

Prévision à moyenne échéance des pluies intenses en zone méditerranéenne par recherche de situations analogues

GUILLAUME BONTRON & CHARLES OBLED

Laboratoire d'étude des Transferts en Hydrologie et Environnement, Institut National Polytechnique de Grenoble, CNRS, IRD, UJF (UMR 5564), BP 53, F-38041 Grenoble, Cedex 9, France

guillaume.bontron@hmg.inpg.fr

Résumé Sur de nombreux bassins versants méditerranéens, la gestion des alertes de crues requiert l'utilisation de prévisions quantitatives de précipitations à moyenne échéance. Une méthode d'adaptation statistique par recherche de situations analogues a donc été développée dans le but de fournir de telles prévisions jusqu'à 4 à 6 jours d'échéance. Un système de prévision basé sur cette approche fonctionne actuellement de manière opérationnelle. Les résultats obtenus lors des automnes 1999 et 2000 dans la région de la Toce (Italie), montrent l'intérêt de cette approche. De plus, l'utilisation de données météorologiques ré-analysées sur de longues périodes permet d'augmenter encore les performances obtenues. Cette approche reste donc plus que jamais adaptée à la mise en vigilance des crues méditerranéennes.

Mots clefs adaptation en sortie de modèle; prévision à moyenne échéance; prévision probabiliste; prévision quantitative de précipitations; recherche d'analogues

Key words model output statistics; medium range forecast; probabilistic forecast; quantitative precipitation forecast; analogue sorting

INTRODUCTION

Les crues méditerranéennes sont généralement caractérisées par la rapidité de la montée des eaux. Ainsi, pour des bassins versants de taille moyenne (c. 2000 km²), il ne s'écoule au plus que quelques heures entre la crue et l'instant des précipitations génératrices. La simple observation des précipitations en cours ne laisse alors pas le temps nécessaire à la mise en place d'actions préventives. Si l'on veut être en mesure de gérer les alertes de crues, il est donc indispensable de procéder à une prévision quantitative des précipitations attendues à moyenne échéance.

Idéalement, une alerte doit être déclenchée dans les 12 à 24 heures précédant l'évènement, alors qu'une mise en vigilance des services opérationnels doit avoir lieu 2 à 3 jours en avance. En outre, l'utilisation d'ouvrages hydrauliques pour retarder une crue, à l'instar de la vidange partielle d'un réservoir, peut nécessiter plusieurs jours de mise en place si l'on veut éviter les dommages en aval ou à l'ouvrage lui-même.

De telles échéances de prévisions sont désormais tout à fait accessibles aux modèles météorologiques déterministes en ce qui concerne les champs synoptiques. Une méthode d'adaptation statistique par recherche de situations analogues a donc été développée afin d'obtenir des prévisions de précipitations à partir de prévisions de champs synoptiques.

PRINCIPE DE LA PREVISION PAR RECHERCHE D'ANALOGUES

Historiquement, cette méthode a été initiée, en France, dans les années 70 par Duband (1970, 1980). Elle tente de formaliser et de traduire sous forme d'algorithmes la démarche utilisée de façon implicite par les prévisionnistes. L'hypothèse de base, déjà résumée par Lorenz en 1969, est que deux situations synoptiques données doivent engendrer des effets locaux comparables si elles sont suffisamment similaires. En pratique, on cherche à prévoir les précipitations engendrées par une situation donnée: la "situation-cible", prévue ou analysée par un modèle météorologique. Pour cela, la méthode s'appuie sur un ensemble de situations passées analogues à la situation cible, issues d'une archive météorologique de situation observées (ou analysées) et considère les précipitations engendrées par celles-ci. Il est préférable de s'appuyer sur un sous-ensemble de situations analogues, et non pas sur la seule situation la plus ressemblante car d'une part il est illusoire d'espérer trouver deux situations strictement identiques (même sur un domaine spatial limité) et d'autre part cela permet d'avoir accès à la variance de la part des précipitations non expliquée par les seules conditions synoptiques. La prévision émise est donc une prévision probabiliste.

La mise en œuvre de cette méthode se décompose en deux étapes:

- (a) Tout d'abord, grâce à un *critère d'analogie* tel que le score S1 proposé par Teweless & Wobus (1954) appliqué aux champs de géopotentiels, on calcule pour chacune des situations de l'archive météorologique, sa *distance d'analogie* par rapport à la situation de la journée-cible. Il est alors possible de classer toutes les situations de l'archive, de la plus analogue, à la moins analogue. On identifie ainsi les 50 situations les plus ressemblantes (*k*-plus proches voisins): ce sont les journées analogues à la journée cible.
- (b) En recherchant alors dans les archives pluviométriques des bassins versants considérés, on identifie les précipitations observées lors de ces journées analogues. On dispose ainsi d'un ensemble de 50 valeurs de pluie pour chacun des bassins versants. On considère alors que les fonctions de répartition empirique de ces ensembles correspondent aux fonction de répartition des loi de probabilité des précipitations de la journée-cible.

On obtient ainsi, bassin par bassin, une loi de probabilité des cumuls de précipitations conditionnée par la situation météorologique de la journée cible. Une description détaillée des techniques utilisées est donnée par Obled *et al.* (2002).

UTILISATION EN TEMPS REEL

Dispositif opérationnel

Cette méthode d'adaptation par recherche d'analogues, avec ses évolutions successives, est utilisée en temps réel depuis plus de 30 ans par EDF, dans le cadre de la gestion de ses réservoirs. Tous les jours (jour *J*), sur un ensemble d'une cinquantaine de bassins versants répartis principalement dans le quart sud-est de la France, les prévisions des cumuls journaliers de précipitations sont effectuées pour les 7 jours à venir: de *J* (période de 6 hTU à 30 hTU) à *J* + 6 (150 hTU à 174 hTU).

Les situations synoptiques sont caractérisées par un ensemble de 4 champs de géopotentiels: 1000 et 700 hPa pris à 00 et 24 hTU. Ces champs caractéristiques proviennent, pour les journées à prévoir, des analyses du modèle ARPEGE de Météo-France (Geleyn *et al.*, 1994) pour les champs à 00 hTU, ensuite des prévisions ARPEGE (champs à 24, 48 et 72 hTU) et enfin des prévisions du modèle du Centre Européen pour les Prévisions Météorologiques à Moyen Terme (Simmons *et al.*, 1989) (pour les échéances de 72 à 168 hTU). L'archive historique dans laquelle on recherche les situations passées analogues est constituée par les données de 37 stations de radiosondage réparties sur l'Europe de l'ouest et le proche Atlantique. Cette archive couvre la période 1953–1997.

Ce dispositif a été appliqué lors de l'expérience internationale MAP (Mesoscale Alpine Program, voir Bougeault *et al.*, 2001) à 8 bassins franco-italiens (de 500 à 2500 km²) dont celui de la Toce (Fig. 1), centre de l'expérience. Nous avons produit chaque jour sur ces bassins des prévisions en temps réel à 7 jours d'échéance pendant 4 mois en 1999 (d'août à novembre), et nous avons reconduit ce protocole sur la même période en 2000. Les pluies effectivement observées sur les bassins tests ont été collectées après chacune des périodes d'étude.

Résultats obtenus

Les prévisions obtenues sont exprimées par un quantile central: le quantile Q60% (valeur de précipitation que l'on a 60% de chance de ne pas dépasser), et un intervalle de confiance associé: l'intervalle Q20%→Q90%. La Fig. 2 présente un exemple de prévision pour deux échéances différentes sur un échantillon de la période MAP 99. Elle illustre la bonne co-fluctuation entre les précipitations observées et prévues. On constate que la dégradation des performances reste raisonnable lorsque l'échéance augmente: la prévision demeure qualitativement informative et constitue un bon précurseur des événements majeurs, même jusqu'à cinq jours en avant.

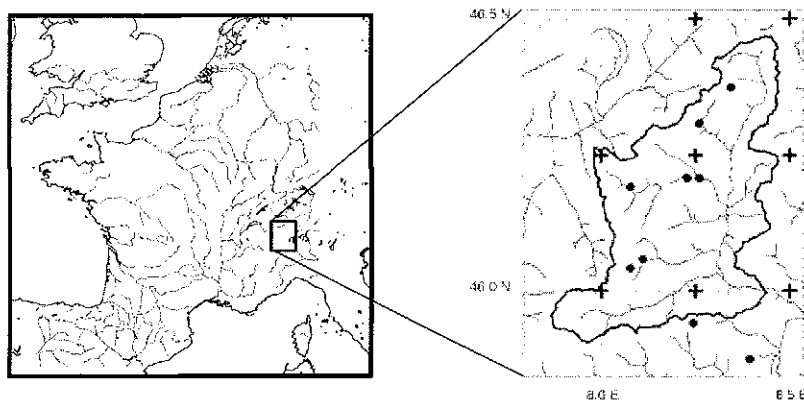


Fig. 1 Localisation du bassin de la Toce, des pluviomètres servant à calculer les pluies observées (ronds) et des points de grilles formant la prévision ARPEGE (croix).

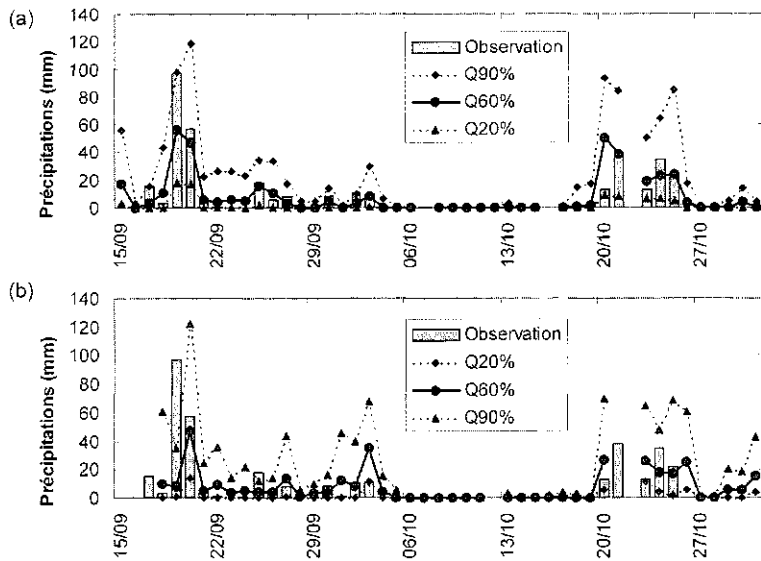


Fig. 2 Précipitations journalières observées et prévues par la méthode des analogues sur le bassin versant de la Toce lors d'un échantillon de la période MAP 99: (a) échéance J , (b) échéance $J-5$.

Météo-France nous a aimablement fourni, sur les deux périodes d'automne 1999 et 2000, les prévisions de précipitation issues du modèle ARPEGE pour le bassin de la Toce, émises à $J-2$, $J-1$ et J pour l'échéance J . Cette moyenne de bassin est constituée par la moyenne des valeurs données en sortie du modèle sur huit points de grille (Fig. 1(b)). Pour comparer ces prévisions à celles obtenues par la méthode des analogues, nous avons considéré que la valeur moyenne prévue par cette dernière correspondait à la valeur du Q60%. La comparaison des coefficients de détermination avec les valeurs observées (hors valeurs nulles) pour les deux méthodes (Fig. 3) montre une certaine supériorité de l'approche par analogues en ce qui concerne la co-fluctuation. Il est toutefois à noter que les analogues ont tendance à sous-estimer les forts épisodes. Djerboua *et al.* (2002) donnent de plus amples détails en ce qui concerne l'analyse de ces résultats.

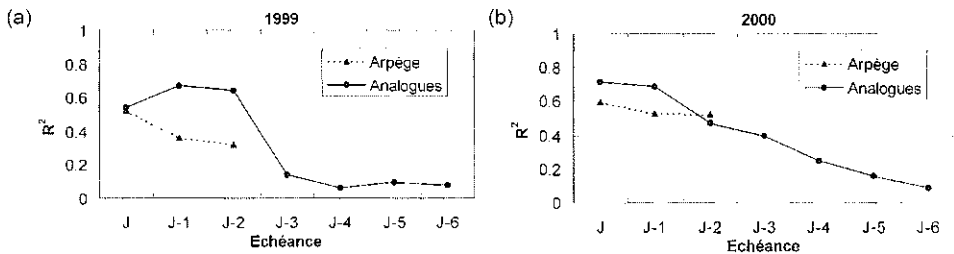


Fig. 3 Coefficient de détermination entre précipitations observées et prévues (hors valeurs nulles) en fonction de l'échéance de prévision sur le bassin de la Toce: (a) lors de l'automne 1999; (b) lors de l'automne 2000.

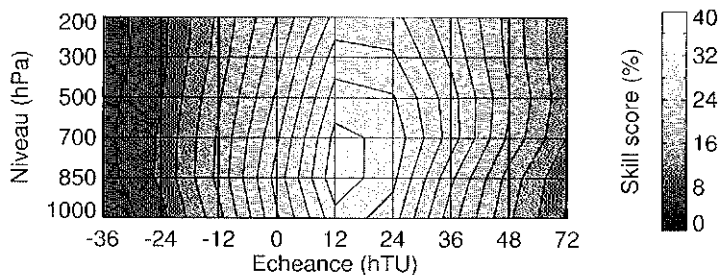


Fig. 4 Performances obtenues par une prévision par analogue en fonction du champ de géopotentiels choisi pour caractériser les situations.

UTILISATION DE RE-ANALYSES

La récente mise à disposition de longues séries de ré-analyses par le NCEP/NCAR (Kalnay *et al.*, 1996) ouvre de nouvelles perspectives dans l'utilisation de méthode de recherche d'analogues. D'une part les archives historiques ainsi créées présentent d'importantes garanties d'homogénéité, et d'autre part nous avons à notre disposition plus de variables disponibles pour caractériser les situations synoptiques. Par contre les ré-analyses disponibles ont une résolution assez grossière (2.5×2.5), mais qui devrait être améliorée à l'avenir. Il est ainsi possible de revisiter la méthode.

Différents tests ont été réalisés en prévision parfaite (utilisation des ré-analyses à la fois comme archive historique et comme entrée du modèle, à la place de prévisions réelles) sur la période 1953–1996 avec les 50 groupements pluviométriques de EDF. La Fig. 4 illustre ainsi l'influence du choix du champ de géopotentiel sur la qualité de la prévision lorsque l'on caractérise les situations synoptiques avec un seul champ de géopotentiel (les résultats sont exprimés en terme de *Skill Score* par rapport à la climatologie, i.e. l'on exprime le gain qu'apporte la prévision par rapport à la simple connaissance de la climatologie du bassin).

Ces tests ont par exemple montré que l'on pouvait améliorer légèrement les performances de la méthode (en prévision parfaite) en choisissant des champs de géopotentiels mieux centrés sur la période de cumul des précipitations. Il est alors possible de diminuer le nombre de champs utilisés, ce qui allège les algorithmes. Ainsi, une recherche d'analogues basée sur les 4 champs utilisés lors de l'expérience MAP conduit à un Skill Score de 42% alors qu'une recherche basée sur seulement 2 champs (500 hPa à 12 hTU et 1000 hPa à 24 hTU) présente un Skill Score de 44%.

CONCLUSION

Les crues méditerranéennes sont généralement générées par des systèmes convectifs organisés et dépendants de la circulation synoptique. C'est pourquoi la prévision par recherche d'analogues a été en mesure de prouver son intérêt lors de l'expérience MAP: bonne co-fluctuation des prévisions avec les observations et capacité d'alerte efficace à moyenne échéance.

Il reste évidemment encore beaucoup de place pour une amélioration de ces prévisions et nous comptons grandement sur l'utilisation de nouvelles variables,

maintenant disponibles via les ré-analyses, pour discriminer plus finement à l'intérieur de l'ensemble des situations déjà reconnues comme analogues au sens des géopotentiels. Cette approche, au fort potentiel d'amélioration, reste donc plus que jamais adaptée à la mise en vigilance à moyen terme pour des épisodes de crues méditerranéennes.

REFERENCES

- Bougeault, P., Binder, P., Buzzi, R., Dirks, R., Houze, R., Kuettner, J., Smith, R. B., Steinacker, R. & Volkert, H. (2001) The MAP special observing period. *Bull. Am. Met. Soc.* **82**(3) 433–462.
- Djebouta, A., Obled, C. & Bontron G. (2002) Medium term Q.P.F.'s by an Analog based approach: objective evaluations and comparisons during the MAP experiment. Soumis à *Hydrol. Earth System Sci.*
- Duband, D. (1970) Reconnaissance dynamique de la forme des situations météorologiques. Application à la prévision quantitative des précipitations. Thèse de 3ème cycle, Faculté des Sciences de Paris, Paris, France.
- Duband, D. (1980) Dynamic selection of analogue flow patterns to produce quantitative precipitation forecasts. In: WMO symposium on probabilistic and statistical methods in weather forecasting (September 1980), 487–492. Nice, France.
- Geleyn, J.-F., Bazile, E., Bougeault, P., Déqué, M., Ivanovici, V., Joly, A., Labbé, I., Piédelièvre, J.-P., Piriou, J.-M. & Royer, J.-F. (1994) Atmospheric parametrization schemes in Météo-France's Arpege NWP model. In: ECMWF seminar proceedings on Parametrization of Sub-grid Scale Physical Processes (September 1994), 385–402. Reading, UK.
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, M., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woolen, J., Zhu, Y., Chelliah, M. & Ebisuzaki, W. (1996) The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull. Am. Met. Soc.* **77**, 437–471.
- Lorenz, E. N. (1969) Atmospheric predictability as revealed by natural occurring analogues. *J. Atmos. Sci.* **26**, 636–646.
- Obled, C., Bontron, G. & Garçon, R. (2002) Quantitative precipitation forecasts: a statistical adaptation of model outputs through an analogues sorting approach. *Atmos. Res.* **63**, 303–324.
- Simmons, A. J., Burridge, D. M., Jarraud, M., Girard, C. & Wergen, W. (1989) The ECMWF medium-range prediction models. Development of the numerical formulations and the impact of increased resolution. *Met. Atmos. Phys.* **40**, 28–60.
- Teweless, J. & Wobus, H. (1954) Verification of prognosis charts. *Bull. Am. Met. Soc.* **35**, 455–463.