

Résumé :

Face au changement climatique, des questions se posent sur l'évolution des conditions climatiques et de leurs incidences sur le régime hydrologique des cours d'eau. Afin d'évaluer si, sur les années passées, des évolutions significatives des températures, de la pluviométrie ou des débits des cours d'eau peuvent être identifiées, des tests statistiques permettent de détecter soit des ruptures dans les séries, soit des tendances linéaires (augmentation ou diminution).

La présente fiche présente les principes de ces tests, leurs conditions d'utilisation ainsi qu'un exemple d'application sur des séries climatiques, pluviométriques et débitométriques du bassin de l'Yzeron, appartenant à l'Observatoire de Terrain en Hydrologie Urbaine (OTHU). Même si des évolutions ou des ruptures significatives sont mises en évidence, la méthode ne permet cependant pas de déterminer leurs causes et de leur attribuer une origine climatique ou anthropique par exemple.

■ Cadre Général :

Diverses études mettent en évidence des évolutions des températures, de la pluviométrie ou des débits dans les cours d'eau sur la période récente. L'ampleur et la réalité de ces évolutions dépendent des régions et des conditions hydro-climatiques. Pour les débits, il n'est par ailleurs pas toujours facile d'établir si l'origine des évolutions constatées est liée à des modifications climatiques ou à des évolutions de l'occupation des sols (imperméabilisation), des pratiques agricoles, etc...

Dans le cadre de l'établissement de « Plans Climat » ou de préparation à la mise en œuvre de la directive cadre sur les inondations, les décideurs peuvent être intéressés par les évolutions attendues à échéance de 30 ou 50 ans. Ceci peut permettre de proposer des mesures d'atténuation locales ou d'adaptation, par exemple à l'accroissement de l'exposition aux risques d'inondations, etc.

Mais, avant de quantifier l'ampleur des évolutions futures, une étape préliminaire est déjà l'établissement d'un diagnostic sur les années passées, à partir des séries de données existantes, afin d'identifier si des tendances sont déjà détectables.

Pour ce faire des tests statistiques permettent de détecter, sur de longues séries chronologiques d'au moins trente à quarante ans, des ruptures (test de Pettitt) ou des tendances linéaires à la baisse ou à la hausse (test de Mann-Kendall) et d'évaluer si les évolutions sont statistiquement significatives. Nous présentons dans cette fiche les principes d'utilisation de ces tests, leur cadre possible d'utilisation par des bureaux d'étude et leurs limites. Nous illustrons leur intérêt à l'aide de données météorologiques, de pluie, et de débits collectées sur le bassin versant de l'Yzeron en périphérie lyonnaise, qui fait partie de l'OTHU.

■ Objectifs:

Face à l'enchaînement d'épisodes extrêmes comme les crues, il est fréquent d'invoquer le changement climatique ou les modifications d'occupation des sols pour expliquer une augmentation de ces phénomènes, sans que ce discours soit toujours suffisamment étayé par l'analyse des données.

Sur le bassin versant périurbain de l'Yzeron (Figure 1), on constate depuis les années 1990 une recrudescence des crues dommageables à l'exutoire situé à Oullins. Si on observe la chronique des débits journaliers à la station de Craponne, drainant 48 km² (Figure 2), on constate que le nombre de crues ayant dépassé le débit journalier biennal a augmenté entre les périodes 1970-1990 et 1990-2010. Les évolutions récentes de ce bassin versant qui s'est fortement urbanisé depuis les années 1970, avec une progression de la périurbanisation de l'aval vers l'amont, et l'imperméabilisation des sols associée, (Kermadi et al., 2011a), posent la question du rôle de l'urbanisation sur cette recrudescence des crues.

Cependant, avant toute conclusion, il convient d'aborder deux questions préalables : 1) les évolutions constatées sont-elles statistiquement significatives ? 2) des évolutions du climat et/ou de la pluviométrie sur la période récente pourraient-elles expliquer ces changements ? Les données de température, d'évapotranspiration potentielle, de pluie et de débits sur ce bassin ont donc été analysées à l'aide des tests statistiques de Pettitt et Mann-Kendall afin d'obtenir des premiers éléments de réponse à ces deux questions (Kermadi et al., 2011b, Braud et al., 2011).

■ Contacts :

Isabelle BRAUD, Cemagref, UR HHLY, 3bis Quai Chauveau, CP 220, 69336 Lyon Cédex 9. Tel : 04 72 20 87 78.
E-mail Isabelle.Braud@cemagref.fr.

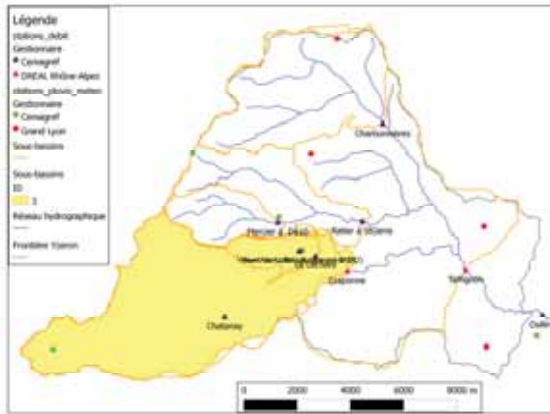


Figure 1 : Carte du bassin versant de l'Yzeron et des réseaux de mesures. Le sous-bassin en jaune est le sous-bassin de Craponne (48 km²) pour lequel nous disposons de 40 ans de débits (1970-2010).

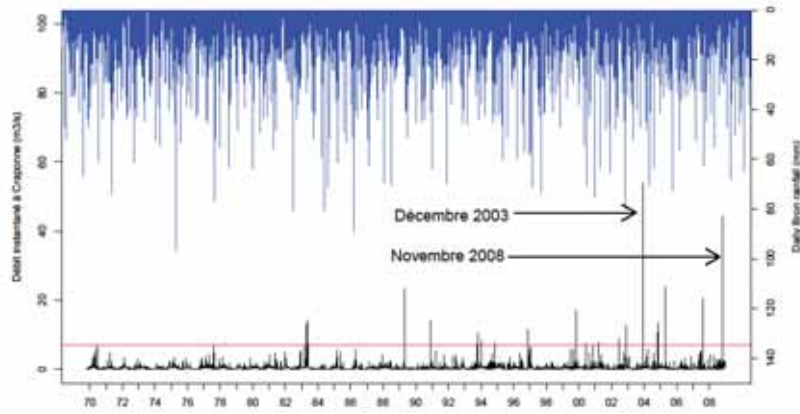


Figure 2 : Pluie journalière à la station de Bron et débits journaliers à la station de Craponne (48 km²) de 1970 à 2008. La ligne rouge correspond au débit journalier biennal (7 m³ s⁻¹)

■ Les avancées de l'OTHU : Principaux résultats

L'encart n°1 rappelle les principes généraux des tests statistiques. Nous décrivons ensuite les principes des tests statistiques de Pettitt et Mann Kendall utilisés pour détecter respectivement une rupture ou une tendance sur une série chronologique de données. Enfin, nous illustrons leur utilisation sur les données du bassin de l'Yzeron.

Encart n°1 : Rappel des principes généraux d'un test statistique

A quoi servent les tests statistiques ?

Un test statistique consiste à définir une règle de décision concernant la validité d'une hypothèse sur un échantillon de données.

Les calculs réalisés sur l'échantillon conduiront à retenir l'hypothèse H₀ ou son alternative H₁ sachant qu'une seule est vraie. Il reste malgré tout des éventualités de se tromper : refuser H₀ alors que H₀ est vraie (risque de 1^{ère} espèce) ou accepter H₀ alors que H₁ est vraie (risque de 2^{ème} espèce).

Comment met-on en œuvre un test statistique ?

Les tests reposent tous sur une variable de décision ou statistique T dont on connaît la distribution sous l'hypothèse H₀. On peut alors définir les bornes d'un intervalle qui regroupe $(1-\alpha)$ % des valeurs que peut prendre la statistique si H₀ est vraie et y situer la valeur T prise pour l'échantillon analysé. Si T se situe en dehors de l'intervalle, la valeur est jugée peu plausible, et on en conclut que H₀ est fautive.

α est fixé par l'utilisateur (en général, $\alpha < 10\%$). Plus α est faible, plus l'intervalle est étendu, et on ne rejettera alors H₀ que dans des cas rarissimes. En pratique, les tests fournissent une valeur de probabilité p pour la valeur T de l'échantillon et on teste si $p < \alpha$. Si c'est le cas, l'hypothèse H₀ est rejetée au seuil α . Les valeurs $\alpha = 0.01$ (1%), 0.05 (5%), 0.1 (10%) sont couramment utilisées.

Comment doit-on interpréter le résultat d'un test ?

Il ne faut pas faire dire à un test statistique plus que ce qu'il veut dire. Ainsi, accepter H₀ ne signifie pas que cette hypothèse soit vraie, mais seulement que les observations disponibles ne sont pas incompatibles avec cette hypothèse.

a) Principes d'utilisation des tests de Pettitt et de Mann-Kendall

Les tests de Pettitt (1979) et de Mann-Kendall (Mann et Witney, 1947) sont des tests statistiques dits non-paramétriques car ils ne font aucune hypothèse sur la distribution sous-jacente des données. En particulier, ils s'appliquent à des données n'ayant pas une distribution gaussienne. Ils sont donc adaptés aux données hydrométéorologiques pour lesquelles les distributions sont souvent dissymétriques.



Figure 3 : Les types d'évolution recherchés dans les séries. (a) Rupture. (b) Tendance linéaire.

Le test de Pettitt permet de détecter des ruptures dans les séries chronologiques (Figure 3a). L'hypothèse H_0 testée est la suivante : « il n'y a pas de rupture ». Le test repose sur les signes des différences entre valeurs qui forment l'échantillon. Une série temporelle résultante est élaborée. Au maximum observé sur la série correspond vraisemblablement la date de rupture. La valeur p de la statistique permet de savoir si cette rupture est statistiquement significative au seuil α .

Le test de Mann-Kendall permet quant à lui d'examiner l'existence d'une tendance linéaire (à la hausse ou à la baisse) sur une série chronologique (Figure 3b). L'hypothèse H_0 testée est « il n'y a pas de tendance ». Si $p < \alpha$, seuil de significativité choisi, l'hypothèse H_0 est rejetée et on conclut à l'existence d'une tendance significative, au seuil choisi. La robustesse du test a été validée par plusieurs essais de comparaison effectués par Yue et al (2004). Dans le cas de variables auto-corrélées, le test de Mann-Kendall doit être modifié pour prendre en compte l'effet de l'auto-corrélation (Yue et Wang, 2004 ; Renard, 2006 ; Renard et al, 2006b).

D'un point de vue pratique, les tests ont été appliqués en s'appuyant sur les fonctions existantes dans le logiciel R (R Development Core Team, 2004) pour le test de Mann-Kendall usuel et des fonctions développées au Cemagref dans R pour les tests de Pettitt et de Mann-Kendall modifié. Le logiciel KhronoStat, proposé gratuitement par l'IRD contient aussi des fonctionnalités permettant la mise en œuvre de ces tests (<http://www.hydrosciences.org/spip.php?article264&lang=en>)

b) Données utilisées sur le bassin versant de l'Yzeron

Nous rappelons ici que les tests présentés doivent être appliqués sur des séries de données d'au moins 30 à 40 ans, si possible sans lacunes importantes, si on veut pouvoir détecter des évolutions significatives.

Sur le bassin versant de l'Yzeron (Figure 1), nous disposons de 4 pluviographes à pas de temps 6 minutes issus du réseau géré par le Grand Lyon, complété par quatre postes à pas de temps variables gérés par le Cemagref. Cependant, ces séries ne débutent au mieux qu'en 1985, ce qui ne fait que 25 ans de données, durée trop courte pour l'application des tests. Nous avons donc utilisé, pour les pluies, les données journalières de la station Météo-France de Bron, disponibles depuis 1921.

Pour les données météorologiques, il n'existait pas de station sur le bassin avant 2008. Nous avons donc utilisé la base de données SAFRAN¹ (Quintana-Segui et al., 2008 ; Vidal et al., 2010) qui fournit, sur des mailles de 8x8 km², les variables climatiques (rayonnement solaire et grandes longueurs d'ondes incidents, température et humidité spécifique de l'air, vitesse du vent, pluviométrie) à pas de temps horaire. Les données étaient disponibles depuis 1970 et ont également été utilisées pour calculer une évapotranspiration potentielle journalière (ETP) sur le bassin versant selon la méthode préconisée par la FAO (1958).

Pour les débits, nous disposons de deux stations gérées par la DREAL Rhône-Alpes jaugeant les sous-bassins de Craponne (48 km²) depuis 1969 et de Taffignon (129 km²) depuis 1988. Plusieurs stations gérées par le Cemagref sont aussi disponibles sur des sous-bassins versants plus petits, mais sur une période plus récente avec des installations entre 1997 et 2009. Pour les analyses de tendance, seule la station de Craponne possède la durée suffisante pour l'application des tests statistiques (40 ans).

[1]: Cette base de données sera bientôt disponible sur la Publiothèque de Météo-France en accès gratuit pour la recherche et payant pour les autres usages. <http://publitheque.meteo.fr/okapi/accueil/okapiWebPubli/index.jsp>

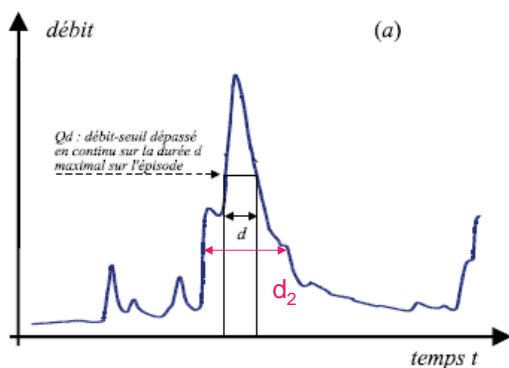


Figure 4 : Illustration de la méthode d'échantillonnage des débits sub-seuil. On déplace une fenêtre de largeur d le long de la chronique et on sélectionne les crues indépendantes. On peut faire ce travail pour une autre durée d_2 . La durée d choisie est la durée caractéristique de crue et on a échantillonné pour les durées $d/8$, $d/4$, $d/2$, d , $3d$ et $d=0$ (d'après Sauquet et Ribatet, 2004)

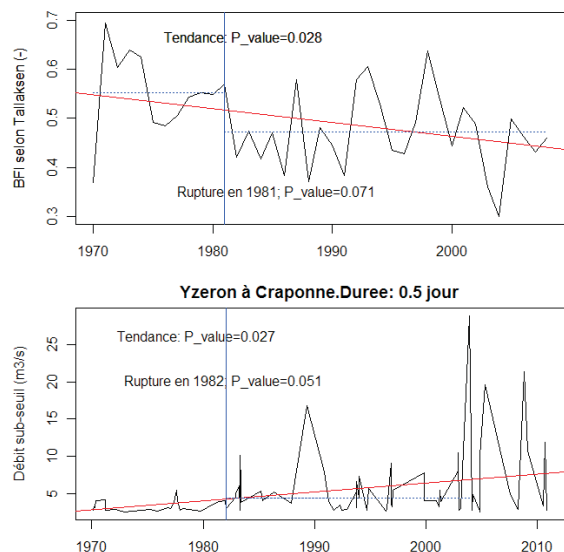


Figure 5 (a) BFI (-) à Craponne. (b) Débit sub-seuil (m³ s⁻¹) à Craponne pour la durée 12h. La ligne rouge est la tendance linéaire ajustée sur les données. La ligne verticale est la date probable de rupture et les lignes bleues sont les moyennes des données de part et d'autre de la date de rupture.

c) Grandeurs analysées

A partir des séries disponibles, il est possible de construire et analyser différents indicateurs selon les phénomènes que l'on veut caractériser : valeurs moyennes, extrêmes, etc.. Le choix de ces indicateurs est très important et conditionne grandement l'intérêt de l'analyse (voir par exemple Renard et al., 2006 pour un exemple sur les extrêmes dans les séries de débits).

Dans notre étude, plutôt exploratoire, nous avons retenu quelques indicateurs fréquemment analysés dans la littérature.

- Pour les débits, nous avons considéré le débit moyen annuel. Pour les hautes eaux, l'analyse a porté sur le maximum annuel, le débit sub-seuil avec un échantillonnage à deux crues par an et différentes durées d'analyse de 0 à 36h (voir Figure 4 pour la définition), la durée caractéristique de crue étant de 12h environ pour la station de Craponne. Pour les basses eaux, nous avons retenu l'indice BFI qui est le rapport entre la moyenne des débits de base et le débit moyen annuel. Le débit de base a été estimé à l'aide de l'algorithme de Tallaksen et Van Lanen (2004).
- Pour la pluviométrie, nous avons étudié la pluie annuelle et le maximum annuel des pluies cumulées sur 1, 3, 5, 10, 15 jours calculées sur la série de pluies journalières de Bron.
- Pour les variables météorologiques, nous avons analysé la température et l'ETP moyenne annuelle issues de la base de données SAFRAN.

d) Résultats

L'ensemble des résultats obtenus est synthétisé dans le Tableau 1. Nous commentons ici les résultats les plus significatifs.

- Sur les séries de débits à Craponne, les évolutions significatives détectées sont une tendance à la hausse des débits sub-seuils pour les durées de crue sur 3h, 6h, 12h (Figure 5b), mais pas sur les débits de pointe ni les durées 1h30 ou 36h. Sur le BFI, une tendance significative à la baisse est observée (Figure 5a).
- Sur les pluies, le test de tendance de Mann Kendall appliqué à la période 1920-2010 montre une augmentation significative au seuil 5% des valeurs du maximum annuel des pluies cumulées sur 5, 10, 15 jours avec une rupture détectée vers 1974 par le test de Pettitt. Ces mêmes tests, appliqués sur la période 1970-2010, ne révèlent aucune tendance/rupture significative (Tableau 1)
- L'analyse des données climatiques issues de la base SAFRAN sur la période 1970-2009 montre une tendance significative à la hausse des températures de 0.52°C tous les dix ans (Figure 6). Il n'y a pas en revanche de tendance significative à la hausse de l'ETP annuelle, mais une rupture significative à la hausse en 2002 qui restera à confirmer dans le futur (Figure 7).

Sur la période 1970-2010, il est donc peu probable que l'augmentation du nombre de crues puisse correspondre à une modification du régime des précipitations ou du climat sur cette même période. Pour les débits faibles, Breil et al. (2010) ont montré que le réseau d'assainissement peut collecter une part importante des eaux de nappe (eaux parasites). Ceci pourrait être une explication à la baisse de la contribution des nappes d'accompagnement à l'écoulement de base, mais ceci doit encore être approfondi.

Tableau 1 : Résultats des tests statistiques sur les indicateurs analysés sur le bassin de l'Yzeron. On fournit, dans la première ligne, la valeur p du test de Mann-Kendall et on indique entre parenthèses le sens de la tendance (+ si hausse, - si diminution) si elle est significative. La seconde ligne contient le p du test de Pettitt et la date probable de rupture entre parenthèses si elle est significative. Après le p, on indique les résultats significatifs au seuil 10% (), 5% (**) et 1% (***)*

Débits	p	Pluie 1920-2009	p -période 1921-2009	p-Période 1970-2009
BFI	0.03 ** (-)	Pluie annuelle	0.88	1.24
	0.07 * (1981)		1.05	0.88
Débit max annuel	0.27	Max annuel pluie journalière	0.96	0.33
	0.66		0.40	0.21
POT instantané	0.35	Max annuel pluies cumulées sur 3 jours	0.12	0.30
	1.05		0.20	0.73
POT d=1h30	0.82	Max annuel pluies cumulées sur 5 jours	0.02 ** (+)	0.30
	1.17		0.04 ** (1974)	0.58
POT d=3h	0.08 * (+)	Max annuel pluies cumulées sur 10 jours	0.05 *	0.12
	0.16		0.08 * (1984)	0.31
POT d=6h	0.07 * (+)	Max annuel pluies cumulées sur 15 jours	0.03 **	0.16
	0.15		0.07 ** (1974)	0.38
POT d=12h	0.03 ** (+)	Météorologie	p	
	0.05 * (1982)	Température moyenne annuelle	<0.01 *** (+)	
POT d=36h	0.16		<0.01 *** (1987)	
	0.30	ETP annuelle	0.13	
			0.03 ** (2002)	

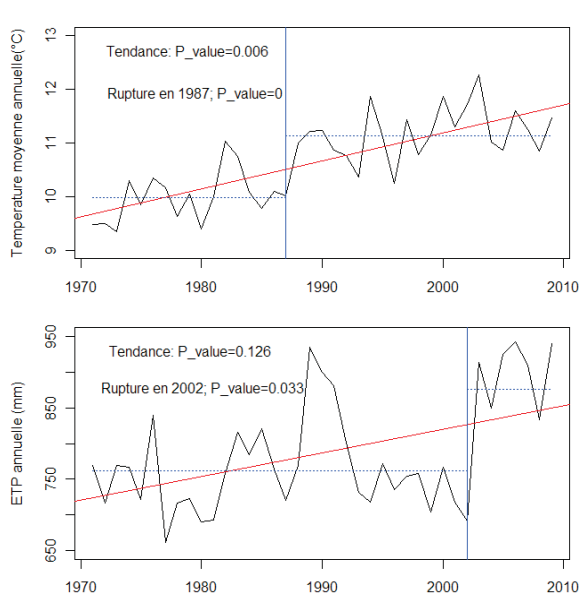


Figure 6 : (a) Température moyenne annuelle issue de la base SAFRAN. (b) ETP moyenne annuelle calculée avec la base de données SAFRAN

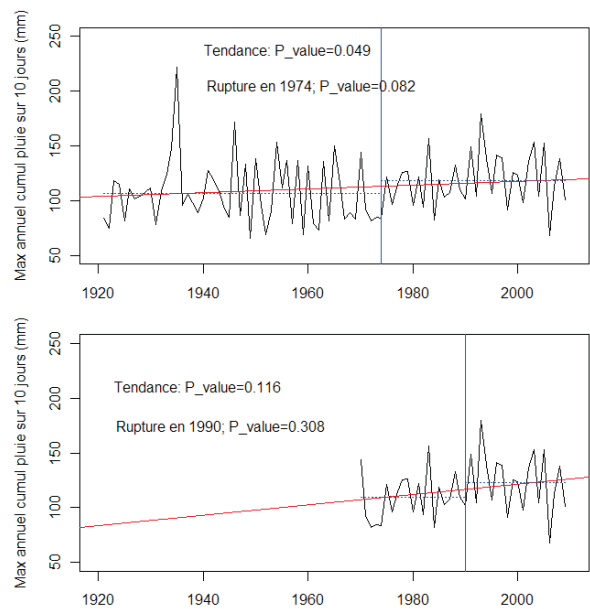


Figure 7 : Maximum annuel de la pluie cumulée sur 10 jours (a) sur la période 1921-2009 (b) sur la période 1970-2009 à la station de Bron (69)

■ Cadre d'utilisation et développement futur

Les tests statistiques présentés dans cette fiche s'appliquent sur des séries préalablement critiquées et/ou homogénéisées (c'est-à-dire corrigées de tout biais liés à des modifications de localisation, des changements de matériels, etc.). Ils ne permettent d'obtenir des résultats significatifs que sur des séries suffisamment longues (de trente à quarante ans minimum pour des données annuelles par exemple). De plus, si on s'intéresse aux extrêmes, il reste encore difficile de trouver des tendances significatives car la durée des séries n'est pas suffisante pour obtenir des résultats robustes. En cas de détection de ruptures/tendances, notamment sur les séries de débits, il est recommandé de prendre contact avec les gestionnaires des stations pour éliminer toute cause d'évolution dues à des problèmes liés à la gestion de la station (déplacements, travaux, modification de la courbe de tarage, etc.). Renard (2006) a ainsi montré que, sur les données de débits issues de la Banque Hydro (<http://www.hydro.eaufrance.fr/>) analysées, près de 50% des tendances/ruptures détectées en première analyse sur les hautes eaux avaient des causes de cette nature. Les tests statistiques peuvent donc également être utiles à la critique des données en aidant à identifier les modifications sur le fonctionnement des stations hydrométriques.

Il est préférable de travailler sur des séries sans auto-corrélation temporelle, même si, pour le test de Mann-Kendall, il existe des adaptations du test permettant de la prendre en compte (Renard et al., 2006).

Par ailleurs, nous n'avons présenté ici que la version la plus simple de ces tests. Des travaux récents ont permis de développer des tests alternatifs, par exemple pour étudier conjointement les séries issues de plusieurs stations (Renard, 2006, Renard et al., 2006a)

Les tests statistiques présentés dans cette fiche peuvent être mobilisés dans le cadre d'études liées à l'impact du changement climatique sur les extrêmes ou la ressources en eau. Nous avons déjà mentionné qu'ils peuvent aussi être utiles aux gestionnaires de stations de mesures pour établir un diagnostic sur la qualité de leurs données. Enfin, nous avons souligné que ces tests ne permettent que d'établir un diagnostic. D'autres méthodes d'analyse doivent être mobilisées si on veut attribuer des causes aux tendances/ruptures détectées.

■ Développement futur

Les analyses présentées dans cette fiche pourront être réactualisées lorsqu'on disposera d'années de mesures supplémentaires, notamment pour les séries de pluie, ce qui nous permettra de faire une analyse directement avec les données du bassin de l'Yzeron.

Les analyses de tendance présentées sont complétées par des travaux, menés dans le cadre du projet de recherche AVuPUR (<http://avupur.hydrowide.com/>), pour identifier la part liée à l'urbanisation dans les séries de débits. On s'appuie sur des méthodes de filtrage, permettant d'isoler la composante urbaine rapide, pour essayer de reconstituer une série de débits « naturels ». La comparaison des régimes entre les deux séries, mesurées et naturelles reconstituées permet d'identifier l'incidence de l'urbanisation sur le régime hydrologique (Braud et al., 2011) ou la géomorphologie de la rivière et le transport de sédiments (Grosprêtre et al., 2011)

■ Remerciements

Les travaux présentés dans cette fiche ont été partiellement financés par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) via le contrat n° ANR-07-VULN-01. Le bassin de l'Yzeron est un site de l'Observatoire de Terrain en Hydrologie Urbaine. Le Grand Lyon, le SAGYRC, Météo-France, la DREAL Rhône-Alpes nous ont fourni une partie des données nécessaires à cette étude. Nous remercions Benjamin Renard et Clotilde Catalogne (Cemagref Lyon, UR Hydrologie-Hydraulique) pour leur aide dans l'utilisation des tests statistiques et pour avoir mis leurs outils à notre disposition. L'encart n°1 et la Figure 3 sont inspirés de documents fournis par Eric Sauquet (Cemagref Lyon, UR Hydrologie-Hydraulique).

■ Quelques documents publiés sur le thème

- Braud, I., Breil, P., et al. 2011. Impact of urbanization on the hydrological regime of periurban rivers. What can we learn from data analysis?, en preparation pour le numéro special Journal of Hydrology "Hydrology of periurban catchments: processes and modelling"
- Breil, P., Radojevic, B., Chocat, B., 2010. Urban development and extreme flow regimes changes, Proceedings of the 6th Friend Conference "Global change: facing risks and threats to water resources", 25-29 October 2010, Fez, Morocco, IAHS Public., 340, 314-319
- FAO, 1998. Crop Evaporation - Guidelines for computing crop water requirements. 56, FAO, Rome.
- Grosprêtre, L., Schmitt, L., Breil, P., Dodane, C., Chocat, B., Michel, K., Joliveau, T., Branger, F., Piegay, H., Barra, A., Honegger, A., Jacqueminet, C., Kermadi, S., 2011. Prediction of headwater stream channel incisions caused by hydrological changes due to urbanization by 2030 in the Yzeron basin (City of Lyon), Rhône valley, France, en preparation pour le numéro special Journal of Hydrology "Hydrology of periurban catchments: processes and modelling"
- Kermadi, S., Renard, F., Braud, I., Jacqueminet, C., Michel, K., Branger, F., 2011a. Occupation du sol et pluviométrie dans un bassin versant péri-urbain soumis aux inondations : Yzeron (Ouest Lyonnais), 14 pp, soumis à la revue Climatologie
- Kermadi, S., Braud, I., Jacqueminet, C., Michel, K., Branger, F., 2011b. Evolution de la pluviométrie dans le bassin péri-urbain de l'Yzeron (Ouest Lyonnais) depuis les années 1970 et caractérisation de l'imperméabilisation, XXIVème Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, 6-11 Septembre 2011, Rovereto (Italie), 6 pp.
- Mann. H. B , Whitney.D. R., 1947. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. Ann. Math. Statist, 18(1), pp.50-60.
- Pettitt, A.N., 1979. A non parametric approach to the change point problem, Applied Statistics, 28, 126-135.
- Quintana-Segui, P., Le Moigne, P., Durand, Y., Martin, E., Habets, F., Baillon, M., Canellas, C., Franchisteguy, L., Morel, S., 2008. Analysis of near-surface atmospheric variables: validation of the SAFRAN analysis over France. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 47: 92-107 ;
- R Development Core Team, (2004) R: a language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing. Vienna, Austria. <http://www.r-project.org/>. Consulted on 2011/04/21.
- Renard B., 2006. Détection et prise en compte d'éventuels impacts du changement climatique sur les extrêmes hydrologiques en France, Thèse de Doctorate de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, 364 pp.
- Renard, B., Lang, M., Bois, P., 2006a. Statistical analysis of extreme events in a non-stationary context via a Bayesian framework: case study with peak-over-threshold data. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 21(2): 97-112.
- Renard, B., Lang, M., Bois, P., Dupeyrat, A., Mestre, O., Niel, H., Gailhard, J., Laurent, C., Neppel, L., Sauquet, E., 2006b. Evolution des extrêmes hydrométriques en France à partir de données observées. La Houille Blanche - Revue Internationale de l'eau, 6: 48-54.
- Sauquet, E., Ribatet, M., 2004. Caractérisation du régime des hautes eaux en débit-durée-fréquence. Application en région Rhône-Alpes, Cemagref, Lyon.
- Tallaksen. L.M, et Van Lanen. H.A.J, 2004. Hydrological drought : processes and estimation methods for streamflow and groundwater. Developments in water science 48 Elsevier, Amsterdam, the Netherlands, 579p.
- Vidal, J.P., Martin, E., Franchisteguy, L., Baillon, M., Soubeyroux, J.M., 2010. A 50-year high-resolution atmospheric reanalysis over France with the SAFRAN system International Journal of Climatology: in press, DOI: 10.1002/ioc2003.
- Yue. S et Wang.C.Y, 2004. The Mann-Kendall test modified by effective sample size to detect trend in serially correlated hydrological series. Water Resources Management Journal, 18: 201-218