



Observatoire
des Sciences de l'Université
de Rennes



UNIVERSITÉ DE
RENNES 1



Rapport de stage de fin d'étude

Étude chronologique des débits mesurés sur le bassin du Couesnon

Cloé RIVAL

Master mention Sciences de l'eau parcours

HYDRO3, Promotion 2018 - 2019

Stage de Février à Août 2019

Maître de stage : Sylvie LE ROY, Coordinatrice du SAGE Couesnon et François-Xavier DUPONCHEEL, Chargé de mission Environnement-SIG au SAGE Couesnon

Enseignant référent : Christophe CUDENNEC, professeur à Agrocampus Ouest

Etablissement / Formation : Université de Rennes 1 / Master 2 Sciences de l'eau parcours HYDRO3

Entreprise d'accueil : Syndicat Mixte du Sage Couesnon - Roc de l'Aumaillerie, 35133 La Selle-en-Luitré

Remerciements

Je remercie Sylvie LE ROY pour toutes les connaissances qu'elle m'a permis d'acquérir, pour sa patience et pour m'avoir permis d'effectuer ce stage dans lequel j'ai pu acquérir une première expérience au sein d'une collectivité territoriale. Je remercie également François-Xavier DUPONCHEEL pour son aide sur le SIG et pour les discussions sur le stage et sur divers sujets. Je tiens à remercier aussi tous mes collègues du Syndicat Mixte de Production du Bassin du Couesnon (SMPBC) et de Fougères Agglomération pour l'aide à l'obtention de données et pour les explications associées mais également pour les moments de détente à discuter et débattre.

Je tiens également à remercier tout particulièrement Christophe CUDENNEC pour m'avoir aidé et guidé au travers des différentes étapes de ce stage, mais également pour avoir pris le temps de m'expliquer l'ensemble des petites choses que je ne comprenais pas toujours du premier coup.

Je suis également reconnaissante envers les différents acteurs du bassin du Couesnon, Pascal BILLAULT et Olivier COULON de l'Agence de l'eau Loire Bretagne pour toutes leurs réponses à mes différentes interrogations. Aussi envers Henry pierre ROUAULT (Couesnon Marches de Bretagne), Nicolas SOURDIN (Syndicat intercommunal de la Loisanse et de la Minette) et Céline RONFORT (Syndicat mixte Couesnon Aval) pour avoir pris du temps pour notre recherche des évolutions du milieu au cours de la période étudiée.

Je remercie Olivier Nauleau de la DREAL pour m'avoir expliqué toutes les nuances autour des valeurs de débit comme le QMNA5 et le VCN30. Je remercie Laurent LONGUEVERGNE pour notre discussion autour du débit minimum biologique et aussi sur la notion du temps de tarissement.

Par ailleurs et pour finir, je tiens à remercier tout le corps enseignant du Master HYDRO3 de L'Université de Rennes 1 Beaulieu, pour la formation que j'ai reçu au cours de ces deux années ainsi que pour leur motivation et leur plaisir à enseigner.

Table des matières

Remerciements	1
Table des matières	2
Table des illustrations.....	4
Présentation de la structure d'accueil : Le Syndicat Mixte du SAGE Couesnon (SMSC).....	5
I- Introduction	6
Première partie : Contexte de l'étude	6
Deuxième partie : La réalisation.....	7
II- Matériels et méthodes.....	8
Première partie : Analyse des données de débit	8
1) Les données	8
2) Traitements préliminaires des données	9
3) Traitements statistiques des données.....	9
Deuxième partie : Comparaison des données de débits et de précipitations	11
1) Calcul des précipitations sur les bassins des stations de jaugeage (Méthode des polygones de Thiessen)	11
2) Calcul du coefficient d'écoulement.....	11
3) Calcul de la réactivité du milieu.....	12
4) Calcul du coefficient de tarissement.....	13
Troisième partie : Comparaison des données de débit inexplicées par les données de pluies avec des données quantitatives et qualitatives du milieu	14
1) Données quantitatives.....	14
2) Données qualitatives.....	15
III- Résultats	16
Première partie : Résultats préliminaires.....	16
Deuxième partie : Résultats des tests statistiques sur des valeurs associant débit et pluie.....	16
1- Coefficients d'écoulements (K).....	16
2- Réactivité du milieu.....	18
3) Coefficient de tarissement	19

Troisième partie : Frises chronologiques incluant les résultats de la première partie et les changements dans le milieu.....	20
IV- Discussion	23
Première partie :	23
V- Conclusion.....	26
VI- Bibliographie	27
VII- Annexes.....	29
1 - Géologie et Hydrogéologie du bassin du Couesnon	29
2 - Tests statistiques et logiciel Khronostat.....	31
1) Test de corrélation sur le rang ou test de Kendall	31
2) Test de Buishand	32
3) Ellipse de Bois.....	33
4) Test de Pettitt.....	34
5) Segmentation de Hubert	35
6) Logiciel Khronostat.....	36
3 – Méthode des polygones de Thiessen	36
4 - Résultats des tests statistiques.....	39
VIII- Abstract	43
IX- Résumé	44

Table des illustrations

Figure 1 - Organigramme du Syndicat mixte du SAGE Couesnon et carte délimitant le territoire d'action du syndicat (trait rouge)	5
Figure 2 - Carte des masses d'eau du bassin du Couesnon.....	6
Figure 3 - Carte de localisation des stations de jaugeage du bassin du Couesnon	7
Figure 4 - Illustration de la réactivité d'une rivière (Source : Agence des Bassins Hydrauliques Guir-Ziz-Rhéris d'Errachidia (ABHGZR).)	12
Figure 5 – « Illustration théorique du temps de ressuyage pour un bassin de 250 km ² (TR = 2500,2 = 3 jours ».Source : thèse de C.Lang.....	13
Figure 6 - Carte des prélèvements en eau sur le bassin du Couesnon	15
Figure 7 - Graphes représentant l'évolution des volumes écoulés et précipités annuels et printaniers (pour la station de Romazy) sur les trois stations de jaugeage du bassin du Couesnon	16
Figure 8 - Représentation graphique de l'évolution du coefficient d'écoulement calculé sur différentes périodes pour les 3 stations hydrométrique du bassin du Couesnon, la couleur rouge de la droite de régression linéaire indique une tendance ou une rupture	17
Figure 9 - Représentation graphique de l'évolution de la valeur de la pente positive calculée sur différentes périodes pour les 3 stations hydrométrique du bassin du Couesnon, la couleur rouge de la droite de régression linéaire indique une tendance ou une rupture	18
Figure 10 - Graphes des Valeurs de coefficients de tarissement en fonction du temps	19
Figure 11 - Carte géologique simplifiée du bassin du Couesnon	29
Figure 12 - Carte des reliefs du bassin du Couesnon	31
Figure 13 - Somme des écarts cumulés accompagnée de son intervalle de confiance, à gauche Ho est rejetée et à droite Ho est acceptée	34
Figure 14 - Carte de représentation de la méthode des polygones de Thiessen	37
Figure 15 - Carte des stations météorologiques avec leur cumul annuel sur période 1997 – 2016.....	38
Table 1 - Descriptions des calculs préliminaires	9
Table 2 - Description des tests statistiques.....	10
Table 3- Résultats des tests statistiques sur les volumes écoulés et précipités et sur les coefficients d'écoulement à la station de Romazy sur Couesnon.....	39
Table 4 - Résultats des tests statistiques sur les volumes écoulés et précipités et sur les coefficients d'écoulement à la station de la Loisanche.....	39
Table 5 - Résultats des tests statistiques sur les volumes écoulés et précipités et sur les coefficients d'écoulement à la station du Nançon	40
Table 6 - Résultats des tests statistiques Coefficients d'écoulement et de prélèvements mensuels à la station de Romazy	41
Table 7 - Chronogramme	42

Présentation de la structure d'accueil : Le Syndicat Mixte du SAGE

Couesnon (SMSC)

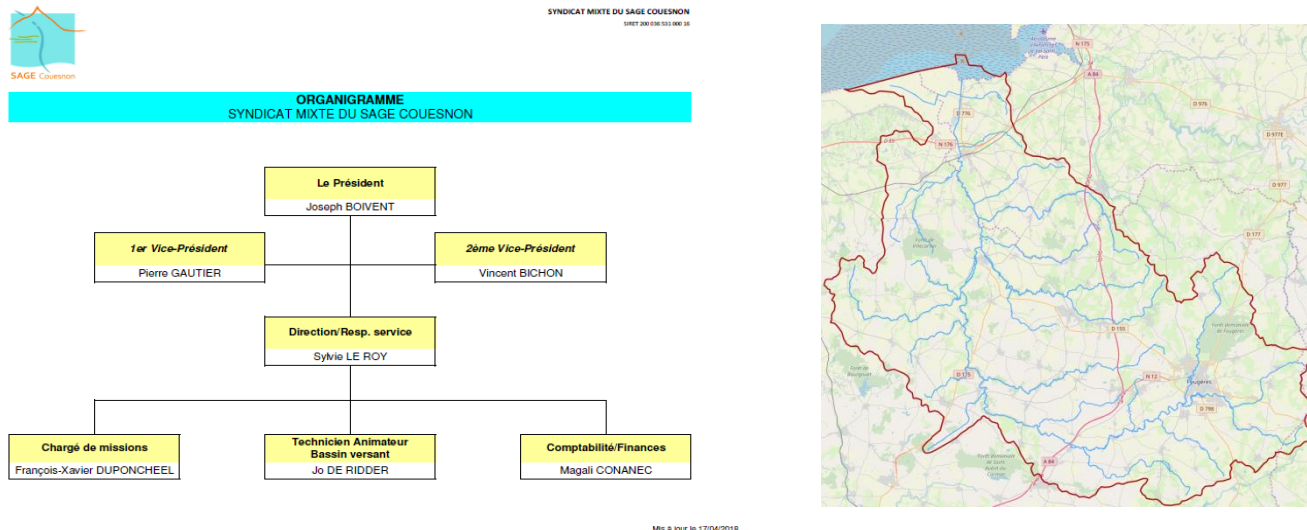


Figure 1 - Organigramme du Syndicat mixte du SAGE Couesnon et carte délimitant le territoire d'action du syndicat (trait rouge)

Le syndicat mixte du SAGE Couesnon est la structure porteuse du SAGE Couesnon. Celui-ci a été mis en place par la (CLE) présidée par Joseph Boivent et validé par le préfet, le syndicat permet donc une cohésion entre les membres de la CLE dans la mise en œuvre du SAGE. Le syndicat Mixte du SAGE est la structure d'animation de la CLE et a pour fonction générale la mise en œuvre et la révision du SAGE voté par la CLE. A ce titre, il assure l'animation et la coordination des contrats de bassin versant, met en place un réseau d'échange d'information sur le SAGE ainsi qu'une stratégie de communication. Il assiste les acteurs locaux dans la mise en œuvre des actions découlant du SAGE et porte toutes les études nécessaires pour lesquelles il a été désigné maître d'ouvrage. L'ensemble de ces actions se font à l'échelle locale correspondant au bassin du Couesnon présenté en Figure 1. L'organigramme du SAGE se trouve en Figure 1.

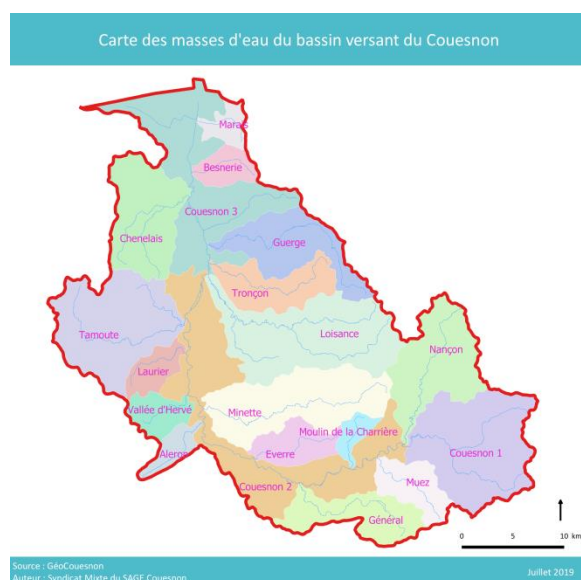
Le Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) est « un document réglementaire local de planification fixant les orientations fondamentales de préservation et de gestion de la ressource en eau et des milieux aquatiques à l'échelle d'un bassin versant » (Extrait du site du SAGE Couesnon). Le SAGE Couesnon présente différents enjeux comme la protection et la restauration des milieux aquatiques, la protection de la baie du Mont St Michel, l'obtention d'une eau de qualité. Le dernier enjeu est celui dans lequel s'intègre cette étude, et correspond aux enjeux sur l'aspect quantitatif de l'eau notamment sur l'eau potable, les inondations ou les périodes de sécheresse.

Après une phase d'élaboration entre 2007 et 2013, qui a consisté en la réalisation d'un état des lieux et d'un diagnostic, de la mise en place d'une stratégie et finalement d'un PAGD (Plan d'Aménagement et de Gestion Durable) et d'un règlement, le SAGE est actuellement en phase de mise en œuvre.

I- Introduction

Première partie : Contexte de l'étude

La question de la ressource en eau se pose depuis longtemps (Larras, 1972) mais elle est devenue depuis plusieurs années une grande préoccupation que ce soit pour les chercheurs ou pour les gestionnaires du domaine de l'eau. De nombreuses études sur cette question existent sur les régions arides et semi arides (Hubert and Mohamed, 2003; Hallouz, Meddi and Mahe, 2013). Mais actuellement des problèmes de ressources en eau sont rencontrés dans différents types de climat comme le climat



océanique de la Bretagne. En effet, différentes études sur l'aspect quantitatif de cette ressource ont été lancées afin de savoir si celles-ci sont suffisantes pour subvenir aux besoins locaux notamment dans le cadre de la mise en œuvre de SAGE (James *et al.*, 2008; Orsoni, 2012).

Cette étude porte sur le bassin du Couesnon (Figure 2), fleuve se jetant dans la Manche au niveau du Mont St Michel. Ce bassin couvre une superficie de 1 124 km², qui représente 75 communes et 17 masses d'eau. Sur le bassin du Couesnon, le diagnostic avait mis en évidence un déséquilibre potentiel entre les besoins en eau et les ressources disponibles en période d'étiage les années

sèches. De plus le PAGD (Plan d'Aménagement et de Gestion Durable) prévoit des dispositions pour rechercher et surveiller l'équilibre entre Besoins-Ressources et fonctionnement des milieux aquatiques. La fragilité de cet équilibre s'est révélée récemment : un déficit de ressources en eau par rapport à la totalité des besoins a été constaté en 2017, une année exceptionnellement sèche pendant laquelle la période hivernale n'a apporté que peu d'eau et l'étiage a été long et sévère. Or ce bassin présente divers enjeux importants, des enjeux écologiques notamment. Le Couesnon est le dernier fleuve à saumon atlantique du département d'Ille et Vilaine. Le bassin du Couesnon présente aussi des enjeux quantitatifs, de nombreux prélèvements en eau sont réalisés sur celui-ci. Ces prélèvements peuvent être divisés en deux grandes parties : les prélèvements « locaux », l'eau prélevée est distribuée dans le bassin et les prélèvements par la collectivité d'eau du bassin Rennais, qui exporte l'eau du bassin du Couesnon vers Rennes. Or, ces prélèvements varient en fonction de la démographie, de l'installation d'industries, des changements de pratiques agricoles, etc. La prise en compte de ces évolutions dans le cadre de la gestion

quantitative des ressources en eau est donc primordiale. Ainsi, cette étude a pour objectif de mieux comprendre le fonctionnement du bassin et ses ressources en eau afin de mettre en place une meilleure gestion dans l'avenir et d'éviter ou au moins de prévenir des années problématiques comme 2017. Ce rapport constitue la première étape de cette démarche et vise à savoir si la ressource en eau superficielle ou sub-superficielle a été modifiée au cours du temps et à émettre des hypothèses quant aux raisons des possibles changements.

Deuxième partie : La réalisation

Dans une première partie, les données principales qui vont être traitées sont les données de débit des 3 stations situées sur le bassin versant du Couesnon et localisées sur le Figure 3 : la station de Romazy sur le Couesnon (bassin de 510 km²), la station de la Loisanche (bassin de 81,5 km²) et la station du Nançon (bassin de 67 km²). La géologie de ces bassins se trouve en ANNEXE 1 Ces données seront étudiées selon une analyse graphique mais également selon une analyse statistique comme diverses études hydrologiques (*Lemaitre, 2002; Fénéon, 2010; Lubes-Niel et al., 2012*). Une bonne connaissance des ressources en eau et de leur évolution au cours du temps est essentielle, afin d'établir une meilleure gestion de ces ressources à l'avenir. L'observation de ces évolutions va permettre de comprendre le fonctionnement « hydrologique » du bassin du Couesnon et va également définir si l'inquiétude générale quant aux périodes d'étiage du Couesnon est justifiée ou si la période actuelle n'est pas significativement différente du « passé » (fin des années 60).

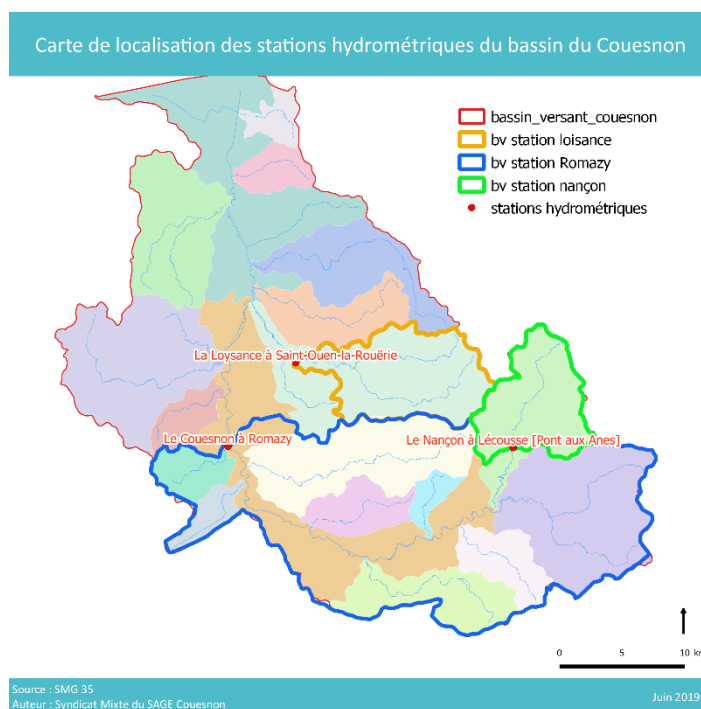


Figure 3 - Carte de localisation des stations de jaugeage du bassin du Couesnon

De plus, dans le cas où les résultats indiqueraient un changement, une tendance des données de débit, les attributions de ces différences peuvent être multiples. Les causes peuvent être internes ou externes au bassin, unique ou multiples. Elles peuvent être aussi une combinaison d'une ou plusieurs cause(s) internes et externes. La question qui se pose alors instinctivement est quelle part de ces modifications est liée au changement climatique et quelle part est liée à d'autres facteurs comme les modifications anthropiques du milieu.

Cette étude comporte des limites qui sont importantes à connaître afin de pouvoir comprendre les résultats obtenus. Les données disponibles sont issues de stations hydrométriques qui sont localisées à des emplacements précis et ces données se limitent donc à ces emplacements. Pour les données de

précipitations, la même contrainte se pose. En plus de cette barrière spatiale, une limite temporelle existe et peut être contraignante dans une étude rétrospective comme celle-ci. En effet, les stations de mesures que ce soit des stations météorologiques ou hydrométriques ont une date de début de mesure qui vient fixer les limites temporelles des analyses. Cette étude présente une dernière contrainte et non des moindres : elle porte sur un système naturel qui n'est pas sous contrôle. Ainsi, de nombreux facteurs peuvent influencer les résultats obtenus. Ils peuvent parfois être connus mais le plus souvent ce n'est pas le cas.

Afin d'observer si les changements de valeurs de débit sont liés au changement climatique, les données de température sont utiles. Cependant sur les stations du bassin du Couesnon, seule une station présente des données de température. C'est pourquoi, le facteur qui va être observé est la pluviométrie. Mais cette donnée est également « trop large ». En effet, la pluie est intéressante à observer et à analyser, mais la valeur de la pluie efficace est également importante afin de connaître ce qui s'écoule réellement au sein du bassin. Cette pluie réelle se calcule grâce à l'évapotranspiration (ETP) : Pluie efficace : Pluie mesurée – ETP. Or, le calcul de cette ETP n'est pas fait sur toutes les stations météorologiques et à nouveau ces calculs n'ont été réalisés que sur une seule des stations du bassin étudié.

Des analyses mêlant les données de débit et de pluie ont également été réalisées, notamment sur des données assez « typiques » en hydrologie ; comme le coefficient d'écoulement, le coefficient de tarissement et la réactivité du milieu matérialisées par le calcul des pentes ($\Delta Q/\Delta t$).

Les résultats obtenus des différents calculs et des tests statistiques ont été comparés aux évolutions connues du milieu et notamment aux changements causés par des actions anthropiques. Les données ont été récupérées auprès des syndicats de production en eau potable et auprès des syndicats intercommunaux de bassins versants locaux (Syndicat de Loisanne – Minette) ou encore auprès de communauté de communes (Couesnon Marches de Bretagne).

II- Matériels et méthodes

Première partie : Analyse des données de débit

La stratégie générale quant à l'étude des données de débit consiste dans un premier temps à traiter et analyser l'ensemble des données disponibles, par la suite les données seront divisées en périodes afin de localiser les changements ou l'absence de changement sur un intervalle de temps plus restreint ce qui permet de localiser les périodes à risque.

1) Les données

Les données de débits disponibles sur le bassin du Couesnon ont été récupérées sur le site de la banque hydro ; 3 stations de jaugeage sont présentes sur le bassin :

- Romazy sur le Couesnon
- Nançon sur la rivière du même nom
- Loisançe sur la rivière du même nom

Dans cette étude, les débits moyens journaliers mesurés et les débits à pas de temps variables vont être récupérés et utilisés pour répondre à la problématique posée. Le débit moyen journalier correspond au rapport entre le volume écoulé durant une journée complète (24 heures) et la durée associée. Les données issues de la banque Hydro sont exprimées en m³/s, le volume est donc calculé en m³ à partir des chroniques des débits instantanés (mesures continues) et la durée correspond à 86 400 secondes. Les données de précipitations sont quant à elles issues du site de Météo France ; 4 stations potentielles existent sur et autour du bassin du Couesnon :

- Louvigné du Désert ; station de type 1 = Pluie et ETP, depuis mi-mars 1986
- Pontorson ; station de type 1 = Pluie et ETP, depuis Mars 1997
- Fougères ; station de type 4 = Pluie (bénévoles), depuis 1968
- Mézières sur Couesnon ; station de type 4 = Pluie, depuis 1968

2) Traitements préliminaires des données

Pour chaque station et chaque mesure, différents calculs vont être réalisés pour chaque année. Ces calculs sont répertoriés dans le Table 1 ci-dessous.

Table 1 - Descriptions des calculs préliminaires

Type de valeur Pas de temps	Minimum	Moyen	Maximum
Journalier	MinJ	MoyJ	MaxJ
Moyen Hebdomadaire	MinMH	MoyMH	MaxMH
Moyen Mensuel	MinMM	MoyMM	MaxMM

3) Traitements statistiques des données

Cette troisième étape vise à réaliser différents tests statistiques dans le but d'observer si les chroniques de débits et de pluies présentent ou non une tendance, qu'elle soit croissante ou décroissante. De plus, certains des tests utilisés vont permettre de savoir si les chroniques présentent des ruptures. Si une tendance est observée, plusieurs facteurs peuvent en être à l'origine, le premier et le plus évident est le changement climatique (modification des températures, pluies, ETP, ...). Mais d'autres phénomènes peuvent en être responsables comme l'action de l'Homme (prélèvements, rejets, aménagements

hydrauliques, ...), l'évolution géomorphologique des cours d'eau étudiés ou encore l'évolution du paysage (destruction du bocage, ...).

Quelques définitions de bases sont à rappeler afin de donner un cadre à cette étape. Une série chronologique dite stationnaire présente des caractéristiques comme la moyenne ou la variance qui restent les mêmes au cours du temps. Une chronique non stationnaire présente au contraire un ou des changements brutaux de ses propriétés appelés ruptures ou bien une tendance. Une tendance peut être croissante ou décroissante et correspond à une orientation générale d'une chronique. Une grande variété de tests statistiques existe afin de réaliser l'objectif de cette étape. Cependant, ces tests impliquent des conditions d'applications strictes. Les données des chroniques à traiter doivent suivre une distribution particulière et l'ensemble des données comprises dans la chronique doivent présenter une distribution identique. De plus, les données doivent absolument être indépendantes. Cet aspect-ci oblige à fixer un pas de temps correct. Celui-ci ne doit pas être trop grand, sinon les variations ne seraient pas identifiables mais pas trop fin non plus sinon les données seront influencées entre elles. Dans le domaine de l'hydrologie, cette hypothèse d'indépendance est peu souvent respectée pour des données à pas de temps journalier ou mensuel. Cependant, les données annuelles sont souvent indépendantes. Aussi, c'est le pas de temps choisi pour ces analyses statistiques. Cinq tests statistiques ont été choisis pour réaliser ce traitement et sont décrits dans le Table 2 suivant.

Table 2 - Description des tests statistiques

Nom du test	Description	Hypothèse nulle	Hypothèse alternative
Test de Kendall	Ce test a pour but de vérifier le caractère aléatoire d'une série chronologique.	La série est aléatoire	Série présente une tendance croissante ou décroissante
Test de Buishand	Un modèle simple supposant un changement de moyenne de la série à un moment précis.	La chronique est stationnaire	La série n'est pas stationnaire et admet un changement de moyenne
Ellipse de Bois	Elle complète le test de Buishand et permet de tester l'homogénéité d'une série chronologique. En effet, l'ellipse correspond à une région de confiance, lorsque les données sont dans cette ellipse la série est considérée comme homogène.	La série n'admet pas de rupture	La chronique présente une rupture
Test de Pettitt	Ce test a pour principe que si les données de la série sont mélangées et ordonnées par valeurs croissantes alors les moyennes des sous-ensembles doivent être du même rang.	La série n'admet pas de rupture. (Les moyennes des sous-ensembles sont semblables)	La série présente une rupture
Segmentation de Hubert	Elle a pour principe de découper la série chronologique en différents segments de façon à ce que la moyenne de chaque segment soit comparée à celle des segments voisins.	La série chronologique est stationnaire (les moyennes des segments sont semblables)	La série présente un ou des changements de moyenne

Ces tests statistiques ont été choisis car ils sont très utilisés dans le domaine de l'hydrologie, ils sont bien argumentés dans la littérature et sont également considérés comme très robustes (*Lemaitre, 2002; Fénéon, 2010; Bodian, 2012*). Une description plus détaillée des différents tests se trouve en ANNEXE 2. Pour la réalisation de ces tests, le logiciel Khronostat a été utilisé, il est également décrit en ANNEXE 2. Les statistiques dans le domaine de l'hydrologie sont assez complexes, les résultats qui peuvent être visibles ne sont pas des résultats nets et francs. De plus, habituellement, la réalisation d'étude statistique se fait sur des grands ensembles de données ce qui n'est pas possible en hydrologie où la quantité de données est limitée.

Deuxième partie : Comparaison des données de débits et de précipitations

Dans cette partie, l'objectif est de combiner les données de précipitations et de débits afin d'observer si les précipitations sont les seules causes des changements sur les débits ou si d'autres facteurs influencent leur évolution.

1) Calcul des précipitations sur les bassins des stations de jaugeage (Méthode des polygones de Thiessen)

La contrainte majeure de cette deuxième partie vient du fait que la localisation des stations météorologiques (ANNEXE 3 Figure 14) diffère de l'emplacement des stations de jaugeage. Pour les données de précipitations issues des stations météorologiques, la méthode afin d'avoir des données de précipitations sur la station hydrométrique proches de la réalité consiste à tracer les polygones de Thiessen (1911). Cette méthode est décrite en ANNEXE 3. Elle permet à partir des précipitations mesurées aux stations météorologiques (station de Mézières sur Couesnon et de Fougères) de calculer des précipitations aux stations de jaugeage du bassin.

2) Calcul du coefficient d'écoulement

La question : Le fonctionnement hydrologique des 3 bassins versants est-il resté identique depuis les années 70 jusqu'à aujourd'hui ?

Un volume de précipitation qui arrive sur un bassin versant pendant un temps défini se divise en différentes parties pendant ce même temps, dont certaines vont alimenter plus ou moins directement le débit de la rivière et d'autres non (Part des précipitations qui s'évapore ou est transpirée par les végétaux, on parle alors d'évapotranspiration ; part qui s'infiltre et alimente les réservoirs profonds n'alimentant pas le débit de la rivière). La partie qui arrive à la rivière est constituée de : la part ruisselée, la part infiltrée dans des stocks peu profonds et la part stockée dans la rivière ou ses affluents en attente avant d'atteindre l'exutoire (*Roche, 1963*). C'est cette part qui correspond au sujet d'étude.

Ainsi, le coefficient d'écoulement K correspond à la part de la lame d'eau écoulée (débits) sur la lame d'eau précipitée (pluies).

$$K = \frac{\text{Volume écoulé}}{\text{Volume précipité}} \quad \text{Eq (1)}$$

Ce coefficient est une caractéristique de base en hydrologie pour la description d'un bassin versant (Hallouz, Meddi and Mahe, 2013). Cette valeur est liée à la géologie, la taille et différents critères d'un bassin versant. Cette étape vise donc à l'observation de ce coefficient à travers la période définie par le début et la fin des mesures de débits sur les trois stations. Comme dans les étapes précédentes, cette observation se fera graphiquement et aussi statistiquement. Les données de volume de pluie précipitée et de volume d'eau écoulé sont agglomérées à un pas de temps mensuel puis saisonnier.

Cette formule est assez simple et est souvent modifiée pour obtenir des résultats plus précis notamment en retirant la cyclicité des pluies et des débits. Elle permet cependant ici d'obtenir des résultats pouvant être comparables chronologiquement et permettant d'observer si des changements ont eu lieu pendant la période d'étude. De plus les tests statistiques ont également été réalisés sur les volumes de débit et de pluie afin de s'assurer que les résultats statistiques ne sont pas liés à la cyclicité de ces valeurs mais bien à la relation débit – pluie.

3) Calcul de la réactivité du milieu

La question : Suite à des précipitations, la réponse de la rivière est-elle plus ou moins rapide aujourd'hui que 50 ans auparavant ?

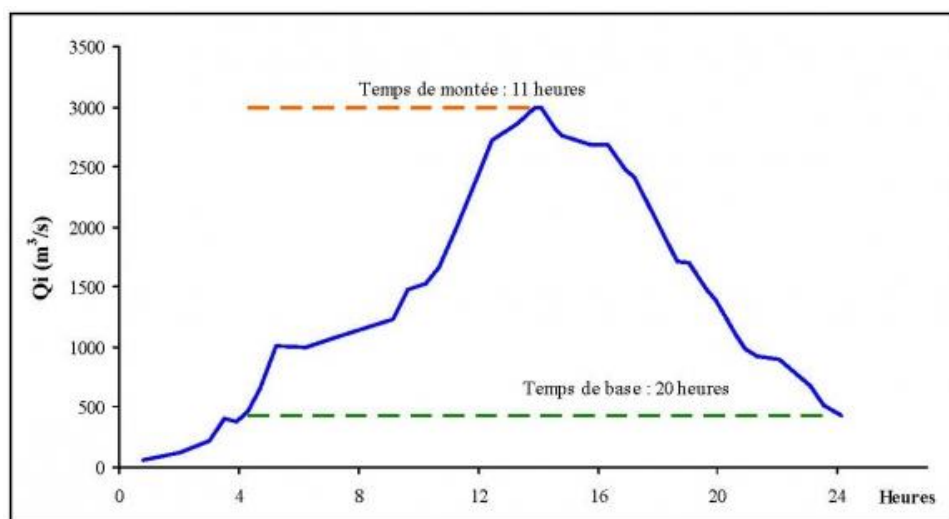


Figure 4 - Illustration de la réactivité d'une rivière (Source : Agence des Bassins Hydrauliques Guir-Ziz-Rhéris d'Errachidia (ABHGZR).)

La Figure 4 permet de représenter la réactivité d'une rivière suite à un événement pluvieux, celle-ci se manifeste par une hausse des débits. Ce calcul est réalisé sur les données de débit à pas de temps variable, le calcul de la pente ($\Delta Q/\Delta t$) se fait ensuite en traduisant le temps en secondes de tel sorte que les changements de jours, de mois ou d'années soient pris en compte. Les données sont filtrées

d'une part pour obtenir l'ensemble des pentes positives avant des pentes négatives et d'autre part les pentes négatives après des pentes positives. Les valeurs sont moyennées par année et par saison.

4) Calcul du coefficient de tarissement

La question : Le coefficient de tarissement des 3 bassins versants est-il resté identique depuis les années 70 jusqu'à aujourd'hui ? La nappe alimente-t-elle le cours d'eau différemment ?

Le tarissement d'une rivière correspond à une période, en l'absence de précipitations, de décroissance de la valeur des débits équivalents à la vidange des nappes. Ce phénomène est présenté graphiquement en Figure 6. L'étude des périodes de tarissement date de plus de 100 ans, en premier lieu par Boussinesq en 1877 et Maillet en 1905. Les formules utilisées sont nombreuses et souvent dérivées du travail de Boussinesq (Tallaksen, 1995). L'utilisation de la formule de Maillet/Boussinesq (1905) :

$$Q_t = Q_0 \times e^{-\alpha t}, \quad \text{Eq (2)}$$

permet de décrire de façon simple le type de vidange d'un bassin versant, la valeur de α le coefficient de tarissement, est d'ailleurs défini dans la réglementation. Q_0 correspond au débit initial, Q_t correspond

au débit à un temps t et t à la durée de la phase.

Cette loi est la plus utilisée pour étudier les tarissements. D'autres lois existent mais elles sont moins utilisées et plus complexes, nécessitant pour certaines de connaître la configuration des aquifères des bassins de l'étude. (Tallaksen, 1995; Lang, 2007). Ce calcul implique des hypothèses, la décroissance exponentielle est calculée pour un versant droit (1D), homogène avec une transmissivité constante et sans alimentation en eau avec comme

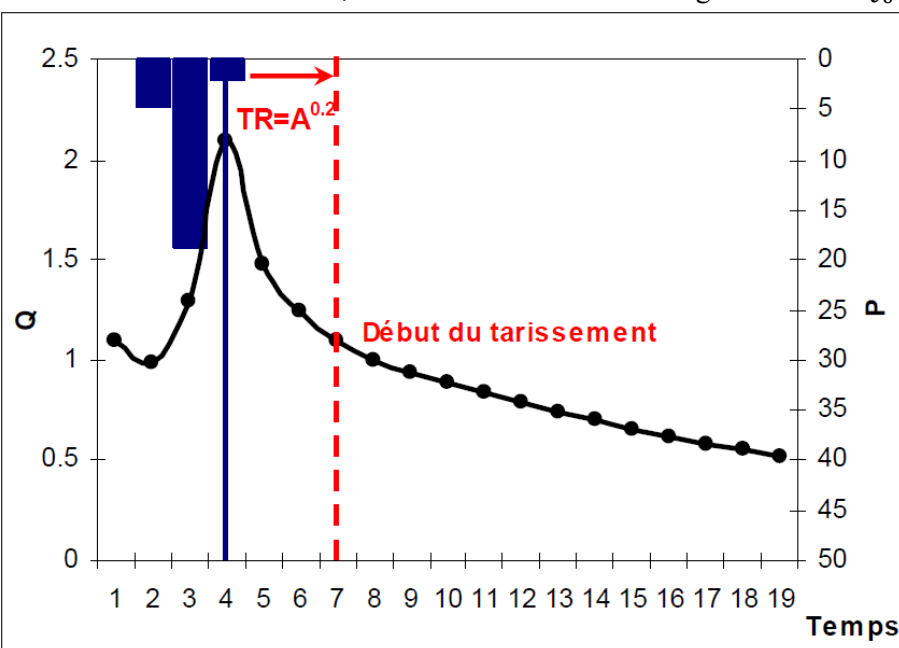


Figure 5 – « Illustration théorique du temps de ressuyage pour un bassin de 250 km² (TR = 2500,2 = 3 jours ».Source : thèse de C.Lang

unique exhaure : la rivière. Afin de calculer le coefficient α , deux tris sont à réaliser sur les données de précipitations et de débit. Le premier vise à repérer les périodes où les précipitations ne sont pas capables d'influencer l'écoulement au sein de la rivière. La sélection des périodes où les précipitations sont nulles est une méthode plus rigoureuse cependant la Bretagne présentant un climat océanique, les événements pluvieux sont fréquents et donc les périodes sans pluies peu nombreuses. Cette contrainte amène à deux choix possibles, soit de retenir des périodes de tarissement avec des épisodes de précipitations faibles, soit de ne sélectionner que des courtes périodes de tarissement qui ne sont pas influencées par des

précipitations. Le premier choix est décrit comme une méthode de l'enveloppe de tarissement définit comme l'enveloppe inférieure d'un hydrogramme (Roche, 1963) et (Larras, 1972). Ainsi cette première méthode peut prendre en compte des remontées de débits dues à des précipitations. La deuxième méthode est plus stricte et consiste à la sélection des débits décroissants non influencés par des épisodes pluvieux. La première méthode est appelée la « *méthode de courbes enveloppes* » et la seconde, la « *méthode de courbes séquences* » par E.Gille et C.Lang (Lang and Gille, 2006). Dans la prévision des débits d'étiages, la méthode de courbes séquences est la plus appropriée pour répondre aux questionnements sur les apports des aquifères aux débits des rivières. Le choix des périodes où les précipitations n'influencent pas les débits des rivières est également évoqué par (Lang, 2007), qui définit un seuil fixé à 1mm/jour. Ce seuil représente la valeur séparant les pluies influençant les débits des rivières et celles qui n'influencent pas l'écoulement, et permet en région océanique, la sélection d'un plus grand nombre de phases de tarissement par rapport à une méthode où ne seraient sélectionnées que les périodes sans précipitations. Pour chaque courbe de tarissement, le coefficient alpha est calculé et le coefficient mensuel est défini par la médiane de ces « sous coefficient ». Le coefficient de tarissement est calculé tous les dix ans pour les stations du Nançon et de la Loisanche, et tous les 5 ans pour la station de Romazy sur Couesnon. Les coefficients de tarissement sont calculés sur une période de Juin à Septembre sur les 3 stations afin d'obtenir des données comparables pour chaque année.

Troisième partie : Comparaison des données de débit inexplicées par les données de pluies avec des données quantitatives et qualitatives du milieu

1) Données quantitatives

La récupération des données quantitatives qui correspondent aux prélèvements en eau sur le bassin du Couesnon s'est faite auprès des différents acteurs responsables de ces prélèvements. Les prélèvements dont la localisation est connue sont indiqués dans la Figure 6, les volumes indiqués sont ceux de l'année 2016. Pour les prélèvements en eau potable, deux acteurs ont fourni les données de prélèvements. Pour les prélèvements à usage local, le SMPBC (Syndicat Mixte de Production du Bassin du Couesnon) possède des données de prélèvements sur des périodes variables ; depuis 1976 pour les drains de la forêt de Fougères et depuis 2008 pour la plupart des autres prélèvements. La CEBR (Collectivité d'Eaux du Bassin Rennais) est le second acteur qui réalise des prélèvements AEP conséquents sur le bassin du Couesnon, des données de prélèvements sur le captage de la Roche et sur les drains du Coglais sont disponibles depuis 1991. Les prélèvements industriels et domestiques n'ont pas été pris en compte dans cette partie, car ces prélèvements sont uniquement souterrains, ils n'impactent ainsi pas de façon directe les valeurs du débit comme le font des prélèvements superficiels ou semi-superficiels (les drains). Il en va de même pour les prélèvements agricoles qui se réalisent dans

le milieu souterrain (60 % des prélèvements hors prélèvements sur le réseau AEP selon l'Agence de l'eau Loire Bretagne). Pour les 40% restant, le volume n'a pas été ajouté car même si les effectifs des cheptels sont connus, l'évolution des consommations par animal est assez peu connue et donc source d'incertitude. De plus, au vu de la représentation finale sous forme de frise, la non-prise en compte de ces prélèvements ne semble pas être très impactante. Cependant, ces données ont tout de même été récoltées auprès du site de la BNPE (Banque Nationale des Prélèvements en Eau) et auprès de la DRAAF (Direction Régionale de l'Agriculture de l'Alimentation et de la Forêt) afin de créer une base de données actualisée des prélèvements.

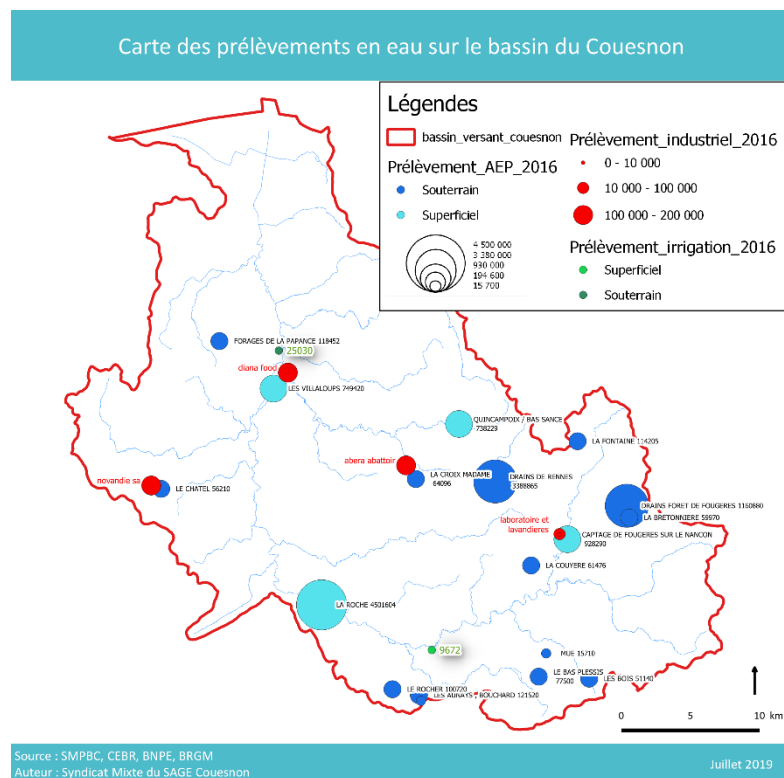


Figure 6 - Carte des prélèvements en eau sur le bassin du Couesnon

2) Données qualitatives

La récupération de ces données s'est avérée plus délicate que celle des données précédentes. En effet, les données sur les changements du milieu n'ont pas toujours été conservées ou mal conservées. De plus, quand des archives existent, elles ne sont pas informatisées et donc un travail conséquent de valorisation des données est encore à réaliser.

Cependant des données intéressantes existent et seront utilisées dans cette étude. Certaines zones géographiques du bassin du Couesnon présentent des données assez détaillées pour être utiles. Ainsi les données de remembrement annuel sont connues sur le pays du Coglais et ont été fournies par Henri-Pierre Rouault de Couesnon Marches de Bretagne. Des données de recalibrage des rivières sur le pays de Fougères ont été cartographiées et datés sur SIG par Muriel Dellinger, responsable GEMAPI (Gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations) et Bocage de Fougères Agglomération. Nicolas Sourdin du syndicat intercommunal de Loisanse et de la Minette a fourni la liste des années présentant les grands travaux hydrauliques.

La comparaison de ces données avec les résultats graphiques et statistiques des parties précédentes va se faire de façon simple sous forme de frise chronologique. En effet, l'association de tel ou tel résultat avec tel changement dans le milieu qu'il soit quantitatif ou qualitatif n'est pas possible de façon directe. De plus le manque de données ne permet pas toujours d'expliquer les résultats obtenus.

III- Résultats

Première partie : Résultats préliminaires

Dans cette partie, les résultats des volumes précipités et des volumes écoulés mesurés aux 3 stations de jaugeage du bassin : Romazy, Nançon et Loisanse sont présentés.

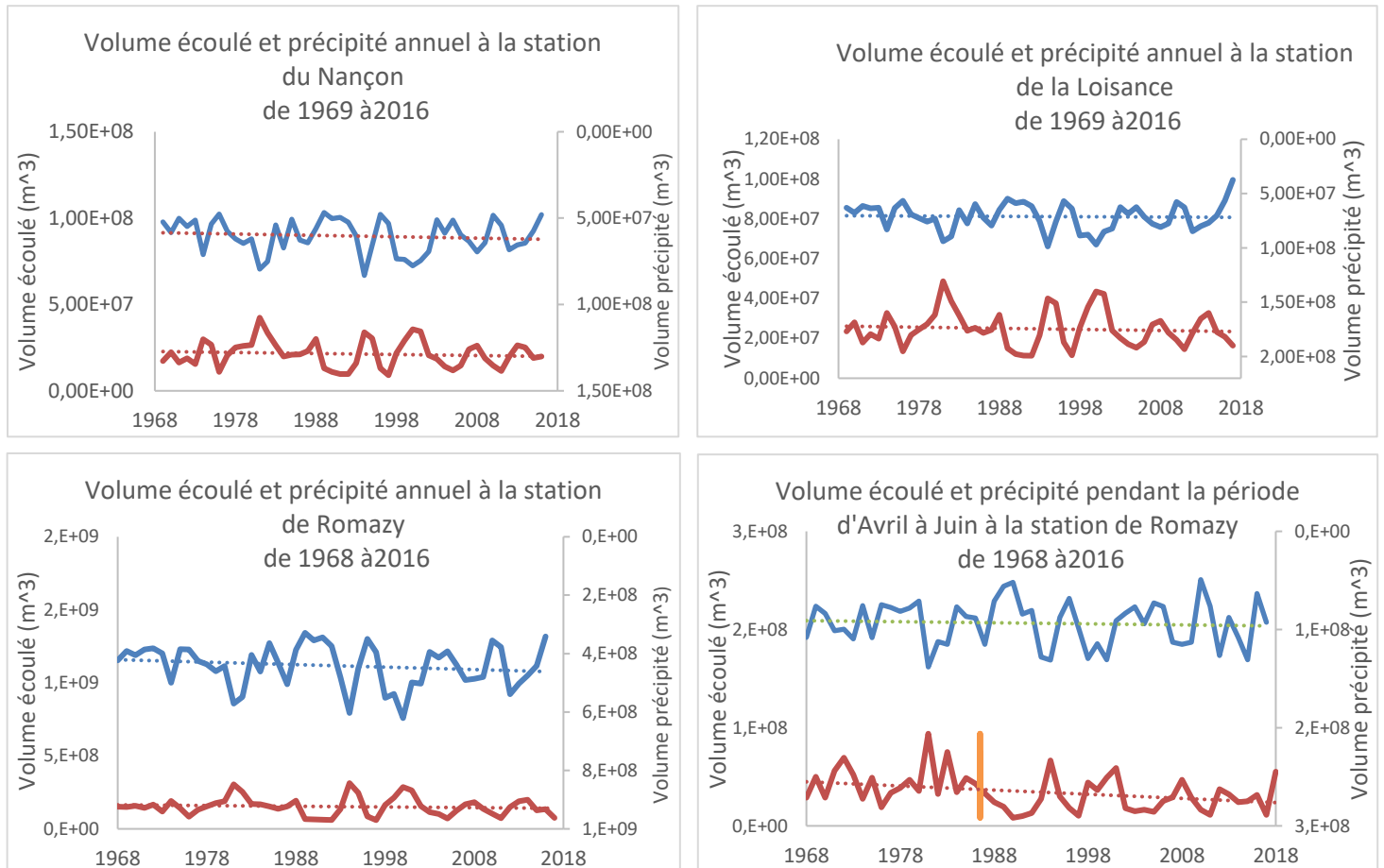


Figure 7 - Graphes représentant l'évolution des volumes écoulés et précipités annuels et printaniers (pour la station de Romazy) sur les trois stations de jaugeage du bassin du Couesnon

La Figure 7 ci-dessus présente les volumes écoulés et précipités, calculés aux trois stations de jaugeage du bassin versant du Couesnon ; la station du Nançon, celle de la Loisanse et de Romazy sur Couesnon. Les volumes sont présentés ici à un pas de temps annuel mais ils ont été également calculés à chaque saison. Les tests statistiques n'ont pas montré de tendances, ni de ruptures sur ces valeurs sauf pour la période printanière à la station de Romazy qui montre une rupture entre 1986 et 1987 sur les volumes écoulés dans le Couesnon. En effet, les volumes écoulés sont moins conséquents après cette rupture.

Deuxième partie : Résultats des tests statistiques sur des valeurs associant débit et pluie

1- Coefficients d'écoulements (K)

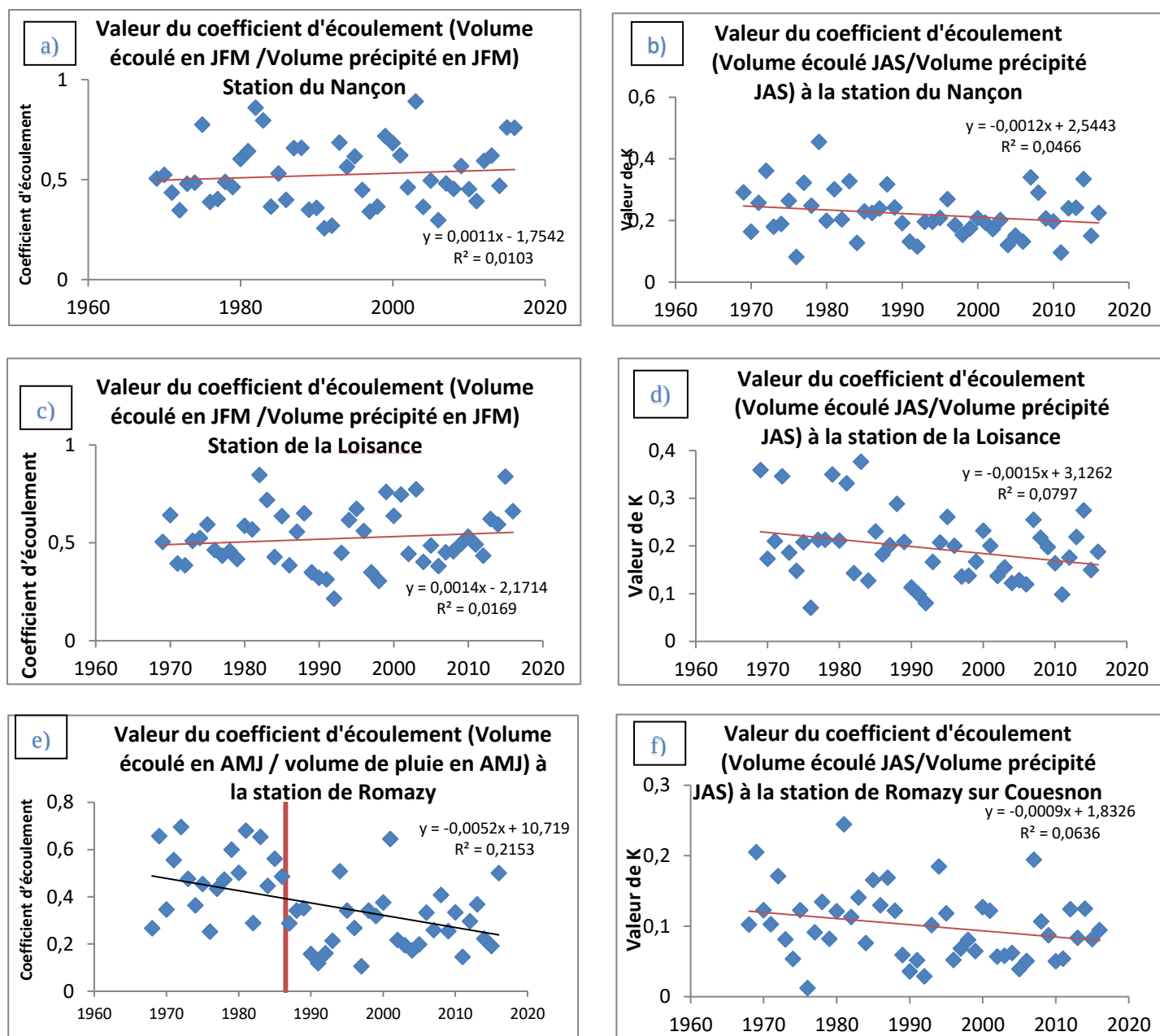


Figure 8 - Représentation graphique de l'évolution du coefficient d'écoulement calculé sur différentes périodes pour les 3 stations hydrométrique du bassin du Couesnon, la couleur rouge de la droite de régression linéaire indique une tendance ou une rupture

La figure 8 ci-dessus présente les résultats des tests statistiques sur les valeurs des coefficients d'écoulements des trois stations de jaugeage en fonction du temps. Les jeux de données de la période estivale (JAS) présentent des tendances décroissantes vérifiées statistiquement (Test de corrélation des rangs), ainsi les coefficients d'écoulement sont moins forts dans les années actuelles que dans les années fin 60 – 70 pour les trois stations. Les valeurs du coefficient d'écoulement en période hivernale pour les stations des deux petits bassins : celle de la Loisançe et du Nançon suivent une tendance à la hausse également attestée par l'utilisation des statistiques. Pour la station de Romazy, la période hivernale n'a pas montré de tendance ou de rupture. La période printanière (AMJ) quant à elle présente une rupture

en 1986. Les valeurs après la rupture sont plus faibles, donc actuellement les écoulements dans le Couesnon sont plus faibles à la station de Romazy. Les saisons de l'automne pour les trois stations et du printemps pour les deux stations de la Loisançe et du Nançon ne sont pas présentés ici car leurs résultats ne sont pas significatifs. Les tests statistiques n'ont pas montré de tendance ni de rupture sur les données de ces périodes.

2- Réactivité du milieu

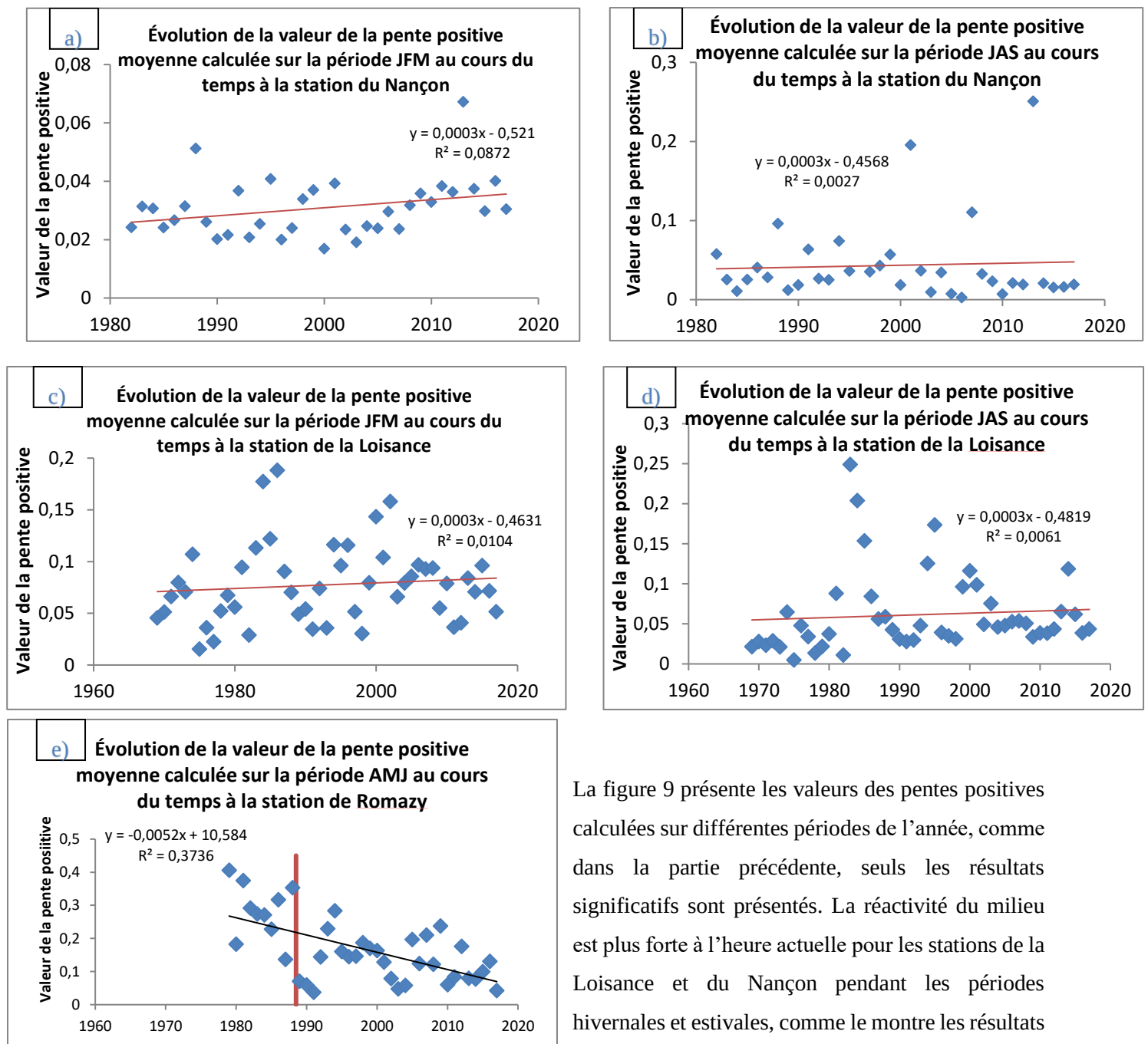


Figure 9 - Représentation graphique de l'évolution de la valeur de la pente positive calculée sur différentes périodes pour les 3 stations hydrométrique du bassin du Couesnon, la couleur rouge de la droite de régression linéaire indique une tendance ou une rupture

La figure 9 présente les valeurs des pentes positives calculées sur différentes périodes de l'année, comme dans la partie précédente, seuls les résultats significatifs sont présentés. La réactivité du milieu est plus forte à l'heure actuelle pour les stations de la Loisançe et du Nançon pendant les périodes hivernales et estivales, comme le montre les résultats du test de corrélation des rangs. Mais pendant la période de l'Automne et du Printemps, les tests statistiques ne montrent pas de tendance ou rupture

sur la réactivité du milieu des deux stations. Pour la station de Romazy, les résultats sont moins parlants sauf pour la période printanière (figure 9 e) qui montre comme en partie précédente une rupture en 1986. Les résultats sur les autres périodes de l'année pour cette station ne montrent ni tendance ni rupture selon les tests statistiques.

3) Coefficient de tarissement

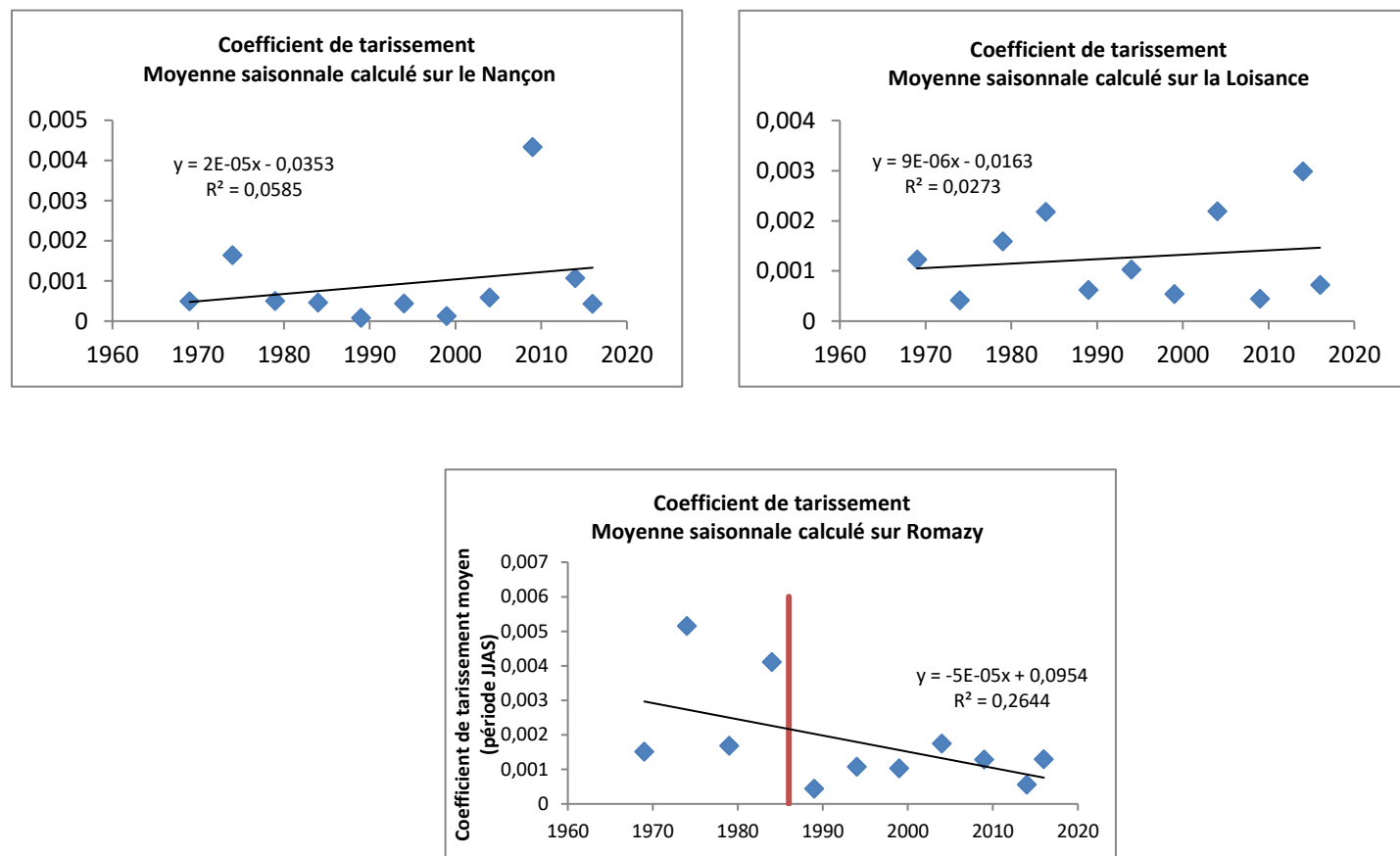
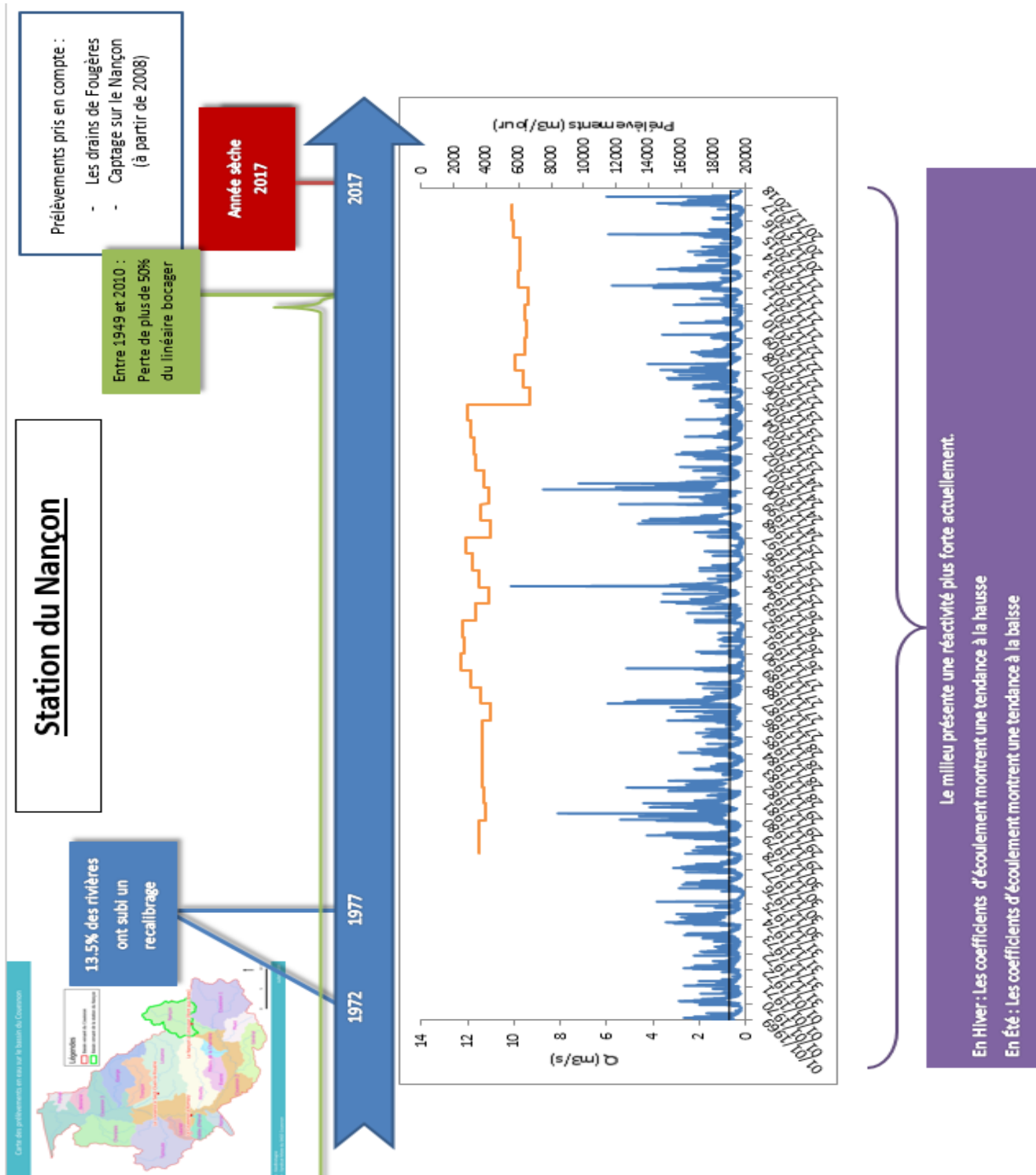


Figure 10 - Graphes des Valeurs de coefficients de tarissement en fonction du temps

La figure 10 ci-dessus présente les résultats des calculs de coefficients de tarissement moyen sur la période de Juin à Septembre pour les trois stations de jaugeage du bassin du Couesnon. Les tests statistiques utilisés n'ont trouvé ni tendance ni rupture sur les valeurs des coefficients de tarissement des stations du Nançon et de la Loisanse. Cependant les valeurs de la station de Romazy présentent une rupture entre 1984 et 1989 selon le test de Pettitt et la segmentation de Hubert. Avant la rupture, les valeurs du coefficient de tarissement sont plus fortes qu'après celle-ci.

Troisième partie : Frises chronologiques incluant les résultats de la première partie et les changements dans le milieu



Station de la Loissance

Prélèvements pris en compte :

- Les drains de Rennes
- Quincampoix / Bas Sancé (à partir de 2008)

Entre 1949 et 2010 :
Perte de plus de 50%
du linéaire bocager

Année sèche
2017

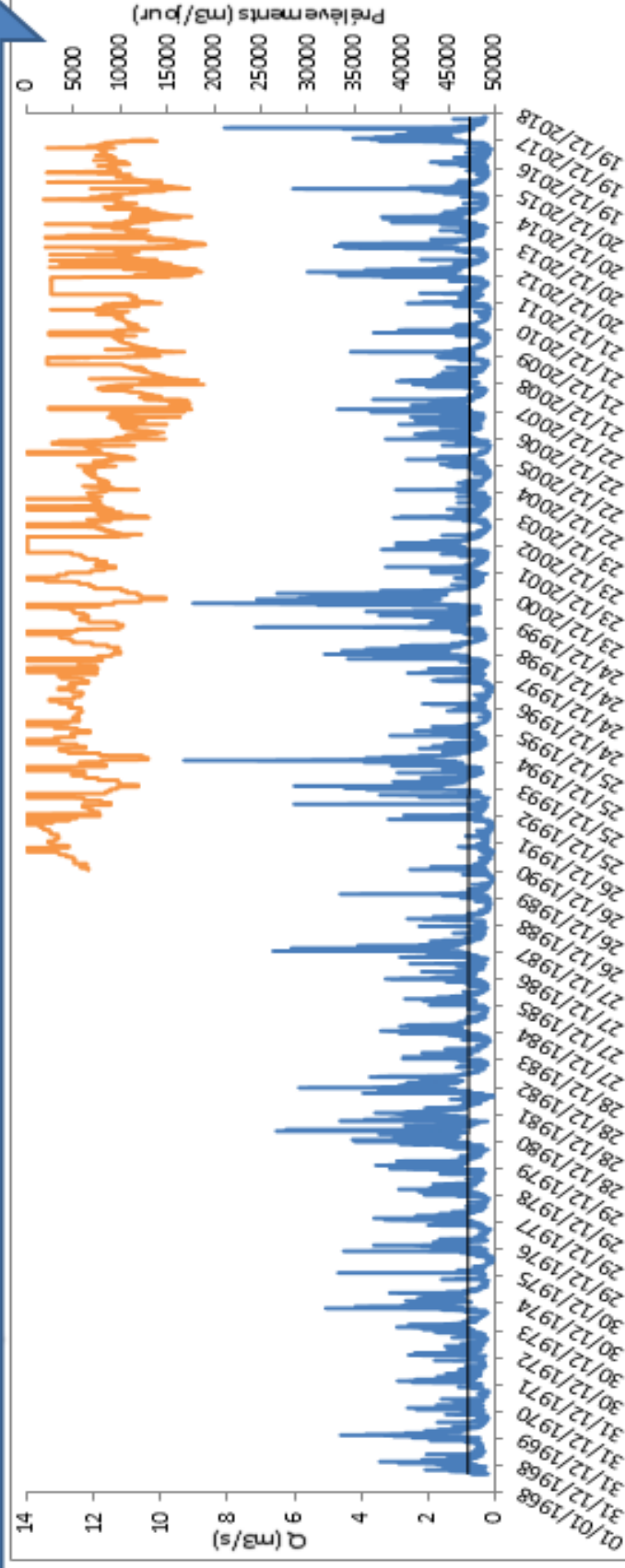
2017

1980

1972

Fin des grands travaux
hydrauliques et drainage
(1980)

Début des grands
travaux hydrauliques et
drainage (1972 – 1973)



Le milieu présente une réactivité plus forte actuellement

En Hiver : Les coefficients d'écoulement montrent une tendance à la hausse

En Été : Les coefficients d'écoulement montrent une tendance à la baisse



Station de Romazy sur Couesnon

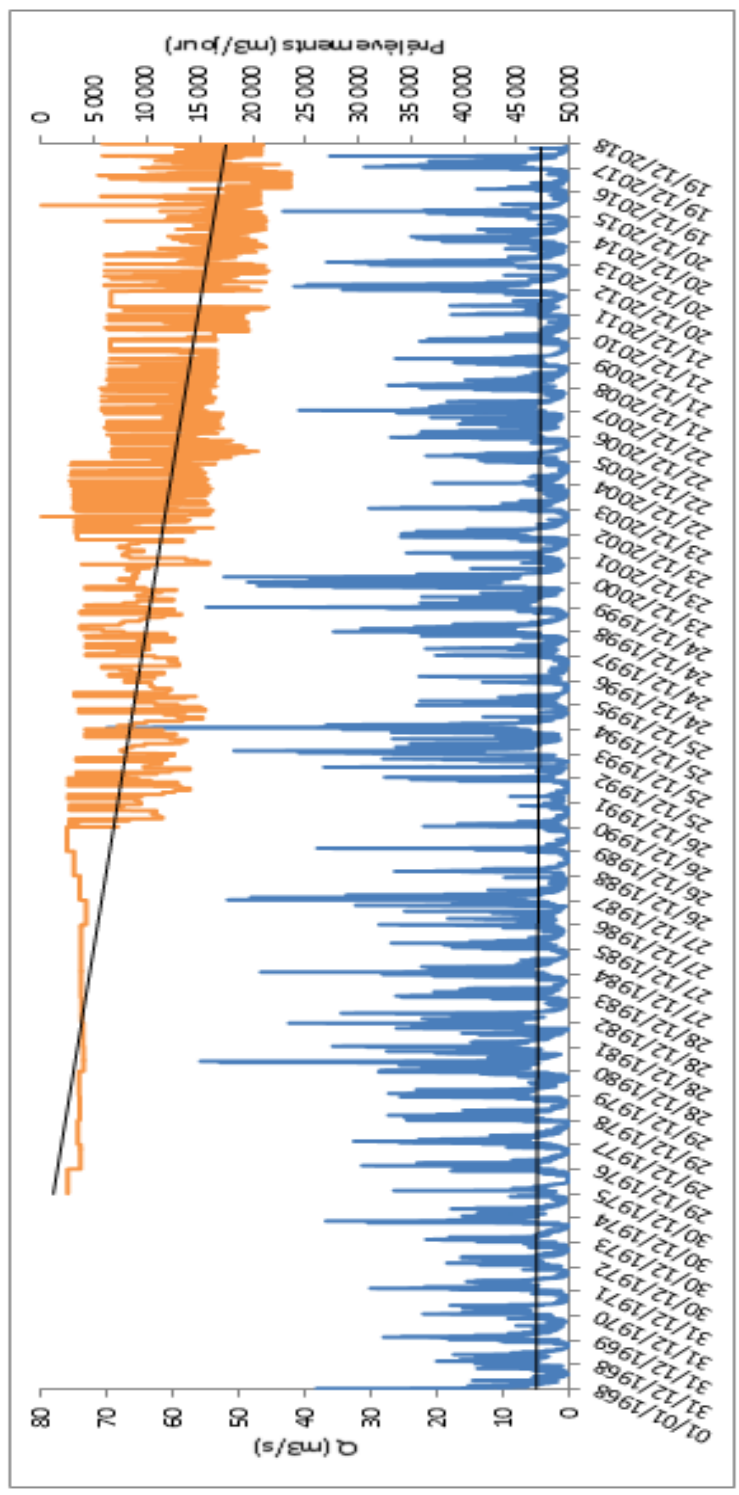
36% des rivières ont subi un recalibrage

Rupture observée sur les coefficients d'écoulement et de tarissement et sur la réactivité du milieu (en été)

Entre 1949 et 2010 :
Perte de plus de 50% du linéaire bocager

- Prélèvements pris en compte :
- La Roche
 - Prélèvements de surface sur le Nançon

Année sèche 2017



IV- Discussion

L'ensemble des résultats n'est pas présenté dans ce rapport au vu de leur intérêt dans la réponse à la problématique. En effet certaines étapes de calcul ont plus été utilisées comme des actions préliminaires aux calculs pour lesquels cette étude porte un plus grand intérêt. Ainsi les résultats des calculs préliminaires évoqués dans la partie « Matériels et méthodes » ne sont donc pas présentés dans ce rapport.

Première partie :

Dans cette partie de discussion, les résultats issus des mesures aux stations du Nançon et de la Loisanche seront traités séparément de ceux issus des mesures à Romazy sur Couesnon. En effet, les résultats sur les stations des deux petits bassins versants sont semblables et amènent aux mêmes conclusions, contrairement à la station de Romazy dont le bassin est de 510 Km² et qui présente des résultats différents. Les bassins versants montrent des débits qui ne sont pas influencés de la même façon selon leur taille.

Les résultats graphiques et statistiques sur les valeurs de coefficient d'écoulement et de réactivité du milieu des stations de la Loisanche et du Nançon montrent une tendance à la hausse en période hivernale (de Janvier à Mars). Ces observations révèlent que lors de cette période de l'année, les deux rivières présentent des écoulements plus conséquents et une réactivité plus forte actuellement que 50 ans auparavant. Ces tendances ne sont cependant pas très significatives. En effet en 50 ans le ratio entre le volume écoulé dans la rivière et celui issu des précipitations a subi une modification d'environ 5% pour le Nançon et de 7% pour la Loisanche. Des hypothèses sur les causes de ces observations peuvent être formulées. La destruction du bocage, le drainage des zones humides ainsi que les recalibrages des rivières au cours des années, peuvent être responsables de ces tendances. Le changement des pratiques agricoles et notamment le travail et la couverture des sols peuvent également expliquer ces résultats. Cependant ces deux hypothèses peuvent difficilement être vérifiées, car l'impact des deux facteurs évoqués n'est pas brutal mais plutôt progressif.

Les résultats sur les stations du Nançon et de la Loisanche pendant la période de Juillet à Septembre, affichent une tendance à la baisse pour les valeurs du coefficient d'écoulement, et une tendance à la hausse pour la réactivité du milieu (pentes $\Delta Q/\Delta t$). Pendant l'été, les rivières réagissent plus rapidement à la suite d'un événement pluvieux mais la part du volume précipité qui s'écoule dans la rivière est plus faible. À nouveau, les tendances observées ne sont pas très marquées, pour la station du Nançon la relation pluie-débit est modifiée de 6% et celle de la Loisanche de 7.5% en 50 ans.

Les hypothèses posées sur les résultats issus des données de pentes en période hivernale peuvent également être émises ici. Cependant, les résultats pour les valeurs de coefficients d'écoulement étant différents, d'autres causes peuvent être évoquées notamment celle du changement climatique. En effet,

celui-ci joue peut-être déjà un rôle sur la proportion d'écoulement dans la rivière par rapport au volume précipité, notamment sur l'évapotranspiration qui peut être une part plus grande. Les tendances n'étant pas significatives, établir une conclusion sur ces résultats est assez difficile car les données de prélèvements ne sont pas connues sur toute la période d'étude. Il n'est pas possible de savoir si ce sont les changements dans le milieu ou la hausse des prélèvements qui sont responsables de ces tendances.

Pour le coefficient de tarissement calculé sur les deux stations ; Nançon et Loisançe, les tests statistiques n'ont montré ni tendance ni rupture. Ainsi les nappes semblent suffisamment volumineuses pour ne pas être impactées par les changements de valeur des pluies efficaces (coefficient d'écoulement), par les changements dans le milieu et par la hausse des prélèvements.

Les résultats sur les données de la station de Romazy sur Couesnon montrent une rupture dans la fin des années 1980 (85-89) pour la période printanière. Cette rupture indique des données plus fortes avant et plus faibles après pour les trois valeurs étudiées : coefficient d'écoulement, valeur de la pente positive moyenne pendant la période d'Avril à Juin et coefficient de tarissement. Ainsi, ces résultats indiquent que pendant cette période, l'écoulement dans le Couesnon est moins fort actuellement qu'avant la rupture et le milieu est également moins réactif. Le coefficient de tarissement présente des valeurs plus faibles pendant les années après la rupture, ainsi la nappe semble se tarir moins vite actuellement qu'avant la rupture. L'hypothèse qui peut être posée pour expliquer ces observations est que la part de volume d'eau infiltré en période de printemps, est plus conséquente depuis ces dernières vingtaines d'années. En effet, l'application des tests statistiques sur les volumes écoulés dans la rivière pendant cette période d'Avril à Juin montre également une rupture entre 1986 et 1987 (Figure 8 d). Les données de prélèvements (depuis 2008) réalisés sur le captage de la Roche ont de la même façon été soumis aux tests statistiques (Résultats en ANNEXE 4) afin d'observer si un lien pouvait être établi entre le coefficient de « prélèvement » et celui d'écoulement. Les résultats statistiques sur les coefficients d'écoulement pendant cette période montrent des ruptures positives quand les coefficients d'écoulement montrent des ruptures négatives. Cependant l'absence de données de prélèvements avant 1991 ne nous permet pas de justifier la rupture datant de la fin des années 80, car cette rupture n'est visible que pendant la période d'Avril à Juin et non par sur l'année. Sur les autres périodes de l'année, la station de Romazy ne présente pas de tendance ou ruptures, à part le coefficient d'écoulement en période estivale qui présente une tendance à la baisse comme pour les deux autres stations. Les causes évoquées pour celles-ci peuvent aussi être utilisées pour justifier cette tendance décroissante sur cette station.

Les changements observés ne sont cependant pas suffisamment conséquents pour aller au delà des erreurs de mesures et pour conclure. La représentation des résultats des tests statistiques sur les valeurs étudiées et des changements dans le milieu qui ont pu être datés (grande phase de destruction du bocage, recalibrage des rivières, ...) sous forme de frise comme dans la partie 2 des Résultats est donc le meilleur

moyen d'associer les deux phases de cette étude. Les résultats n'étant pas assez marqués pour aller plus loin que cette représentation.

Les données de débit représentent les données de base de cette étude et sont issues du site de la banque HYDRO, or sur cette donnée existe une incertitude qui peut varier selon les années et les stations. En effet les débits étant calculés grâce à une courbe de tarage qui peut parfois être erronée, le site de la banque HYDRO fournit une appréciation des valeurs de débits. Pour la station de la Loisançe, les données sont validées (douteux ou bons) sauf pour la période de 2003 à 2019 pendant laquelle elles sont décrites comme provisoires (le producteur n'a pas encore validé ces données). Pour la station du Nançon, les données sont toutes définies comme provisoires sauf pour l'année 1995. Pour la station de Romazy sur Couesnon, de nombreuses années présentent des données qualifiées comme invalidées (en attente de revalidation après une modification) de 1968 à 1977, de 1984 à 1987, de 1989 à 1991 et de 1993 à 1996. Cette station présente également des données validées « bon » de 2001 à 2006, le reste des données est qualifiée de provisoire. Ces appellations peuvent certes inspirer peu de confiance, cependant leur mise en ligne indique tout de même une relative fiabilité.

Les tests statistiques utilisés pour démontrer la présence de tendance et/ou de rupture présentent également des incertitudes. Le test de corrélation sur le rang n'est pas sensible à un changement brutal de la valeur de l'écart type mais il est puissant dans les cas où la non-stationnarité d'une série est due à une rupture ou une tendance sur la valeur de la moyenne. Ce test est influencé par des observations dépendantes de différentes façons selon le taux de rupture et le signe du coefficient d'autocorrélation. La puissance du test de Pettitt varie selon la valeur caractéristique statistique qui présente la rupture. Des simulations ont permis de mettre en évidence que ce test permet uniquement d'estimer une rupture sur la moyenne. Pour le test de Buishand, la part de séries reconnues comme présentant une rupture augmente linéairement avec le taux de rupture, ainsi ce test reste puissant pour des ruptures mêmes modérées sur la moyenne. La segmentation de Hubert ne présente aucun niveau de signification. Le signe du coefficient d'autocorrélation influence le comportement des tests statistiques et ceux-ci ne sont pas robustes vis-à-vis à la fois d'une autocorrélation négative et positive (*Lubes-Niel et al., 2012*).

Les méthodes de calcul sont aussi une source d'incertitude dans cette étude. Le calcul du coefficient d'écoulement est souvent réalisé dans des études hydrologiques (*Hallouz, Meddi and Mahe, 2013*). Les façons de le réaliser sont diverses et variées, et la méthode utilisée ici reste simple mais elle permet d'obtenir des résultats intéressants facilement. Le manque de connaissance détaillée sur l'aquifère ne permet pas d'aller au-delà de ce calcul de coefficient d'écoulement saison par saison. Le calcul des pentes de débit sur le temps représentant la réactivité du milieu est plus un calcul intuitif qu'une méthode connue et utilisée de manière récurrente. De plus les débits utilisés pour cette méthode sont des débits à pas de temps variables, donc des valeurs qui peuvent présenter plus d'incertitudes que les débits journaliers car elles sont plus nombreuses. Les hypothèses de la méthode pour calculer le

coefficient de tarissement ne sont pas respectées dans la réalité, car le milieu naturel est plus complexe que ces simples hypothèses. Cependant, en pratique, cette méthode de l'exponentielle fonctionne bien. Le calcul du coefficient de tarissement se fait selon des règles qui ont été décrites en partie Matériel et Méthodes, la visualisation graphique est nécessaire pour être sûr que la section choisie corresponde bien à un tarissement de la nappe. Lors de cette étape, c'est l'opérateur qui sélectionne ou non chaque période ainsi une incertitude liée à l'action humaine existe sur ce calcul du coefficient qui est délicat à réaliser. De plus, après une discussion avec Laurent LONGUEVERGNE (Directeur de recherche à Géosciences Rennes), le nombre de jour en période de tarissement impacte les calculs, selon lui ce nombre devrait être au moins de 10 ce qui est rarement possible sur les données disponibles du bassin du Couesnon. Les récessions sélectionnées dans cette étude sont donc courtes et peuvent être liées à des écoulements autres que ceux des aquifères. La méthode de calcul est affectée par des incertitudes, les débits de faibles valeurs qui sont utilisés pour réaliser cette méthode sont très affectés par les erreurs de mesure.

V- Conclusion

La mise en place de la réponse aux questionnement initial qui était de savoir si les ressources en eaux superficielles représentées par les valeurs de débit ont connu des modifications au cours de la période de mesure s'est faite en différentes étapes. Une première analyse a été réalisée sur les valeurs de débits bruts et une seconde sur des valeurs plus travaillées mélangeant les valeurs de débit et de précipitations ; le coefficient d'écoulement, la réactivité du milieu et le coefficient de tarissement. Ces analyses ont été réalisées grâce à cinq tests statistiques, qui n'ont pas montré de tendance ni de rupture sur les résultats bruts mais sur les valeurs plus travaillées. En effet, les stations de la Loisanze et du Nançon présentent actuellement des coefficients d'écoulement plus forts en hiver et moins fort en été, et une réactivité du milieu plus forte. Les tendances observées ne sont cependant pas très conséquentes, leur cause est donc difficile à définir. Le changement climatique et les modifications anthropiques sur le milieu (hausse des prélèvements, modification du paysage, etc.) semblent ainsi impacter les ressources en eau sur ces deux petits bassins. Pour la station de Romazy, aucune tendance n'est montrée mais une rupture est visible pour la période printanière entre 1985 et 1989 sur les volumes écoulés et sur les valeurs travaillées. La raison de cette rupture reste encore inconnue à ce jour. Les raisons possibles pourraient venir d'une modification des prélèvements en eau sur le Couesnon à Mézières sur Couesnon ou bien d'une modification sur la façon de prélever, mais l'absence de données pendant cette période ne permet pas de confirmer ou non ces hypothèses. La représentation sous forme de frise comme réalisée dans cette étude est un bon moyen de regrouper les résultats obtenus avec les possibles causes qui y sont associées.

Ces résultats qui ne montrent pas de forts changements sur les valeurs de débit et sur les valeurs calculées grâce aux valeurs de débits et aux précipitations permettent de justifier la poursuite du travail,

c'est-à-dire la réalisation d'un bilan entre les besoins et les ressources en eau sur le bassin du Couesnon. Ce bilan doit être fait pour une période actuelle afin d'observer s'il est équilibré mais aussi pour une période future, avec différents scénarios comme ceux estimés par le DRIAS (portail de projections climatiques) liés au changement climatique (hausse de la température et modification des précipitations). Mais aussi en tenant compte du scénario estimé par les SCOT (Schéma de Cohésion Territoriale) sur la hausse des populations (1% de population en plus par an pour le SCOT de Fougères).

VI- Bibliographie

Aurenhammer, F. (1991) 'Voronoi diagrams---a survey of a fundamental geometric data structure', *ACM Computing Surveys*, 23(3), pp. 345–405. doi: 10.1145/116873.116880.

Bodian, A. (2012) 'Apport de la modélisation pluie-débit pour la connaissance de la ressource en eau : application au haut bassin du fleuve Sénégal', *Climatologie*, (Volume 9), pp. 2010–2011. doi: 10.4267/climatologie.223.

Damant, C. *et al.* (1983) 'Errors in the Thiessen Technique for Estimating a real rain amounts using weather radar data', *Journal of Hydrology*, 62, pp. 81–94. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0022169483900951>.

Fénéon, Jérôme (2010) 'Analyse hydrogéomorphologique et modélisation pluie / débit sur le bassin-versant de la Lizonne', (0).

Hallouz, F., Meddi, M. and Mahe, G. (2013) 'Etude des relations pluie / débit via les coefficients d'écoulement et le cumul de déficit de pluie dans le bassin versant de l'oued Mina (nord ouest d'Algérie)', (October 2015). Available at: <http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010060132>.

Hubert, P. and Mohamed, M. (2003) 'Impact de la modification du régime pluviométrique sur les ressources en eau du nord-ouest de l'Algérie', *Hydrology of the Mediterranean and Semiarid Regions (Proceedings of an international symposium held at Montpellier, April 2003)*. IAHS Publ. no. 278, (278), pp. 229–235.

James, D. *et al.* (2008) 'Bilan besoins-ressources sur le bassin versant de la Midouze', (0). Available at: <https://www.gesteau.fr/document/bilan-besoins-ressources-sur-le-bassin-versant-de-la-midouze>.

Lang, C. (2007) 'Etiages et tarissements : vers quelles modélisations ? L'approche conceptuelle et l'analyse statistique en réponse à la diversité spatiale des écoulements en étiage des cours d'eau de l'Est français'. Available at: https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00534656/file/These_Lang_C.pdf.

Lang, C. and Gille, E. (2006) 'Une méthode d'analyse du tarissement des cours d'eau pour la prévision des débits d'étiage A recession analysis method for low flow forecasting', *Norvis*, (201), pp. 31–43. doi:

10.4000/noroi.1743.

Lemaitre, F. (2002) 'Lemaitre Fabien Travail de fin d'études (Juin 2002)'. Available at: <http://pnrhns.lyon.cemagref.fr/Fichiers/Lemaitre.pdf>.

Lubes-Niel, H. *et al.* (2012) 'Variabilité climatique et statistiques. Etude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques Climatic variability and statistics. A simulation approach for estimating power and robust', *Revue des sciences de l'eau*, 11(3), p. 383. doi: 10.7202/705313ar.

Orsoni, J. (2012) 'Bilan besoin – ressources – sécurité en eau Phases 1-2-3 : Bilan'. Available at: <https://www.smeil.fr/les-actions-du-sage/1-gestion-quantitative/besoins-et-ressources-en-eau/>.

Roche, M. (1963) 'Hydrologie de Surface', *Science*, 140(3567), p. 659. doi: 10.1103/PhysRevB.78.184302.

Tallaksen, L. M. (1995) 'A review of baseflow recession analysis', *Journal of Hydrology*, 165(1–4), pp. 349–370. doi: 10.1016/0022-1694(94)02540-R.

VII- Annexes

1 - Géologie et Hydrogéologie du bassin du Couesnon

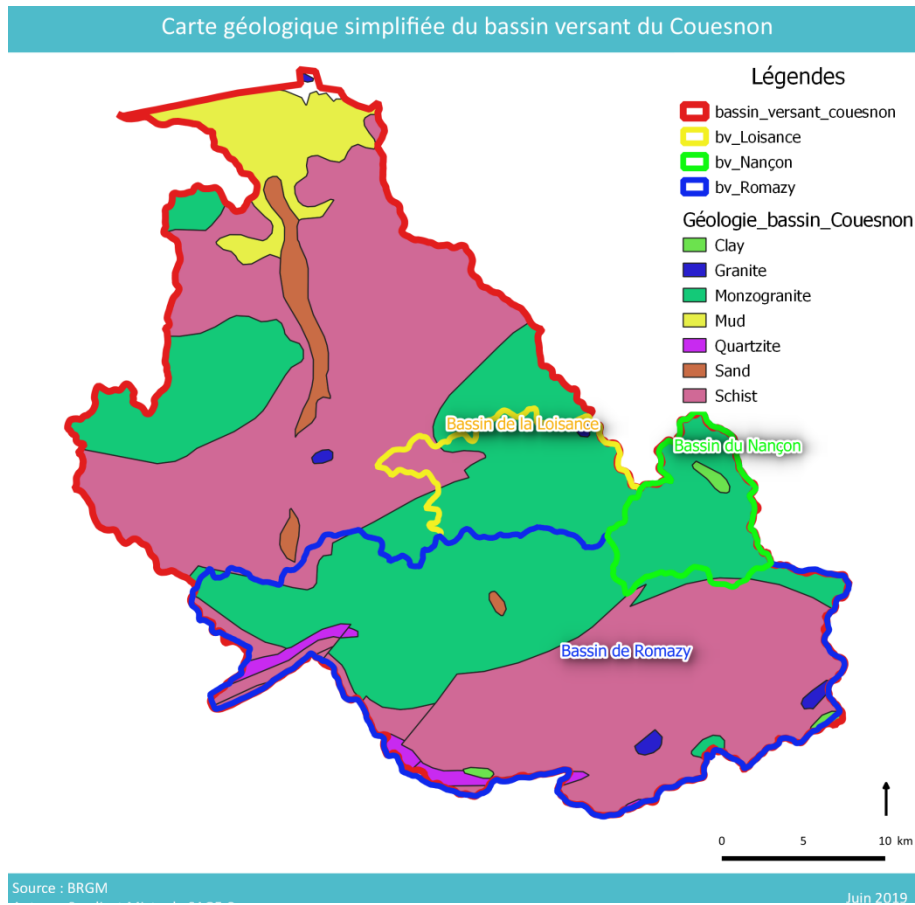


Figure 11 - Carte géologique simplifiée du bassin du Couesnon

Le bassin versant du Couesnon se situe dans l'unité de Fougère appartenant au domaine Cadomien Normano-Breton. Il est composé de schistes du Briovérien (violet sur la Figure 12) dans lesquels se sont introduits des plutons granitiques (vert foncé sur la Figure 12) qui lors de leur mise en place étaient plus chauds que les schistes, ceci a permis une « re-cuisson » des schistes qui sont devenus des roches métamorphiques : schistes tachetés et cornéennes.

Les granites se composent de minéraux en proportion assez semblables : 30 % de quartz, 50% de feldspath et de 15 à 20% de biotite (mica noir), ces biotites sont favorables à l'altération des granites en arènes granitiques. L'âge des granites est estimé autour de 500 à 550 millions d'années, période du Cambrien.

Le fleuve du Couesnon est essentiellement localisé dans les schistes, en effet son lit contourne les granites, il représente un linéaire de 98 km du Sud vers le Nord. Il prend sa source à St Pierre des Landes en Mayenne et se finit dans la baie du Mont St Michel.

Pour ce qui est de la partie hydrogéologie, les nappes de socle se situent dans 2 niveaux qui se superposent et qui sont connectés entre eux. Le niveau le plus superficiel est celui des altérites et celui plus profond celui de la roche fissurée. Ces deux niveaux ne présentent pas les mêmes caractéristiques hydrologiques, le niveau des altérites est argileux et présente une capacité de stockage plutôt élevée alors que le niveau fissuré est transmissif. (Source : Fiche BDLISA sur le site du siges de Bretagne)

Les trois bassins indiqués sur la carte correspondent aux bassins versant des 3 stations hydrométriques dont les données de débit vont servir à l'analyse de l'évolution des ressources en eau. Ainsi une comparaison géologique de ces trois bassins semble intéressante. Les bassins de la Loisançe et du Nançon sont majoritairement constituées de granodiorite avec respectivement 72.92 km² et 61.8 km² de cette roche plutonique. Le bassin de la station de Romazy est plus hétérogène, avec une superficie de 243.66 km² de granodiorites et 255 km² de schistes. Le bassin du Nançon présente une géologie principalement constituée de granodiorite (61,8 km²) et avec peu de schiste (0,73 km²) et d'argile (1,78 km²). Le bassin de la Loisançe est également majoritairement constitué de granodiorite (72.92 km²) et dans une portion plus faible de schistes (10.15 km²).

Ainsi le bassin de Romazy présente un potentiel réservoir d'eau matérialisé par le granite trois fois plus grand que les deux autres bassins.

En effet une étude réalisée sur le Nançon (Mougin et al. 2008) a permis grâce à des cartes et des sondages de résonance magnétique protonique (RMP) d'estimer les teneurs en eau des horizons de différentes formations géologiques. Les résultats montrent une teneur en eau plus forte dans les horizons des granodiorites (Louvigné du Désert et Vire) que dans les cornéennes (Fougères)

La géologie n'est pas le seul facteur « naturel » a influencé les débits des cours d'eau, en effet le relief présenté en figure 12 joue un rôle important également. Plus le relief est fort et plus le ruissellement sera conséquent par rapport à l'infiltration. La capacité d'infiltration des roches est également un facteur pouvant impacter les débits (A. Boisson du BRGM Bretagne).

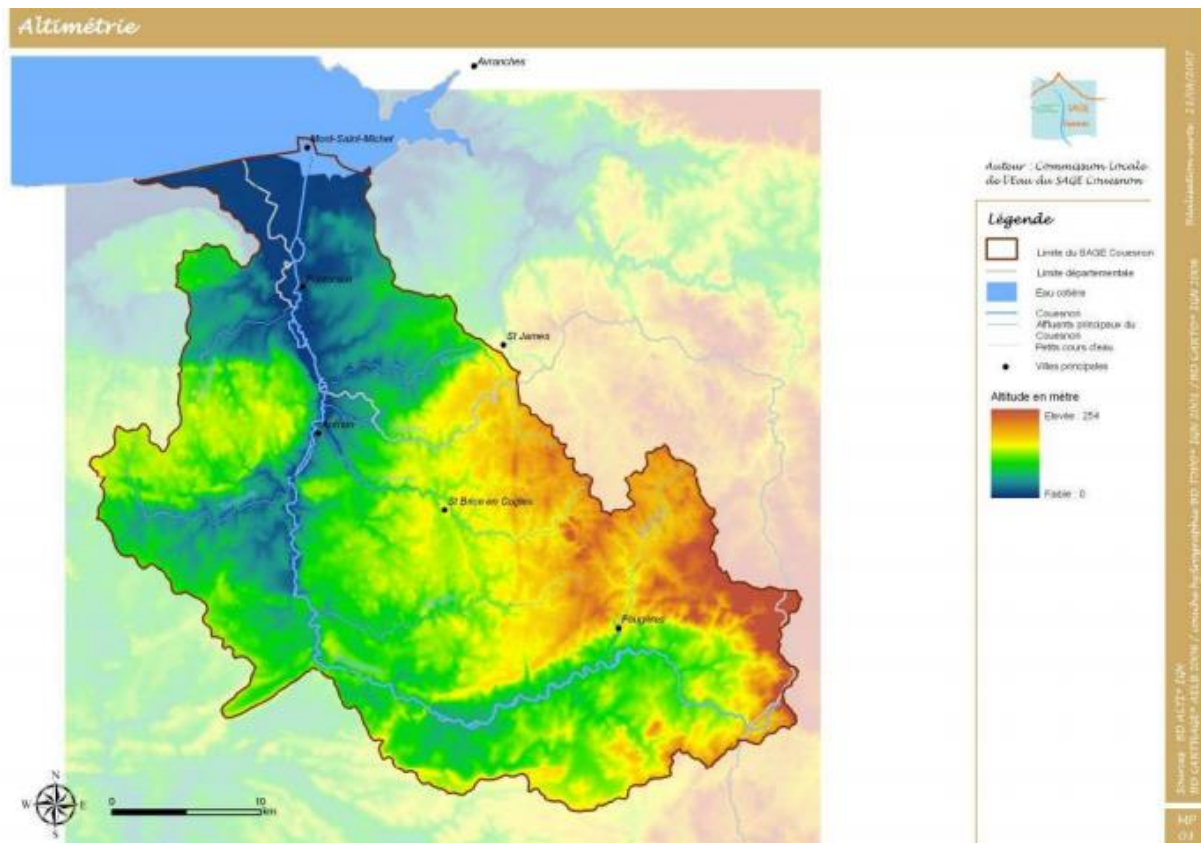


Figure 12 - Carte des reliefs du bassin du Couesnon

2 - Tests statistiques et logiciel Khronostat

1) Test de corrélation sur le rang ou test de Kendall

Ce test vise à définir si une série chronologique est aléatoire ou bien si elle suit une tendance. Il n'a pas besoin de précisions sur les paramètres pour fonctionner, c'est un test de tendance non-paramétrique.

L'hypothèse nulle de ce test est que la série est aléatoire (stationnaire ou non) et l'hypothèse alternative est que la série présente une tendance croissante ou décroissante.

Statistique du test :

La statistique de ce test correspond au nombre c d'intervalles sur lesquelles la série est strictement croissante.

Distribution de cette statistique sous l'hypothèse H_0 :

Pour tout $n > 30$, la statistique c suit une loi normale de moyenne :

$E(c) = (n-1)/2$ et de variance : $V(c) = (n+1)/12$, sous l'hypothèse nulle H_0 .

Si le quantile de probabilité $1 - \frac{\alpha}{2}$ pour la loi normale centrée réduite désigné comme $U_{1-\alpha/2}$, alors la région d'acceptation de l'hypothèse nulle est comprise entre :

$$E(c) - U_{1-\alpha/2} V(c) \text{ et } E(c) + U_{1-\alpha/2} V(c)$$

Les avantages de ce test sont sa simplicité de mise en place et le fait qu'il ne nécessite pas que la série chronologique suive une distribution particulière, le test est dit libre. Cependant le test ne permet pas d'affirmer qu'une série est stationnaire, en effet si l'hypothèse H_0 est vérifiée la série chronologique est aléatoire mais pas forcément stationnaire. Ce test permet tout de même dans le cas où H_0 est rejetée d'affirmer que la série étudiée suit une tendance croissante ou décroissante.

2) Test de Buishand

Le test de Buishand est un test de rupture paramétrique datant de 1982, basé sur les écarts cumulés. Ce test suppose à un moment précis m un changement de moyenne de la série étudiée :

$$x_i = \begin{cases} \mu + \varepsilon_i & \text{avec } i = 1, \dots, m \\ \mu + \Delta + \varepsilon_i & \text{avec } i = m+1, \dots, n \end{cases}$$

Les valeurs de ε correspondent à des variables aléatoires normales présentant une variance commune mais inconnue (σ^2) et une moyenne nulle. La lettre m correspond au point de rupture de la série et tout comme μ et Δ , sa valeur est inconnue.

Pour tout $k = 1, \dots, n$:

$$S_k = \sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x}) \quad \text{Eq (3)}$$

avec $\bar{x}$ la moyenne de x_1 à x_n .

Les propriétés de S_k sont définies comme :

$$E(S_k) = -k(N-m)N^{-1}\Delta, \quad k = 0, \dots, m$$

$$E(S_k) = -m(N-k)N^{-1}\Delta, \quad k = m+1, \dots, N$$

$$V(S_k) = k(N-k)N^{-1}\sigma^2, \quad k = 0, \dots, N$$

La variable suit une distribution normale présentant une moyenne nulle et une variance :

L'hypothèse H_0 de ce test est que la série est stationnaire (absence de rupture).

Statistique du test :

La statistique de ce test se définit grâce au maximum de la somme cumulée des écarts à la moyenne

ou à la médiane : $k(N-k)N^{-1}\sigma^2$, pour $k = 0, \dots, N$. La valeur de σ^2 qui est inconnue est remplacée par un estimateur à partir de la série étudiée.

Ainsi S_k présente une variance de valeur : $k(N-k)N^{-1}Dx^2$, $k = 0, \dots, N$ avec

$$Dx^2 = N^{-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \quad \text{Eq (4)}$$

Statistique du test de Buishand :

La statistique U se définit par :

$$U = [N(N + 1)]^{-1} \sum_{k=1}^{N-1} \left(\frac{S_k}{D_x} \right)^2, \quad \text{Eq (5)}$$

cette statistique est définie en supposant que la distribution de la position du point de rupture m soit uniforme.

La statistique U est efficace pour l'ensemble des changements de moyenne qui se produisant au milieu de la série et elle reste correcte pour des distributions de variable s'éloignant d'une distribution normale.

3) *Ellipse de Bois*

Ce test est également basé sur la somme des écarts cumulés S_k , si on pose l'hypothèse d'une série stationnaire alors la série S_k/σ suit une loi normale de variance $k(N-k)\sigma^2/N$ et présentant une moyenne nulle. Ainsi les intervalles de confiance de ces écarts cumulés peuvent être dessinés sous forme d'ellipsoïdes. Ce test a été créé à l'origine pour évaluer l'homogénéité d'une série chronologique, il permet de tester les anomalies ponctuelles ou de rupture ou encore de tendance. (Bois, 1986)

L'hypothèse nulle de ce processus est que la série n'admet pas de rupture.

La région de confiance ou autrement décrite comme l'ellipse de contrôle se définit comme suit :

$$\pm \frac{U_{1-\alpha/2} \sqrt{k(N-k)}}{\sqrt{(N-1)}} Dx,$$

pour un seuil de confiance de $1 - \frac{\alpha}{2}$.

Il est possible de calculer le nombre maximum admissible de points localisés à l'extérieur de l'ellipse afin de définir si une série est stationnaire ou non, comme Bois l'a réalisé en 1986. L'avantage de ce test est qu'il fournit des résultats graphiques éloquentes comme le montre la figure 13 ci-dessous.

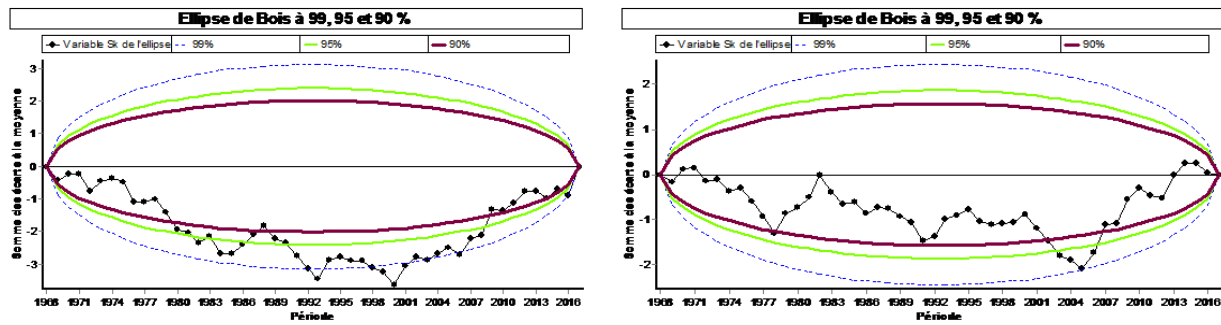


Figure 13 - Somme des écarts cumulés accompagnée de son intervalle de confiance, à gauche H_0 est rejetée et à droite H_0 est acceptée

4) Test de Pettitt

Ce test est non paramétrique et libre, le test de Pettitt correspond à un test sur le rang. Ce test est réputé pour sa robustesse, il s'appuie sur un découpage de la série chronologique en deux sous échantillons avec des tailles spécifiques. Le test de Pettitt est un test classique de détection de non-stationnarité qui détecte les ruptures uniques en moyenne.

L'hypothèse nulle H_0 est donc que la série chronologique ne présente pas de rupture.

Statistique du test :

Première étape : Définition de la fonction signe :

$$\forall x > 0, \text{signe}(x) = 1$$

$$x = 0, \text{signe}(x) = 0$$

$$\forall x < 0, \text{signe}(x) = -1$$

La statistique du test est $U(t)$:

$$U(t) = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^n \text{signe}(x_i - x_j) \quad \text{Eq (6)}$$

Calcul de la probabilité p :

La probabilité p correspond à la probabilité de dépassement de la valeur k prise par la statistique T du test sur la série étudiée ;

$$T = \max(|U(t)|) \text{ pour } t = 1, \dots, n$$

$$k = \max\left(\left|\frac{U(t)}{\sqrt{nt-t^2}}\right|\right) \text{ pour } t = 1, \dots, n.$$

La probabilité p correspond à :

$$p = P(T \geq k) = 2 \exp\left(\frac{-6^2}{T^3 + T^2}\right).$$

Si $p < \alpha$ alors H_0 est rejetée, $\alpha = \text{seuil de test}^*$

*La valeur α correspond au seuil de test, or ce seuil est à prendre en compte pour accepter ou refuser l'hypothèse nulle d'un test. En effet le risque de rejeter H_0 à tort existe et correspond à la valeur de ce seuil de test α .

5) Segmentation de Hubert

Cette procédure permet de segmenter une série temporelle afin de localiser la ou les ruptures qu'elle présente (Hubert, 1989). Cette segmentation se fait de façon à ce que chaque segment présente une moyenne significativement différente de celle des segments qui lui sont voisins.

L'hypothèse nulle de ce test est la série chronologique est stationnaire.

Pour une série temporelle notée x_i avec i allant de 1 à n (observations) divisée en m segments avec $m \in [1; n]$. Pour tout k qui soit compris entre 1 et m , à partir d'une segmentation spécifique d'ordre m , on définit :

i_k avec $k=1,2,3,\dots, m$ et $i_0 = 0$

$n_k = i(k) - i(k-1)$

$$\overline{X}_k = \frac{\sum_{i=i_{k-1}+1}^{i_k} X_i}{n_k} \quad \text{Eq (7)}$$

$$d_k = \sum_{i=i_{k-1}+1}^{i_k} (X_i - \overline{X}_k)^2 \quad \text{Eq (8)}$$

L'élément d_k correspond à l'écart quadratique entre le segment k et les éléments associés de la série d'origine.

$$D_m = \sum_{k=1}^{k=m} d_k \quad \text{Eq (9)}$$

L'élément D_m quant à lui, est l'écart quadratique entre la série et la segmentation réalisée.

Pour qu'une segmentation soit retenue dans le résultat final, elle doit être de telle façon à ce que pour un ordre de segmentation m , l'écart quadratique soit minimum. Une deuxième condition doit également être remplie pour déterminer la meilleure segmentation possible, les moyennes de deux segments voisins doivent être significativement distinctes. Le test de Scheffé permet de répondre à cette contrainte (Lemaitre, 2002).

Si la réalisation de cette procédure ne produit pas un nombre de segments supérieur ou égal à deux alors H_0 est acceptée sinon elle est rejetée et ce résultat peut être interprété comme le fait que la série est non-stationnaire.

Cependant le niveau de confiance de ce test est inconnu, la probabilité que le test rejette H_0 quand elle est vraie n'est donc pas définie. Malgré cela, cette procédure est utile pour obtenir des informations sur les possibles dates de rupture d'une chronique temporelle.

Table 3 - Contraintes et incertitudes majeures des tests statistiques

Tests	Contraintes et Incertitudes
Test de Kendall	Pas sensible au changement d'écart-type
Test de Buishand	Nécessite que les données suivent une loi normale
Ellipse de Bois	
Test de Pettitt	Identification des ruptures diminue quand le taux de rupture est inférieur à 100% de l'écart-type
Segmentation de Hubert	Niveau de confiance inconnu

6) Logiciel Khronostat

Le logiciel Khronostat datant de 1998, permet la réalisation de différents tests statistiques comme le test de corrélation sur le rang, le test de Buishand et l'ellipse de Bois ou encore la segmentation de Hubert. Les tests sélectionnés dans ce logiciel sont réputés pour être les plus robustes, sont déjà très utilisés et largement argumentés dans diverses littératures. Deux catégories de tests peuvent être utilisées grâce à Khronostat, la première catégorie teste le caractère aléatoire des chroniques et la seconde vise à définir le caractère non aléatoire de la série (rupture, tendance, ...). Ces différents tests conviennent particulièrement bien pour détecter une ou des ruptures au sein d'une série chronologique.

Ce logiciel est simple, facile et pratique à utiliser, de plus il est proposé gratuitement par l'Institution Française de Recherche (IRD). Il a déjà été utilisé dans différentes thèses et articles :

3 – Méthode des polygones de Thiessen

Cette méthode vise à diviser des zones en polygones, les bords des polygones sont définis par les médiatrices des segments entre les stations météorologiques et chaque polygone correspond donc à une station météorologique. La méthode des polygones de Thiessen est régulièrement utilisée pour calculer une pluviométrie sur une zone où elle n'est pas connue, en effet cette méthode est facilement

réalisable et automatisable notamment sur SIG comme le montre la figure 14 ci-dessous, et fournit des résultats corrects. (Aurenhammer, 1991)

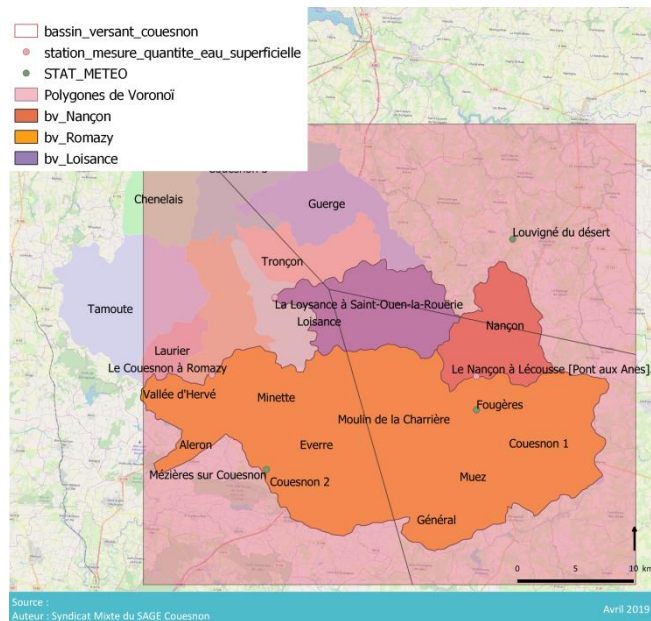


Figure 14 - Carte de représentation de la méthode des polygones de Thiessen

Cependant cette méthode est fortement sensible aux lacunes de données et ne prend pas en compte la structure du champ précipitant. (Damant et al., 1983) Ainsi pour calculer la pluie d'un bassin ayant comme exutoire une station hydrométrique, le bassin doit être défini par le pourcentage « surfacique » de chaque polygone sur la surface de ce bassin. Autrement dit au niveau de la station hydrométrique, une pluie « moyenne » est calculée de la sorte :

$$\bar{P} = \frac{P_1 * S_1 + P_2 * S_2 + P_3 * S_3}{S}$$

Avec : P_n = Pluie à la station n

S_n = Surface du bassin recouverte par le polygone de la station n

S = Surface totale du bassin

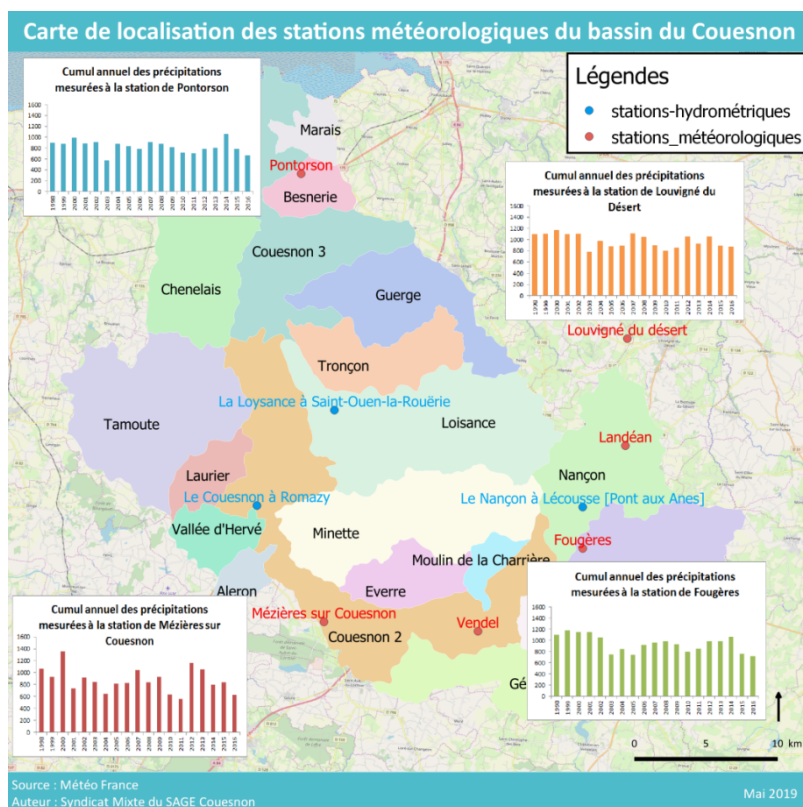


Figure 15 - Carte des stations météorologiques avec leur cumul annuel sur période 1997 – 2016

Cette méthode fournit des données de précipitations pour les trois stations hydrométriques du bassin du Couesnon localisées en Figure 15, cependant les stations météorologiques n'ont pas toutes été utilisées pour créer les polygones. En effet, sur le bassin du Couesnon, différentes stations météorologiques existent. Celles utilisées par le SAGE pour la réalisation de l'état des lieux en 2008 sont les stations de Pontorson, de Louvigné du Désert, de Mézières sur Couesnon et de Fougères.

Ainsi, dans cette étude, les données de précipitations qui vont être observées proviennent de ces quatre stations météorologiques. Cependant deux d'entre elles ne vont pas être utilisées pour la suite de l'étude :

- La station de Louvigné du Désert pour laquelle les données de précipitations ne sont disponibles qu'à partir du 15 Mars 1986, hydrométriques, ce qui, comparés aux données des stations hydrologiques, représente une perte de données sur 20 ans. De plus, comme le montre la figure ci-dessus, les niveaux et évolutions de précipitations sur Louvigné et sur Fougères sont très semblables.
- La station de Pontorson, sur laquelle, les données de précipitations ne sont disponibles qu'à partir du 01 Mars 1997. De plus, cette station est géographiquement éloignée des trois stations hydrométriques et elle se localise près des côtes de la Manche, ce qui influence les données météorologiques

Les calculs de précipitations des stations hydrométriques se font donc sur deux stations météorologiques : la station de Fougères et celle de Mézières sur Couesnon. Les formules permettant le calcul des précipitations sur les stations hydrométriques sont donc de la forme :

$$P_{Nançon} = P_{Fougères}$$

$$P_{Loisance} = 0,8 P_{Fougères} + 0,2 P_{Mézières sur Couesnon}$$

$$P_{Couesnon \text{ à Romazy}} = 0,62 P_{Fougères} + 0,38 P_{Mézières sur Couesnon}$$

Cette estimation permet ainsi d'obtenir des précipitations moyennées de façon spatiale, qui permet d'utiliser les données de précipitations des 3 stations météorologiques disponibles et « d'effacer » la contrainte spatiale de la donnée de précipitation.

4 - Résultats des tests statistiques

Table 4- Résultats des tests statistiques sur les volumes écoulés et précipités et sur les coefficients d'écoulement à la station de Romazy sur Couesnon

Le Couesnon à Romazy	Volume dans la rivière	Volume de pluie	K (3 mois / 3 mois)	K (3 mois / 6 mois)
JFM	-	-	-	Tendance -
AMJ	Tendance – et rupture 68-86 et 87-18	-	Rupture : 68-86 et 87-17	Tendance - ? et rupture : 68-86 et 87-17
JAS	-	Rupture 68-97, 98-02 et 03-17	Tendance -	Tendance -
OND	-	Ruptures 68-16 et 17	Tendance -	Tendance +

Table 5 - Résultats des tests statistiques sur les volumes écoulés et précipités et sur les coefficients d'écoulement à la station de la Loisanse

Loisanse	Volume dans la rivière	Volume de pluie	K (3 mois / 3 mois)	K (3 mois / 6 mois)
JFM	-	-	Tendance +	Tendance -
AMJ	-	-	-	Tendance -
JAS	-	-	Tendance – et rupture : 69 et 70-16	Tendance -
OND	-	Rupture : 68-73 et 74-16	-	Tendance -

Table 6 - Résultats des tests statistiques sur les volumes écoulés et précipités et sur les coefficients d'écoulement à la station du Nançon

Le Nançon	Volume dans la rivière	Volume de pluie	K (3 mois / 3 mois)	K (3 mois / 6 mois)
JFM	-	-	Tendance +	Tendance -
AMJ	-	-	-	Tendance -
JAS	-	-	Tendance - et 1979 séparé	Tendance -
OND	-	Tendance ? Rupture : 69-73 et 74-16	Rupture : 82-83	Tendance - et rupture : 69-82 et 83- 16

Table 7 - Résultats des tests statistiques Coefficients d'écoulement et de prélèvements mensuels à la station de Romazy

Le Couesnon à Romazy	Volume dans la rivière	Volume de pluie	K (1 mois / 1 mois)	K (1 mois / 3 mois)	Prélèvements (1mois/1mois)	Prélèvements (1mois/3mois)
Janvier				Tendance +	Tendance + et rupture (2009-2010)	Tendance + et rupture (2004-2005)
Février			Rupture + (2014-2015)	Rupture - (79-80)	Tendance + et rupture (2008-2009)	Tendance + et rupture (2008-2009)
Mars				Tendance -	Tendance + et rupture (2005 isolé)	Tendance + et rupture (2003-2004)
Avril	Rupture non localisée		Rupture - (86-87 et 15-16)	Tendance -	Rupture+ (15-16)	Tendance + et rupture (2003-2004)
Mai	Tendance – et rupture (80-81, 83-84)		Rupture - (84-85, 97-98 et 01-02)	Rupture - (84-85)	Rupture + (93-84 et 15-16)	
Juin	Tendance – et rupture (80-81 et 81-82)		Rupture - (68-69 et 69-70)	Tendance -	Tendance +	
Juillet		Tendance + et rupture non localisée	Rupture – (68-69 et 69-70)	Tendance +		
Août			Tendance -	Tendance + et rupture + (2001-2002)		
Septembre			Tendance -	Tendance +	Tendance + et rupture (95-96)	Tendance + et rupture (2012-2013)
Octobre			Tendance -	Tendance -		
Novembre			Tendance -	Tendance +		
Décembre		Rupture + (en 75-76)	Tendance -	Tendance +	Rupture + (2012-2013)	Tendance + et rupture (2013-2014)

Table 8 - Chronogramme

Mois	Semaines	Bibliographie	Récupération de données	Calculs sur Débit bruts et analyse	Recherche et calculs sur les débits seuils et analyse	Calcul sur les coefficients d'écoulement	Calcul des pentes (réactivité du milieu) et analyse	Calcul des coefficients de tarissement et analyse	Tests statistiques et analyse	Réalisation de notes sur les méthodes	Réalisation de cartes sur SIG	Préparation du COPIL	Réalisation du bilan Besoins – Ressources et analyse
Février	8 9												
Mars	10 11 12 13												
Avril	14 15 16 17 18												
Mai	19 20 21 22												
Juin	23 24 25 26												
Juillet	27 28 29 30												
Août	31 32 33												

VIII- Abstract

This study focuses on the Couesnon basin, a river flowing into The Channel at Mont St Michel. This basin covers an area of 1,124 sqkm, which represents 75 municipalities and 17 water bodies. It is characterized by significant water withdrawals (Drains of Fougères and Coglais, catchment localised at la Roche. The year 2017 has shown that despite water resources considered "significant", this basin could present quantitative problems on these resources. Thus, the SAGE Couesnon joint union has launched a study on the quantitative aspect of the water resource in order to get to know it better and to understand its evolution. This study begins with a chronological analysis of the associated flow and rainfall data, in order to know if they present evolutions over time. This analysis is based on five statistical tests to show the presence of trend or break in the data. The results on the raw flows don't show any evolution or rupture, but the analysis of "characteristic" values of the hydrology of a river allows more striking results. Indeed, on two of the stations in the basin (Loisance and Nançon), the flow coefficient and the reactivity of the environment are slightly different compared to the beginning of the chronicles (late 60's). Thereby, changes related to climate change and those related to anthropogenic impacts seem to have consequences on the hydrology of the Couesnon basin. If they aren't significant for the moment, they are already detected by statistical tests and could be more significant in the future.

IX- Résumé

Cette étude porte sur le bassin du Couesnon, fleuve se jetant dans la Manche au niveau du Mont St Michel. Ce bassin couvre une superficie de 1 124 km², qui représente 75 communes et 17 masses d'eau. Il est caractérisé par des prélèvements en eau conséquents (Drains de Fougères et du Coglais, captage de la Roche, ...). L'année 2017 a démontré que malgré des ressources en eau considérées comme « conséquentes », ce bassin pouvait présenter des problèmes quantitatifs sur ces ressources. Ainsi, le syndicat mixte du SAGE Couesnon a lancé une étude sur l'aspect quantitatif de la ressource en eau afin de mieux la connaître et de comprendre ses évolutions. Celle-ci débute par une analyse chronologique des données de débit et de pluie associées, afin de savoir si ces dernières présentent des évolutions dans le temps. Cette analyse s'appuie sur cinq tests statistiques permettant de montrer la présence de tendance ou de rupture dans les données. Les résultats sur les débits bruts ne montrent certes aucune évolution ou rupture, mais l'analyse de valeurs « caractéristiques » de l'hydrologie d'une rivière permet des résultats plus marquants. En effet sur deux des stations du bassin (Loisance et Nançon), le coefficient d'écoulement et la réactivité du milieu sont légèrement différents actuellement qu'au début des chroniques (fin années 60). Ainsi, les modifications liées au changement climatique et celles liées aux impacts anthropiques semblent donc avoir des conséquences sur l'hydrologie du bassin du Couesnon. Si celles-ci ne sont pas fortes actuellement, elles sont déjà détectées par les tests statistiques et pourraient s'avérer plus conséquentes à l'avenir.