

Mises en œuvre opérationnelles de la méthode AIGA pour anticiper les crues sur les cours d'eau non surveillés

Premier risque naturel en France, les inondations peuvent entraîner des pertes humaines et provoquer d'importants dégâts matériels. Parmi elles, les crues soudaines causées par des pluies très fortes enregistrées en très peu de temps restent encore difficiles à anticiper et à gérer. La méthode AIGA présentée dans ce article est un outil destiné à mieux identifier ces pluies intenses et anticiper ces crues rapides, notamment quand elles se manifestent au sein de petits bassins versants non équipés de station de mesure. Après une présentation des principes de la méthode, les auteurs s'intéressent à sa mise en œuvre dans des dispositifs opérationnels de surveillance et d'anticipation des aléas hydrométéorologiques.



En France, les crues rapides sont à l'origine d'une part très significative des dommages engendrés par les aléas naturels, tant sur le plan humain que matériel. Générées par des pluies intenses, ces crues se manifestent au sein de petits bassins versants caractérisés par des temps de réactions courts et, très souvent, l'absence de mesures de débit. Sans information sur les débits, la seule donnée d'entrée pour prévoir ces crues est alors la pluie et, en particulier, l'information fournie par les radars météorologiques.

L'équipe « Risques hydrométéorologique » d'Irstea Aix-en-Provence travaille depuis plusieurs années à une meilleure anticipation de ce type d'événement sur les bassins versants non instrumentés, notamment en intégrant dans ses modèles hydrologiques les informations des radars météorologiques. Ces travaux ont conduit à la mise au point dès 2003 de la méthode AIGA, acronyme pour Adaptation d'Informations Géographiques pour l'Alerte crues. Conçue comme un outil d'aide à la décision en situation de crise, destinée aux décideurs et aux gestionnaires, cette méthode propose :

- l'évaluation du niveau de rareté des précipitations observées en temps réel par les radars météorologiques,
- une anticipation, grâce à l'utilisation d'un modèle hydrologique, du niveau de rareté des crues qui pourraient résulter de ces précipitations.

Faisant l'objet de travaux continus d'améliorations, la méthode AIGA est mise en œuvre dans des dispositifs opérationnels de surveillance et d'anticipation des aléas hydrométéorologiques. Après une présentation de la méthode et de ces dispositifs opérationnels, nous présentons les résultats d'une évaluation des performances du volet hydrologique de la méthode AIGA, à la fois sur des bassins versants jaugés et non jaugés.

Présentation de la méthode AIGA et des modèles hydrologiques utilisés

Le principe de la méthode AIGA repose sur la comparaison des données temps réel de pluie et de débit avec des valeurs seuils, ceci afin de pouvoir caractériser le niveau de rareté de l'aléa hydrométéorologique en cours (figure 1).

Concernant les pluies, les données temps réel sont les cumuls de pluie fournis sur différentes durées (1 h à 72 h) par le réseau de radars météorologiques opérés par Météo-France. Les valeurs seuils de pluie sont constituées par les valeurs statistiques de pluie issues de la base nationale SHYREG pluie (Arnaud *et al.*, 2014) disponibles pour les mêmes durées de cumul et pour différentes périodes de retour. Le résultat de la comparaison entre les observations de pluie et ces valeurs seuils est visualisé sous forme de cartes à la résolution spatiale du km² (figure 2a). Les niveaux de rareté des pluies y sont

représentés selon une échelle simplifiée en trois couleurs correspondant à trois gammes de périodes de retour : deux à dix ans pour les événements fréquents, dix à cinquante ans pour les événements moyens, et supérieures à cinquante ans pour les événements exceptionnels.

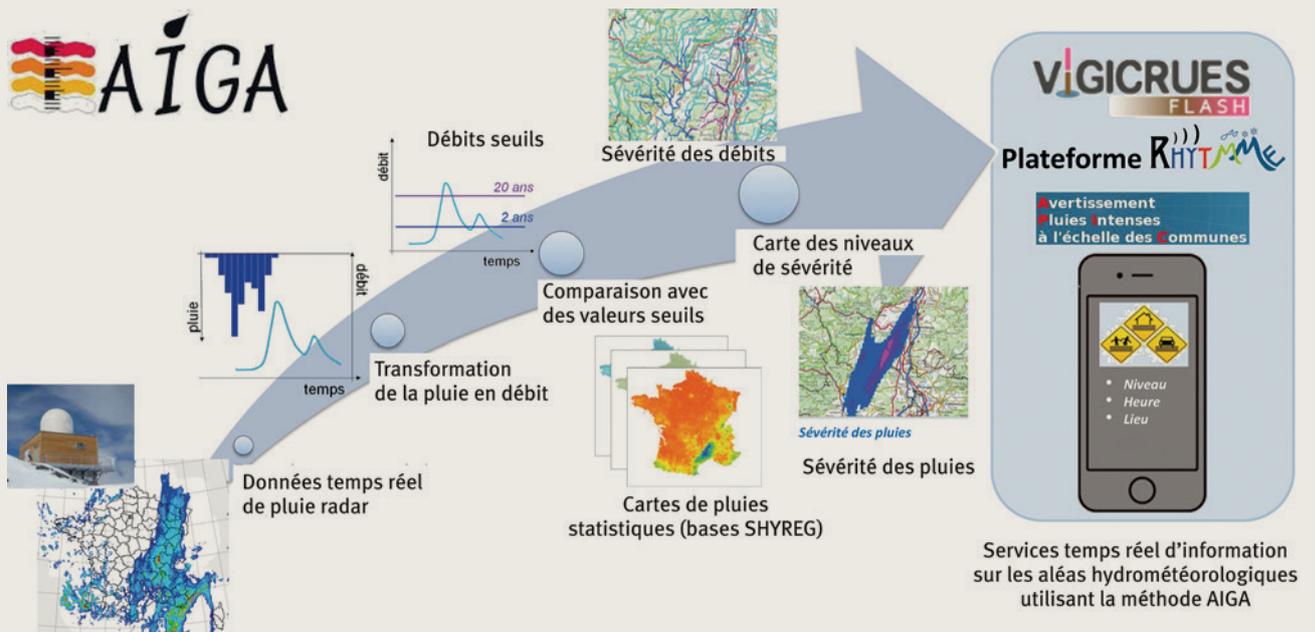
Pour caractériser l'aléa de crues, la méthode AIGA s'appuie sur des données temps réel de débits fournies par un modèle hydrologique alimenté par les pluies radars horaires. Ces données temps réel sont comparées à des valeurs seuils de débit associées à des périodes de retour choisies au préalable. Dans la pratique, les calculs sont menés en des exutoires prédéfinis. Les périodes de retour sont traduites visuellement par un code couleur attribué aux tronçons modélisés. C'est par exemple une échelle en trois couleurs qui est adoptée sur la carte de

la figure 2b, selon que les débits modélisés ont une période de retour soit comprise entre deux et dix ans, soit comprise entre dix ans et cinquante ans, soit supérieure à cinquante ans.

Le modèle hydrologique utilisé dans la méthode AIGA appartient à la famille des modèles conceptuels GR développés depuis plusieurs décennies par Irstea. Il associe trois modèles (figure 3) :

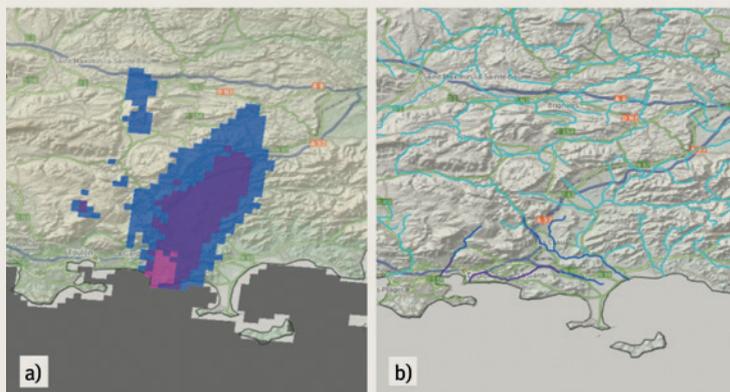
- un modèle distribué continu journalier SAJ mis en œuvre à la maille du km² qui représente les conditions antérieures d'humidité,
- un modèle global continu journalier GR4J qui permet de calculer un débit de base journalier pour tous les exutoires prédéfinis,

1 Schéma de principe de la méthode AIGA.



2 Cartographies AIGA produites à 16h00 le 26/10/2012 lors d'un épisode orageux sur la région de Toulon.

(a) Périodes de retour de la pluie radar de durée 1 heure. (b) Période de retour des débits modélisés.



a) Qualification AIGA pluie pour le cumul 1 h. Période de retour estimée :

- 2 ans < T < 10 ans
- 10 ans < T < 50 ans
- T > 50 ans

b) Qualification AIGA débit. Période de retour estimée :

- ~ 2 ans < T < 10 ans
- ~ 10 ans < T < 50 ans
- ~ T > 50 ans

• un modèle semi-distribué événementiel horaire – GRSD – couplé à la fois au modèle journalier SAJ pour initialiser le niveau de son réservoir de production au début de l'événement, et au modèle GR4J pour initialiser le taux de remplissage de son réservoir de routage. Ces initialisations sont réalisées quotidiennement si la pluie journalière de la veille – pluie de bassin pour l'initialisation du réservoir de transfert, pluie au pixel pour l'initialisation du réservoir de production – est inférieure à 10 mm.

Les paramètres de ces trois modèles ont été calés à l'aide de données de débits d'environ sept cents stations de la banque HYDRO réparties sur tout le territoire métropolitain et d'une chronique de pluie distribuée fournie par Météo-France à la maille du km² et au pas de temps horaire sur la période 2002-2015. Pour que la méthode AIGA puisse être mise en œuvre sur des bassins non jaugés, ses paramètres ont été régionalisés afin de disposer de leurs valeurs sur les bassins non instrumentés cibles et y mener des calculs de débits. Par ailleurs, pour disposer de valeurs de débits à échéances rapprochées, malgré le pas de temps horaire du modèle GRSD, les calculs de débits sont menés avec quatre modèles événementiels GRSD alimentés par les cumuls de pluies horaires calculés à l'heure ronde H pour le premier, à l'heure H+15 minutes pour le deuxième, à H+30 et H+45 pour les troisième et quatrième.

Comme pour toute modélisation hydrologique, les résultats fournis par le volet débit de la méthode AIGA sont soumis à un certain nombre de limites et d'incertitudes, liées aux choix qui ont présidé à la conception du modèle. Celui-ci calcule en effet les écoulements de surface à partir des précipitations liquides sur des bassins considérés comme naturels et sans laminage majeur

des crues dans des champs d'expansion naturels. Nous présentons dans les paragraphes suivants comment ces limites sont prises en compte dans les applications opérationnelles de la méthode.

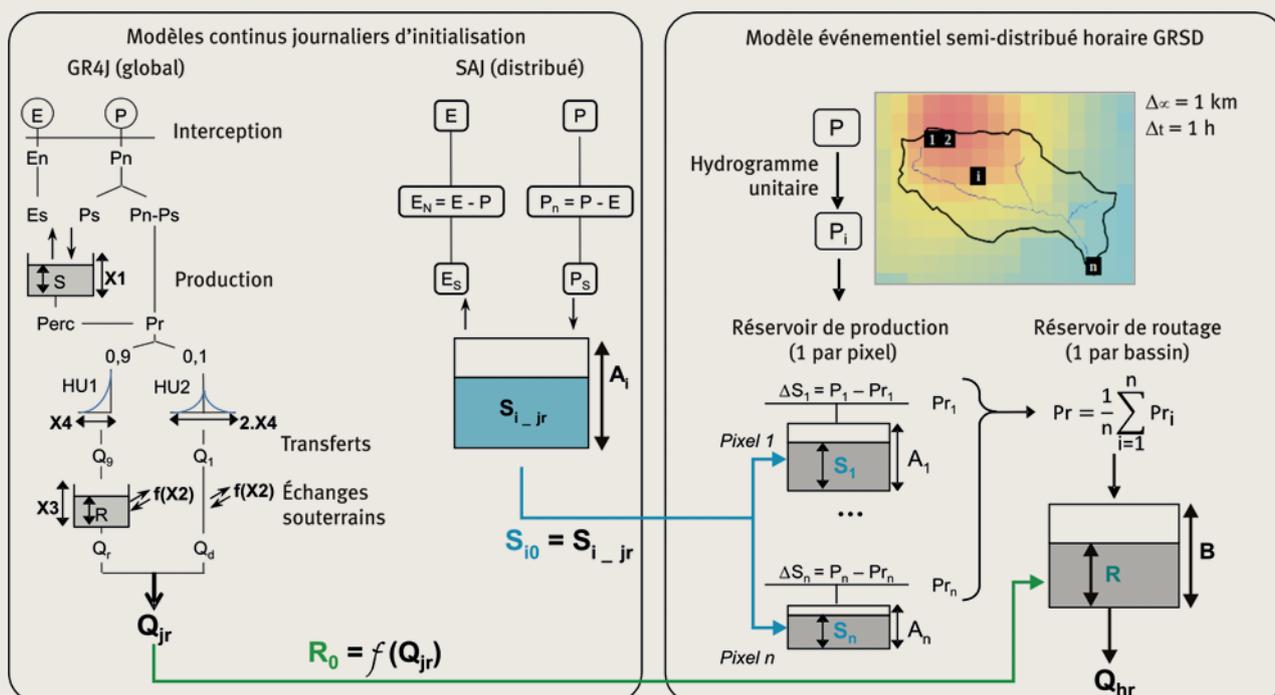
Mises en œuvre opérationnelles de la méthode AIGA

Depuis 2011, la méthode AIGA est mise en œuvre dans différents dispositifs opérationnels, ou à visées opérationnelles, associant chercheurs et gestionnaires du risque inondation.

Le service APIC

Le volet de la méthode AIGA relatif aux précipitations est ainsi utilisé dans le dispositif « Avertissement pluies intenses à l'échelle des communes », ou APIC, mis en place en 2011 par Météo-France en réponse à une commande du ministère en charge de l'environnement. Ce service renseigne sur le caractère plus ou moins exceptionnel des précipitations observées à l'aide de deux niveaux d'avertissement (« précipitations intenses » et « précipitations très intenses »). Pour cela, il agrège, à l'échelle communale, les informations qui sont fournies par la méthode AIGA pluie à la résolution spatiale du km². Le service APIC est disponible, gratuitement et sur abonnement, pour les communes du territoire métropolitain où la qualité de la couverture radar est jugée satisfaisante pour la mise en œuvre de ce service, soit un peu plus de 90 % des communes de métropole. Communiqués par SMS, courriels et messages vocaux, les avertissements APIC sont destinés aux maires, aux préfetures, aux SDIS (service départemental d'incendie et de secours)...

Organisation de la modélisation pluie-débit mise en œuvre dans la méthode AIGA nationale avec ses trois modèles (GR4J, SAJ et GRSD).



La plateforme RHYTMME

L'intégralité de la méthode AIGA (pluie et débit) a été implantée dans la plateforme RHYTMME de services cartographiques d'anticipation et de suivi des aléas hydrométéorologiques, développée en région PACA (Provence-Alpes-Côte d'Azur) par Irstea et Météo-France, dans le cadre du projet Contrat de plan État-Région PACA éponyme (Risques Hydrométéorologiques en Territoires de Montagne et Méditerranéens) qui s'est achevé en 2015 (Fouchier *et al.*, 2015). Après avoir permis de faire tester la méthode AIGA, en temps réel et en conditions opérationnelles, par des expérimentateurs issus des services gestionnaires des risques (collectivités territoriales, services de l'État), la plateforme RHYTMME est progressivement mise à disposition des collectivités territoriales et des services de l'État en région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Depuis janvier 2016, des sessions de formation ont ainsi permis d'accompagner, dans leur prise en main de la plateforme RHYTMME, plus de deux cent cinquante élus et agents des collectivités territoriales et services de l'État dans les Hautes-Alpes, le Var, les Alpes-Maritimes et les Bouches-du-Rhône. Ces formations coordonnées et financées par la direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement PACA seront étendues aux autres départements de la région.

Le choix a été fait de fournir *via* la plateforme RHYTMME les sorties du volet débit de la méthode AIGA sur 1700 tronçons de cours d'eau de plus de 10 km² de la région PACA, régulièrement répartis sur le réseau hydrographique et ce même pour les tronçons dont les bassins sont situés en limite d'application de la méthode (bassins versants à fort écoulement souterrain, à forte composante nivale, bassins versants influencés par des barrages ou présentant des champs d'expansion de crue). Ce choix s'accompagne d'une information précise des utilisateurs, notamment lors des journées de formation, sur ces limites et les précautions requises pour l'interprétation des cartes diffusées dans la plateforme pour l'aléa de crues.

Le service Vigicrues Flash

Le volet de la méthode AIGA relatif aux débits est mis en œuvre depuis peu dans le service national Vigicrues Flash. Ce service, lancé en mars 2017 par le ministère en charge de l'environnement (Service central d'hydrométéorologie et d'appui à la prévision des inondations – Schapi), est spécifique aux crues soudaines et est destiné aux communes. Ce nouveau système d'avertissement permet de surveiller treize mille tronçons de cours d'eau du territoire métropolitain soit plus de trente mille kilomètres de cours d'eau qui n'étaient pas couverts par la Vigilance Crues (figure 4). Il est disponible, gratuitement et sur abonnement, pour les dix mille communes traversées par ces cours d'eau. Communiqués par mail, SMS et messages vocaux, les avertissements Vigicrues Flash informent sur le risque de crue significative dans les prochaines heures à l'aide de deux niveaux d'avertissements « Crue forte » et « Crue très forte » émis à l'échelle d'une commune.

Vigicrues Flash adressant en temps réel des avertissements aux acteurs de la sécurité publique, les limites de la modélisation hydrologique évoquées précédemment ont conduit le Schapi à effectuer une sélection des cours d'eau éligibles à ce service. Les bassins des cours d'eau retenus se situent ainsi hors zone d'influence nivale, hors

zone karstique, hors zone d'influence des marées, sont peu soumis à l'influence de barrages, présentent un débit de base alimenté essentiellement par la pluie et bénéficient d'une bonne estimation de la pluie par le réseau de radars météorologiques. Il s'agit enfin de bassins versant de plus de 10 km² dont le temps de réaction est supérieur à 1 h 30.

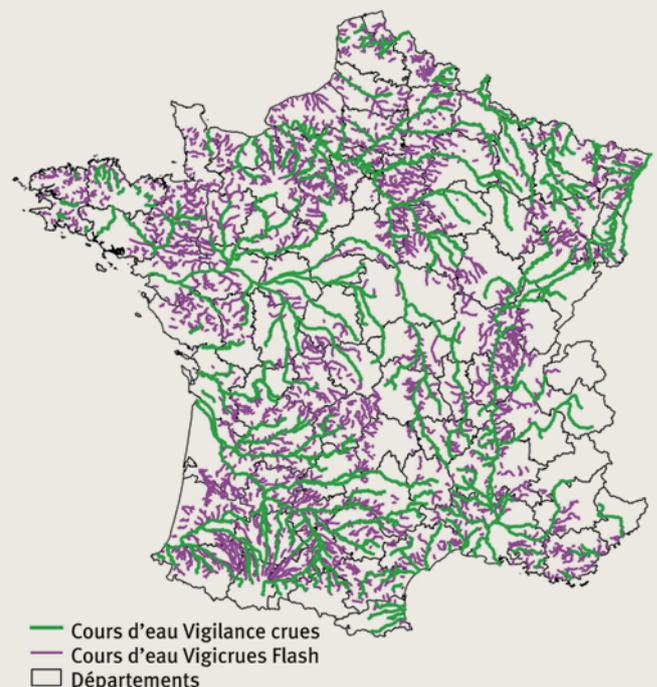
Évaluation des performances de la méthode AIGA

La méthode AIGA, destinée à l'anticipation des crues sur les bassins non jaugés, a fait l'objet d'évaluations aussi bien sur des cours d'eau jaugés que sur des cours d'eau non jaugés. Nous proposons ici une synthèse des principaux résultats obtenus lors de récents travaux d'évaluation (Javelle *et al.*, 2016 ; Saint-Martin *et al.*, 2016).

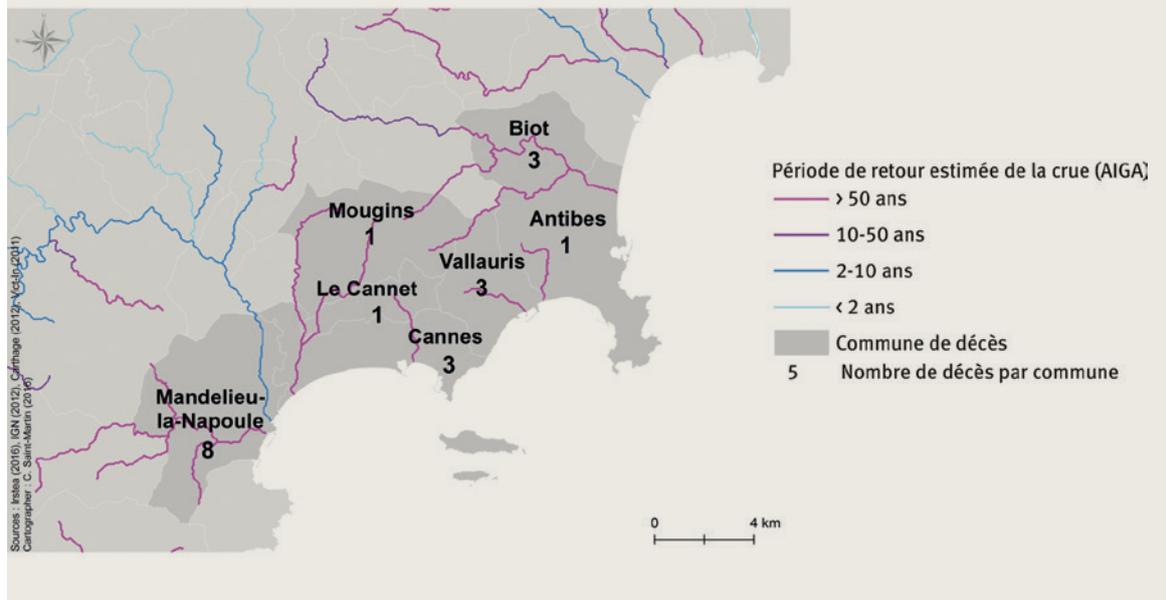
Évaluation en situation non jaugée

Évaluer les performances d'une modélisation des débits en situation non jaugée est délicat, du fait même de l'absence de débits mesurés dans les cours d'eau. Pour tenter malgré tout d'apprécier les capacités de la méthode AIGA à correctement localiser et anticiper des phénomènes de crues sur des cours d'eau non jaugés, Saint-Martin *et al.* (2016) ont confronté les principales informations apportées par la méthode (heure de dépassement des différentes valeurs seuils, localisation des cours d'eau concernés par des dépassements de valeurs seuils) avec les constatations de dégâts répertoriés, géolocalisés et horodatés, à l'occasion de retours d'expériences conduits lors de deux événements hydro-pluviométriques majeurs : les inondations du centre Var de juin 2010 et les inondations ayant touché la Côte d'Azur en octobre 2015.

4 Carte des cours d'eau couverts par le service Vigicrues Flash (en violet), et ceux couverts par la Vigilance crues (en vert) en 2017 (source : Schapi).



5 Périodes de retour maximales estimées pour les débits modélisés par la méthode AIGA au cours de l'événement du 3 octobre 2015 et localisation des victimes (source : C. Saint-Martin et al., 2016).



Ces informations sur les dommages sont mises au regard des localisations et heures de dépassement des seuils deux ans, dix ans et cinquante ans par les débits modélisés par la méthode AIGA, pour les périodes temporelles et les zones géographiques correspondantes, sur tous les bassins versants de taille comprise entre 5 et 3 500 km². Les informations sur les dépassements de seuil ont été agglomérées à l'échelle des communes. Pour une période de retour donnée, est attribuée à une commune l'heure du premier dépassement de la valeur seuil correspondante par l'un de ses tronçons de cours d'eau.

En termes de localisation géographique, Saint-Martin *et al.* (2016) ont constaté une quasi concordance entre les communes où les débits modélisés sont les plus rares et celles où des décès ont été enregistrés. Lors de l'événement d'octobre 2015 par exemple, toutes les communes où des décès ont été répertoriés, contiennent ainsi au moins un cours d'eau dont la période de retour modélisée par la méthode AIGA dépasse la valeur seuil maximale de cinquante ans comme on peut le voir sur la figure 5 qui confronte les dépassements de seuils calculés par la méthode avec la localisation et le nombre des victimes. Lors de l'événement de juin 2010, cinq des six communes concernées par des décès montrent un tel dépassement du seuil cinquante ans. Ces résultats témoignent de la capacité de la méthode à correctement identifier les zones touchées par les crues.

Pour apprécier l'anticipation de la méthode, les heures de dépassement des différents seuils par les débits calculés par la méthode AIGA ont été confrontées aux horodatages des dommages recensés. Pour l'événement du 15 juin 2010 (dont certaines des conséquences sont recensées dans le tableau 1), ces dépassements de seuil anticipent quasiment tous les dégâts répertoriés. Selon

les dommages et le seuil considéré, le délai d'anticipation vont de une heure à plusieurs heures. Pour l'événement du 3 octobre 2015, les résultats montrent une moins bonne anticipation avec des délais inférieurs à une heure. Ces résultats contrastés peuvent être expliqués par les différences entre les deux événements. Pour l'événement du 15 juin 2010, les crues ont été générées par des pluies intenses tombées sur une période de temps relativement longue. Météo-France a ainsi mesuré 350 mm de pluie en neuf heures sur la commune de Les Arcs. Lors de l'événement du 3 octobre 2015, les pluies intenses ont duré seulement deux heures avec jusqu'à 175 mm mesurés à Cannes. Cette brièveté de l'épisode pluvieux, combinée à la petite taille des bassins versants impactés et à la localisation des cellules pluvieuses dans la partie aval très urbanisée des bassins versants, expliquent les temps de réponse très courts des bassins et la faible anticipation de la méthode.

Même avec des délais d'anticipation courts, les informations fournies par la méthode AIGA se révèlent utiles car elles fournissent en temps réel une information précieuse sur la réaction attendue des cours d'eau aux précipitations en cours, permettant de localiser à échelle spatiale fine ceux susceptibles de réagir et informant sur l'intensité de cette réaction à venir. Ces résultats encouragent la poursuite des travaux entrepris sur l'intégration des prévisions de pluie dans la méthode afin d'en améliorer l'anticipation.

Évaluation en sites jaugés

Pour compléter l'évaluation conduite sur des bassins non instrumentés, Javelle *et al.* (2016) ont évalué la méthode sur les stations hydrométriques de calage. Plutôt qu'une comparaison directe entre débits observés et débits calculés, c'est une comparaison de dépassements de

valeurs seuils de débits, effectuée en calculant un critère de contingence, qui a été conduite afin d'évaluer la méthode sur sa capacité à émettre des avertissements pertinents. Pour disposer d'un élément de comparaison, ce critère a également été calculé pour des dépassements de seuils pluviométriques sur des cumuls de pluie de six heures, ceci afin d'apprécier la plus-value d'une modélisation hydrologique par rapport à la seule information de pluie.

La comparaison a été menée à l'échelle événementielle à l'aide des chroniques de pluie radar et de débits observés et calculés disponibles sur la période 2002-2015. Un événement est identifié dès que la pluie journalière de bassin dépasse 10 mm. En assimilant dépassement de seuil à avertissement, chaque événement est comptabilisé en avertissement pertinent, avertissement manqué ou faux avertissement selon que l'avertissement (ou son absence) calculé par la méthode correspond ou non à l'avertissement observé. Cet inventaire est mené à l'aide de tableaux de contingence (tableau 2) constitués, d'une part pour la méthode AIGA et d'autre part pour la méthode simple fondée sur les pluies décrite plus haut et notée « Avertissement pluie ».

Au cours d'un événement, un avertissement est dit observé quand le débit maximal observé, noté Q_{obs} , dépasse la valeur seuil notée $Q_{obs}(T)$; un avertissement AIGA est comptabilisé dès lors que le débit maximal calculé par la méthode AIGA, noté Q_{cal} , dépasse la valeur seuil notée $Q_{cal}(T)$ et un avertissement pluie est comptabilisé dès lors que le cumul maximal de pluie de bassin en six heures, noté PM_6 , dépasse la valeur seuil $PM_6(T)$. Les valeurs seuils débits ont été calculées pour la période de retour $T=2$ ans. Pour les débits observés, il s'agit des quantiles issus de l'ajustement d'une loi de Gumbel sur les chroniques observées. Pour les débits AIGA, il s'agit des quantiles issus de l'ajustement d'une loi de Gumbel sur les chroniques de débits modélisés en continu par la méthode sur la période 1998-2015. La valeur seuil retenue pour les pluies est la valeur médiane des cumuls maxima annuels de pluie six heures sur la période 1998-2015, valeur médiane qui peut être assimilée au quantile de période de retour deux ans.

Ces tableaux de contingence permettent de calculer les effectifs totaux d'avertissements pertinents (H), de faux avertissements (FA) et d'avertissements manqués (M) ainsi que le critère CSI (*critical success index*) qui mesure

1 Horaires des dépassements de seuils AIGA et des principaux dommages répertoriés lors de l'événement du 10 juin 2010 sur quelques-unes des communes touchées, extrait du tableau établi par C. Saint-Martin et al. (2016) par enquêtes, revues de presse, données L. Boissier.

Commune	Dépassement seuils AIGA	Dommages observés		
		Heure	Description	Source
FLAYOSC	2 ans à 14 h 30 10 ans à 15 h 00 50 ans à 15 h 30	18 h 00	Un décès	Rapport de police
LES ARCS	2 ans à 14 h 30 10 ans à 15 h 15 50 ans à 15 h 30	16 h 10	Premiers débordements sur routes	Interviews
		16 h 40	Effondrement de la place principale du village (construite sur la rivière canalisée)	Interviews
TARADEAU	2 ans à 14 h 45 10 ans à 15 h 15 50 ans à 15 h 30	16 h 00	Pont isolé (destruction complète des accès routiers)	Interviews
CHÂTEAU-DOUBLE	2 ans à 14 h 45 10 ans à 15 h 15 50 ans à 15 h 30	16 h 00	Pont submergé, occasionnant un décès	Rapport de police
		17 h 50	Hameau de Rebouillon submergé, deux décès	Rapport de police
DRAGUIGNAN	2 ans à 14 h 45 10 ans à 15 h 15 50 ans à 15 h 30	17 h 00	Premiers débordements sur routes	Interviews
		?	Neuf décès (après-midi et soirée)	

2 Tableaux de contingence pour la méthode AIGA (sur fond gris) et pour l'Avertissement pluie (en italique).

Système d'avertissement		Observations $Q_{obs} > Q_{obs}(T)$?		
		Oui	Non	
AIGA	$Q_{cal} > Q_{cal}(T)$?	Oui	Avertissement pertinent (H)	Faux avertissement (FA)
		Non	Avertissement manqué (M)	Vrai négatif
Avertissement pluie	$PM_6 > PM_6(T)$?	Oui	<i>Avertissement pertinent (H)</i>	<i>Faux avertissement (FA)</i>
		Non	<i>Avertissement manqué (M)</i>	<i>Vrai négatif</i>

la proportion d'avertissements prévus ou observés qui ont été à la fois prévus et observés. Variant entre 0 et 1, il est égal à 1 en cas de prévision optimale, représentée par l'absence à la fois de faux avertissements et d'avertissements manqués. Il vaut 0 en l'absence d'avertissement correcte. Il est calculé selon la relation :

$$CSI = \frac{H}{H + M + FA}$$

Ce critère a été calculé sur l'ensemble des événements disponibles en regroupant les bassins par grande région hydrogéographique (figure 6). Les résultats pour la période de retour deux ans sont présentés pour chacune des régions hydrogéographiques et pour la France entière sur la figure 7.

On constate des écarts de performance selon les régions, aussi bien pour l'Avertissement pluie que pour la méthode AIGA. Les performances de la méthode AIGA

sont meilleures dans les régions méridionales (régions 9, 5, 3 et 4) ainsi qu'en Bretagne (région 7) que dans les régions du Nord de la France (régions 1, 2 et 6) et les régions montagneuses (région 8). Une des explications pourrait être la paramétrisation simplifiée et la structure du modèle conceptuel. Conçu pour modéliser les crues soudaines générées par les écoulements de surface, il ne modélise pas les phénomènes de fonte de neige et d'écoulements souterrains, ce qui peut expliquer ses moindres performances sur les Alpes et les Pyrénées et dans les régions caractérisées par des écoulements souterrains importants. Les performances moindres sur les Alpes et les Pyrénées peuvent également être expliquées par la moindre qualité de la mesure radar de la pluie dans les zones à fort relief.

La figure 7 montre également que, aussi bien au niveau national que régional, les CSI calculés pour la méthode AIGA sont systématiquement meilleurs que ceux calculés pour l'Avertissement pluie. À l'échelle nationale les dépassements de seuils de débits modélisés par la méthode AIGA permettent ainsi d'obtenir un CSI moyen de 36% alors qu'il n'atteint que 10% avec l'Avertissement pluie. Ces résultats montrent la plus grande pertinence d'avertissements fondés sur une transformation de la pluie en débit que sur la seule information pluviométrique.

Conclusion

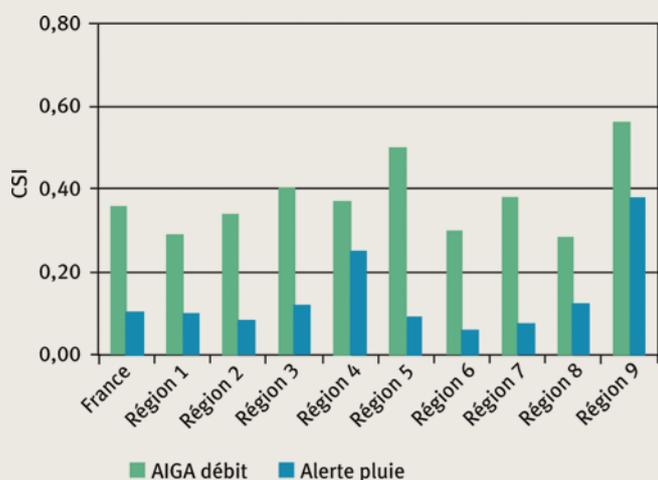
La méthode AIGA développée depuis une quinzaine d'années par Irstea permet l'évaluation en tout point du territoire du niveau de rareté des pluies en cours, observées par les radars météorologiques, et, pour les bassins versants non jaugés, du niveau de rareté des crues attendues en réponse à ces pluies. Développée initialement sur le pourtour méditerranéen, la méthode AIGA est maintenant disponible sur l'ensemble du territoire métropolitain. Elle est utilisée avec succès depuis 2011 dans deux dispositifs de surveillance des aléas hydro-météorologiques : le service APIC qui utilise le volet pluie de la méthode AIGA et la plateforme RHYTMME de services hydrométéorologiques, disponible en région Provence-Alpes-Côte d'Azur, qui exploite la totalité de la méthode ; et depuis mars 2017, dans le dispositif Vigicrues Flash porté par le Schapi qui utilise le volet débit de la méthode AIGA.

Les performances du volet débit de la méthode AIGA sont analysées, dans le cadre d'une thèse en cours, en menant des retours d'expérience post crue sur des bassins non jaugés et en comparant les dépassements de seuils AIGA avec les informations disponibles sur des événements récents et collectés dans une base de données de dommages à partir de différentes sources d'information (revue de presse, réseaux sociaux, enquêtes terrain, témoignage expérimentateurs RHYTMME). L'analyse présentée ici sur deux événements de crue majeure ayant touché les départements du Var et des Alpes-Maritimes montre que les dépassements de seuils AIGA ont été en général conformes avec les dommages recensés lors de ces événements et qu'ils peuvent permettre d'anticiper l'aléa. L'intégration de prévision de pluie dans la méthode est l'un des axes de recherche poursuivi pour améliorer cette anticipation.

6 Les neuf régions utilisées pour le calcul des statistiques de contingence.



7 Valeurs des CSI calculés pour la période de retour deux ans et pour les neuf régions hydrogéographiques.



L'analyse plus classique du volet débit de la méthode AIGA sur des bassins jaugés menée sur la période 2002-2015 sur sept cents bassins versants métropolitains et sa comparaison avec un Avertissement pluie a montré que les dépassements de seuil de débits sont plus pertinents pour la formulation d'avertissements qu'une méthode simplement fondée sur des dépassements de seuils de pluie.

La capacité de la méthode AIGA à fournir des informations sur les crues à venir pour des bassins versants dépourvus de stations de mesure est considérée comme un véritable atout par ses utilisateurs (communes, communautés de communes, syndicats de rivières, SDIS...), certains l'ayant déjà intégrée, pour l'aléa inondation, dans leurs procédures de sécurité comme les plans communaux de sauvegarde et les cahiers de prescriptions de sécurité des campings. Enfin, l'intégralité des travaux réalisés dans le cadre de la méthode AIGA ont été primés lors des Ateliers Previrisq Inondation organisés le 17 octobre 2016 à Lyon, au cours desquels la méthode AIGA a reçu une mention spéciale « Recherche et Développement » remise par l'Association française des établissements publics territoriaux de bassin (AFEPTB) et le ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer.

Les travaux de recherche menés actuellement pour enrichir la méthode portent sur la prise en compte des prévisions de pluies, l'amélioration du modèle pluie-débit avec notamment l'assimilation des données de débits disponibles en temps réel aux stations limnimétriques, le passage d'une modélisation déterministe à une modélisation probabiliste des débits et sur l'intégration de la vulnérabilité des territoires pour fournir au gestionnaire de crise une information en temps réel sur les impacts potentiels de la crue. Les travaux d'amélioration du modèle pluie-débit ont également pour objectif de permettre sa mise en œuvre future sur les bassins versants situés actuellement en limite d'application de la méthode. ■

Les auteurs

**Catherine FOUCHIER, Clotilde SAINT-MARTIN,
Pierre JAVELLE et Patrice MÉRIAUX,**

Irstea, UR RECOVER,
3275 Route de Cézanne, CS 40061,
F-13182 Aix-en-Provence Cedex 5, France.

✉ catherine.fouchier@irstea.fr

✉ clotilde.saint-martin@irstea.fr

✉ pierre.javelle@irstea.fr

✉ patrice.meriaux@irstea.fr

Didier ORGANDE et Julie DEMARGNE

Hydris-Hydrologie,
5 avenue du Grand Chêne,
F-34270 Saint-Mathieu-de-Trévières, France.

✉ didier.organde@hydris-hydrologie.fr

✉ julie.demargne@hydris-hydrologie.fr

EN SAVOIR PLUS...

✉ **ARNAUD, P., AUBERT, Y., ORGANDE, D., CANTET, P., FOUCHIER, C., FOLTON, N.,** 2014, Estimation de l'aléa hydrométéorologique par une méthode par simulation : la méthode SHYREG : présentation – performances – bases de données, *La Houille Blanche*, n°2, avril 2014, p. 20-26.

✉ **DE SAINT-AUBIN, C., GARANDEAU, L., JANET, B., JAVELLE, P.,** 2016, A new French flash flood warning service, in: *FLOODrisk 2016 – 3rd European Conference on Flood Risk Management*, 2016, Lyon, France.

✉ **FOUCHIER, C., MÉRIAUX, P., ATGER, F., ECREPONT, S., LIÉBAULT, F., BERTRAND, M., BEL, C., BATISTA, D., AZEMARD, P., SAINT-MARTIN, C., JAVELLE, P.,** 2015, Implementation of a real-time warning and mapping system for natural hazards triggered by rainfall in mountainous and Mediterranean areas of Southeastern France, in: *Rainfall in Urban and Natural Systems, Proceedings of the 10th International Workshop on Precipitation in Urban Areas*, 1-5 December 2015, Pontresina, Switzerland, 5 p.

✉ **JAVELLE, P., ORGANDE, D., DEMARGNE, J., SAINT-AUBIN, C., GARANDEAU, L., JANET, B. SAINT-MARTIN, C., FOUCHIER, C.,** 2016, Development of a national Flash flood warning system in France using the AIGA method: first results and main issues, EGU General Assembly 2016, *Geophysical Research Abstracts*, vol. 18.

✉ **SAINT-MARTIN, C., FOUCHIER, C., JAVELLE, P., DOUVINET, J., VINET, F.,** Assessing the exposure to floods to estimate the risk of flood-related damage in French Mediterranean basins, in: *FLOODrisk 2016 – 3rd European Conference on Flood Risk Management*, 2016, Lyon, France.