

MISE SOUS ALARME DU RISQUE DE DEPASSEMENT DE DEBIT PAR ANALYSE COMBINEE DE LAMES D'EAU PREVUES ET PRECIPITEES.

Romain GALLEN⁽¹⁾, Sylvain CHESNEAU⁽¹⁾
Yan LACAZE⁽¹⁾

⁽¹⁾Dreal Nouvelle Aquitaine, Service des Risques Naturels et Hydrauliques, Cité administrative rue Jules Ferry - Boite 55 - 33090 Bordeaux cedex, France, romain.gallen@developpement-durable.gouv.fr

La génération d'alarmes à partir d'informations pluviométriques à destination des services de surveillance et de prévision des crues est devenue courante grâce à la télétransmission de données de pluviomètres et à l'essor des réseaux numériques et à l'échange temps réel de lames d'eau radar.

Cependant l'utilisation en contexte opérationnel de telles alarmes souffre généralement du manque d'adaptabilité des seuils à la situation. De plus, la définition de ces seuils et en particulier des multiples couples cumuls/durée d'intégration demande un travail au prévisionniste qui ne peut que difficilement être anticipé ou mis en œuvre en situation de crise tant il dépend de nombreux éléments contextuels.

Afin de prendre en compte les paramètres météorologiques (intensités, durées de cumul) tout autant que les paramètres hydrologiques (débit de base, état des sols et leur évolution), l'utilisation couplée et automatisée de données météo temps-réel et d'un modèle hydrologique est une solution adaptée. Elle permet par ailleurs de générer différentes natures et niveaux d'alarmes : certaines fondées sur des prévisions météorologiques et hydrologiques pures, d'autres sur observations météorologiques couplées au modèle hydrologique, offrant ainsi une gradation du niveau d'alerte transmis. Notre méthode, très automatisée, laisse malgré tout une marge décisionnelle au prévisionniste en lui offrant la possibilité d'ajuster la réactivité de l'outil par une prise en compte de l'incertitude des modèles.

MOTS CLEFS : alerte, précipitations, prévision des crues, modèle hydrologique

Early warning on baseflow levels based on a coupled analysis of forecasted and observed rainfall rates.

Alert systems based on pluviometric information for flood monitoring services are common since the firsts automated pluviometer data transfers to the most recent growth of network exchanges allowing near real-time transfer of radar images.

Nonetheless, the use of such alarms in an operationnal context is made difficult due to the lack of adaptiveness of the thresholds to environmental parameters and to the situation at hand. Moreover, the definition of these thresholds and more specifically the numerous couples of cumulative rainfall/integration time cannot be anticipated nor estimated in real-time during a crisis by the forecaster given that they depend on many contextual parameters.

In order to take into account the meteorological parameters (intensity, duration) as well as the hydrological parameters (baseflow, soil humidity and their evolution), the coupled and automated use of real-time meteorological data in an hydrological model seems appropriate. This method allows to send multiple alarms of different nature: some based on pure meteorological and hydrological forecast, others based on meteorological observations sent to the hydrological model, thus offering different levels of alert.

Though very automated, our method may still leave a decisionnal margin and adaptation level to the forecaster by offering him to adjust the reactivity of the tool through the consideration of the uncertainty of the model.

KEY WORDS : alert system, rainfall, flood forecast, hydrological model

I INTRODUCTION

Afin d'améliorer l'anticipation et la gestion de crises découlant de précipitations importantes telles que le ruissellement et les inondations, les services météorologiques, les services de prévision des crues (SPC), les services techniques des collectivités territoriales et leurs partenaires en charge de la gestion de crise tels que les préfetures, les SIDPC¹ et les SDIS² disposent depuis de

nombreuses années de services d'alertes météorologiques liés aux précipitations ainsi que d'alertes hydrologiques, les deux fondées sur des dépassements de seuils prévus ou observés.

La question de la mise en place d'alarmes multiples pour un service opérationnel est une question centrale : quel nombre, sur quels phénomènes, avec quel niveau de service et quelles performances ?

Les alarmes d'ordre météorologique donnent une indication importante sur le risque hydrologique associé, elles offrent par ailleurs quelques précieuses heures d'anticipation sur les réactions hydrologiques et en particulier sur le risque d'inondation mais ne traduisent que partiellement celui-ci car elles ne prennent pas en compte les nombreux facteurs influant sur la formation des crues ni les conséquences de ces dernières.

On pourra trouver parmi ces systèmes d'avertissement des services dédiés au grand public ainsi qu'aux professionnels tels que la vigilance météorologique, les avertissements pluies intenses à l'échelle des communes (APIC [Benichou, 1987]) ou de nombreux logiciels dédiés à l'évaluation quantitative des précipitations (Calamar®) ou des logiciels de collecte et de supervision de données hydrométéorologiques (Aquaréel®).

Afin de mieux anticiper le risque de formation de crues et le risque d'inondations en découlant, ces alarmes basées sur des pluies prévues ou observées peuvent être exploitées de différentes manières par les services en charge de la surveillance et de la prévision des crues et des inondations.

En premier lieu, un ajustement des seuils d'alarme est possible de façon à tenir compte des spécificités hydrologiques des bassins versants. C'est par exemple l'objet de l'ajustement par les SPC des seuils d'avertissements précipitations (AP) transmis par Météo France dans leurs zones de gouvernance ou l'ajustement des seuils dans les divers outils propres aux SPC tels que Calamar® (seuils sur lame d'eau radar) ou Aquaréel® (outil national de collecte du réseau des SPC permettant de gérer et d'alerter à partir de franchissement de seuils sur pluviomètres ou limnimètres). Ces seuils peuvent parfois être ajustés par les SPC ou par les prévisionnistes en temps réel, mais ils ne le sont généralement pas pour des raisons pratiques et restent ainsi fixés sur des bornes moyennes ajustées de manière statistique. Ainsi, ces seuils sont par exemple ajustés à l'année à 30mm/24h pour certains bassins de la Dordogne tandis qu'ils pourront être fixés à 50mm/24h ou 30mm/6h pour certains bassins de l'ouest pyrénéen.

Une seconde exploitation des informations sur les précipitations peut être réalisée par couplage avec des modèles hydrologiques. Cette pratique désormais courante a donné lieu à de trop nombreuses variantes pour être listées et décrites dans ce papier. Elles exploitent en entrée des lames d'eau de pluviomètres spatialisées, des lames d'eau radar, des pluies prévues, des pluies issues d'ensembles météorologiques ou des pluies probabilistes. Ces lames d'eau sont ensuite injectées dans des modèles hydrologiques des plus simples aux plus complexes, modèles de relations linéaires pluies/débit, modèles hydrologiques globaux ou distribués, sur bassins jaugés ou non-jaugés. Les sorties sont de nature déterministe, ensembliste ou probabiliste. Parmi les exemples récents instanciés au profit des SPC français ou de leurs partenaires publics, on pourra citer des projets tels AIGA [Fouchier, 2007] et le service national VigicruesFlash [Javelle, 2016], le couplage Calamar/ALTHAIR [Bressand, 2002] pour la prévision des crues ou Calamar® [Einfalt, 1990 ; Badoche-Jacquet, 1992] et ses modules hydrologiques pour l'hydrologie urbaine [CGEDD, 2009]. Ces outils présentent cependant des performances ou des usages qui ne correspondent pas nécessairement aux usages des SPC. L'expérience de couplage Calamar/ALTHAIR dans le Gard [Bressand, 2002] a montré une bonne prévision des heures de survenue des pics de crue mais les débits prévus sont mal estimés, limitant d'autant la pertinence de l'alarme pour conséquences hydrologiques, AIGA et VigicruesFlash s'appuient sur un calage de modèle hydrologique par régionalisation pour des tronçons non jaugés et émettent une alarme sur la base de périodes de retour. Ces périodes de retour ne sont donc pas nécessairement en lien avec les seuils de hauteurs

fixés localement pour des enjeux donnés dans le cadre de la vigilance, de plus on cumule dans ce cadre les incertitudes liées aux pluies et celles liées au modèle pluie débit dont le calage est par essence extrapolé [Javelle, 2016]. Enfin les expériences avec Calamar et ses modules hydrologiques ont présenté un taux de fausses alarmes trop important sur petits bassins versants et dans un contexte urbain pour une exploitation opérationnelle [Ichiba, 2017].

Les exemples d'exploitations de couplages de pluies prévues/ pluies observées avec des modèles hydrologiques dans le réseau des SPC restent rares, probablement du fait de la difficulté à garantir la pertinence des alarmes. En effet, sur un réseau de milliers de stations, les alarmes hydrologiques existantes sont déjà nombreuses et n'incitent pas à ajouter d'autres alarmes en contexte opérationnel, d'autant plus lorsque le risque de fausse alarme est élevé.

Est-ce qu'il existe un champ à mi-chemin entre l'alarme météorologique fondée uniquement sur l'observation des pluies et l'alarme hydrologique fondée sur le franchissement d'un seuil par un modèle prédisant les débits ?

C'est selon une approche prudente que nous proposons de générer de telles alarmes sur les bassins versants du SPC Gironde-Adour-Dordogne (SPC-GAD) en s'appuyant en premier lieu sur un modèle hydrologique dont les performances ont été éprouvées, validées et quantifiées pour un usage opérationnel. Le modèle a par ailleurs été calé à partir des pluies lui servant en entrée, garantissant un fonctionnement homogène en prévision avec les performances évaluées en calage. Nous nous appuyerons sur ce modèle pour identifier un scénario de pluie critique susceptible de faire franchir un seuil en débit à un exutoire donné. Dans un second temps, nous surveillons au cours de l'événement la possible dérive du scénario de pluie vers le scénario critique. L'ensemble du processus est détaillé dans la suite : le modèle hydrologique utilisé et ses caractéristiques sur le bassin étudié, puis l'application à une situation réelle qui illustre le besoin et l'usage de telles alarmes. Enfin, nous concluons, présentons nos perspectives et proposons des pistes permettant d'améliorer la détection précoce de situations à risque pour les services de prévision des crues.

II LE MODELE HYDROLOGIQUE GRP

Le modèle hydrologique GRP a été développé par IRSTEA [Tangara,2005 ; Berthet, 2010] dans le but de prévoir les débits à court terme dans un cadre de prévision des crues.

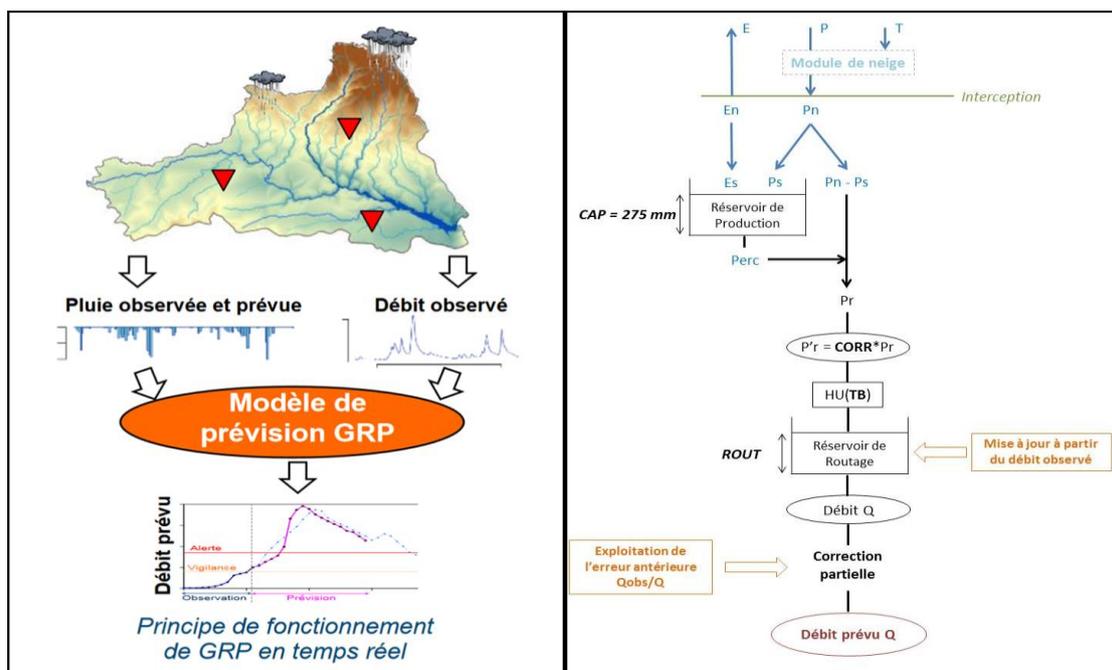


Figure 1 : (a) fonctionnement général et (b) paramètres internes de GRP

C'est un modèle hydrologique global fonctionnant en continu au pas de temps horaire. Le modèle ne comporte que trois paramètres libres qui sont calés selon une procédure automatique à partir des chroniques de débits à l'exutoire et des pluies de bassin Coméphore (pluies antérieures à 2006) et Antilope (pluies postérieures à 2006). Ces paramètres sont la capacité du réservoir sol, un coefficient correctif sur les pluies ainsi que le temps de base de l'hydrogramme unitaire (paramètres CAP, CORR et TB sur la figure 1-b).

Une trentaine de modèles GRP sont actuellement instanciés et fonctionnent dans un contexte opérationnel sur des exutoires des tronçons réglementaires du SPC-GAD. Aucun de ces modèles n'est parfait mais leurs performances opérationnelles ont été jugées satisfaisantes au regard des différents indicateurs utilisés lors du calage.

Pour illustration, la table de contingence des performances du modèle GRP calé sur 18 années de données sur le bassin versant de la Dronne à Brantôme est présentée sur la figure 2 ci-dessous. Cette table ne présente pas l'ensemble des indicateurs de performances permettant d'informer les hydrologues et les prévisionnistes sur les qualités du modèle, d'autres tels le RMSE ou la distribution des erreurs en fonction de l'horizon de prévision, ou encore la distribution des débits prévus vs. observés et des variations de débits prévues vs. observées à l'horizon de calage contribuent également à éclairer sur les biais potentiels et le comportement général du modèle.

P8102520 La Dronne a Brantome		GRP SMN_TAN	
Tableau d'analyse de dépassement du seuil SPC de 29 m3/s à 12 h			
	Dépassement observé	Non-dépassement observé	
Dépassement prévu	825	316	$POD = \frac{a}{a+c} = 75.9$ %
Non-dépassement prévu	262	147771	$FAR = \frac{b}{a+b} = 27.7$ % $CSI = \frac{a}{a+b+c} = 58.8$ %

Figure 2 : tableau de contingence du modèle GRP calé sur la Dronne à Brantôme

Avec un taux de détection à 12h de 76 % sur plus d'un millier d'événements générant une crue supérieure à 29m³/s, le modèle est jugé performant malgré un taux de fausses alarmes de 28 %. Son indice de succès critique (CSI) de 59 % est parmi les meilleurs pour une station située en amont d'un tronçon réglementaire.

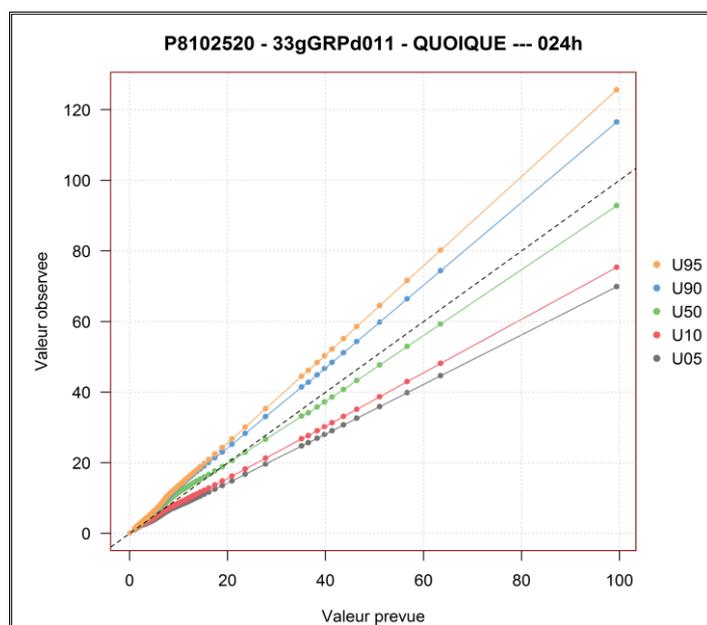


Figure 3 : quantiles des erreurs absolues de prévision en débit à 24h pour la Dronne à Brantôme

En complément de ces informations sur les performances en calage les incertitudes associées au modèle sont estimées pour tous les horizons de prévision en fonction de la gamme de débit prévu de façon à caractériser la distribution des erreurs. Ainsi, pour un horizon de prévision de 24h, on peut voir sur la figure 3 que le modèle a une légère tendance à sous-estimer les débits et que son intervalle de confiance à 90 % pour un débit de 30m³/s prévu à 24h est [20m³/s-37m³/s].

III PREVISIONS DE PRECIPITATIONS

III.1 Sources de données de précipitation

La principale source de prévision des précipitations exploitée par le SPC est le bulletin de précipitations (BP) envoyé deux fois par jour par Météo France. Il synthétise par un court texte accompagné d'un tableau les intervalles de prévisions expertisées par Météo France grâce à leur système Synopsis puis agrégées à l'échelle de grands bassins versants. Ces informations correspondent à la livraison contractuelle attendue par les SPC de la part du service national chargé de la météorologie et elles sont expertisées pour les besoins des SPC en prenant en compte les bassins versants d'intérêt, l'hétérogénéité de la lame d'eau et les maximums ponctuels sous orage ou la distinction sur la nature des précipitations. Les SPC reçoivent également les sorties spatialisées correspondantes à ce bulletin au pas de temps 3h (RR3). Certains SPC exploitent en complément des sorties de divers modèles numériques de prévision du temps qualitativement et quantitativement dans divers buts : apprécier plus finement la chronologie des événements à venir, évaluer le degré d'incertitude ou créer des ensembles hydrologiques ou des sorties multi-modèles.

III.2 Données de précipitation injectées dans les modèles hydrologiques

Les précipitations injectées dans les modèles GRP instanciés au SPC-GAD à chaque run correspondent aux bornes des intervalles de prévision expertisées de précipitations ainsi qu'à la moyenne entre ces bornes (scénarios 1 : « BP min », 2 : « BP moyen » et 3 : « BP max », valeurs expertisées à 24h ventilées selon la répartition temporelle des RR3 de la journée (cf. scénario 4)), un scénario correspondant aux sorties brutes spatialisées (scénario 4 : « RR3 », sorties brutes par pas de 3h agrégées à l'échelle des bassins versants, généralement compris dans les bornes du BP mais pas nécessairement médian), un scénario des sorties brutes spatialisées multiplié par un coefficient forfaitaire de 1,5 afin d'apprécier la sensibilité du bassin et d'envisager les conséquences d'un

événement extrême non prévu (scénario 5 : « 150 % RR3 ») et enfin un scénario correspondant à un arrêt immédiat des pluies (scénario 6). Ces différents scénarios de précipitations et les hydrogrammes déterministes associés sont présentés sur la figure 4-a. Comme mentionné à la section II, l'incertitude modèle est calculée pour les différentes gammes de débit et les différents horizons de prévisions et peuvent optionnellement venir compléter les prévisions déterministes des différents scénarios avec l'incertitude associée.

Figure 4: (a) hydrogrammes prévus pour différents scénarios de pluie et (b) abaques probabilistes de franchissement de seuil en fonction du cumul et de l'intensité des précipitations

En complément de ces prévisions de précipitations, la suite logicielle GRP inclut un utilitaire permettant de générer des pluies de manière stochastique et de les injecter dans le modèle hydrologique [Cernesson, 1996, Lavabre, 2010]. Parmi 10000 scénarios initiaux, 1000 sont sélectionnés afin de couvrir uniformément la gamme des cumuls et des intensités possibles sur le bassin. Le fruit de ces simulations est ensuite synthétisé graphiquement en présentant les probabilités de franchissement de seuil pour différentes gammes d'intensités et de cumuls comme illustré figure 4-b.

La mise en place d'alarmes fondées sur l'exploitation des pluies probabilistes est envisageable, cependant, en conditions opérationnelles elle serait par trop incertaine. Les multiples scénarios de pluie injectés par cette méthode dans GRP sont représentatifs de la distribution statistique des pluies observées, les probabilités d'occurrence sont estimées à partir des pluies passées observées. Cependant, on voit sur la figure 4-b, que pour une gamme de cumuls et une gamme d'intensités données seule une partie des scénarios génère du franchissement de seuil et on ne dispose pas des éléments discriminants les scénarios pluviométriques à risque des autres. Cela est probablement dû au fait que bien que réalistes du point de vue distribution statistique, rien ne nous garantit qu'un scénario dans sa chronologie, lui, le soit. De plus, dans cette démarche probabiliste, nous ne nous appuyons pas sur une information importante et valorisable qu'est le scénario RR3 expertisé (spatialement et temporellement) fourni par Météo France.

Ce scénario, même imparfait, porte cependant des informations importantes : il décrit avec plus ou moins de précision l'heure de survenue des pluies attendues, le cumul total de l'événement et surtout la chronologie de l'événement et en particulier la répartition temporelle des cumuls et leur étalement. Si le phasage précis à quelques heures près ainsi que le cumul total précis sont des éléments critiques difficilement prédictibles, ils peuvent être analysés et modulés en entrée d'un modèle GRP tandis que la répartition du cumul est plutôt caractéristique de la nature de l'événement pluvieux et de l'environnement : la répartition et l'étalement d'un événement pluvieux lié à un front chaud, un front froid, de la convection, un débordement par les crêtes, *etc.* Cette caractéristique liée à la nature de l'événement peut être considérée comme un élément d'expertise contenant de l'information valorisable.

IV GENERATION D'ALARME SUR PLUIES OBSERVEES POTENTIELLEMENT CRITIQUES

C'est dans cette logique que nous proposons une exploitation déterministe des pluies prévues dans un modèle GRP selon les étapes suivantes :

1. les pluies prévues expertisées par Météo France sont injectées dans le modèle GRP,
2. modulation du hyétogramme de pluie prévu par un coefficient en conservant la répartition temporelle de l'événement afin de connaître quel écart à la situation prévue serait critique,

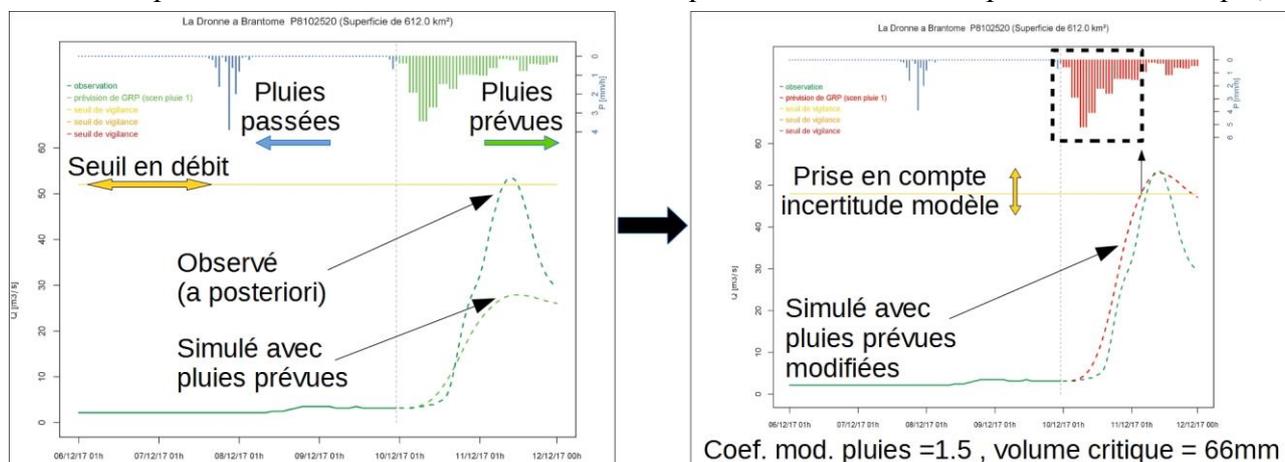


Figure 5 : (a) Étapes 1 et 2, simulation avec scénario initial de pluies prévues et (b) modulation des pluies prévues afin de générer un franchissement de seuil, identification du coefficient de modulation des pluies prévues et du volume associé, avec intégration de l'incertitude modèle.

- génération d'une alarme sur les pluies observées qui vise à détecter de manière précoce l'approche ou le dépassement du scénario critique de pluies identifié précédemment.

Lors des étapes 1 et 2, nous pouvons bénéficier de la connaissance de l'incertitude du modèle hydrologique GRP. Il est en effet aisé d'exploiter les incertitudes mesurées afin de prendre en compte le degré de confiance que le prévisionniste veut avoir sur le maximum de l'hydrogramme prévu. Exemple : pour un seuil à $50\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ à la Station X, nous savons qu'à 12h d'horizon de prévision, une prévision à $43\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ nous donne 20 % de probabilité que le niveau observé soit supérieur au seuil de $50\text{m}^3.\text{s}^{-1}$, tandis qu'il faut une prévision à $62\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ pour avoir une probabilité de 90 % que le niveau observé soit supérieur au seuil de $50\text{m}^3.\text{s}^{-1}$. À ce stade, si le prévisionniste veut incorporer une approche d'incertitude dans son alarme, c'est le seuil de franchissement initialement défini qui est modifié afin de prendre en compte l'incertitude du modèle hydrologique.

Lors de l'étape 2, la pluie peut-être modulée dans une gamme de coefficients limités et plus ou moins fine. Actuellement, le modèle GRP intègre déjà cette stratégie de modulation des pluies prévues afin d'identifier un coefficient sur les pluies prévues qui serait susceptible de faire franchir un seuil en débit identifié (le seuil initial ou le seuil modifié pour incorporer l'incertitude). Ce coefficient est calculé dans une gamme de 0,5 à 4 par pas de coefficient de 0,1 ce qui semble suffisant mais pourrait aisément être ajusté pour plus de finesse ou pour envisager que la prévision et l'observation puissent être encore plus éloignées.

Nous avons à cette étape un scénario de pluie prévue critique qui peut potentiellement faire franchir notre seuil en débit. Nous disposons de la distribution temporelle des pluies avant ce franchissement potentiel et nous en tirons deux caractéristiques importantes : son cumul dans le temps (pluies $RR_{\text{crit}}(t)$) ou son cumul associé $\Sigma RR_{\text{crit}}(t)$ ainsi que le volume total critique (V_{crit}) associé (voir Fig. 5-b). Le volume total critique étant défini comme le cumul des précipitations antérieures au franchissement potentiel identifié.

Lors de l'étape 3, nous cherchons à nous adapter à la réalité de l'événement pluvieux observé. Nous nous ajustons à sa temporalité : se produit-il au moment attendu ? Nous nous adaptons au cumul observé : est-ce que l'on tend vers le scénario de pluie critique identifié à l'étape précédente ?

Comme illustré sur la figure 6, si l'on suppose que la répartition temporelle des pluies observées est la même que la répartition temporelle des pluies prévues ($RR_{\text{obs}}=RR_{\text{crit}}$), il subsiste deux incertitudes : sur le phasage temporel et sur le cumul total. Nous cherchons en particulier à détecter toute situation de pluies observées qui serait identique ou supérieur au scénario critique en terme de volume précipité et qui pourrait survenir en avance ou en retard par rapport aux pluies initialement prévues (situations en jaune sur la Fig. 6) sans pour autant détecter d'alarme dans la situation où les pluies observées auraient de l'avance sur les pluies prévues tout en étant plus faibles (situation en haut à gauche Fig. 6).

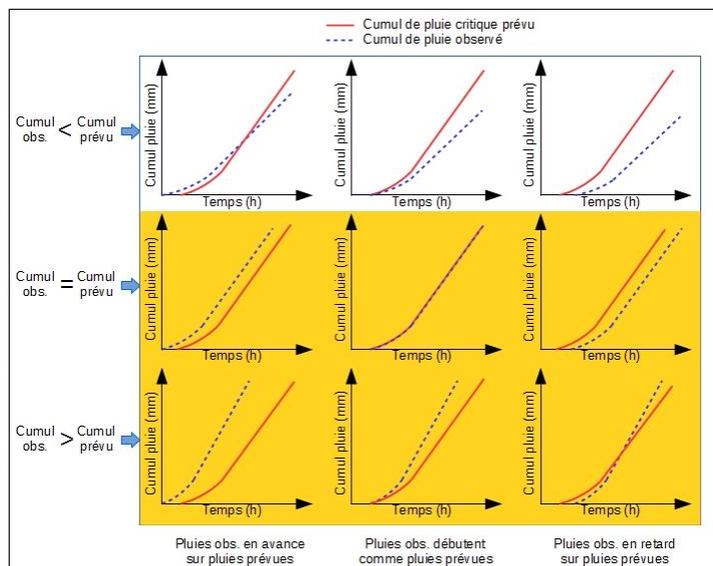


Figure 6 : Scénarios possibles sur les cumuls de pluie prévus tout en étant plus faibles (situation en haut à gauche) (avance, retard, supérieurs, inférieurs)

Il est nécessaire à ce stade d'ajuster la temporalité de l'événement observé et de l'événement prévu afin de comparer les cumuls. Leur comparaison sans recalage temporel pourrait générer des alarmes à outrance : si les pluies observées, si faibles soient-elles sont en avance sur les pluies prévues, le rapport des cumuls peut sembler indiquer que nous avons largement franchi le scénario critique. À l'inverse, cela peut conduire à la non-émission d'alarme si les pluies observées sont en

retard sur les pluies prévues, auquel cas, le rapport des cumuls semblera indiquer que nous sommes largement sous le scénario critique. Nous choisissons arbitrairement un seuil de recalage temporel tel que le volume précipité observé doit au moins avoir atteint 20 % du volume critique total. Dans le cas où les pluies observées n'atteignent jamais ce cumul de recalage, aucune alarme ne sera émise.

Lors de l'étape 3 de comparaison des pluies observées au scénario critique, nous pouvons également intégrer une certaine incertitude sur le dépassement probable d'un seuil critique de débit en émettant l'alarme si on a atteint le scénario de pluie critique ou seulement une part du volume de celui-ci.

Si les observations sont conformes au scénario de pluie critique, en répartition au cours de l'événement et en cumul total et que nous attendons d'avoir atteint le volume critique total, V_{crit} , identifié à l'étape 2, cela revient à faire des runs du modèle GRP à chaque pas de temps offrant de nouvelles observations de pluie et à attendre que la sortie déterministe franchisse le seuil (modulé ou non pour intégrer l'incertitude du modèle hydrologique). Nous revenons sur le principe aux modes de fonctionnement déjà existant dans certains systèmes tel VigicruesFlash ou un couplage Calamar/ALTHAIR comme présenté en introduction.

Comme nous pouvons émettre l'alarme lors de l'atteinte d'un certain pourcentage du volume total critique, cela nous permet de gagner quelques heures tout en affirmant : connaissant la précision de ce modèle hydrologique (prise en compte du seuil modifié), nous sommes sur un scénario de pluie observé qui tend vers le scénario de pluie critique potentiellement franchissant (comparaison RR_{obs}/RR_{crit}) et nous avons déjà observé X % du scénario critique se réaliser (atteinte d'une partie plus ou moins importante de V_{crit}).

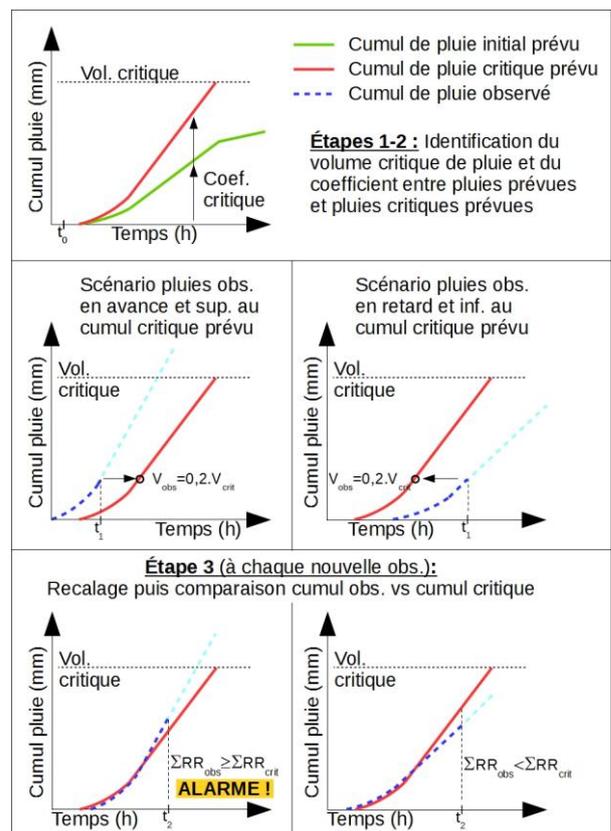


Figure 7 : Schéma de principe du recalage temporel et du déclenchement d'alarme

V MISE EN ŒUVRE ET ILLUSTRATION SUR SITUATION REELLE

Le 10 décembre 2017 au matin, lors de l'analyse de la situation hydrométéorologique sur le bassin versant de la Dronne à Brantôme, le SPC est alerté par Météo France d'une situation d'alerte précipitations (AP) et de forts cumuls sur le secteur 30 à 50mm attendus en 24h (voir Fig. 8)

N°	Zones AP	AP	Observées	Observées	Prévues	Prévues	Prévues	Prévues	
			du 09/12 01h au 10/12 01h	du 10/12 01h au 10/12 06h	du 10/12 06h au 11/12 01h	du 10/12 01h au 11/12 01h	du 11/12 01h au 12/12 01h	du 12/12 01h au 13/12 01h	
			Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moy. Max	Moy. Max	Moyenne	
SPC GIRONDE-ADOUR-DORDOGNE									
52602	Dronne Isle amont	AP	1	4	30/50	30/50		7/15	0

Figure 8 : Prévisions expertisées le 10/12/2017 de Météo France à destination du SPC-GAD pour la zone Dronne amont

Les simulations GRP exploitant les scénarios de pluie tels que décrits en section III.2 sont présentés sur la figure 9. On peut notamment voir que le scénario extrême fondé sur le scénario 150 % RR3 franchit le seuil jaune à la station à un horizon de 31h, les runs centraux s'appuyant sur les RR3 prévus et les valeurs du BP (min=30mm, moy=40mm ou max=50mm) quant à eux ne prévoient que l'atteinte d'environ $20m^3.s^{-1}$ à $40m^3.s^{-1}$ pour un seuil à $52m^3.s^{-1}$.

Comme illustré sur la figure 9-a, nous pouvons voir que la situation telle qu'elle se présentait le 10/12/2017 à 00h présentait un faible risque de dépassement du seuil en débit à Brantôme. Comme illustré sur la figure 9-b, selon l'approche que nous proposons, nous aurions identifié qu'un coefficient multiplicateur de 1,5 des pluies de référence du BP-Moyen (40mm modulés selon une répartition temporelle identique aux RR3) aurait été suffisante pour franchir le seuil de $48\text{m}^3.\text{s}^{-1}$, soit une probabilité de 0,2 à l'horizon de 30h de franchir le seuil de $52\text{m}^3.\text{s}^{-1}$. L'instant de franchissement est identifié 31h après le lancement du run soit le lundi 11 à 7h. Le volume critique des pluies prévues modulées avant franchissement est $V_{\text{crit}}=68\text{mm}$.

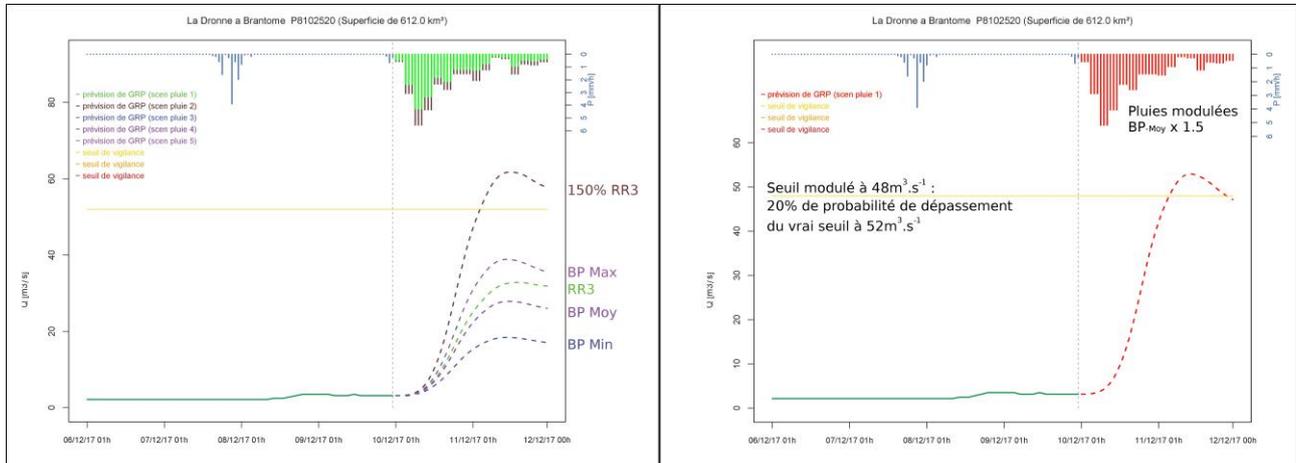


Figure 9 : (a) Simulations initiales avec les différents scénarios de pluie et (b) simulation avec modulation des pluies $RR_{BP-Moy} \times 1.5$ et ajustement du seuil en débit.

Selon une approche classique, fondée sur le lancement de GRP à chaque pas de temps intégrant de nouvelles observations de pluie, nous pouvons voir sur la figure 10-b qu'il aurait été nécessaire d'attendre 22h le dimanche 10 décembre pour que le run déterministe du modèle franchisse le seuil.

Selon notre approche de surveillance des pluies observées et de comparaison au scénario critique, nous pouvons voir sur la figure 10-c que :

- les pluies observées atteignent 20 % de V_{crit} le dimanche 10 décembre à 8h. C'est le point pivot d'ajustement temporel des cumuls prévu et observé. C'est à partir de cet instant que le rapport Cumul obs/Cumul prévu est comparé à la valeur 1,5 du scénario critique,
- le rapport des pluies observées aux pluies prévues conserve une valeur supérieure à 1,5 à partir de 19h le dimanche et ce, jusqu'à la fin de l'événement,
- le dépassement de 70 % à 80 % de V_{crit} a lieu respectivement à 16h et à 19h le dimanche.

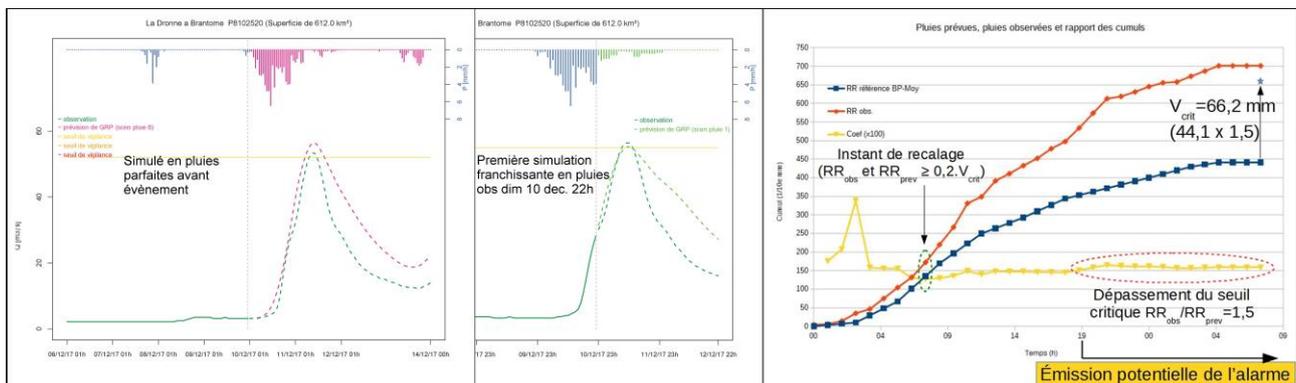


Figure 10 : (a) Simulations en pluies parfaites, avant événement, (b) en cours d'événement et (c) traitement des cumuls prévu et observé pour génération d'alarme

En acceptant que l'alarme soit déclenchée sur une portion de 70 à 80 % du volume critique des pluies modulées susceptibles de faire franchir le seuil en débit, l'alarme ne se déclenche qu'à partir de 19h le dimanche, à partir du moment où le rapport des cumuls recalés de l'événement atteint le facteur critique de 1,5. Cela représente un gain de 3h sur un déclenchement d'alarme fondé sur un

dépassement du modèle déterministe à chaque pas de temps. Le franchissement réel du seuil de $52\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ n'ayant quant à lui été observé que le lundi 11 décembre à 11h.

VI CONCLUSIONS

Nous proposons ici une alarme de détection précoce d'un potentiel dépassement de seuil en débit qui se fonde sur la surveillance des pluies observées. Contrairement aux approches concurrentes fondées sur le dépassement d'un seuil de période de retour donné et sont donc liées à l'aléa et non à ses conséquences, l'exploitation d'un modèle hydrologique calé sur l'historique de notre station et sur la connaissance des niveaux à risque la rend plus utile pour un SPC. Contrairement aux approches fondées sur un dépassement déterministe d'une modélisation hydrologique en temps réel avec les pluies observées, nous cherchons avant la survenue de cet instant à comparer à l'échelle de l'événement pluvieux si la trajectoire du cumul est proche d'une trajectoire critique évaluée avant l'événement. Nous cherchons à exploiter au mieux les diverses informations contenues dans les analyses météorologiques qui nous sont fournies et tentons d'être robustes aux principales incertitudes de celles-ci : l'incertitude temporelle et l'incertitude sur le cumul total.

Nous avons inclus dans notre approche la possibilité d'exploiter les caractéristiques connues de l'incertitude du modèle hydrologique. Nous montrons que sur un épisode réel présentant un écart important entre le scénario météorologique initial et les pluies observées, nous pouvions gagner quelques précieuses heures par rapport aux méthodes antérieures.

Il semble nécessaire désormais de mettre en œuvre cette méthode sur plus de situations réelles pour réellement apprécier son potentiel, quantifier ses performances et s'assurer de son bon fonctionnement quelle que soit la typologie des pluies.

VII RÉFÉRENCES

- Badoche-Jacquet, G., Blanchet, F. et Blanchet, B. (1992) Process and device for evaluating the precipitation over an area of terrain, U.S. Patent n5440483
- Bénichou, P. et Le Breton, O. (1987) AURELHY : une méthode d'analyse utilisant le relief pour les besoins de l'hydrométéorologie, Journées hydrologiques de l'ORSTOM à Montpellier.
- Berthet, L. (2010). Prévision des crues au pas de temps horaire : pour une meilleure assimilation de l'information de débit dans un modèle hydrologique. Thèse de Doctorat, Cemagref (Antony), AgroParisTech (Paris), Paris, 603 pp.
- Bressand, F. (2002). Le projet ALHTAÏR du service d'annonce des crues. *La Houille Blanche*, 2, pp. 64-68.
- Le Quentrec, M., Ravard, J.-L., et Verdeaux, P. (2009), Le ruissellement urbain et les inondations soudaines – connaissance, prévention prévision et alerte, rapport 005487-1 du CGEDD, 68pp.
- Cernesson, F., Lavabre, J. et Masson, J.-M. (1996). Stochastic model for generating hourly hyetographs, *Atmospheric Res.*, vol. 42, pp 149-161.
- Einfalt, T., et al. (1990) A radar rainfall forecasting method designed for hydrological purposes, *Journal of hydrology*, n°114, pp. 229-244.
- Fouchier C., Arnaud P., Lavabre J. et Mizzi J.-P. (2007). AIGA: an operational tool for flood warning in southern France. Principle and performances on Mediterranean flash floods. Assemblée générale de l'EGU, Vienne, Autriche, 15-20 avril 2007.
- Lavabre, J. et Arnaud, P. (2010), Estimation de l'aléa pluvial en France métropolitaine, Ed. Quae, 157pp.
- Tangara, M. (2005). Nouvelle méthode de prévision de crue utilisant un modèle pluie-débit global. Thèse de Doctorat, Cemagref Antony, EPHE, Paris, 374 pp.

Javelle, P., Organde, D., Demargne, J., Saint-Martin, C., De Saint-Aubin, C., Garandea, L. et Janet, B. (2016). Setting up a French national flash flood warning system for ungauged catchments based on the AIGA method, FLOODrisk 2016.