

AIGA: un dispositif d'alerte des crues. Application à la région méditerranéenne française

JACQUES LAVABRE¹ & YVES GREGORIS²

¹ Cemagref, 3275 Route Cézanne, CS 40061, F-13182 Aix en Provence cedex 5, France

jacques.lavabre@cemagref.fr

² Météo-France, Direction Interrégionale Sud-est, Avenue du Château Double, F-13100 Aix en Provence, France

Résumé La majorité des outils mis en œuvre pour la prévision des crues utilise en temps réel une information sur les pluies au sol et sur les débits. En absence d'information spécifique sur les cours d'eau, les méthodes classiques sont inopérantes. C'est pour combler ce manque que le Cemagref et Météo-France ont associé leurs compétences, afin de mettre au point un outil permettant de connaître la pluviométrie et les débits des cours d'eau en temps réel sur l'ensemble du réseau hydrographique français. Ainsi a été développée la méthode AIGA qui produit toutes les heures une carte du risque pluvial à l'échelle du km² et du risque hydrologique, et ceci, même sur les zones géographiques et les cours d'eau sans aucune instrumentation spécifique.

Mots clefs risque hydrologique; prévision des crues; radar climatologique; modélisation pluie-débit

AIGA: a flood forecasting tool. Application to the French Mediterranean region

Abstract Currently, new flood forecasting schemes are being developed. On the one hand, there are watercourses for which real-time information on ground-level rainfall and flow rates are available, and on the other hand, there are the watercourses for which real-time information on the flow rates is either not useable or unavailable. Cemagref and Météo-France have combined their skills to fill this gap and develop a tool to determine the amount of rain and the streamflow rate in real time on the entire French hydrographical network. Thus AIGA has been developed, which produces a map of rain-related risks on a grid of 1 km² and of the hydrological risk, every hour. This is produced even over geographical areas and watercourses with no specific instrumentation.

Key words hydrological risk; flood forecasting; climatological radar; rainfall-runoff model

INTRODUCTION

En ce qui concerne la prévision des crues, la plupart des outils hydrologiques ou hydrauliques utilisent une information, connue en temps réel, du débit des cours d'eau. Ces outils hydrauliques et hydrologiques spécifiques à chaque cours d'eau ne sont pas exploitables pour les cours d'eau en absence de données télétransmises. Ce constat a conduit la Direction Interrégionale Sud-Est de Météo-France (DIRSE) et le Cemagref d'Aix-en-Provence à développer et proposer un outil pour combler cette défaillance d'information. Ainsi, à l'origine AIGA avait essentiellement pour but d'apporter une réponse sur les cours d'eau pour lesquels aucune instrumentation spécifique n'avait été mise en place. L'idée a été d'utiliser une information en temps réel fournie par les radars météorologiques et d'exploiter les mesures pluviométriques temps réel du réseau de base de Météo-France. La zone préférentielle d'application de AIGA est celle des bassins versants de superficie réduite (quelques dizaines à quelques centaines de km²), qui présentent des crues à cinétique rapide – cas où il y a intérêt de transformer une information pluviométrique en une information hydrologique – et pour lesquels on ne dispose pas spécifiquement de données hydro-météorologiques télétransmises.

PRESENTATION DE LA METHODE

La méthode AIGA se limite à n'utiliser que des informations disponibles en tout point de l'espace, fournies par les dispositifs météorologiques de base gérés par Météo-France. Elle associe: des estimations, en temps réel, de lame d'eau obtenues à partir des radars météorologiques et des pluviomètres; des estimations du déficit hydrique du sol, calculées en temps réel à partir des modèles de Météo-France et des observations météorologiques; une évaluation de l'aléa dû à l'écoulement hydrologique induit par cette lame d'eau; et des informations statistiques de différentes bases de données hydro-climatiques spatialisées.

AIGA exploite donc une information temps réel et une information statistique contenue dans des bases de référence. Le croisement de ces deux types d'information permet d'afficher une échelle de gravité de l'événement hydrométéorologique.

LES BASES DE DONNEES HYDROMETEOROLOGIQUES DE REFERENCE

Les bases qui vont être décrites n'ont pas été développées spécifiquement pour AIGA. Elles sont utilisées pour la détermination des quantiles de pluie et de débit dans le cadre d'application des Plans de Prévention des Risques inondation (PPRI). L'élaboration des bases de référence des pluies et des débits repose sur la méthode SHYPRE mise au point par le Cemagref (Arnaud & Lavabre, 1999, 2002) et sur sa version régionalisée SHYREG (Lavabre *et al.*, 2002, 2003).

SHYPRE associe un générateur de pluie horaire et une modélisation de la pluie en débit. Le générateur de pluie horaire simule de longues chroniques de pluie horaire. Outre leur insertion dans une modélisation de la pluie en débit, ces longues chroniques de pluie fournissent directement les estimations des quantiles de pluie de différentes durées et différentes fréquences.

Le générateur de pluie repose sur une description géométrique du signal pluie au pas de temps horaire. Le modèle a été calé et contrôlé sur environ deux cent chroniques de pluies horaires représentatives de climatologies diverses (tempéré, méditerranéen, tropical). *A posteriori*, des tests de sensibilité ont permis de réduire le nombre de variables du modèle. Une analyse multi variables a été ensuite mise en œuvre afin d'établir des liaisons entre les variables caractéristiques du modèle horaire et des caractéristiques synthétiques des chroniques de pluies journalières (pour d'évidentes raisons de plus grande disponibilité de cette information).

Après une phase de régionalisation des caractéristiques pluviométriques synthétiques, le générateur de pluie peut être activé en tout point de l'espace. Des grilles de quantiles de pluie, à la maille de 1 km², sont ainsi élaborées pour différentes durées de pluie (entre 1 et 72 h) et différentes fréquences d'apparition (période de retour entre 2 et 100 ans). Ces informations ont été intégrées dans une base de données.

La Fig. 1 présente deux exemples de cartographies ainsi disponibles pour les pluies de durée 1 h et pour les pluies journalières (les zones de faibles hauteurs de pluie apparaissent en clair et les zones de pluies intenses en foncé).

Une technique semblable est utilisée pour l'élaboration de la base de données des débits spécifiques. Chaque pixel de 1 km² de l'espace, est considéré comme un bassin versant virtuel. Un modèle de transformation de la pluie en débit, à un seul paramètre, transforme le signal pluie en hydrogrammes de crue. Le paramètre du modèle est déduit d'une table de référence qui a été construite sur des considérations d'occupation de l'espace et des caractéristiques des sols.

Il est ainsi possible d'activer, pour tout pixel de l'espace, le modèle de génération des pluies horaires et la modélisation de ces chroniques en débit.

Les quantiles de débit de différentes durées et de différentes fréquences sont directement issus des scénarios de crue générés par la méthode. Ce qui permet de proposer une grille, à la maille de

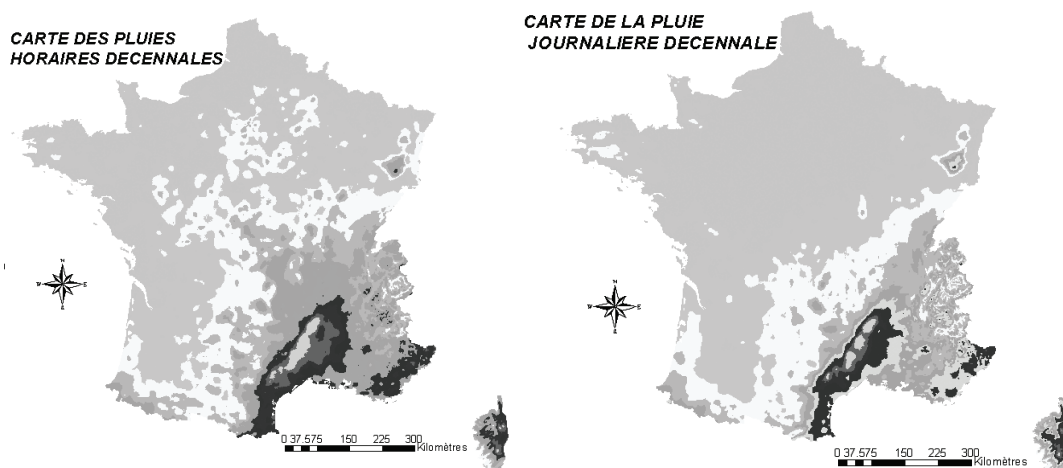


Fig. 1 Exemples de cartographies de quantiles de pluie obtenues par la méthode SHYPRE régionalisée.

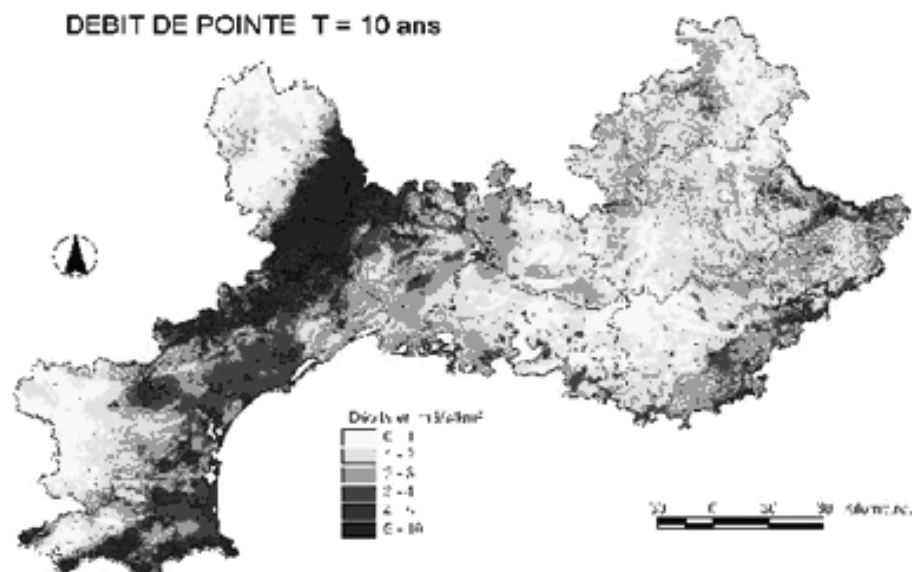


Fig. 2 Cartographie du quantile décennal du débit de pointe obtenue par la méthode SHYPRE régionalisée.

1 km², des débits spécifiques, de différentes durées et de différentes fréquences. Cette information pixélisée constitue les bases statistiques de données de référence de débit. La Fig. 2 présente un exemple de cartographie, sur la zone méditerranéenne française, du débit de pointe de crue de période de retour de 10 ans, issue de la base de données qui a été élaborée. On note, en couleur foncée les forts débits spécifiques de la zone cévenole (de l'ordre de 8–10 m³ s⁻¹ km⁻²) et en clair les débits spécifiques les plus faibles (de l'ordre de 1–2 m³ s⁻¹ km⁻²) pour les zones à pluviométrie océanique et les zones calcaires de la Provence.

La méthode propose une règle d'agglomération de cette information pixélisée pour estimer les débits de référence de crue pour tout bassin versant de la zone.

LE RISQUE PLUVIOMETRIQUE ET LE RISQUE HYDROLOGIQUE

Météo-France gère le parc des radars météorologiques du réseau ARAMIS. La majorité du territoire national est couverte par ce réseau, à l'exception des zones d'altitude. Des champs de réflectivité des ondes radar sont disponibles à une maille de 1 km², à un pas de temps de 15 minutes. Une relation statistique, connue sous le nom de loi de Marshall-Palmer, lie la réflectivité des ondes à l'intensité des précipitations. Cette loi est empirique et les coefficients de calage varient selon le type de précipitation. Des observations des pluies au sol permettent de vérifier la pertinence des taux précipitants restitués grâce à l'imagerie radar, voire de procéder à des corrections des coefficients.

La comparaison, en temps réel, des champs spatiaux des pluies déduits de l'imagerie radar et des bases de données pluviométriques permet d'apprécier la gravité du risque pluvial. Ceci est traduit en une échelle de gravité en trois couleurs: jaune, orange et rouge pour respectivement les événements jugés courants, rares et exceptionnels.

Les estimations temps réel de pluie fournies par le radar sont injectées dans une modélisation de la pluie en débit, à l'échelle des pixels au km². La valeur locale du paramètre unique du modèle est déduite du modèle d'humidité du sol, qu'exploite Météo-France en temps réel et de la base régionale du paramètre de production du modèle. Ainsi, la méthode propose, au pas de temps horaire, une estimation des débits pour chacun des pixels de l'espace. Cette information est agglomérée à l'échelle des bassins versants, afin d'estimer les débits, et ceci avec un délai d'anticipation qui est fonction de la taille des bassins versants affectés par l'événement. Ces débits sont alors comparés, en temps réel, à la base statistique hydrologique des débits de crue.

La méthode est ainsi capable de fournir une estimation du risque hydrologique. Cette information est traduite, comme pour les pluies, en une échelle de gravité en trois couleurs: jaune, orange et rouge pour respectivement les débits de crue jugés courants, rares et exceptionnels.

LA PRODUCTION DE AIGA: DES CARTES DE RISQUES PLUVIOMETRIQUE ET HYDROLOGIQUE

Dans sa version actuelle, AIGA produit chaque heure, avec un délai de production de quelques minutes, des cartographies du risque pluvial et du risque hydrologique. Le risque pluvial est affiché au niveau des pixels, selon le code couleur jaune, orange, rouge en fonction de la fréquence d'apparition des pluies observées. La Fig. 3 présente la carte de risque pluvial, émise en temps réel, lors de l'événement du 8 septembre 2002 qui a principalement frappé les départements du Gard et du Vaucluse. AIGA affiche sur cette carte le risque inhérent aux cumuls de pluie sur les deux dernières heures. On note une zone foncée intense autour d'Avignon et l'étendue de la zone jaune (en clair) qui s'étend sur la région Nîmoise et partiellement sur le département de l'Hérault.

Ce genre d'information est extrêmement précieux pour les services ayant en charge la sécurité des biens et des personnes qui doivent gérer la crise en temps réel. Ces cartes permettent d'appréhender d'un simple coup d'œil la zone géographique affectée et la gravité du risque pluvial.

La modélisation de la pluie en débit est effectuée en temps réel (chaque heure) pour chacun des pixels de l'espace. Ces débits spécifiques sont agglomérés sur un ensemble de bassins versants préalablement défini. Pour l'ensemble des bassins versants, les débits prévus sont comparés à ceux de la base de référence. AIGA peut alors afficher le risque hydrologique prévisible qui est traduit par la couleur d'affichage des tronçons du cours d'eau inclus dans le bassin versant. La carte affichée ne fournit pas une estimation instantanée des débits et ne fait référence à aucune mesure limnimétrique. Elle exprime l'évolution prévisible du débit des cours d'eau dans les heures à venir, en fonction des précipitations observées au moment de la production de la carte.

La Fig. 4 présente la carte d'affichage du risque hydrologique émise à 10 h lors de l'événement du 3 décembre 2003. Elle concerne principalement la région montpelliéraine. AIGA affiche, en orange, un risque rare sur la partie amont du cours d'eau de la Mosson et en couleur foncée un risque exceptionnel sur le Lez, la partie aval de la Mosson et le Vidourle à l'amont de Sommières.

Nous avons, *a posteriori*, examiné les cartes d'alerte émises lors de l'événement de décembre 2003 (Grégoris & Lavabre, 2005). Nous ne pouvons valider l'approche que sur les cours d'eau instrumentés pour lesquels la pertinence des alertes peut être analysée par comparaison aux débits réellement observés.

Le Tableau 1 compare les alertes AIGA et la gravité des débits observés. Les couleurs jaune, orange et rouge sont respectivement mises en correspondance avec les débits biennaux, décennaux

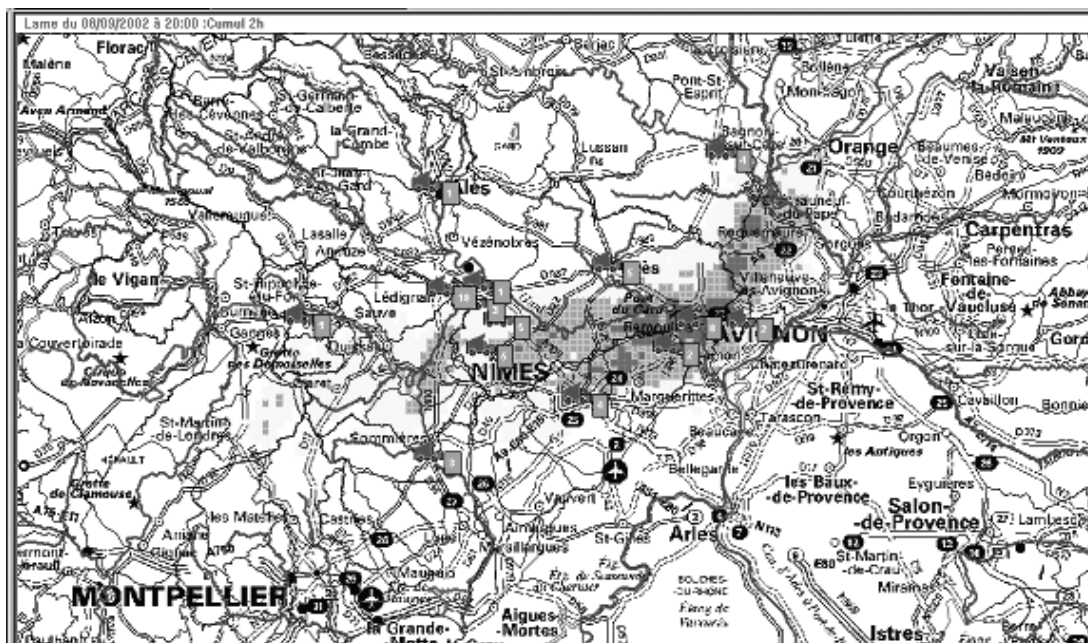


Fig. 3 Affichage du risque pluvial lors de l'événement du 8 septembre 2002 à 20:00 h TU.

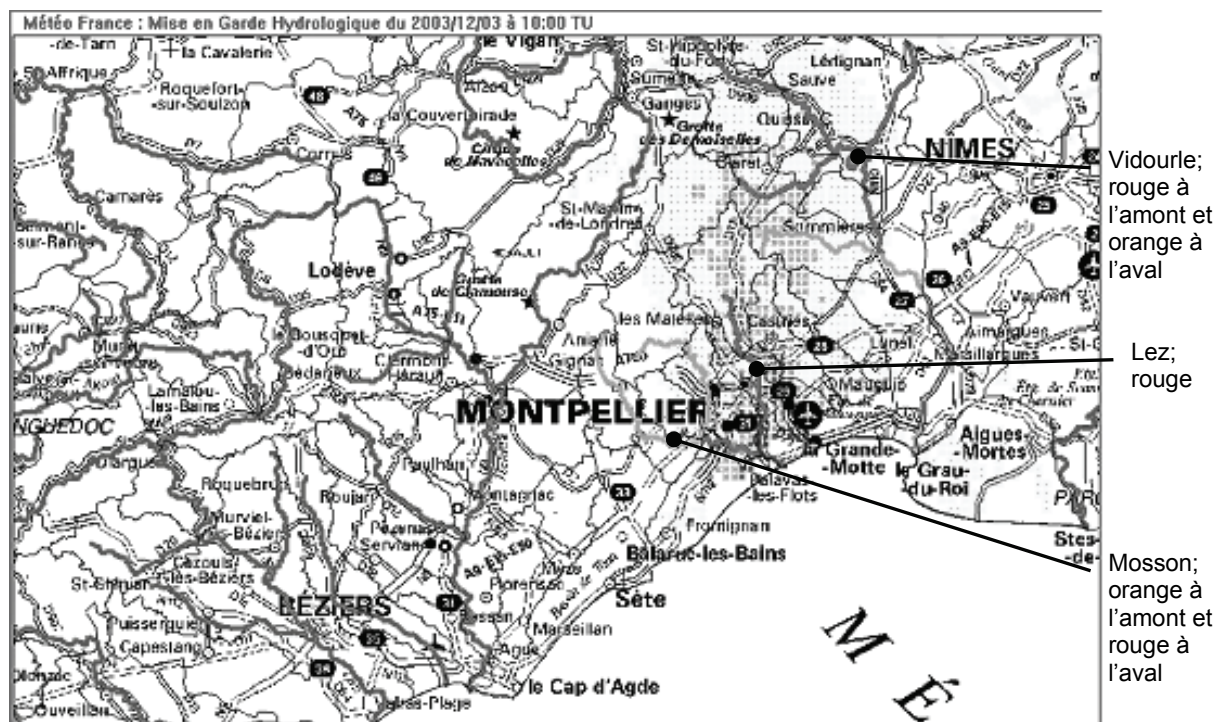


Fig. 4 Affichage du risque hydrologique lors de l'événement du 3 décembre 2003 à 10:00 h TU.

Tableau 1 Evaluation des performances de AIGA sur les alertes relatives au risque hydrologique.

Mise en garde AIGA	Sur-estimées	Pertinentes	Sous-estimées	Totales
Jaune	5 (18%)	23	0	28
Orange	1 (6%)	14 (87%)	1 (6%)	16
Rouge	0	4 (100%)	0	4
total	6 (12.5%)	41 (85.5%)	1 (2%)	48

et cinquantennaux. Sur cet événement, la méthode montre une faible propension à la surestimation du risque (dans 12.5% des cas). Un seul cas de sous estimation est à noter et on remarque que dans 85% des cas les alertes ont été pertinentes (correspondance du code couleur et de la fréquence du débit)

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.

Au regard des difficultés que rencontrent les hydrologues pour développer des modèles de transformation de la pluie en débit utilisables en prévision des crues, les résultats de la méthode AIGA sont très satisfaisants. Voire inespérés, dans le contexte dégradé d'application de la méthode qui rappelle le, n'utilise pas d'information débit pour se recalibrer en temps réel. Bien sur la méthode n'affiche qu'une échelle de gravité du risque hydrologique et ne fournit pas des estimations numériques des débits. La méthode n'indique pas non plus l'heure à laquelle le risque hydrologique affiché va apparaître. Elle se limite à anticiper et à quantifier le risque hydrologique. Ce qui est toutefois très précieux en comparaison à une absence totale d'information.

Bien sûr la méthodologie AIGA est encore perfectible: des améliorations dans la modélisation de la pluie en débit peuvent être apportées pour augmenter les délais d'anticipation des alertes; l'intégration de prévisions de pluie permettrait aussi un gain sur les délais d'anticipation; la cadence de production des cartes d'alerte devra être accélérée. La cadence actuelle d'une production horaire peut certainement être réduite à quinze minutes.

Mais le gain de précision et de robustesse de la méthode repose sur la qualité d'estimation des champs spatiaux de pluie. Les efforts consentis par Météo-France pour améliorer les lames d'eau HYDRAM, la prise en compte d'informations volumiques, l'utilisation de radars à bi-polarisation

laissent penser que des progrès significatifs seront effectués à très court terme. Les performances de AIGA n'en seront qu'améliorées.

Remerciements Nous remercions le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable pour son soutien financier qui traduit l'intérêt porté à nos recherches.

REFERENCES

- Arnaud, P. & Lavabre, J. (1999) Nouvelle approche de la prédétermination des pluies extrêmes. *C. R. Acad. Sci., Sciences de la Terre et des planètes, Géosciences de surface, hydrologie-hydrogéologie* **328**, 615–620.
- Arnaud, P. & Lavabre, J. (2002) Coupled rainfall model and discharge model for flood frequency estimation. *Water Resour. Res.* **38**(6), doi: 10.1029/2001WR000474.
- Grégoris, Y. & Lavabre, J. (2005) Evaluation de la méthode AIGA: étude des situations météorologiques de 2003 et comparaison aux débits de la banque HYDRO. Document interne Météo-France.
- Lavabre, J., Folton, N., Fouchier, C. & Faure-Soulet, A. (2002) Prédétermination régionale des débits de crue. Cas de la zone méditerranéenne française. In: *FRIEND 2002 – Regional Hydrology: Bridging the Gap between Research and Practice* (4ème Conf. Int. FRIEND, Cape Town) (ed. par H. A. J. van Lanen & S. Demuth), 123-130. IAHS Publ. 274. IAHS Press, Wallingford, UK.
- Lavabre, J., Fouchier, C., Folton, N. & Grégoris, Y. (2003) SHYREG: une méthode pour l'estimation régionale des débits de crue. Application aux régions méditerranéennes françaises. *Ingénierie EAT*, no. spécial *Risque naturel et aménagement du territoire*, 97–111.