

Impacts du changement climatique sur l'utilisation des techniques alternatives pour une gestion durable de l'eau dans la métropole de Lyon

Climate change impacts on alternative technics for a sustainable water management in Lyon urban area

Langlois de Septenville W.¹, Renard F.^{1,2}, et Soto D.³,

¹ Université Jean Moulin - Lyon 3

william.langlois-de-septenville@univ-lyon3.fr

² UMR 5600 EVS (Environnement Ville Société)

³ LabEx Imu (Intelligences des Mondes Urbains)

RÉSUMÉ

Les nouvelles pratiques de gestion urbaine des eaux pluviales tentent de réduire le plus possible l'injection des eaux de ruissellement au sein des réseaux d'évacuation, souvent surchargés en raison de l'urbanisation intensive, en les gérant en surface et le plus localement possible. Communément nommées « *Techniques Alternatives* » (TA), elles privilégient le cycle naturel de l'eau en milieu urbain, en réintroduisant notamment des surfaces perméables (infiltration) et des végétaux (évapotranspiration). Malgré leurs avantages, les principes de fonctionnement de ces TA présentent diverses sensibilités. Certaines sont intrinsèquement liées aux types de précipitations. Malgré un contexte de changement climatique global, très peu d'études sur l'évolution locale de ces précipitations sont menées et leurs impacts sur l'efficacité des TA. Cette communication présente les premiers résultats d'une analyse des sensibilités hydrauliques générales des ouvrages, ainsi qu'une caractérisation de la pluviométrie du territoire lyonnais. Ces dernières seront contextualisées via le catalogue de types de circulation atmosphérique d'Hess-Brezowsky, à l'échelle synoptique. Leurs tendances sont ensuite étudiées grâce au test non-paramétrique de Mann-Kendall. Les premiers résultats indiquent une hausse des circulations identifiées à risque pour les TA.

ABSTRACT

The new rain water urban management practices attempt to reduce as much as possible the water runoff injection into the sewer system, often overloaded because of the intensive urbanization, by managing them superficially and as locally as possible. Commonly called "Alternative Technics" (TA), they promote the natural cycle of water in urban environments, by reintroducing permeable area (infiltration), and plants (evaposweating). Despite their advantages, the principles of the operation of these TA present various sensitivities. Some are intrinsically linked to the characteristics of rains. Despite a global climate change context, only a few studies on the local evolution of these rains are done and their impact on the TA's efficiencies. This presentation shows the first results of an analysis of the general hydraulic sensitivities literature, as well as the characterizing of the Lyon area's pluviometry. Those items will be contextualized via the catalog of Hess-Brezowsky atmospheric circulation types, at a synoptic scale. Their tendencies are then studied thanks to the Mann-Kendall non-parametric test. The first results show an increase of the known circulations at risk for the TA.

MOTS CLÉS

Changement climatique, Hess-Brezowsky, Métropole de Lyon, Sensibilités pluviométriques, Techniques alternatives

1 INTRODUCTION : UNE TRANSFORMATION NOTOIRE DES METHODES DE GESTION DES EAUX PLUVIALES DANS UN CONTEXTE DE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Les systèmes d'assainissement sont aujourd'hui considérés comme des éléments clés du développement des systèmes urbains, notamment pour leurs bénéfices en terme de santé et de sécurité des biens et personnes (Chocat, 1997 ; Ferriman, 2007). Les premiers systèmes créés se constituent de réseaux de canalisations construits pour évacuer le plus rapidement possible les eaux pluviales et usées. La très forte croissance des villes a considérablement fait augmenter les surfaces drainées, ce qui a, inéluctablement, conduit à une augmentation des volumes injectés et des débits en transit dans les réseaux. Très vite, et malgré l'arrivée des réseaux séparatifs, ils se sont retrouvés saturés lors de fortes pluies, générant des risques d'inondation par ruissellement (CERTU, 2003). Ces derniers surviennent au sein d'environnements urbains bien plus étalés et plus denses, ce qui augmente considérablement leurs coûts. Au vu des mauvaises performances des solutions techniques (Barraud *et al.*, 1998), la gestion a alors connu une évolution notoire, souvent comparée à un renversement de paradigme (Carré, 2002).

Les nouvelles méthodes de gestion sont basées sur des principes imitant les cycles naturels de l'eau et sont parfois qualifiées de biomimétiques (Dicks, 2010). Elles ont pour principaux objectifs de gérer les précipitations *in situ*, de ralentir les flux et compensent, pour la partie hydraulique, les méfaits de l'urbanisation. Cette transformation leur confère l'appellation de techniques « alternatives » ou « compensatoires » (Azzout *et al.*, 1994). Leur gestion recourt à deux principaux processus, qui sont l'infiltration et la rétention. Les ouvrages sont parfois agrémentés de végétaux pour renforcer leurs capacités épuratoires, d'infiltration et de réduction des volumes (évapotranspiration). Une présentation détaillée des ouvrages, et de certains prérequis pour leur installation, de gestion alternative est disponible au sein d'un grand nombre de documents (par exemple : Région Rhône-Alpes, 2006 ; Direction de l'Eau, 2008 ; De Becdelièvre et Barraud, 2009).

Ces nouvelles techniques présentent de nombreux avantages autres que ceux en lien avec la gestion des volumes et des flux (Région Rhône-Alpes, 2006). Ils sont en corrélation forte avec les différentes fonctions de l'assainissement, identifiée par (Cherqui *et al.*, 2013). Ces avantages sont très largement exploités par les territoires qui, depuis la fin des années 1990, recourent massivement à ces techniques (Carré, 2002). La Direction de l'Eau de la Métropole de Lyon constate, par exemple, que ces techniques sont implantées même dans les endroits où une gestion en réseau aurait été suffisante (Direction de l'Eau, 2008). Des lotissements sont également créés sans système de gestion traditionnel et dont les ouvrages sont dimensionnés en fonction de durées de retour bien moins importantes que celle des réseaux traditionnels. Par exemple, le parc de Ouagadougou, à Grenoble, gère des volumes équivalents à une durée de retour de deux ans pour une surface drainée de 4650m² (Giroud *et al.*, 2013 ; Graie, 2015).

Ces nouvelles méthodes de gestion arrivent cependant dans un contexte de changement climatique. Sujet de très nombreuses études à l'échelle globale, les futures évolutions du climat sont, en revanche, bien moins documentées à l'échelle locale. Les différentes sorties de modèle, dont la résolution ne permet une caractérisation fine de l'évolution locale des précipitations, sont encore difficiles à interpréter pour les gestionnaires. De surcroît, les prévisions, déclinées à l'échelle de la France, ne fournissent pas de renseignements suffisamment précis à l'échelle locale sur l'évolution des précipitations quotidiennes. En ce qui concerne les précipitations qualifiées d'extrêmes¹, la définition retenue ne permet pas de travailler à l'échelle d'événements rares, comme par exemple ceux d'une durée de retour au moins supérieure à une valeur décennale (Jouzel *et al.*, 2014).

L'incertitude en terme de prévision des précipitations locales peut concourir à des interrogations en ce qui concerne la conception, l'exploitation et la maintenance des ouvrages de gestion des eaux pluviales à l'origine d'inquiétudes pour les gestionnaires (Blanco *et al.*, 2009a, 2009b). En ce qui concerne les apports hydrologiques des ouvrages, des inquiétudes sont émises par Semadeni-Davies *et al.*, (2008) qui montrent que ces techniques pourraient compenser les nuisances issues de la

¹ « Pour caractériser la réponse des précipitations extrêmes au changement climatique, on utilise la fraction des précipitations au-dessus du 90e centile. Par exemple, le 90e centile annuel est calculé en classant pour chaque année les 365 (ou 366) valeurs quotidiennes de précipitations dans l'ordre croissant, le 90e centile représentant la valeur au-dessus de laquelle se trouvent les 10 % de valeurs les plus élevées (soit la 328e valeur) » (Jouzel *et al.*, 2014).

croissance des villes ou de celles liées au changement climatique.

Ainsi, cette communication propose une première approche pour pallier le manque d'information locale sur l'évolution des précipitations sur le territoire de la Métropole de Lyon, notamment en ce qui concerne les précipitations remarquables². Ce territoire compte 1,3 million d'habitants et est situé dans le quart Sud-Est de la France, à la confluence de la Saône et du Rhône. Le territoire subit chaque année plusieurs dizaines de sinistres faisant l'objet d'indemnisation et le risque d'évènements graves mettant en danger la vie des personnes n'est pas exclu (Chocat, 2002). Ces évènements vont des orages, comme celui du 7 juin 2015 qui a précipité 32,4mm en 30 minutes (pluviomètre de Saint-Germain) reconnu en catastrophe naturelle par l'arrêté ministériel du 23 juillet 2015, à des évènements beaucoup plus longs et étalés spatialement, comme le cumul du 7 septembre 2010 (104,1mm à Bron). Pour réduire les risques, la métropole a notamment recours aux techniques alternatives pour soulager son réseau d'assainissement d'une partie du volume d'eaux pluviales. Cette étude propose donc de contextualiser leurs sensibilités aux différents types de pluies. Les résultats attendus devraient permettre de fournir des éléments supports à l'établissement d'une politique pérenne de gestion du risque d'inondation par ruissellement pluvial urbain.

2 METHODE : IDENTIFICATION DES SENSIBILITES, DES JOURNEES PLUVIEUSES ET CHOIX D'UN OUTIL DE CONTEXTUALISATION

2.1 Définitions des méthodes de gestion à la source et celles de gestion des flux

Les techniques alternatives peuvent se distinguer en deux groupes, selon qu'elles gèrent le ruissellement à sa source ou les flux générés au sein des réseaux (entre autres : NCHRP, 2006 ; Damodaram *et al.*, 2010).

Le premier groupe comprend des ouvrages de réduction du ruissellement à sa source. Les techniques utilisées ont donc pour objectif de réduire le plus possible les surfaces imperméabilisées. Elles font intervenir la mise en place de surfaces perméables ou le stockage de l'eau de pluie en vue de sa réutilisation, avant qu'elle ne ruisselle sur des surfaces polluées. Ces ouvrages concourent donc à un développement qui renforce moins les flux que celui traditionnel. Le groupe se constitue, notamment, des chaussées perméables, des cuves de stockage de l'eau de pluie et des noues.

Le deuxième groupe considère des ouvrages favorables à une meilleure gestion des flux injectés dans les réseaux. Leurs fonctionnements sont basés sur le principe de la rétention avec restitution à débit limité dans le réseau. Ils s'implantent en dérivation des réseaux traditionnels et permettent de réduire les débits en transit. Pour ce qui concerne les formes prises par ces ouvrages, ce sont généralement de vastes bassins secs. Certains contribuent également à la réduction du volume en intégrant des végétaux, par l'évapotranspiration, ou en étant construit sur des sols poreux, autorisant l'infiltration.

Ainsi, ces deux groupes d'ouvrages ont un rôle et une temporalité différente pour la gestion du ruissellement pluvial urbain. L'un est amont, *in situ* et tend à réduire le ruissellement, et l'autre est implanté en dérivation des réseaux, pour diminuer les volumes en transit.

2.2 Différentes alternatives à la gestion pour différentes sensibilités pluviales

La littérature relative à la sensibilité hydraulique des formes d'ouvrage n'est pas abondante, contrairement à celles évoquant leurs bénéfices (Davis *et al.*, 2006 ; Davis, 2007 ; EPA, 2007). Cependant, des études commencent à proposer des résultats exploitables pour déterminer leurs sensibilités hydrauliques. Celles recensées comparent les performances des deux groupes d'ouvrages identifiés pour différents types d'épisodes pluvieux, allant de l'épisode fréquent à ceux de durées de retour plus importantes.

Certaines études s'intéressent aux performances d'un type spécifique d'ouvrage : Williams et Wise (2006) pour les tranchées infiltrantes ; Brander *et al.*, (2004) pour les jardins de pluie, ainsi que Sample et Heaney (2006) et Gilroy et McCuen (2009) pour les ouvrages de stockage voués à la réutilisation de l'eau de pluie. Un consensus s'en dégage sur l'efficacité de ces ouvrages pour

² Le terme d'extrême n'est pas employé car il n'a souvent qu'une signification médiatique (Marchand, 2004). Il sera préféré le terme de remarquable, utilisé notamment par les services de Météo-France pour qualifier ces maximums.

atténuer le ruissellement des événements courants. En revanche, ils présentent des performances proportionnellement inverses à l'augmentation des cumuls, surtout lorsqu'ils deviennent conséquents. Ceci est en partie dû à la décroissance de la vitesse et de la capacité d'infiltration lorsque les sols commencent à saturer en eau. D'autres travaux le constatent également pour un bassin versant où différentes techniques de gestion à la source sont articulées (Hood et al., 2007 ; Dietz et Clausen, 2008).

Cette sensibilité peut également être accrue par certains autres paramètres, comme les conditions d'humidité de l'ouvrage précédant l'occurrence de l'épisode pluvieux (Davis *et al.*, 2006 ; Brown et Hunt III, 2011). La viscosité de l'eau rentre également en compte. En effet, plus l'eau est froide et plus sa viscosité sera faible et impactera la vitesse d'infiltration (Emerson et Traver, 2008). Kwiatkowski *et al.* (2007) ont évalué que pour une eau dont la température diminue de 20°C à 10°C la viscosité augmente de 1,6.

A contrario, la gestion en réseau couplée avec des ouvrages de rétention intervient dans une proportion moindre pour les événements courants et ceux dont l'intensité atteint une longue durée de retour. Cette observation est, en partie, due aux capacités d'absorption et de transit des éléments constitutifs des réseaux et à la capacité d'absorption des ouvrages de gestion à la source. Le volume capté par ces ouvrages commence à devenir significatif dès que les événements pluvieux présentent des cumuls importants (NCHRP, 2006). Une étude réalisée au Texas sur la capacité des ouvrages en milieu urbain dense constate ce basculement à partir d'une pluie de 45 mm, sans intensité particulièrement forte (Damodaram et al., 2010).

La présente étude se base sur les constatations tirées de ces différents travaux. Elles ont été cependant menées dans des contextes particuliers. A terme, des études comparables pourraient être menées sur le territoire lyonnais.

2.3 Sélection des épisodes pluvieux à analyser

Comme démontré, les deux groupes d'ouvrages identifiés présentent des sensibilités différentes en fonction des types d'épisodes pluvieux considérés. L'étude s'intéresse donc aux plus importants cumuls quotidiens mesurés sur la Métropole de Lyon de 1881 à 2013. Comme éléments de départ seront analysés : (1) les cent cumuls maximums à l'échelle quotidienne. ; (2) les cent cumuls maximums précédés d'une journée pluvieuse susceptible de mettre les ouvrages en eau. Nous retenons, dans cette étude, ces deux critères. Pour le premier, les cent plus hautes valeurs de la série semblent constituer un compromis intéressant pour une caractérisation d'évènements peu fréquents sur une série composée de 19 222 journées pluvieuses. Pour le second, un seuil de 10mm est adopté car il correspond à ce que les services de météorologie considèrent comme une « journée à fortes précipitations » (Moisselin et Dubuisson, 2006).

Les outils de mesures présents sur le territoire fournissent deux séries de mesure. Une, historique, est commercialisée par les services de Météo-France. La chronique s'établit au pas de temps quotidien depuis 1881 à partir de la station de Lyon-Bron. Sur cette série, seulement cinq années manquent et une est partiellement complète. Pour ne pas biaiser l'échantillon, cette dernière a également été exclue des analyses³. L'autre série est issue du réseau de pluviomètres de la Métropole de Lyon et disponible au pas de temps de la minute. Elle permet l'étude et la caractérisation fine des évènements pluvieux. Cette série est jugée fiable à partir de 1988 (Paturel et Chocat, 1994; Chocat et Bardin, 2007) et a déjà été exploitée au sein d'un travail précédent, dont les résultats seront comparés à ceux proposés (Renard et Langlois de Septenville, 2014). Cette étude propose une approche complémentaire, en s'appuyant sur la série de Lyon-Bron.

2.4 Choix d'un outil de contextualisation des journées pluvieuses

Parmi les nombreux outils de contextualisation existant en climatologie (les catalogues de types de temps, les catalogues de types de circulation, les classifications climatiques, *etc.*), le choix s'est tourné vers ceux s'intéressant à la circulation atmosphérique. Ils sont préférés pour leur capacité à replacer un événement au sein d'une configuration isobarique, à l'échelle synoptique. Ces caractéristiques leur permettent d'améliorer la compréhension des conditions d'occurrence de la pluie, notamment celles à risque, dont les connaissances sont encore partielles sur le territoire lyonnais (Renard, 2010).

Trois catégories de catalogues existent : les catalogues objectifs, subjectifs et mixtes. Parmi les trois

³ Années supprimées : 1913, 1917, 1918, 1919, 1920 et 1921.

types de catalogue et leurs multiples déclinaisons, le catalogue subjectif de Hess-Brezowsky est préféré pour quatre principales raisons. Elles sont : (1) sa capacité d'étude de la circulation à une échelle large, sans délaisser des détails locaux (James, 2007). Le catalogue a notamment été appliqué sur le territoire français par de nombreux auteurs (Douvinet *et al.*, 2009 ; Planchon *et al.*, 2009 ; Renard et Langlois de Septenville, 2014). (2) Sa longue chronique de données, allant de 1881 à nos jours, qui est exploitée au sein de nombreux travaux analysant la variabilité temporelle des types de circulation (Bardossy et Caspary, 1990 ; Kysely et Huth, 2006 ; Dubreuil et Planchon, 2009). (3) Sa performance pour contextualiser les précipitations, notamment sur le territoire français (Attinger et Fallot, 2003; Douvinet *et al.*, 2008 ; Beltrando et Zaharia, 2009; Planchon *et al.*, 2009). (4) Sa facilité d'accès, permise par l'actualisation de Werner et Gerstengarbe, des services de la Deutscher Wetterdienst, et disponible gratuitement à l'adresse suivante : www.dwd.de/GWL.

L'établissement des types de la classification est initié par Baur (1948), puis mis à jour par Hess et Brezowsky (1952). Le catalogue se compose de cinq types déclinés en 29 sous-types, dont les noms reflètent l'origine du vent sur l'Allemagne centrale. Un type de transition est inclus pour faciliter les passages complexes entre sous-types. Les détails sont présentés, dans la partie suivante, en tableau 1.

3 ETUDE ET CONTEXTUALISATION DES JOURNEES PLUVIEUSES REMARQUABLES.

3.1 Etude des journées sélectionnées et des conditions de circulation associées

La plage des maximums quotidiens relevés, à la station de Lyon-Bron et pour la période 1881-2013, s'échelonne de cumuls allant de 124,7mm à 48,1mm de pluie. Il est intéressant de souligner que cette valeur minimale reste au-dessus du seuil de basculement de performance (45mm) entre les deux groupes, observé par Damodaram *et al.* (2010), malgré la différence de contexte géographique (Texas). Ces événements surviennent principalement pendant les mois de juin, août, septembre, octobre et novembre (respectivement 12, 13, 21, 16 et 15 événements). En ce qui concerne les cent maximums quotidiens précédés d'une journée à fortes précipitations (>10mm), les bornes de la sélection vont de 82,6 mm à 25,7mm. Ces situations se produisent majoritairement pendant les mois d'août, septembre, octobre et novembre (respectivement 12, 21, 22 et 16 événements). Ainsi, les maximums observés sont surtout concentrés autour de la période automnale. 23 événements sont communs aux deux séries dont 17 surviennent durant l'automne, trois durant l'été, ainsi qu'un durant le printemps.

56% des cumuls maximums se sont déroulés lors de circulation de Sud, dont 22% pour le sous-type à talweg sur l'Europe Occidentale (TRW). Cette valeur se détache et constitue le double atteint par les autres sous-types, comme celui à dépression sur les îles Britanniques (TB) pour 10% des journées, celui de Sud cyclonique (SZ) à hauteur de 9%, et celui d'Ouest anticyclonique (WZ) pour 9%. Le sous-type à talweg sur l'Europe Centrale (TRM) arrive en cinquième position avec 6% des événements. Les journées à forts cumuls sur la Métropole de Lyon surviennent, pour leur très grande partie, lorsque des dépressions se situent à proximité des îles Britanniques. En ce qui concerne les 100 maximums précédés d'une journée à fortes précipitations, les résultats sont similaires. Les seules évolutions significatives sont une baisse de la part du sous-type de Sud anticyclonique (SA) de 5% à 1% et l'augmentation de deux autres sous-types : celui à dorsale anticyclonique sur l'Europe (BM) de 1% à 5%, et celui de Sud-Ouest cyclonique (SWZ) de 4% à 7%.

Le tableau 2 renseigne sur la saisonnalité de cette occurrence pour les cinq sous-types majoritairement responsables des événements considérés. Les journées se situent surtout pendant la période automnale pour les trois types de Sud (TRW, TB et SZ) alors que celles d'Ouest (WZ) et de Nord-Ouest et de Nord (TRM) surviennent pendant l'été. Cette constatation est aussi valable pour les cent maximums précédés d'une journée à fortes précipitations, où cependant s'observent une baisse de la part estivale et une augmentation de la part printanière. Ces constatations, croisées avec les périodes d'occurrence maximale des sous-types de circulation (Gerstengarbe et Werner, 2005), montrent que ces événements se produisent en dehors des périodes où ces circulations sont les plus fréquentes, sauf pour le type WZ qui voit son maximum se produire durant la période estivale.

Tableau 1. Types et sous-types de circulations du catalogue de Hess-Brezowsky lors de l'occurrence des cent cumuls maximums quotidiens, et des cent cumuls maximums quotidiens précédés d'une journée à fortes précipitations, pour le pluviomètre de Lyon-Bron, sur la période 1881-2013

Sous type	Définition	100 cumuls maximums	100 cumuls maximums si J-1 = journée à fortes précipitations
Circulation d'Ouest			
WA	Circulation d'Ouest anticyclonique	1	2
WZ	Circulation d'Ouest cyclonique	9	8
WS	Circulation d'Ouest méridionale	3	2
WW	Circulation d'ouest « formant un angle »	1	1
Circulation de Sud			
SWA	Circulation de Sud-Ouest, anticyclonique	0	1
SWZ	Circulation de Sud-Ouest, cyclonique	4	7
SA	Circulation de Sud, anticyclonique	5	1
SZ	Circulation de Sud, cyclonique	9	9
TB	Dépression sur les îles Britanniques	10	11
TRW	Talweg sur l'Europe occidentale	23	22
SEA	Circulation de Sud-est, anticyclonique	2	4
SEZ	Circulation de Sud-est, cyclonique	3	6
Circulation de Nord-Ouest et de Nord			
NWA	Circulation de Nord-Ouest, anticyclonique	1	1
NWZ	Circulation de Nord-Ouest, cyclonique	1	0
NA	Circulation de Nord, anticyclonique	0	0
NZ	Circulation de Nord, cyclonique	2	1
HNA	Anticyclone sur l'Islande, anticyclonique	0	0
HNZ	Anticyclone sur l'Islande, cyclonique	2	1
HB	Anticyclone sur les îles Britanniques	0	0
TRM	Talweg sur l'Europe Centrale	6	6
Circulation de Nord-Est et d'Est			
NEA	Circulation de Nord-Est, anticyclonique	2	1
NEZ	Circulation de Nord-Est, cyclonique	2	2
HFA	Anticyclone sur la Fennoscandie	1	0
HFZ	Anticyclone sur la Fennoscandie	2	2
HNFA	Anticyclone sur mer de Norvège	1	1
HNFZ	Anticyclone sur mer de Norvège	1	1
Situations à centre d'action sur l'Europe Centrale			
HM	Anticyclone sur l'Europe Centrale	3	2
BM	Dorsale anticyclonique sur l'Europe Moyenne	1	5
TM	Dépression sur l'Europe Centrale	5	3
Situations de transition			
U	Indéfini	0	0

Les barres représentent la part des sous-types en fonction de la valeur maximale atteinte

Tableau 2. Occurrence saisonnière des événements remarquables pour les cinq sous-types de circulation du catalogue de Hess-Brezowsky les plus représentés dans l'échantillon des 100 cumuls maximums, et des 100 cumuls maximums précédés d'une journée à fortes précipitations, pour le pluviomètre de Lyon-Bron, pour la période 1881-2013.

100 maximums quotidiens					100 maximums quotidiens si J-1 = journée à fortes précipitations				
	Printemps	Été	Automne	Hiver		Printemps	Été	Automne	Hiver
TRW	0	9	12	2	TRW	2	2	17	1
TB	0	1	8	1	TB	4	1	6	0
SZ	1	0	6	2	SZ	0	0	7	2
WZ	3	5	1	0	WZ	2	5	1	0
TRM	1	3	2	0	SWZ	1	1	5	0

Le dégradé de couleurs des cases reflète l'intensité de l'occurrence (rouge = fort ; vert = faible).

Les quatre maximums identifiés sont relativement similaires aux résultats des cent déterminés au moyen du réseau de pluviomètres de la Métropole de Lyon (Renard et Langlois de Septenville, 2014), où les situations TRW occupaient 29%, TB 10%, WZ 12% et SWZ 10% de l'échantillon. Seul le sous-type SZ diffère et est remplacé, dans la hiérarchie des sous-types de circulation, par SWZ. Une différence notable est cependant à souligner pour TRM, qui n'avait généré aucun des cent maximums contre six dans cette étude (Renard et Langlois de Septenville, 2014).

3.2 Caractérisation des tendances des journées pluvieuses

Les tendances des journées pluvieuses pour chaque type, et les cinq sous-types, de l'intégralité de la série vont maintenant être caractérisées. Pour qu'elles soient robustes, le recours au test non-paramétrique de Mann-Kendall va être effectué. Il fait partie des tests communément utilisés pour caractériser les tendances de variables diachroniques (Fraedrich *et al.*, 1997 ; Westmacott et Burn, 1997 ; Parajka *et al.*, 2010 ; Dumas, 2013; Savić *et al.*, 2014;). Le test valide la présence d'une tendance dans la mesure où la valeur p, représentant le pourcentage de chance qu'il n'y ait pas de tendance, est inférieure à la valeur alpha, seuil limite fixé pour l'acceptation de la tendance. Le seuil de 0,05 est retenu en accord avec les études précédemment citées. L'intensité de la tendance est ensuite renseignée par le tau de Kendall, positif ou négatif en fonction de la tendance à la hausse ou à la baisse. Les résultats pour les cinq types de circulation sont présentés en tableau 3.

Avant d'analyser les résultats, il convient de préciser que le nombre annuel de journées pluvieuses ainsi que les cumuls annuels ne présentent pas de tendance d'évolution (Renard et Langlois de Septenville, 2014). Deux des cinq types de circulation ne présentent pas de tendances : celles d'Ouest et celles à centre d'action sur l'Europe Centrale. Deux autres, celles de Sud et de Nord-Ouest et de Nord, présentent une tendance avec une valeur p proche de zéro et une, celle de Nord-Est et d'Est, présente également une tendance, mais avec une valeur p plus haute. Pour cette dernière, la valeur p traduit une plus grande incertitude du test en ce qui concerne la présence de la tendance. Sur les trois, seule celle de Sud présente une hausse qui peut être caractérisée de forte au regard de la haute valeur (0,487) de son tau de Kendall. Au contraire, les deux autres types présentent des tendances à la baisse, mais cependant dans une moindre mesure. Le tau s'établit à -0,264 pour les circulations de Nord-Ouest et de Nord et -0,129 pour celles de Nord-Est et d'Est.

Tableau 3 : Test de Mann Kendall appliqué à l'évolution du nombre de journées pluvieuses annuelle des cinq types principaux du catalogue de Hess-Brezowsky pour le pluviomètre de Lyon-Bron Météo-France sur la période 1881-2013.

	Circulations d'Ouest	Circulations de Sud	Circulations de Nord-Ouest et de Nord	Circulations de Nord-Est et d'Est	Situations à centre d'action sur l'Europe centrale
Tau de Kendall	Pas de tendance	0,487	-0,264	-0,129	Pas de tendance
Valeur p	0,6569	0,0001	0,0001	0,0342	0,4988

Les cases vertes représentent les tendances validées

Pour affiner l'analyse, les tendances des journées pluvieuses des cinq sous-types vont maintenant

être caractérisées ; les résultats du test sont présentés en tableau 3. Pour les cinq relevés dans l'analyse précédente, seul un connaît une valeur p suffisamment faible pour valider la présence d'une tendance. La tendance de l'intensité identifiée est, comme pour celle du type de Sud, forte et positive.

Tableau 4. Test de Mann-Kendall pour les cinq principaux sous-types de circulation du catalogue d'Hess-Brezowsky en place lors de l'occurrence des 100 maximums précipités pour le pluviomètre de Lyon-Bron Météo-France sur la période 1881-2013

	WZ	SZ	TB	TRW	TRM
Tau de Kendall	Pas de tendance	Pas de tendance	Pas de tendance	0,455	Pas de tendance
Valeur p	0,740	0,563	0,673	< 0,0001	0,053

Les cases vertes représentent les tendances validées

4 CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Cette étude propose une contextualisation des événements pluvieux remarquables pour dégager des éléments supports à l'établissement d'une politique pérenne de gestion. L'intérêt s'est notamment porté sur l'occurrence de journées potentiellement nuisibles aux bénéfiques escomptés de deux groupes d'ouvrages de gestion alternative des eaux pluviales. Ainsi, pour la gestion du risque d'inondation de ruissellement, issu de pluies à forts cumuls, les techniques de gestion à la source sont moins performantes que celle faisant intervenir la rétention sur les réseaux. Or, le principal sous-type de circulation durant lequel ces journées à forts cumuls se produisent, celle à talweg sur l'Europe occidentale (TRW), présente une part croissante du nombre annuel de journées pluvieuses. Le sous-type est également responsable de la plus grande partie des maximums précédés d'une journée considérée comme à fortes précipitations, soit celles avec un cumul supérieur à 10mm (Moisselin et Dubuisson, 2006).

Cependant, ces premiers résultats sont à considérer avec précaution car la dynamique saisonnière des tendances n'a pas été précisée. Si la hausse constatée du sous-type TRW se produit principalement durant la période automnale, il y a alors un risque que le territoire rencontre plus fréquemment des événements précipitants de forts cumuls, pouvant être précédé d'une journée à fortes précipitations. Si la hausse du nombre de journées pluvieuses sous circulation TRW se produit sur une période autre que celle automnale, des questions se posent sur les épisodes pluvieux générés : risquent-ils de générer des épisodes à forts cumuls ? L'occurrence de ces épisodes sera-t-elle précédée de journées susceptibles de mettre en eau les ouvrages d'infiltration *in situ* ?

Ces travaux s'inscrivent au sein d'un projet plus large d'étude des précipitations et de leurs interactions avec les éléments constitutifs des systèmes d'assainissement. Même si les événements pluvieux considérés comme remarquables représentent un risque considérable pour les différents enjeux urbains, la dynamique générale des précipitations est également un paramètre essentiel à prendre en compte pour les gestionnaires. En effet, elle est notamment un des facteurs explicatifs de la quantité de matière en suspension acheminée aux ouvrages (Bourrier *et al*, 2010). Or, l'estimation des volumes est indispensable pour établir les fréquences d'entretien de ceux ayant recours à l'infiltration.

BIBLIOGRAPHIE

- Attinger, S., Fallot, J.M., (2003). *Fréquence des intempéries et des précipitations abondantes en Valais (Alpes Suisses occidentales) durant le 20ème siècle*. Actes Colloq. Assoc. Int. Climatol. 15, 253-259.
- Azzout Y., Barraud S., Crès F.N. et Alfakih E., (1994). *Techniques alternatives en assainissement pluvial. Choix, conception, réalisation et entretien*. Tec & Doc Lavoisier, Paris.
- Bardossy, A., Caspary, H.J., (1990). *Detection of climate change in Europe by analyzing european atmospheric circulation pattern from 1881 to 1989*. Theor. Appl. Climatol. 42, 155-167.
- Barraud, S., Azzout, Y., Crès, F.N., (1998). *Méthodologie d'aide à la décision pour la conception et la sélection de techniques alternatives en assainissement pluvial*. J. Decis. Syst. 7, 69-86.
- Baur, F., (1948). *Einführung in die Großwetterkunde (Introduction into Large Scale Weather)*. Dieterich Verlag. Wiesbaden, Germany.
- Beltrando, G., Zaharia, L., (2009). *Épisodes Hydro-pluviométriques extrêmes et types de circulation atmosphérique associés en Roumanie*. Actes Colloq. Assoc. Int. Climatol. 22, 53-58.
- Blanco, H., Alberti, M., Forsyth, A., Krizek, K.J., Rodríguez, D.A., Talen, E., Ellis, C., (2009a). *Hot, congested, crowded and diverse: Emerging research agendas in planning*. Prog. Plan., 71, 153-205.

- Blanco, H., Alberti, M., Olshansky, R., Chang, S., Wheeler, S.M., Randolph, J., London, J.B., Hollander, J.B., Pallagst, K.M., Schwarz, T., Popper, F.J., Parnell, S., Pieterse, E., Watson, V., (2009b). *Shaken, shrinking, hot, impoverished and informal: Emerging research agendas in planning*. Prog. Plan., 72, 195-250.
- Bourrier, R., Satin, M., Selmi, B., (2010). *Guide technique de l'assainissement. Collecte - Epuration - Conception - Exploitation*. Le Moniteur, Paris.
- Brander, K.E., Owen, K.E., Potter, K.W., (2004). *Modeled Impacts of Development Type on Runoff Volume and Infiltration Performance*. JAWRA J. Am. Water Resour. Assoc. 40, 961-969.
- Brown, R., et Hunt III, W., (2011). *Impacts of Media Depth on Effluent Water Quality and Hydrologic Performance of Undersized Bioretention Cells*. J. Irrig. Drain Eng. 137(3), 132-143.
- Carré, C., (2002). *L'intégration des eaux pluviales en milieu urbain dense*. Etudes Foncières 96, 30-35.
- CERTU, (2003). *La ville et son assainissement. Principes, méthodes et outils pour une meilleure intégration dans le cycle de l'eau*. Centre d'étude sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques, Paris.
- Cherqui, F., Baati, S., Bentarzi, Y., Chocat, B., Le Gauffre, P., Granger, D., Loubiere, B., Nafi, A., Patouillard, C., Tourne, A., Toussaint, J.Y., Vareilles, S., Wery, C., (2013). *Quels enjeux pour la gestion des eaux urbaines ? Contribution à la formulation des services attendus par le système de gestion des eaux urbaines*. Actes de la 8ème Conférence Internationale Novatech. Lyon, France, 10 p.
- Chocat, B., (2002). *Proposition pour l'élaboration d'un programme de recherche à moyen terme sur le risque d'inondation par ruissellement urbain. Application au cas de l'agglomération lyonnaise*. OTHU, Lyon.
- Chocat, B., (1997). *Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement*. Lavoisier TEC & DOC, Paris.
- Chocat, B., Bardin, J.P., (2007). *Elaboration d'entrées pluvieuses simplifiées pour le diagnostic ou le dimensionnement d'ouvrage d'assainissement sur le territoire du Grand Lyon*. Document interne à la Direction de l'eau, Lyon.
- Damodaram, C., Giacomoni, M.H., Prakash Khedun, C., Holmes, H., Ryan, A., Saour, W., Zechman, E.M., (2010). *Simulation of Combined Best Management Practices and Low Impact Development for Sustainable Stormwater Management*. JAWRA J. Am. Water Resour. Assoc. 46, 907-918.
- Davis, A.P., (2007). *Field Performance of Bioretention: Water Quality*. Environ. Eng. Sci. 24, 1048-1064.
- Davis, A.P., Shokouhian, M., Sharma, H., Minami, C., (2006). *Water Quality Improvement through Bioretention Media: Nitrogen and Phosphorus Removal*. Water Environ. Res. 78, 284-293.
- De Becdelièvre, L. (Coord), Barraud, S. et al., (2009). *Guide de préconisation pour la conception et la gestion des ouvrages de rétention-d'infiltration. L'infiltration en questions – Recommandations pour la faisabilité, la conception et la gestion des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales en milieu urbain. Projet « Ecopluiés »*. Programme Ecotechnologies et Développement Durable 2005 de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR), Lyon.
- Dietz, M.E., Clausen, J.C., (2008). *Stormwater runoff and export changes with development in a traditional and low impact subdivision*. J. Environ. Manage., Microbial and Nutrient Contaminants of Fresh and Coastal Waters 87, 560-566.
- Direction de l'Eau, (2008). *Guide pratique : Aménagement et eaux pluviales*. Direction de l'eau du Grand Lyon, Lyon.
- Douvinet, J., Planchon, O., Cantat, O., Delahaye, D., (2008). *Épisodes pluvieux et types de circulations atmosphériques à l'origine des « crues rapides » dans le nord de la France (Bassin Parisien)*. Actes Colloq. Assoc. Int. Climatol. 21, 207-213.
- Douvinet, J., Planchon, O., Cantat, O., Delahaye, D., Cador, J.M., (2009). *Variabilité spatio-temporelle et dynamique des pluies de forte intensité à l'origine des « crues rapides » dans le bassin-Parisien (France)*. Climatologie 6, 47-72.
- Dubreuil, V., Planchon, O., (2009). *Bilan d'un siècle d'observation des sécheresses et des types de circulations atmosphériques associées à Rennes*. Actes Colloq. Assoc. Int. Climatol. 22, 139-144.
- Dumas, D., (2013). *Changes in temperature and temperature gradients in the French Northern Alps during the last century*. Theor. Appl. Climatol. 111, 223-233.
- Emerson, C.H., Traver, R.G., (2008). *Multiyear and Seasonal Variation of Infiltration from Storm-Water Best Management Practices*. J. Irrig. Drain. Eng. 134, 598-605.
- EPA, (2007). *Reducing Stormwater Costs through Low Impact Development (LID) Strategies and Practices*. United States Environmental Protection Agency, Washington D.C.
- Ferriman, A., (2007). *BMJ readers choose the "sanitary revolution" as greatest medical advance since 1840*. BMJ 334, 111.
- Fraedrich, K., Jiang, J., Gerstengarbe, F.W., Werner, P.C., (1997). *Multiscale detection of abrupt climate changes: application to River Nile flood levels*. Int. J. Climatol. 17, 1301-1315.
- Gerstengarbe, F.W., Werner, P.C., (2005). *Katalog der Grosswetterlagen Europas (1881-2004) Nach Paul Hess Und Helmut Brezowsky. 6. Verbesserte und Erganzte Auflage (No. 100)*. Potsdam Institut fur Klimafolgenforschung, Germany.

- Gilroy, K.L., McCuen, R.H., (2009). *Spatio-temporal effects of low impact development practices*. J. Hydrol. 367, 228-236.
- Giroud, V., Jacquelin, P., Cantone, P., (2013). *Gestion des eaux pluviales, usages et zone humide urbaine - parc Ouagadougou de Grenoble*, Actes de la 8ème Conférence Internationale Novatech. Lyon, France, 10p.
- Graie, (2015). *Parc Ouagadougou. Limiter la dépendance à l'eau potable. Grenoble (Isère)*. Fiche rédigée par l'Observatoire Rhône-Alpes des opérations innovantes pour la gestion des eaux pluviales.
- Hess, P., Brezowsky, H., (1952). *Katalog der Großwetterlagen Europas (Catalog of the European Large Scale Weather Types)*. Ber. Dt. Wetterd. in der US-Zone 33, Bad Kissingen, Germany.
- Hood, M.J., Clausen, J.C., Warner, G.S., (2007). *Comparison of Stormwater Lag Times for Low Impact and Traditional Residential Development*. JAWRA J. Am. Water Resour. Assoc. 43, 1036-1046.
- James, P.M., (2007). *An objective classification method for Hess and Brezowsky Grossewetterlagen over Europe*. Theor. Appl. Climatol. 88, 17-42.
- Jouzel, J., Ouzeau, G., Déqué, M., Jouini, M., Planton, S., Vautard, R., (2014). *Le climat de la France au XXIe siècle. Volume 4. Scénarios régionalisés : édition 2014 pour la métropole et les régions d'outre-mer*. Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, Paris.
- Kwiatkowski, M., Welker, A.L., Traver, R.G., Vanacore, M., Ladd, T., (2007). *Evaluation of an Infiltration Best Management Practice Utilizing Pervious Concrete*. JAWRA J. Am. Water Resour. Assoc. 43, 1208-1222.
- Kysely, J., Huth, R., (2006). *Changes in atmospheric circulation over Europe detected by objective and subjective methods*. Theor. Appl. Climatol. 85, 19-36.
- Moisselin, J.-M., Dubuisson, B., (2006). *Evolution des valeurs extrêmes de température et de précipitations au cours du XXe siècle en France*. La Météorologie 54, 33-42.
- NCHRP, (2006). *Evaluation of Best Management Practices for Highway Runoff Control (No. 565)*. Transportation Research Board, Washington D.C.
- Parajka, J., Kohnova, S., Balint, G., Barbuc, M., Borga, M., Claps, P., Cheval, S., Dumitrescu, A., Gaume, E., Hlavcova, K., Merz, R., Pfaundler, M., Stancalie, G., Szolgay, J., Blöchl, G., (2010). *Seasonal characteristics of flood regimes across the Alpine-Carpathian range*. J. Hydrol. 394, 78-89.
- Patrel, J.E., Chocat, B., (1994). *Analysis of the rain phenomenon at fine spatial scale*. Water Sci. Technol. 1/2, 31-37.
- Planchon, O., Quéno, H., Dupont, N., Corgne, S., (2009). *Application of the Hess-Brezowsky classification to the identification of weather patterns causing heavy winter rainfall in Brittany (France)*. Nat. Hazard Earth Sci. Syst. 9, 1161-1173.
- Région Rhône-Alpes, (2006). *Pour la gestion des eaux pluviales: Stratégies et solutions techniques*. Région Rhône-Alpes, Charbonnières-les-Bains.
- Renard, F., (2010). *Le risque pluvial en milieu urbain. De la caractérisation de l'aléa à l'évaluation de la vulnérabilité : le cas du Grand Lyon*. Thèse de doctorat, Lyon 3 Jean Moulin, France.
- Renard, F., Langlois de Septenville, (2014). *Les types de circulation à l'origine des pluies remarquables et de leurs évolutions : intérêt de la classification de Hess-Brezowsky appliquée aux précipitations lyonnaises*. Actes Colloq. Assoc. Int. Climatol. 27, 225-230.
- Sample, D., Heaney, J., (2006). *Integrated Management of Irrigation and Urban Storm-Water Infiltration*. J. Water Resour. Plan. Manag. 132, 362-373.
- Savić, S., Milovanović, B., Lužanin, Z., Lazić, L., Dolinaj, D., (2014). *The variability of extreme temperatures and their relationship with atmospheric circulation: the contribution of applying linear and quadratic models*. Theor. Appl. Climatol. 121, 1-14.
- Semadeni-Davies, A., Hernebring, C., Svensson, G., Gustafsson, L.-G., (2008). *The impacts of climate change and urbanisation on drainage in Helsingborg, Sweden: Combined sewer system*. J. Hydrol. 350, 100-113.
- Westmacott, J.R., Burn, D., (1997). *Climate change effects on the hydrologic regime within the Churchill-Nelson River Basin*. J. Hydrol. 202, 263-279.
- Williams, E.S., Wise, W.R., (2006). *Hydrologic impacts of alternative approaches to storm water management and land development*. J. Am. Water Resour. Assoc. 42, 443-455.