

AI GA¹ : un dispositif d'alerte des crues sur l'ensemble du réseau hydrographique

Jacques Lavabre ^a et Yves Grégoris ^b

Pour les services ayant en charge la sécurité des biens et des personnes, est-il possible de prévoir les crues des cours d'eau qui ne disposent ni d'instrumentation ni d'information de débit disponible ou exploitable en temps réel ? Les auteurs de cet article nous montrent ici que cette prévision est possible en appliquant le concept de la méthode AI GA développée par Météo-France et le Cemagref. Ce concept repose sur l'utilisation en temps réel des informations fournies par les radars météorologiques et sur l'exploitation des mesures pluviométriques en temps réel du réseau Météo-France. Ces informations sont introduites dans une modélisation de la pluie en débit qui permet d'anticiper les variations de débit sur l'ensemble du réseau hydrographique. La méthode est ainsi capable de produire une échelle de gravité du risque hydrologique et de la dangerosité des débits en trois couleurs (jaune, orange et rouge) sur une zone géographique donnée.

Les dommages créés par les crues lors des dernières décennies ont conduit à de nombreuses réflexions sur la prévention des inondations. Le terme prévention est ici employé dans un concept large, depuis la prévention passive (la maîtrise de l'urbanisation dans les zones inondables par exemple) à la gestion de crise au cours de l'événement. Le présent article s'intéresse au seul problème hydrologique que pose la gestion de crise en temps réel. Techniquement, ce problème peut se résumer ainsi : avec quel délai d'anticipation et avec quel degré de précision, les outils hydrologiques peuvent-ils anticiper l'évolution du débit des cours d'eau ? Cette interrogation résume toute la problématique de la prévision de crues et on doit bien avoir à l'esprit qu'elle concerne un domaine opérationnel pour lequel les outils développés doivent répondre, autant que faire ce peut, aux exigences des services qui gèrent la crise en temps réel.

Le contexte actuel de l'annonce et de la prévision des crues en France (encadré 1) est fixé par la loi n° 2003-699 du 30 juillet 2003 et de nombreuses circulaires et décrets d'application. Les services de prévision des crues (SPC) se substituent aux services d'annonce des crues (SAC), avec entre autres une mission d'anticipation des crues. Les schémas directeurs de prévision des crues sont en cours d'élaboration. Ces schémas identifient les cours d'eau (ou tronçons de cours d'eau) pour lesquels l'État assure la transmission de

l'information et la prévision des crues. En ce qui concerne les autres cours d'eau, les collectivités locales peuvent mettre en place un dispositif d'alerte. Ceci reste toutefois limité aux tronçons de cours d'eau où la vulnérabilité aux crues est la plus forte. Pour la majorité des autres cours d'eau, aucune disposition n'est prise pour alerter, en temps réel, les services ayant en charge la sécurité des biens et des personnes. Toutefois, une notion de territorialité a été introduite dans les missions des SPC qui doivent disposer de compétences élargies à l'analyse des caractéristiques des bassins versants et à l'observation de l'ensemble des phénomènes inondations.

En fait, sur un critère strictement technique, cette situation administrative se décline selon deux modalités : les cours d'eau pour lesquels on dispose, en temps réel, d'une information télétransmise portant sur les pluies au sol et les débits des cours d'eau et les cours d'eau sur lesquels aucune information de débit n'est spécifiquement disponible ou exploitable en temps réel.

En matière d'alerte de crues, les réponses techniques possibles diffèrent selon la disponibilité ou non d'informations locales en temps réel et si celles-ci peuvent être ou non valablement exploitées. Ainsi, dans l'hypothèse où la transmission d'informations en temps réel est retenue, des outils hydrauliques et hydrologiques spécifiques

1. AI GA, acronyme de « Adaptation d'information géographique pour l'alerte en crue », est développé à la Direction interrégionale Sud-Est de Météo-France (DIRSE). Noter aussi la traduction provençale de AI GA qui signifie « eau ».

Les contacts

a. Cemagref, UR Ouvrages hydraulique et hydrologie, 3275 route de Cézanne, CS 40061, 13182 Aix-en-Provence Cedex 5

b. Météo-France, Direction interrégionale Sud-Est, avenue du Château Double, 13100, Aix en Provence

Encadré 1

Le contexte de l'annonce et de la prévision des crues en France

La loi n° 2003-699 du 30 juillet 2003 relative à la prévention des risques technologiques et naturels, prévoit, dans l'article 41, que l'organisation de la surveillance, de la prévision et de la transmission de l'information sur les crues est assurée par l'État. Dans ce contexte, la réforme de l'organisation de l'annonce des crues est engagée. Cette réforme se traduit entre autres par :

- la création d'un service central d'hydrométéorologie et d'appui à la prévision des inondations (SCHAPI) ;
- la réorganisation des services d'annonce des crues (SAC) en services de prévision des crues (SPC).

Cette réorganisation s'est traduite par le regroupement de SAC au sein d'un même SPC. Par exemple, la zone méditerranéenne est maintenant couverte par trois SPC :

- le SPC Méditerranée-Ouest qui a compétence sur les départements des Pyrénées-Orientales, de l'Aude et d'une partie du département de l'Hérault ;
- le SPC Méditerranée-Est dont le territoire comprend les départements côtiers des Bouches-du-Rhône, du Var et des Alpes-Maritimes ;
- le SPC Grand Delta qui a compétence pour les cours d'eau cévenols, les affluents rive gauche du Rhône aval et la partie aval du Rhône.

À l'intérieur de ces territoires, les interventions des SPC varient selon un classement des cours d'eau. Les arrêtés interministériels du 27 février 1984, du 11 février 1997, du 26 janvier 2005 définissent les cours d'eau (ou tronçons de cours d'eau) « réglementaires » pour lesquels l'État met en place une annonce de crue réglementaire. Selon la vulnérabilité, les collectivités locales peuvent assurer l'annonce de crue sur certains autres cours d'eau ou tronçons de cours d'eau. Et pour les cours d'eau ne présentant que des enjeux locaux, le SPC apportera son concours à la collectivité locale qui souhaiterait mettre en place un dispositif.

Ainsi, pour le SPC Méditerranée-Est, le linéaire de cours d'eau « réglementaire » concerne une partie des cours d'eau de l'Huveaune et du Var ; soit 99 km. Sur deux cours d'eau : le Paillon et la Siagne, les collectivités locales assurent l'annonce de crue. Actuellement, en 2005, aucun dispositif d'annonce n'existe sur les autres cours d'eau.

Il est à noter qu'au changement de sigle correspond un changement de mission des services. Les prévisions des crues, à savoir l'anticipation des débits, se substituent à la simple annonce. La loi fait ainsi évoluer une simple mission d'information en temps réel sur les débits des cours d'eau en une anticipation, ce qui est loin d'être neutre en matière d'outils scientifiques à mettre en œuvre. Les SAC transmettaient l'information centralisée des réseaux de mesure. Les SPC doivent produire une donnée élaborée pour anticiper quelle sera l'évolution du débit des cours d'eau dans les heures à venir.

à chaque cours d'eau peuvent être développés, par exemple :

- pour les cours d'eau soumis à des crues lentes (grands bassins versants, bassins de plaine non affectés par des pluies torrentielles...), une information débit peut être transférée de l'amont vers l'aval pour appréhender l'évolution du débit ;
- pour les cours d'eau à crues rapides, une modélisation de la pluie en débit qui utilise en

temps réel l'information pluie et l'information débit pour recalculer les résultats des modèles peut être mise en œuvre.

Ces outils, qui impliquent la connaissance de chroniques d'information pour le calage des modèles et des données télétransmises ne sont pas adaptés pour la majorité des cours d'eau pour lesquels aucune information n'est disponible.

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 en temps réel du réseau de base de Météo-France. Ces informations sont introduites dans une modélisation de la pluie en débit qui permet d'anticiper les variations de débit sur l'ensemble du réseau hydrographique.

Il est clair que 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 à transformer une information pluviométrique en une information hydrologique – et pour lesquels on ne dispose pas spécifiquement de données hydrométéorologiques télétransmises. Mais ceci n'exclut pas l'utilisation de la méthode AIGA sur des bassins versants jaugés. La limite, dans sa

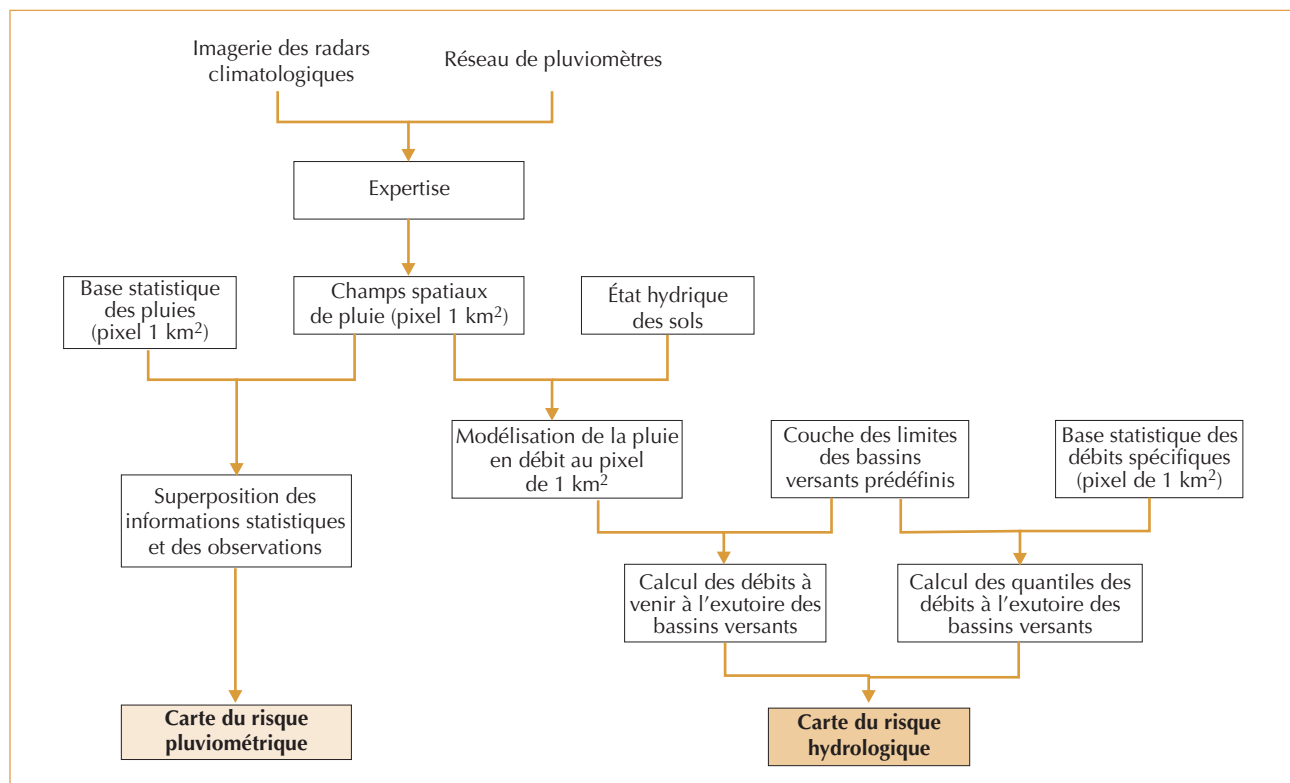
version actuelle, est que AIGA n'est pas construit pour assimiler des observations de débit en temps réel et que ceci peut altérer ses performances par rapport à des outils de modélisation d'un plus grand niveau de sophistication.

Présentation de la méthode

La méthode AIGA (figure 1) 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 de lame d'eau, en temps réel, obtenues à partir des radars météorologiques et des pluviomètres ;
- une expertise humaine des lames d'eau ;
- 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 ;
- des informations statistiques de différentes bases de données hydro-climatiques spatialisées.

▼ Figure 1
– Logigramme de la méthode AIGA.
Source : Méthode AIGA Météo-France/Cemagref.



AIGA exploite donc une information en temps réel et une information statistique contenue dans des bases de référence. Le croisement de ces deux types d'information, décrits dans les paragraphes suivants, permet d'afficher une échelle de gravité de l'événement hydrométéorologique (encadré 2).

Les bases de données hydrométéorologiques de référence

Les bases qui sont décrites ci-après 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 et Lava-

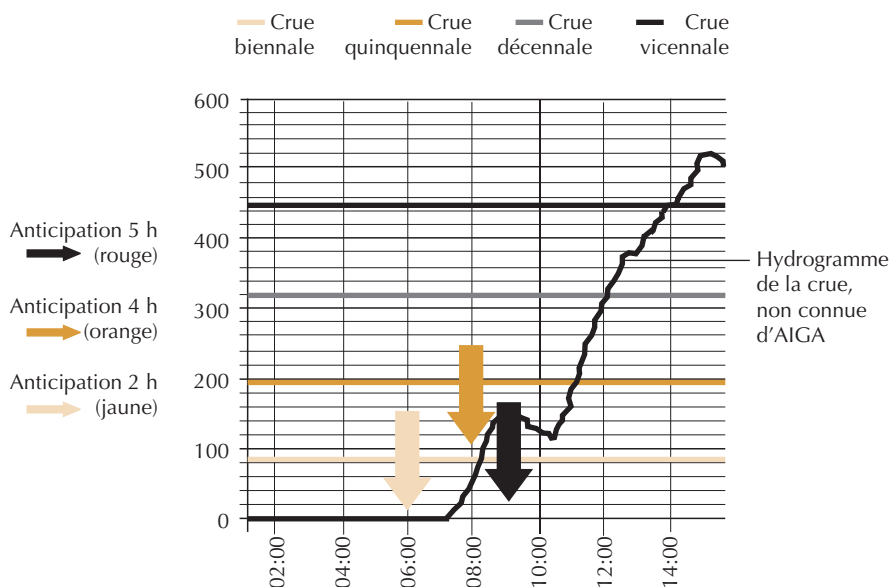
bre, 1999, 2002) et sur sa version régionalisée SHYREG (Lavabre *et al.*, 2003). SHYPRE associe un générateur stochastique de pluie horaire et une modélisation de la pluie en débit. Le générateur de pluie horaire simule de longues chroniques de pluie horaire. Outre leur insertion dans une modélisation 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. Les six principales variables retenues pour la génération du signal sont :

- le nombre d'événements pluvieux par an,
- le nombre de périodes pluvieuses lors d'un événement pluvieux,
- le nombre d'averses par période pluvieuse,

Encadré 2

Anticipation de la variation du débit du Lez à Montpellier le 6/09/2005



AIGA lance une alerte rouge sur le Lez à 9 h 00 du matin et génère la carte de la zone exposée. Le débit prévu est observé à 14 h 00 soit une anticipation de 5 h et une anticipation de gradient du débit de 300 m³/s (200 % du débit observé à l'instant de l'alerte).

Horaires	Niveau d'alerte	Délai d'anticipation	Anticipation de variation de débit
6 h	jaune	2 h	0 à 100 m ³ /s
8 h	orange	4 h	50 à 300 m ³ /s
9 h	rouge	5 h	150 à 450 m³/s

- le volume des averses,
- la durée des averses,
- la durée sèche inter-averses.

Le modèle a été calé et contrôlé sur environ 200 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 multivariable a été ensuite mise en œuvre afin d'établir des liaisons entre les variables caractéristiques du modèle horaire et les 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 h 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.

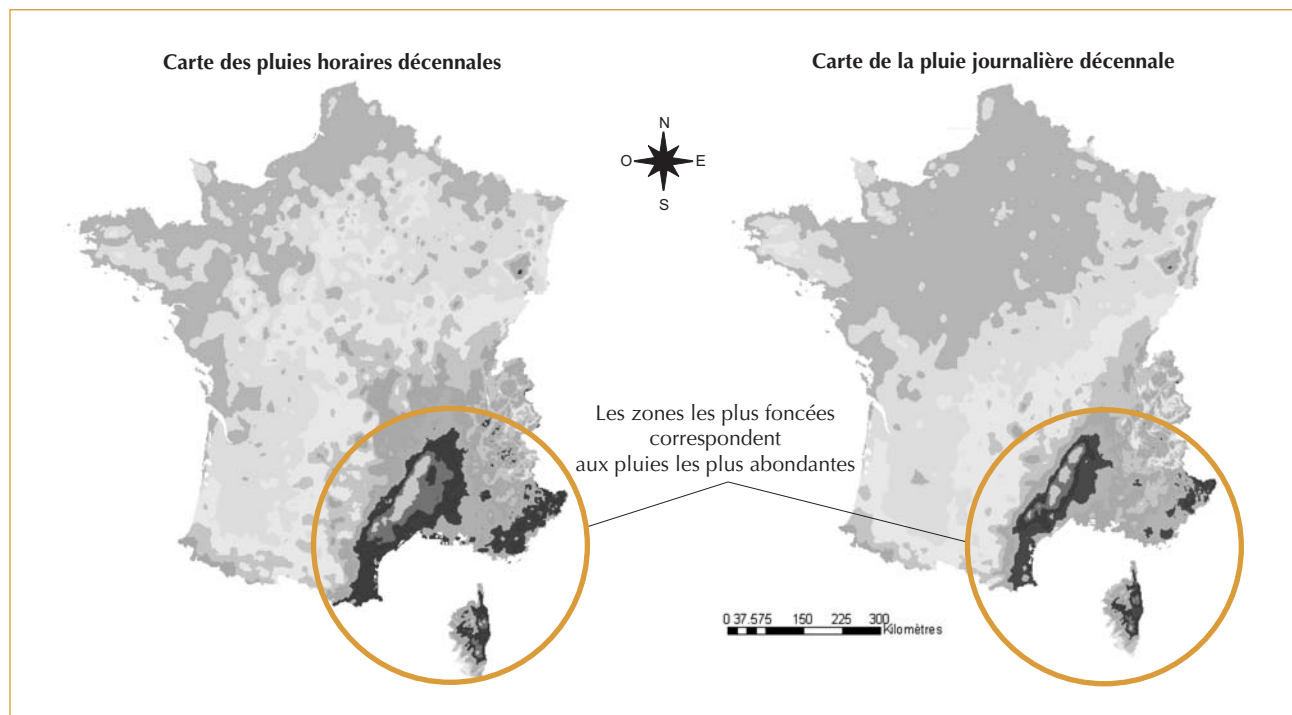
Un logiciel a été développé pour faciliter l'extraction de ces données de référence et établir automatiquement les cartographies.

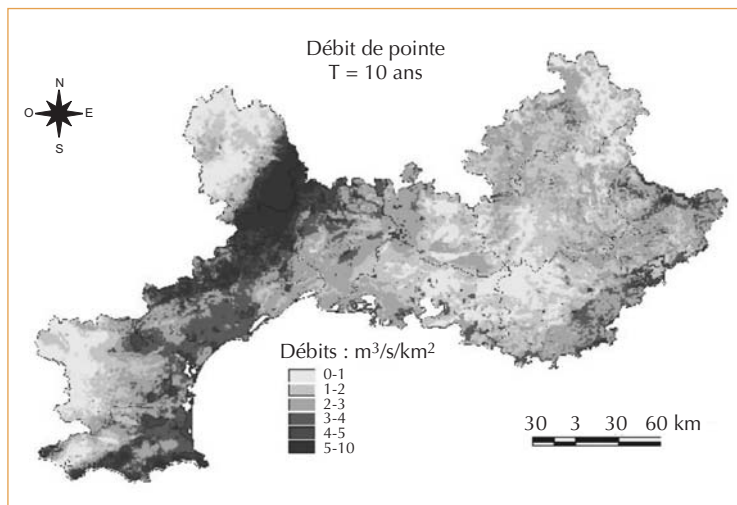
La figure 2 présente deux exemples de cartographies ainsi disponibles pour les pluies de durée de 1 h et pour les pluies journalières (en réalité, ces cartes sont traitées par des niveaux colorimétriques allant du jaune clair (zones de faibles hauteurs de pluie) au bleu et violet (zones de pluies intenses).

Les chroniques de pluies horaires, simulées par le modèle régional, sont utilisées pour l'élaboration de la base de données des débits spécifiques. Chaque pixel de 1 km² 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. Ce paramètre est estimé, pour chacun des pixels de l'espace, sur des considérations physiques de caractéristiques des sols et d'occupation de l'espace et supporte la régionalisation de la modélisation de la pluie en débit. 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 1 km², des débits spécifiques correspondant

▼ Figure 2
– Exemples de cartographies de quantiles de pluie obtenues par la méthode SHYPRE régionalisée (source : Cemagref).





▲ Figure 3 – Cartographie du quantile décennal du débit de pointe obtenue par la méthode SHYPRE régionalisée (source : Cemagref).

2. Le Centre de météorologie radar (CMR) de la Direction des systèmes d'observation (DSO) de Météo-France gère le réseau de radars météorologiques ARAMIS qui comporte, en 2005, 17 appareils couvrant l'ensemble du territoire français. Le projet « Arc Méditerranéen », financé par le ministère de l'Écologie et du Développement durable, a permis de compléter les radars de Nîmes (Gard) et Sembadel (Haute-Loire) par les radars de Bollène (Vaucluse), d'Oppoul (Pyrénées Orientales), de Collobrières (Var) et d'Aléria (Corse) – (Source : Observatoire hydrométéorologique méditerranéen Cévennes-Vivaraïs).

à différentes durées et à différentes fréquences. Cette information pixélisée constitue les bases statistiques de données de référence de débit. La méthode a été appliquée sur la zone méditerranéenne française. La figure 3 présente un exemple de cartographie 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 gris foncé les forts débits spécifiques de la zone cévenole (de l'ordre de 8 à 10 $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$) et en gris clair les débits spécifiques les plus faibles (de l'ordre de 1 à 2 $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$) 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. Ainsi, sur les bassins versants jaugés de la zone (200 bassins environ, de superficie comprise entre 10 et 1 000 km^2), nous avons pu apprécier les performances de la méthode par comparaison des quantiles des débits de pointe et des débits journaliers déduits des chroniques d'information et des estimations de ces mêmes quantiles issues de SHYREG.

Le risque pluviométrique et le risque hydrologique

Météo-France gère le parc des radars météorologiques du réseau ARAMIS². 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 km^2 , à un pas de temps de 15 min. 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 figure 4 présente le champ pluvieux, estimé par imagerie radar lors de l'événement du 2 décembre 2003, à 7 h 00 TU. Les précipitations importantes apparaissent ici en gris foncé. Notons que la quasi-intégralité des départements du Vaucluse et des Bouches-du-Rhône est touchée par la perturbation.

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 par une échelle de gravité en trois couleurs : jaune, orange et rouge pour respectivement les événements jugés courants, rares et exceptionnels.

Les estimations en temps réel de pluie fournies par le radar sont injectées dans une modélisation de la pluie en débit, à l'échelle des pixels au km^2 . 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 du modèle de transformation de la pluie en débit. 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, par 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 pluviométrique et hydrologique

Dans sa version actuelle, AIGA produit à chaque heure et avec un délai de production de quelques minutes, des cartographies du risque pluvial et du risque hydrologique (Grégoris et Lavabre, 2005).

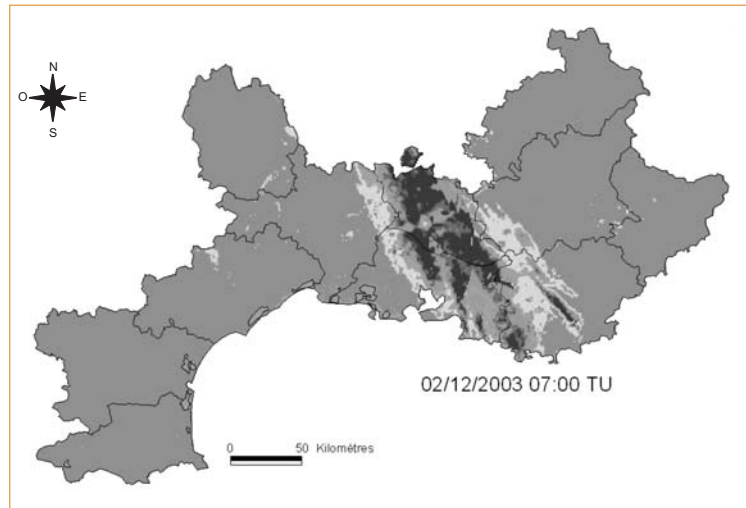
Le risque pluvial est affiché au niveau des pixels, selon le code couleur « jaune, orange, rouge » en fonction de la fréquence d'apparition des pluies observées.

La figure 5 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 intense autour d'Avignon et l'étendue de la zone jaune (en gris clair sur la figure 5) jusqu'au 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. La visualisation de ces cartes permet d'appréhender rapidement la zone géographique affectée et la gravité du risque pluvial. Nous notons aussi, *a posteriori*, la bonne concordance de l'affichage du risque pluvial avec le nombre d'interventions des pompiers (figure 5).

Le risque hydrologique est affiché spatialement (pour chacun des pixels de 1 km²) et calculé sur l'ensemble des sous-bassins hydrologiques qui ont été préalablement identifiés. L'affichage par sous-bassins est réalisé par agglomération des débits spécifiques et se 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 (et éventuellement prévues) au moment de la production de la carte. C'est en cela que nous parlons de mise en garde hydrométéorologique.

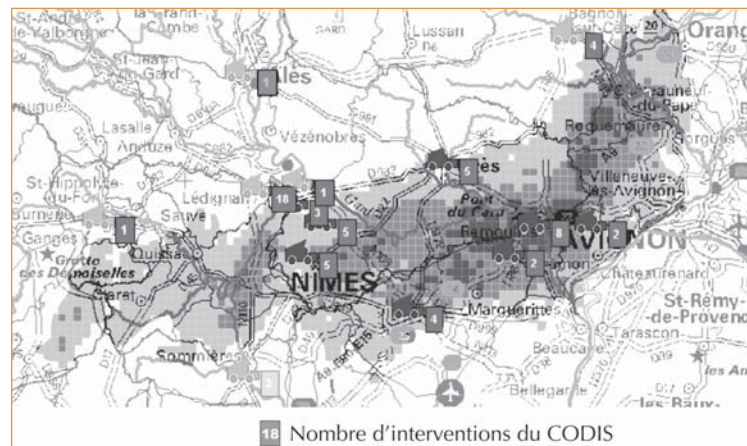
La figure 6 (page 10) représente la carte d'affichage (en niveaux de gris) du risque hydrologique émise à 10 h 00 lors de l'événement du 3 décembre 2003. Elle concerne principalement



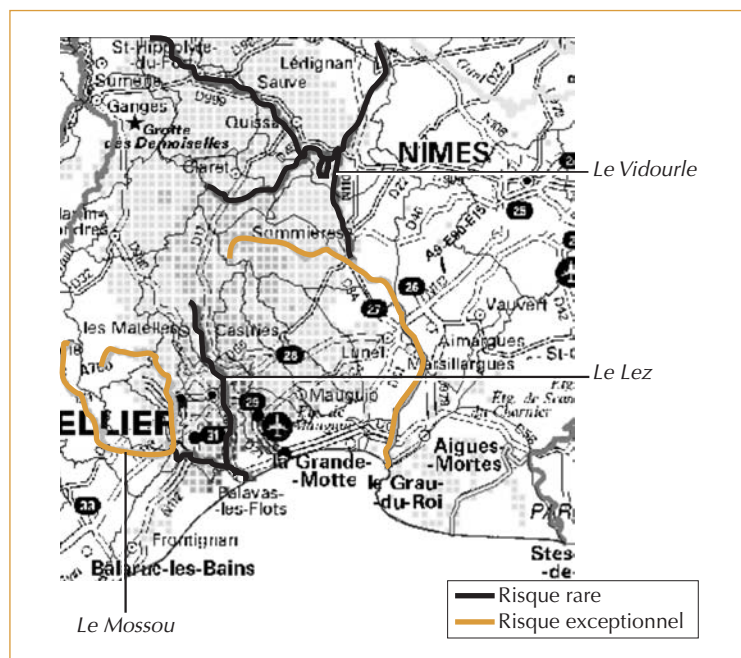
la région montpelliéraine. Il est à noter les deux niveaux d'affichage :

- la cartographie de la gravité de la pluie tombée durant les deux heures précédentes (ici de 8 h 00 à 10 h 00 TU) ;
- le risque sur les cours d'eau (qui intègre la production hydrologique depuis le début de l'épisode). Ainsi, est affiché, en brun, un risque rare sur la partie amont de la Mosson, alors qu'un risque exceptionnel est affiché sur le Lez, la partie aval de la Mosson et le Vidourle à l'amont de Sommières.

▲ Figure 4 – Estimation du champ pluvieux horaire lors de l'événement du 2/12/2003 à 7 h 00 TU (source : Météo-France).



▲ Figure 5 – Affichage du risque pluvial lors de l'événement du 8/09/2002 à 20 h 00 TU. En réalité, les 3 niveaux de gris observés sur cette figure correspondent aux 3 teintes du code couleur « jaune, orange, rouge ». (Source : traitement Méthode AIGA Météo-France/Cemagref, sur fond de carte IGN).



▲ Figure 6
– Affichage du risque hydrologique lors de l'événement du 3/12/2003 à 10 h 00 TU. En réalité les cartes produites intègrent le code couleur « jaune, orange, rouge ». (source : Méthode AIGA Météo-France/ Cemagref, sur fond de carte IGN).

Sur les cartes réellement produites, le code couleur exprime le degré de dangerosité des débits à venir :

- jaune : des dégâts matériels sont probables et la plus grande prudence est recommandée ;
- orange : de nombreuses routes sont coupées et la circulation est difficile et dangereuse ; les lieux d'habitation les plus exposés sont menacés ;
- rouge : événement catastrophique susceptible d'isoler et de mettre en péril de nombreuses habitations avec nécessité d'intervention par voie aérienne.

Nous avons, *a posteriori*, examiné les cartes d'alerte émises lors de l'événement de décembre 2003. Nous ne pouvons valider l'approche que sur les cours d'eau instrumentés pour lesquels la pertinence des alertes peut être ana-

lysée 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 et cinquennaux. 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)

Perspectives de développement et d'utilisation

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 recalcr en temps réel.

Certes la méthode affiche seulement une échelle de gravité du risque hydrologique et ne fournit pas d'estimations numériques des débits. De même, elle n'indique pas l'heure à laquelle le risque hydrologique affiché va apparaître. Elle se limite donc à anticiper et à quantifier le risque hydrologique, mais elle nous apporte toutefois une information très précieuse, incomparable avec une situation d'absence totale d'informations.

La communauté hydrologique s'interroge d'ailleurs à juste titre sur l'appréciation pertinente d'une prévision : doit-on apprécier au plus juste le débit maximum de la crue ? Doit-on anticiper le plus possible les débits ? Doit-on privilégier la détection de seuils de débits critiques ?... Dans ce contexte en pleine évolution de la prévision

▼ Tableau 1 – Évaluation des performances de AIGA sur les alertes relatives au risque hydrologique.

Mise en garde AIGA	Surestimées	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

de crues en France, l'apport actuel de la méthode AIGA nous paraît avoir un intérêt certain.

Perspectives de développement

Au stade actuel du développement des bases de données, le risque pluvial peut être affiché en métropole et sur l'île de la Réunion, tout en restant limité aux zones géographiques pour laquelle l'imagerie radar est exploitable. La constitution de la base pluviométrique de l'île de la Martinique est en cours. Les cartes d'alerte pour le risque hydrologique peuvent être affichées pour la Corse, le Languedoc-Roussillon et Provence-Alpes-Côte d'Azur. Les bases débit sont en cours d'élaboration pour quatre départements périphériques de la zone méditerranéenne : Drôme, Ardèche, Tarn et Aveyron. La poursuite de l'extension géographique se fera vers les zones montagneuses où se développent préférentiellement les crues torrentielles. Il est à noter cependant que l'imagerie radar n'est que partiellement disponible sur ces zones en raison des difficultés rencontrées pour effectuer des estimations correctes des précipitations.

L'application de la méthode est également envisagée sur une région italienne et sur une région espagnole dans le cadre d'un projet européen de recherche et développement.

La méthodologie AIGA est encore perfectible sur les points suivants :

- accroissement des délais d'anticipation des alertes en améliorant la modélisation de la pluie en débit ;
- obtention de gain sur les délais d'anticipation, en intégrant des prévisions de pluie ;
- accélération de la cadence de production des cartes d'alerte en passant d'une fréquence horaire à une fréquence qui peut être réduite à quinze minutes.

Mais le gain de précision et de robustesse de la méthode reposera réellement sur la qualité d'estimation des champs spatiaux de pluie. Les efforts consentis par Météo-France pour améliorer les lames d'eau HYDRAM³, la prise en compte

d'informations volumiques, l'utilisation de radars à bipolarisation, laissent penser que des progrès significatifs seront effectués à très court terme. Les performances de AIGA n'en seront qu'améliorées.

Perspectives d'utilisation

Un cadre institutionnel d'utilisation de la méthode a été fixé par convention entre Météo-France et le Cemagref. Aiga est une marque déposée ainsi que son logo. Un brevet d'invention a été conjointement déposé par le Cemagref et Météo-France qui sont copropriétaires de la méthode. Les deux organismes ont signé un contrat d'exploitation et de diffusion de la méthode et de ses résultats. Ce contrat prévoit la mise en place d'un comité de suivi, dont le rôle consiste à assurer le suivi administratif et financier de l'exécution du contrat, à assurer son suivi technique et à proposer aux parties des améliorations de la méthode.

Le cadre de diffusion des cartes d'alerte est en cours de discussion. Dans le cadre de leur mission de service public, Météo-France et le Cemagref mettent d'ores et déjà les cartes d'alerte à disposition de quelques services de l'État. Ainsi, le SCHAPI, dans sa mission d'appui aux services de prévision des crues et dans sa mission de conseil et d'expertise en période de crues torrentielles, et les services de la sécurité civile sont destinataires des cartes d'alerte.

Les discussions sont en cours pour fixer les modalités de mise à disposition aux SPC de la zone géographique couverte par les cartes d'alerte hydrologique de AIGA. Le SPC Méditerranée-Est, qui est assuré par la Direction interrégionale Sud-Est de Météo-France, a été retenu comme SPC pilote.

Il convient de souligner la qualité de l'environnement de travail dans lequel s'est développé AIGA. La collaboration exemplaire entre Météo-France et le Cemagref a permis l'aboutissement de la méthode, dans des délais très courts, en assimilant des résultats de la recherche pour aboutir à un outil opérationnel. □

3. Le projet HYDRAM a été lancé par Météo-France en 1995 dans le but de développer l'utilisation quantitative des radars-précipitations du réseau Aramis et d'offrir aux utilisateurs un outil de travail en temps réel.

Remerciements

Nous remercions le ministère de l'Écologie et du Développement durable pour son soutien financier qui traduit l'intérêt qu'il porte à nos recherches.

Résumé

Actuellement, de nouveaux schémas directeurs de prévision de crues sont en cours d'élaboration en France. Dans ce domaine, il y a toujours d'un côté, les cours d'eau pour lesquels on dispose en temps réel d'une information sur les pluies au sol et sur les débits, et d'un autre côté, les cours d'eau où aucune information en temps réel sur les débits n'est exploitable ou disponible. 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 : AIGA, qui produit toutes les heures une carte du risque pluvial et du risque hydrologique à l'échelle du km², et ceci, même sur les zones géographiques et les cours d'eau sans aucune instrumentation spécifique. Nous décrivons ici les principes de fonctionnement d'AIGA et nous donnons des exemples de sa capacité de prévision en nous appuyant sur des événements réels.

Abstract

Presently, new flood forecasting schemes are being developed. On the one hand, there are streams for which real-time information on ground-level rainfall and flow rates are available, and on the other hand, there are the streams for which no real-time information on the flow rates is either actionable or available. Cemagref and Météo France have combined their skills to fill this gap and develop a tool to determine the amount of rain and the stream flow rate in real time on the entire French hydrographical network. AIGA, produces a map of rain-related risks and a map of the hydrological risk, on a grid of 1 km², every hour. This is produced even over geographical areas and streams with no specific instrumentation. We describe here the principles of operation of AIGA and we give examples of his capacity of forecast by supporting us on real events.

Bibliographie

- ARNAUD, P., LAVABRE, J., 1999, Nouvelle approche de la prédétermination des pluies extrêmes. *Compte Rendu à l'Académie des Sciences, Sciences de la Terre et des planètes, Géosciences de surface, hydrologie-hydrogéologie*, n° 328, p. 615-620.
- ARNAUD, P., LAVABRE, J., 2002, Coupled rainfall model and discharge model for flood frequency estimation, *Water Resources Research*, vol. 38, n° 6, p. 1-11.
- DIREN Rhône-Alpes, 2005, *Schéma directeur de prévision des crues sur le bassin Rhône-Méditerranée*.
- GREGORIS, Y., LAVABRE, J., 2005, *Évaluation de la méthode AIGA : étude des situations météorologiques de 2003 et comparaison aux débits de la banque HYDRO*, document interne Météo-France, 17 p.
- LAVABRE, J., FOUCHIER, C., FOLTON, N., GREGORIS, Y., 2003, SHYREG : une méthode pour l'estimation régionale des débits de crue. Application aux régions méditerranéennes françaises, *Ingénierie-EAT*, numéro spécial Risques naturels et aménagement du territoire, p. 97-111.
- LAVABRE, J., FOUCHIER, C., GREGORIS, Y., FAURE-SOULET, A., 2003, *Mise en œuvre d'un modèle régional pour la prédétermination des crues*, SIRNAT 2003.