à l'année 2014 avec des sauts de moyenne très marqués (moyenne après rupture souvent $<$ à 30 voire 50 % de la moyenne avant rupture) : poids des épisodes récents



Configuration « VCN10 non stationnaire » avec rupture et hausse de moyenne

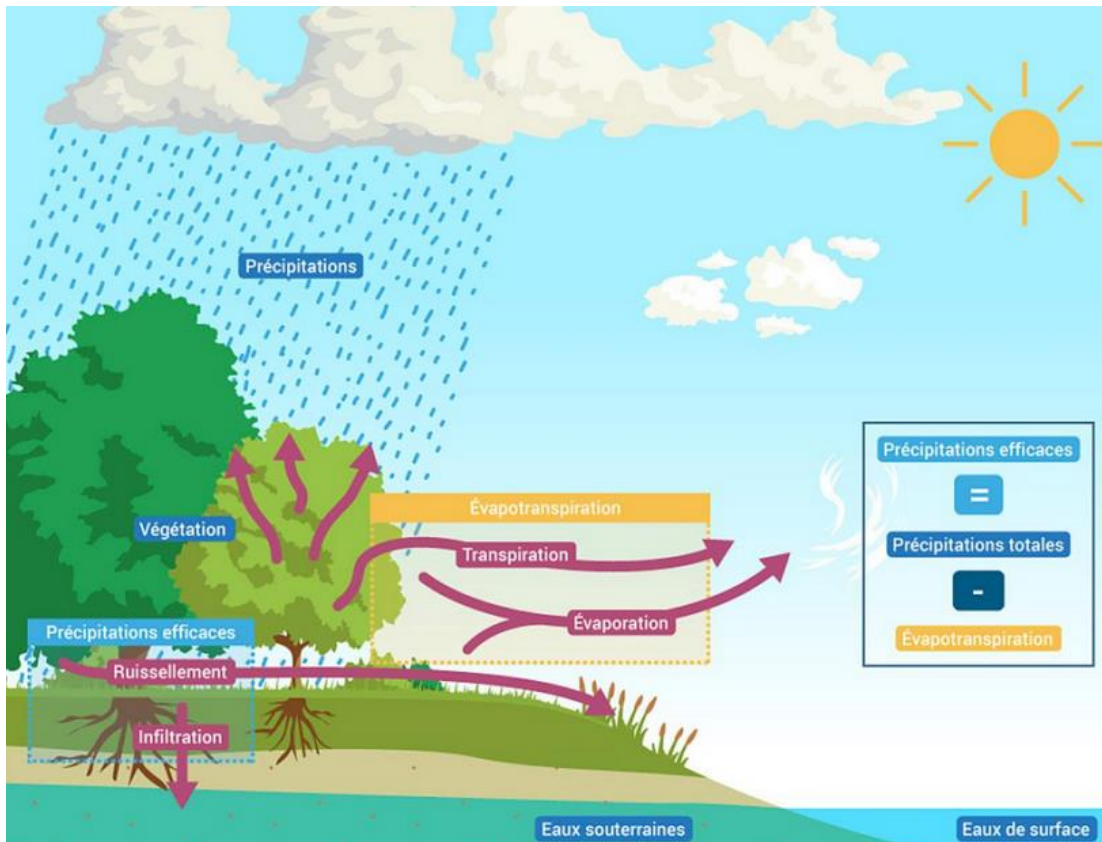


- Tests de Pettit significatifs
- Configuration marginale
- Origine anthropique fortement soupçonnée (AEP ?) : importance du choix des stations retenues



- Trois dernières configurations, avec VCN non stationnaires dans le temps, représentent 21 stations sur 28
- Proportion qui amène à répondre positivement à la question : « *les étiages des rivières du massif du Jura connaissent-ils des évolutions significatives dans le temps ?* » (1980/2022)
- Une nouvelle « norme » hydrologique estivale ? Si les tests de rupture semblent effectivement aller dans ce sens pour un certain nombres de stations, avec des débits d'étiage plus faibles actuellement que par le passé, un peu précipité pour l'instant d'étendre ce constat à l'ensemble du massif
- Peu ou pas de structure spatiale

Hypothèse : Les tendances décelées sur les données d'étiage ont une origine climatique (Floriancic et al., 2020)



source : EauFrance

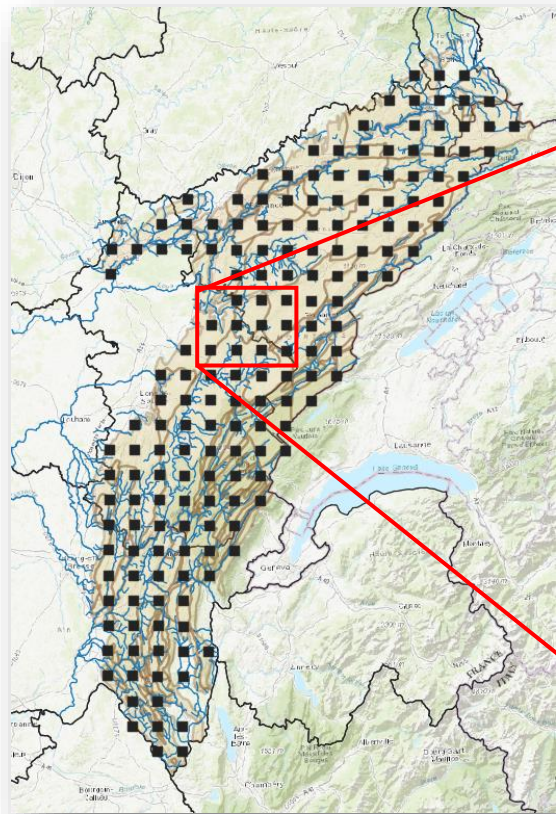
- S'intéresser aux termes du bilan hydrologique :

- ✓ Les sorties du système : débit et évapotranspiration
- ✓ Les entrées du système : les précipitations (et Pefficaces)
- ✓ Les modalités d'écoulement : ruissellement vs infiltration et recharge

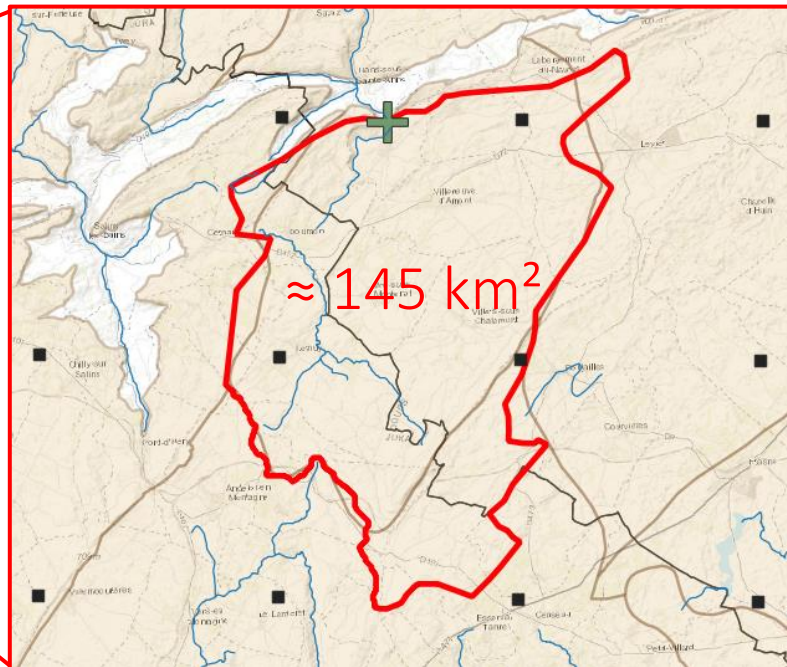
2^e question : Est-il possible d'établir des liens simples entre les débits d'étiage (et leur évolution) et les paramètres qui contrôlent les écoulements ?

➤ Vers une analyse des données climatiques à l'échelle d'un bassin karstique

Recours aux données SAFRAN (Météo-France) : schéma d'analyse qui permet d'obtenir des données pour de nombreux paramètres climatiques (les précipitations liquides, solides, les pluies efficaces, la température moyenne quotidienne, l'évaporation réelle, l'évapotranspiration potentielle) à partir des observations locales



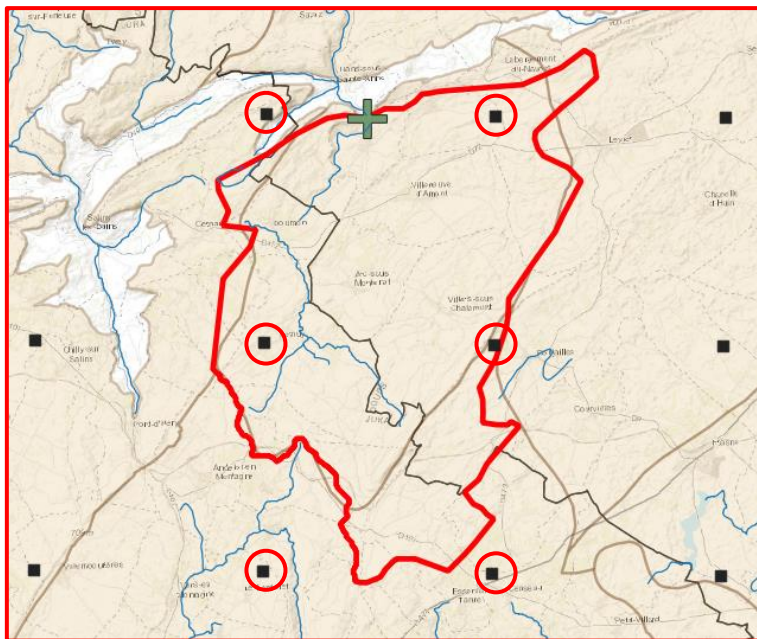
Démarche à l'échelle du bassin du Lison



- Limites plutôt bien circonscrites par les traçages
- Fonctionnement karstique et débit de source (eau considérée comme 100 % d'origine souterraine)
- Faible apport nival
- Q étiage présentant des tendances significatives à la baisse

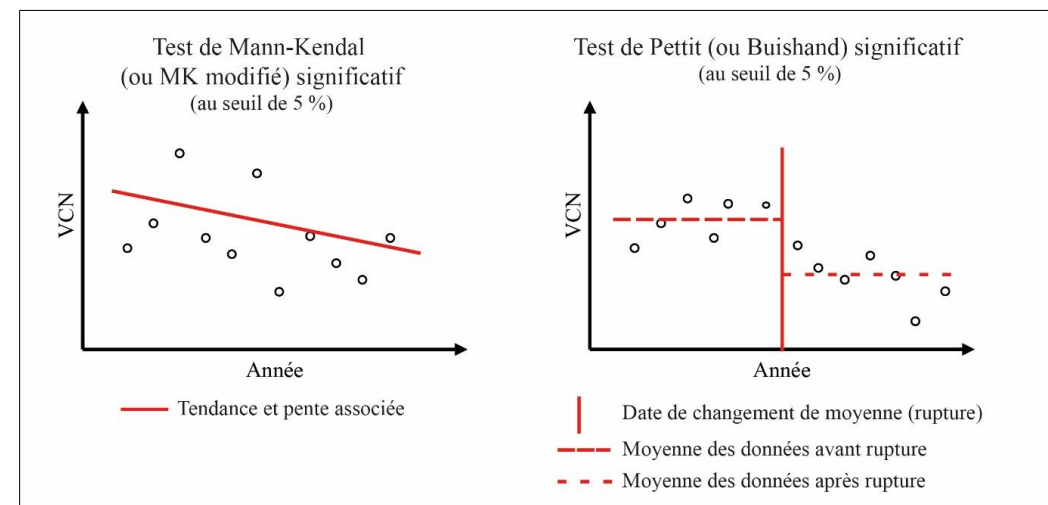
• Données : Météo-France

➤ Stationnarité hydro-climatique inter-annuelle

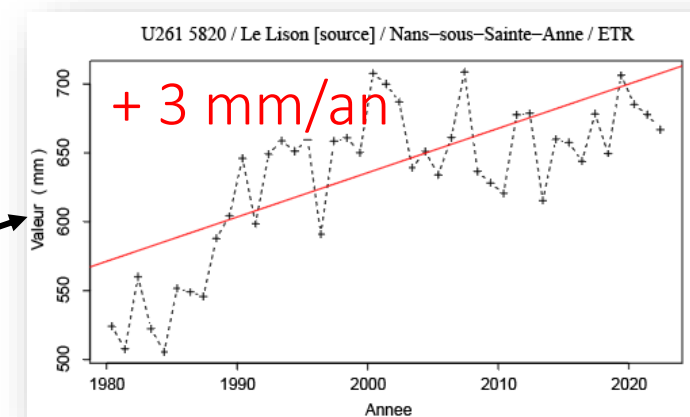
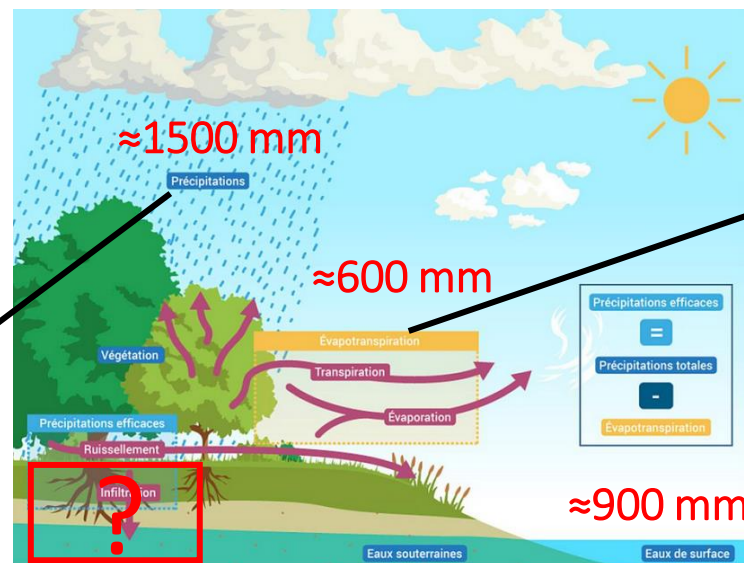
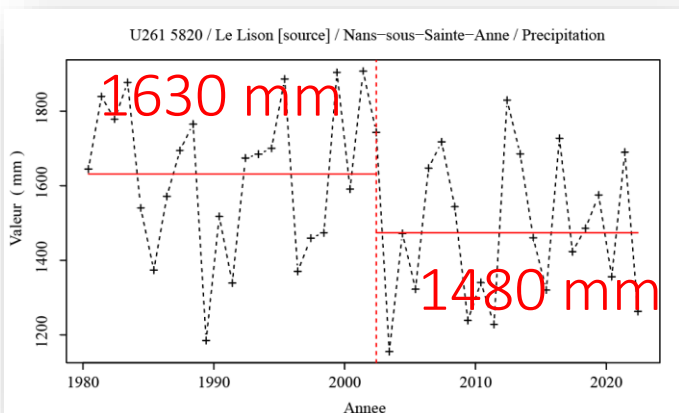


LAMBX	LAMBY	DATE	PRENEI_Q	PRELIQ_Q	PTOT	T_Q	EVAP_Q
876000	2209000	01/01/1980	0,1	0	0,1	-2,5	0
876000	2217000	01/01/1980	0,1	0	0,1	-2,2	0
876000	2225000	01/01/1980	1,9	0	1,9	-1,8	0
884000	2209000	01/01/1980	1,9	0	1,9	-3,7	0
884000	2217000	01/01/1980	1,9	0	1,9	-3,4	0
884000	2225000	01/01/1980	1,8	0	1,8	-2,8	0
		MOYENNE	1,28	0,00	1,28	-2,73	0,00

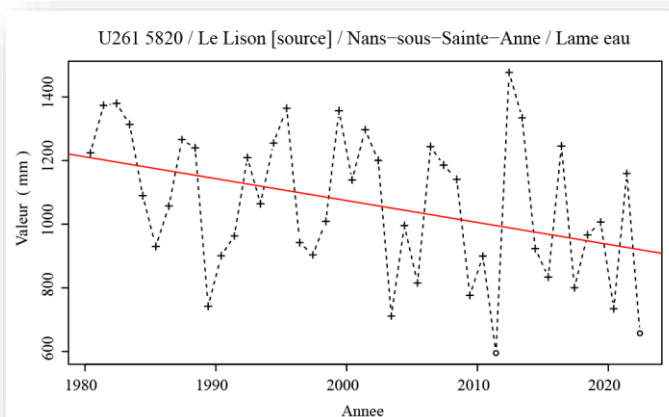
Date prelevement	Parametre	Valeur	Unite
1980	Precipitation	1644.616666666667	mm
1980	Temperature	7.26903460837887	°c
1980	ETP	597.4833333333333	mm
1981	Precipitation	1839.4	mm
1981	Temperature	8.1527397260274	°c
1981	ETP	589.5166666666667	mm



Stationnarité hydro-climatique inter-annuelle



- 6 mm/an soit - 30 l/s/an



- Légère rupture au niveau des P et tendance) l'augmentation de l'ETR



- Tendence significative à la diminution des débits sur le bassin à l'échelle inter-annuelle

➤ Stationnarité inter-annuelle de la recharge

Hypothèse : Les écoulements en période d'étiage sur le Lison vont être contrôlés par la recharge antérieure (état de remplissage du karst).

- Trois méthodes empiriques (Turc, Kessler et Guttman)

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

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

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

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

Mode d'emploi

- 1) Si vous souhaitez utiliser des nouvelles données : initialisez la feuille de calcul en cliquant sur le bouton ci-contre puis collez les nouvelles données journalières dans l'onglet "Données"
- 2) Cochez les méthodes qui doivent être appliquées sur les données, et renseignez les paramètres du tableau ci-dessous
- 3) Cochez la case ci-contre si vous souhaitez que les résultats soient exprimés par années hydrologiques plutôt que par années civiles
- 4) Lancez les calculs en cliquant sur le bouton "lancer les calculs"
- 5) Lorsque les calculs sont terminés, vous pouvez enregistrer la simulation réalisée en cliquant sur le bouton "Sauvegarder"

Année hydrologique

Propriétés	Unité	Valeur	Remarques
Surface de l'impluvium	km ²	1.44	Pour transformer la pluie efficace en volume infiltré (méthodes de bilan et Turc) et le débit de base en recharge
Ratio infiltration / Pluie efficace		0.6	Pour transformer la pluie efficace en recharge (méthodes de bilan et Turc). Vaut 0 si toute la pluie efficace ruisselle, vaut 1 si toute la pluie efficace s'infiltré.
Stock maximal dans le sol (mm)	mm	50	Paramètre nécessaire pour les méthodes de Thornthwaite et Dingman (R _{lmax})
Latitude	°	47	Paramètre nécessaire pour la méthode de Dingman - Hamon
Porosité efficace aquifère libre (Sy)			Paramètre nécessaire pour la méthode Water Table Fluctuation
Surface du bassin hydrogéologique	km ²	1.44	Surface à considérer pour convertir la recharge calculée par WTF en volume infiltré

Méthodes à tester

Estimation de la pluie efficace

Turc
 Thornthwaite
 Dingman - Penman
 Dingman - Hamon

Estimation directe de la recharge

Relation Empirique
 Kessler
 Water Table
 Filtes et BF1

Paramètres spécifiques

Végétation

Prise en compte du couvert végétal pour le calcul de l'ETR

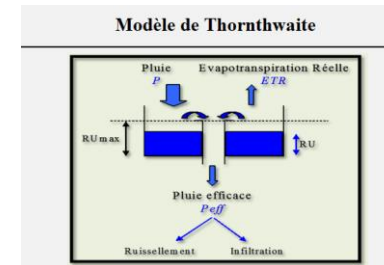
BF1 - Filtre Chapman&Maxwell ou Eckardt

BFmax	0.9	Valeur indicative pour BFmax (d'après Eckardt, 2005)
k	0.5	BFmax=1 : débit de source ; BFmax=0 : cours d'eau pérenne en milieu sédimentaire ; BFmax=0.5 : petit cours d'eau en milieu sédimentaire ; BFmax=0.25 en domaine de socle

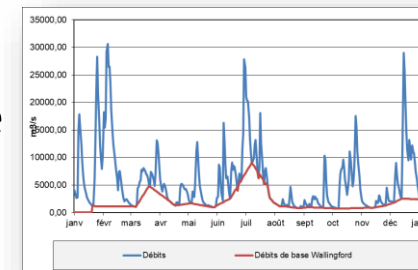
©EPRI&MERS, - 2015 - ESPERE version 112 - Light
 Contact : esper@brgm.fr

source : BRGM

- Trois méthodes de bilan hydrique du sol (d'après Thornthwaite, Dingman-Hamon et Dingman-Monteith)



- Trois méthodes de filtre des chroniques de débits (Wallingford, Chapman et Eckhardt)

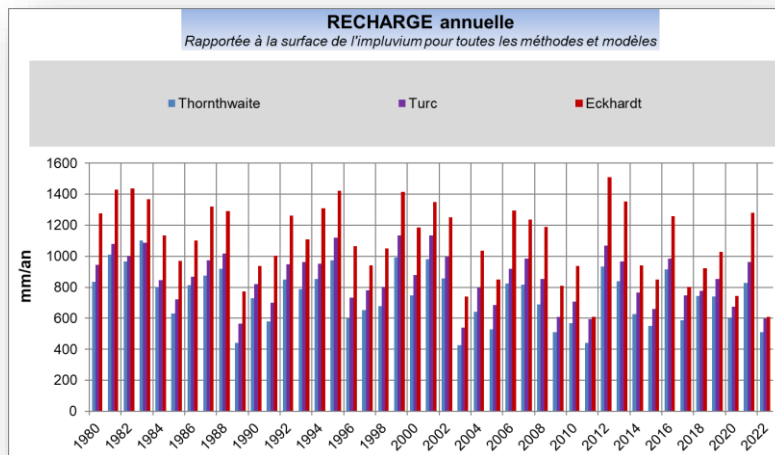


Stationnarité inter-annuelle de la recharge

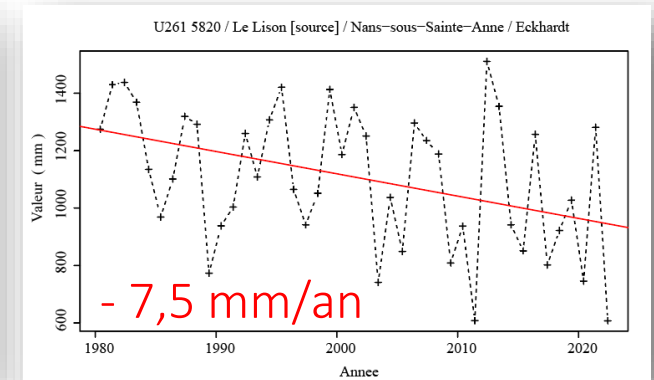
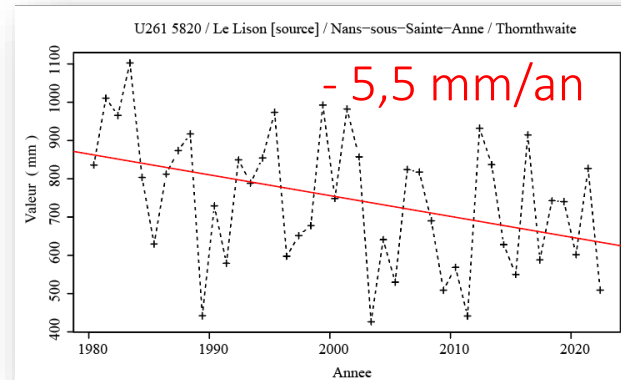
- Matrice des corrélations



- Recharge inter-annuelle



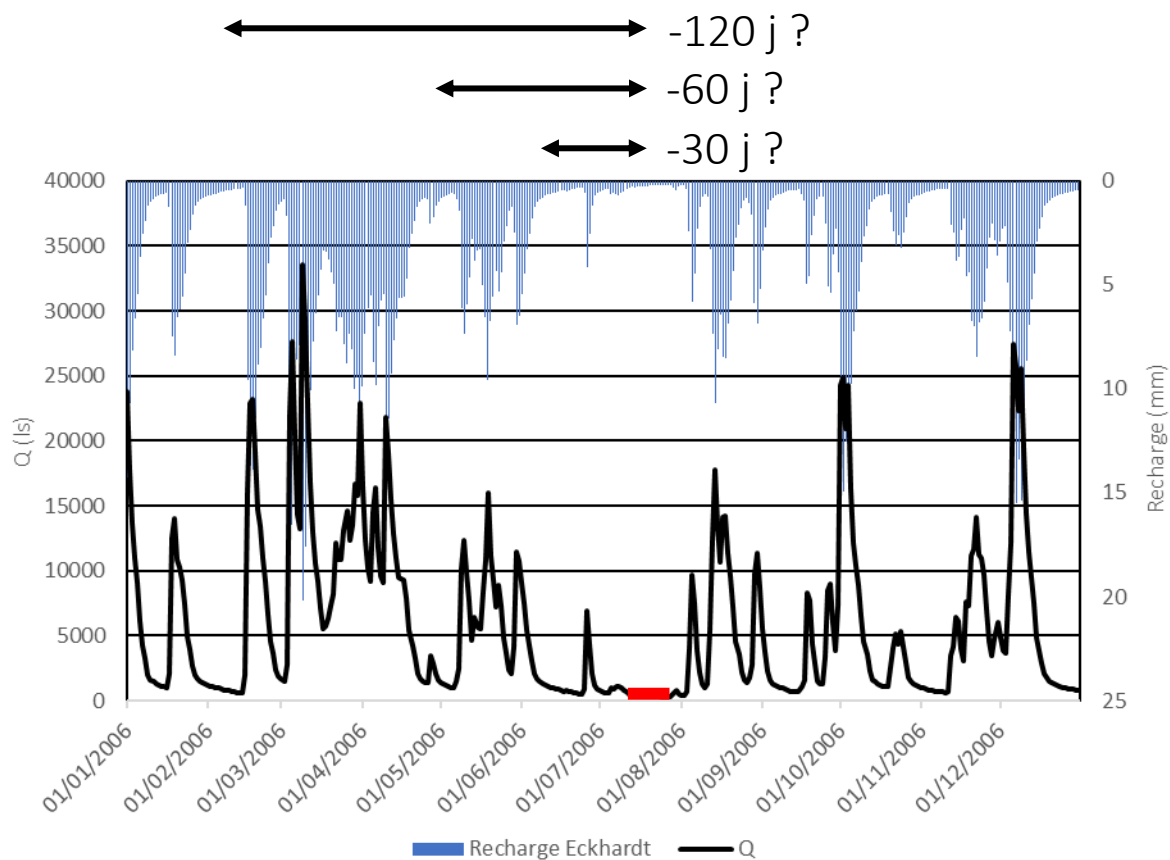
- Tendances significatives à la baisse de la recharge sur le bassin (≈ -6 mm/an sur la période 1980/2022)



Les tendances à la baisse de ce paramètre provoquent-elles les tendances à la baisse des débits d'étiage ?

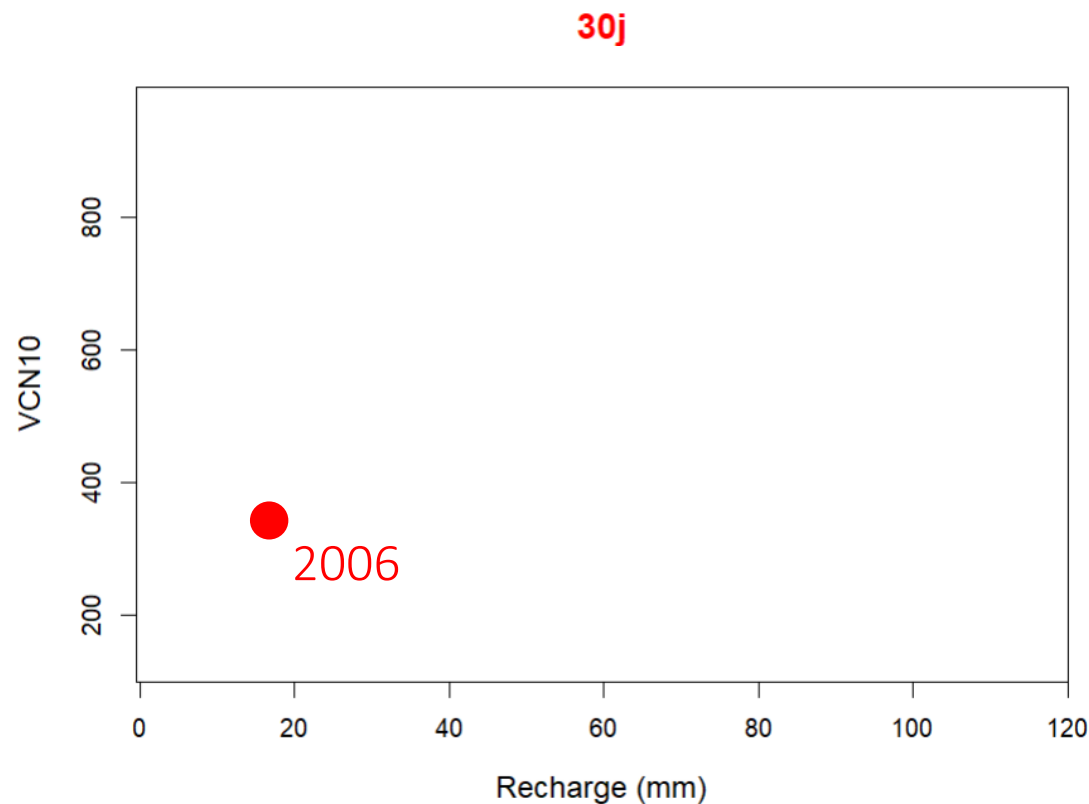
Quelle(s) période(s) de recharge, celle juste avant l'étiage, du mois précédent, de la saison précédente, de l'année précédente ???

➤ Établir un lien entre recharge et intensité de l'étiage

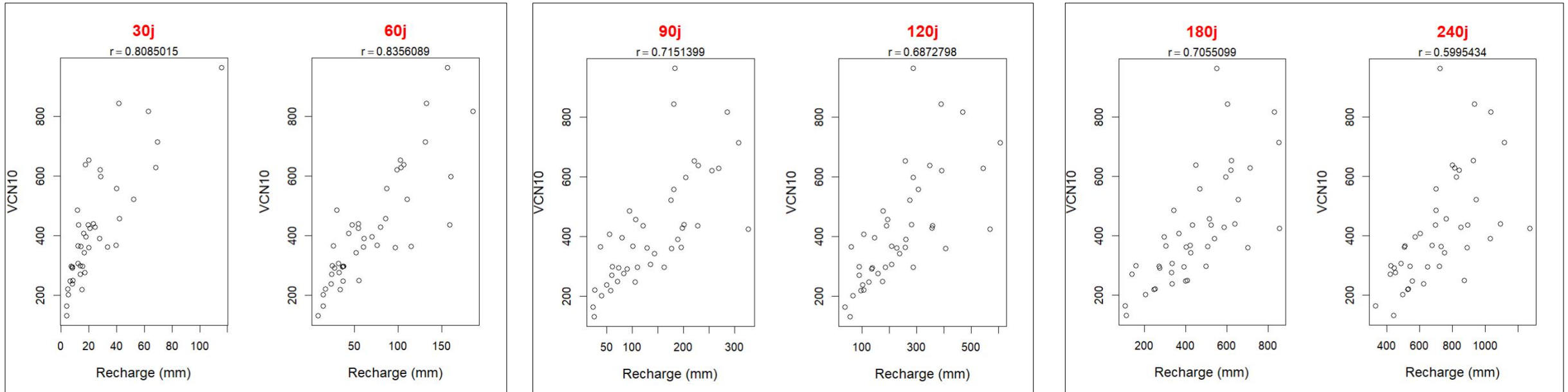


■ VCN 10 : 360 l/s

■ Recharge à 30 j : 19 mm

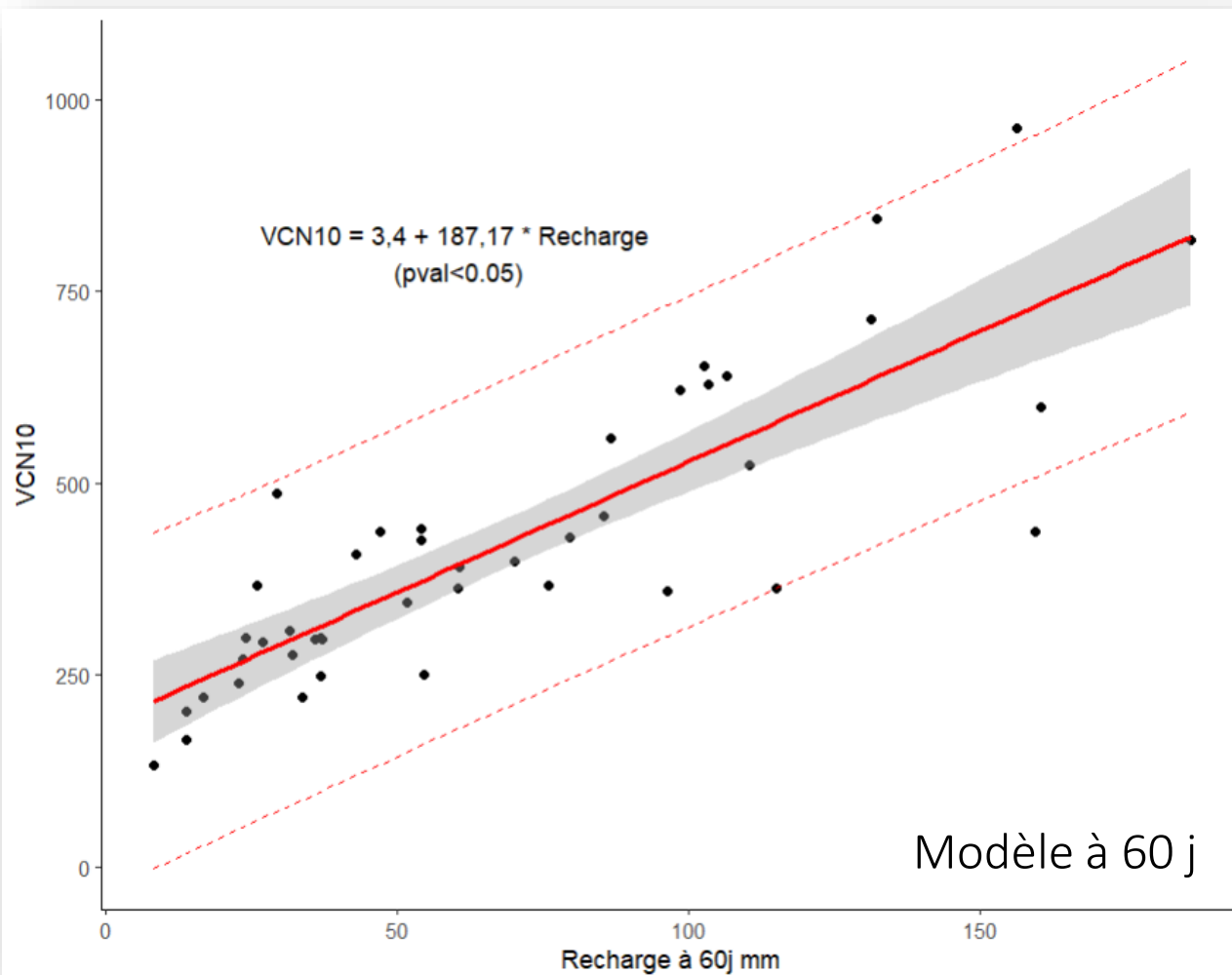


➤ Établir un lien entre recharge et intensité de l'étiage

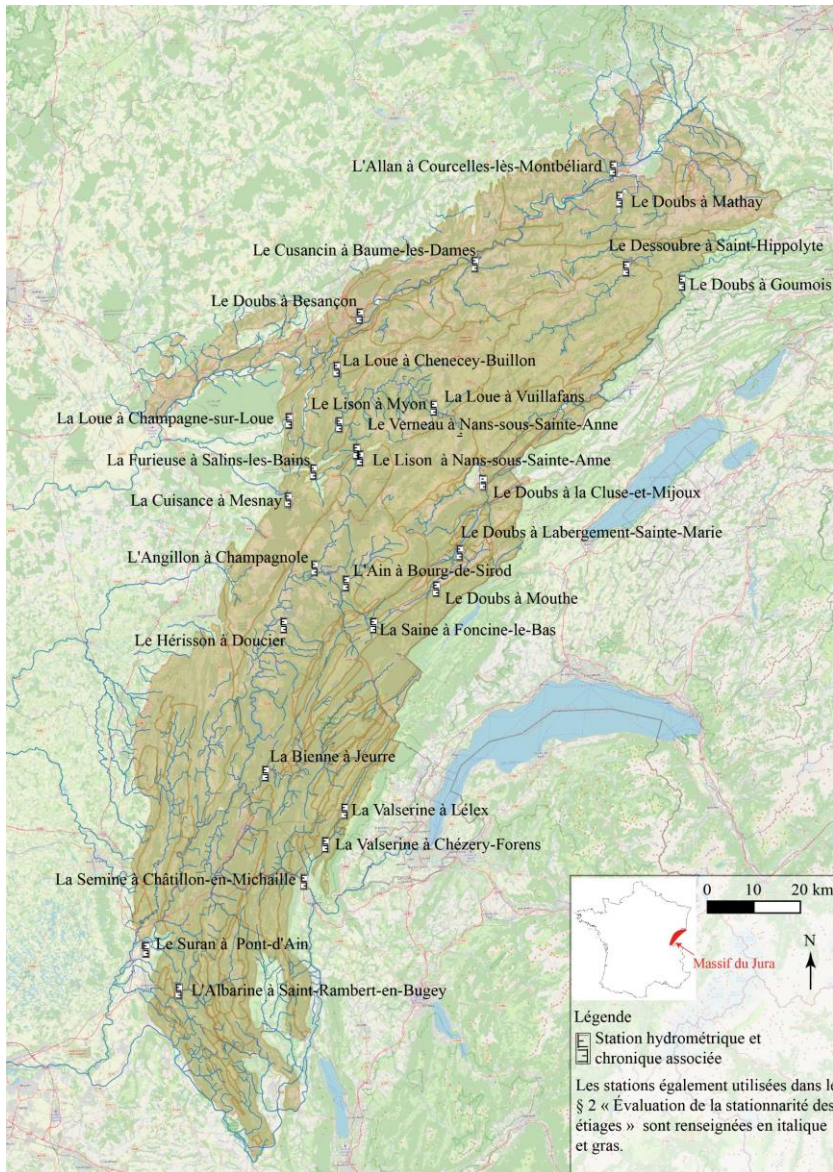


- Lien statistique fort ($r > 0,8$) significatif ($p\text{-value} < 0,05$) entre la variable d'étiage (VCN10) et la recharge qui précède la séquence de très basses eaux
- Décroissance du lien dans le temps : plus on augmente la durée sur laquelle est calculée la recharge, plus la corrélation est faible
- Corrélation maximale autour d'une recharge calculée pour 45 j avant l'étiage

➤ Établir un modèle entre recharge et intensité de l'étiage



- Modèle linéaire entre recharge et VCN10 (et un intervalle de prédiction)
- « Muscler un peu la démarche » : nécessite de tester sur d'autres bassins, d'autres configurations physiographiques...
- Si résultats probants, rendre plus opérationnelle la démarche...



- Actualisation régulière de la démarche « stationnarité » (tendances et ruptures)
- Analyse des tendances hydro-climatiques à l'échelle des bassins karstiques du massif du Jura (évolution des Q, P, T°c, recharge) selon la méthodologie proposée ici.



- Creuser le lien entre phase de recharge/état de remplissage/ et étiages



Des questions ?