

CENTRE NATIONAL
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
(UMR 5564)

UNIVERSITÉ JOSEPH FOURIER
UFR DE MÉCANIQUE

INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE
DE GRENOBLE, ENSHMG

INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE
DEVELOPPEMENT

LABORATOIRE D'ETUDE DES TRANSFERTS EN HYDROLOGIE ET ENVIRONNEMENT

L . T . H . E .

Domaine Universitaire
B.P. n° 53
38041 GRENOBLE Cedex 9

XI ème CONTRAT DE PLAN ETAT-REGION RHÔNES-ALPES PROGRAMME DE RECHERCHE SUR LES RISQUES NATURELS

**EXPÉRIMENTATION D'UN RADAR MÉTÉOROLOGIQUE
DE CONFIGURATION LÉGÈRE ET D'UNE BALISE RÉCEPTRICE
POUR LA PRÉVISION DES CRUES SUR LE BASSIN DE L'ARDÈCHE**

**Guy DELRIEU, Soumia SERRAR, Thierry PELLARIN et Jean-Dominique
CREUTIN
Mars 2000**



1) Contexte et objectifs

Du point de vue des processus météorologiques et hydrologiques, le relief a une action marquée à la fois sur le déclenchement des pluies ("forçage orographique") et sur la formation des écoulements en rivière (augmentation des volumes écoulés, diminution des temps de réponse). La région Cévennes-Vivarais, représentative de la moyenne montagne de l'ensemble du pourtour méditerranéen, est ainsi soumise au risque de crue-éclair en raison d'un régime pluviométrique et hydrologique caractérisé par une forte intermittence des pluies et des débits, et des extrêmes proches des plus fortes valeurs mondiales. Plusieurs de ses bassins hydrologiques les plus importants font en conséquence l'objet d'une surveillance spécifique (Services d'annonce des Crues des DDE de l'Ardèche et du Gard, de la DIREN Centre) à la suite de crues historiques ou du fait de leur aménagement hydro-électrique (Service Ressources en Eau d'EDF/DTG). Cette région est également la première en France à bénéficier d'une couverture radar exceptionnelle dans le cadre du réseau ARAMIS de Météo France. Le radar de Nîmes permet ainsi la surveillance des Gardons et de l'Hérault alors que le radar de Sembadel (près du Puy en Velais) assure le suivi des précipitations cévenoles "débordant" sur la haute vallée de la Loire. Le radar de Bollène, en cours de qualification opérationnelle, est particulièrement attendu pour la couverture qu'il devrait fournir sur les bassins de l'Ardèche et de la Cèze. L'hydrologie de la région Cévennes-Vivarais intéresse par ailleurs depuis fort longtemps les chercheurs et un nombre conséquent de thèses de Doctorat ont été soutenues à Grenoble, Lyon ou Montpellier. Un exemple de concrétisation des liens entre la recherche et l'opérationnel a été fourni récemment par le projet "Ardèche", associant EDF/DTG, Météo France et le LTHE/Hydrologie de Surface avec le soutien du CPER Rhône-Alpes, projet dont l'objectif était la prévision opérationnelle des crues de ce bassin versant.

C'est dans ce contexte que se situe le présent projet intitulé "Expérimentation d'un radar météorologique de configuration légère et d'une balise réceptrice pour la prévision des crues de l'Ardèche" dont la réalisation a été assurée par le LTHE/Hydrrométéorologie avec le soutien technique du CETP et de l'IRD (ex-Orstom). Nous présentons ci-après les principaux résultats obtenus autour de deux thèmes : (i) le développement du concept de "visibilité hydrologique" d'un (de) radar(s) de caractéristiques données (emplacement, paramètres, protocole de balayage) opérant sur une zone géographique donnée (par exemple un bassin versant) et (ii) la possibilité d'utiliser le signal radar rétrodiffusé par les montagnes, habituellement perçu comme un signal parasite, pour obtenir un étalonnage de l'appareil. Nous donnerons en conclusion les perspectives de ce travail avec un ensemble d'actions visant à terme à fédérer les chercheurs et praticiens hydrologues et météorologues autour d'un Service d'Observation Hydro-Météorologique de la région Cévennes-Vivarais.

2) Travaux effectués

a) "Visibilité hydrologique" de radars météorologiques opérant en région montagneuse : application au bassin versant de l'Ardèche

L'utilisation quantitative du radar en zone de montagne se heurte à des limitations dues (i) aux interactions entre les ondes électromagnétiques et le relief qui se traduisent par des échos de sol et, au delà des obstacles, par des masques partiels ou complets et (ii) au fait que l'atmosphère et les précipitations présentent une structure verticale marquée (nous parlerons dans ce qui suit de "profil vertical de réflectivité" ou PVR). L'optimisation de l'emplacement du radar et l'adoption d'un protocole de balayage volumique (série d'explorations panoramiques à divers angles de site) sont obligatoires pour minimiser l'impact du relief et du PVR qui déterminent en quelque sorte les conditions-limites inférieure et supérieure du domaine de détection radar : une visée rasante donnera lieu à des interactions ondes-relief fortes mais, dans les zones non affectées, à des mesures représentatives de la pluie parvenant au sol alors qu'une visée plus inclinée sera exempte de détection de sol mais conduira à une sous estimation rapide de la pluie au fur et à mesure que l'on s'éloigne du radar. Afin de mieux quantifier ces effets, nous avons élaboré un code numérique baptisé VISHYDRO (pour "visibilité hydrologique") qui permet d'évaluer en tout point d'un domaine d'intérêt l'erreur relative commise sur la mesure radar de l'intensité de pluie, erreur résultant des échos de sol, des

masques et de l'intégration du PVR sur le volume de résolution du radar à la distance et pour l'angle de site considérés. Ce code s'appuie sur la caractérisation des interactions ondes-relief au moyen d'une procédure de calcul géométrique utilisant un modèle numérique de terrain, les propriétés électromagnétiques des surfaces étant déduites de la confrontation de surfaces illuminées simulées avec des mesures radar obtenues par temps sec.

Au moyen de VISHYDRO et en utilisant comme données d'entrée une série de profils verticaux de réflectivité issus de l'expérience radar Cévennes 86-88, nous avons pu comparer les performances hydrologiques de divers protocoles de balayage et de modes de composition des angles de site relatifs aux radars de Nîmes et Bollène. Il ressort de ces simulations (i) que le radar de Bollène améliore a priori considérablement la qualité de la mesure radar sur le bassin de l'Ardèche, (ii) que des mesures à 2 ou 3 angles de site sont nécessaires sur ce secteur pour effectivement réduire l'erreur d'estimation du radar et (iii) qu'une procédure de composition prenant en compte pour chaque point l'angle de site donnant l'erreur minimale sur l'intensité de pluie est très supérieure à une procédure classique fondée uniquement sur la distance au radar.

Par ailleurs, un point fort du présent projet a été la recherche d'un site d'implantation pour le radar de configuration légère du LTHE sur le bassin de l'Ardèche. On rappelle que ce radar particulier fonctionne à une longueur d'onde de 3.2 cm (bande X) à comparer à une valeur de 10 cm (bande S) pour les radars du réseau ARAMIS. L'avantage qui en résulte en terme de portabilité et de coût ("configuration légère") est partiellement grevé par les effets d'atténuation dans la pluie qui peuvent être sévères et difficiles à corriger en bande X, d'où une utilisation locale de ce capteur (< 20-30 km) qui a fait l'objet d'une évaluation par notre équipe à Marseille pour des applications en hydrologie urbaine. La justification d'une telle implantation serait d'obtenir une couverture radar détaillée du haut bassin de l'Ardèche (Ardèche à Vogüé, 635 km²) et d'apprécier la complémentarité d'un radar local par rapport aux radars du réseau ARAMIS, notamment pour la description de la structure 3D des champs de pluie et leur développement dans les basses couches de l'atmosphère. Deux emplacements (lieux-dits "Le Pradel" au sein du Domaine Olivier de Serres à Villeneuve de Berg et "Plateau de Mirabel") ont été testés sur une période de 2 jours au mois d'août 1998. Les données recueillies ont permis une validation de VISHYDRO en ce qui concerne la simulation des interactions ondes-relief et en particulier l'inversion d'un modèle pour le coefficient de rétrodiffusion des surfaces montagneuses en bande X. L'utilisation de VISHYDRO a de plus confirmé l'intérêt potentiel de ces emplacements par rapport au radar de Bollène. Le site "Plateau de Mirabel" offrirait une nette supériorité par rapport au site "Le Pradel" au prix d'une mise en œuvre plus délicate liée à l'accessibilité difficile.

b) Utilisation du signal rétrodiffusé par les montagnes pour l'étalonnage d'un radar météorologique : "Mountain Reference Technique"

En 1997 et 1998, nous avons mené une expérimentation à Grenoble dans le but de conforter les résultats préliminaires obtenus à Marseille quelques années plus tôt à propos de l'utilisation du relief pour la correction de mesures de pluie obtenues au moyen du radar de configuration légère bande X. Pour cela, un transect allant du Campus Universitaire de Grenoble jusqu'au village de Saint Jean le Vieux (Balcons de Belledonne) a été instrumenté. La base du dispositif expérimental était le radar bande X installé sur l'un des bâtiments de l'ENSHMG à Grenoble. Cet appareil a été utilisé ici en mode de balayage vertical (RHI) dans la direction de Saint Jean. Un réseau de pluviomètres comprenant sept appareils répartis sur les 9 km du trajet a été déployé pour la validation des estimations de pluie par radar. Par ailleurs, une balise réceptrice fonctionnant également en bande X, développée pour le compte du LTHE par la société grenobloise SC/Electronique, a été installée à Saint Jean. Au delà des inconvénients liés aux interactions ondes-relief mentionnés précédemment, la « Mountain Reference Technique » que nous avons proposé s'appuie sur le signal rétrodiffusé par les montagnes pour :

(i) *obtenir un contrôle simple de la stabilité à long terme de l'étalonnage électronique du radar.* L'idée est de suivre l'évolution temporelle d'un écho de montagne en dehors des périodes pluvieuses. Cette méthode permet à coup sûr de détecter les problèmes de calage du contrôle automatique de fréquence (CAF) qui se traduisent à la mise en route du radar par des atténuations de plusieurs dizaines

de dB du signal. L'étude plus détaillée menée pour une trentaine de journées de temps sec a permis de mettre en évidence des décrochages du signal de moindre importance (3 ou 4 dB) qui échappent aux techniques classiques mises en œuvre pour le contrôle en temps réel des performances du radar et dont la prise en compte pour l'interprétation quantitative des mesures de réflectivité est essentielle.

(ii) obtenir, en cas d'utilisation d'une longueur d'onde atténuée, un étalonnage absolu du radar.
Nous avons d'abord évalué grâce à la balise réceptrice la précision des mesures d'atténuation totale que l'on peut déduire du relief par temps de pluie et déterminé les facteurs qui affectent la qualité de ces estimations. Il semble ainsi que l'on doive renoncer à la détection d'atténuations totales inférieures à 2 dB environ du fait de la variabilité naturelle des échos de montagne et que, pour minimiser l'effet de la pluie tombant sur la montagne, il faille considérer des échos de référence aussi forts que possible. Ce dernier point conditionne évidemment le protocole de balayage du radar (nécessité d'effectuer des balayages très rasants). Nous avons ensuite montré qu'une procédure d'estimation du défaut d'étalonnage absolu des réflectivités fondée sur l'utilisation des atténuations totales pouvait fonctionner pour une large gamme d'atténuations. Sa prise en compte permet d'étendre les possibilités de correction de l'algorithme d'Hitschfeld-Bordan jusqu'à environ 10 ou 15 dB. Au delà, l'instabilité structurelle de cet algorithme est rédhibitoire. L'algorithme de Marzoug et Amayenc, qui utilise une mesure d'atténuation totale pour la correction de chaque profil de pluie s'avère par contre extrêmement performant et stable. Il n'est pas exclu qu'il puisse être employé utilement, avec une couverture spatiale pertinente avec l'application envisagée, dans des contextes urbains et/ou de montagne pour lesquels une ceinture de montagne borde le domaine d'intérêt.

Ces apports méthodologiques ont été accompagnés de développements instrumentaux : rappelons que nous disposons des deux exemplaires de radar bande X développés par la société Gematronik pour le compte du CETP et du LTHE. La révision complète du système de pilotage de ces radars a été décidée afin d'en améliorer les performances notamment vis à vis des possibilités d'enchaîner des mouvements d'antenne variés avec une vitesse de rotation augmentée. Un système moderne d'archivage et de visualisation des données était également nécessaire. Le cahier des charges a été établi et les choix relatifs à la conception d'un nouveau logiciel, baptisé XNT, fonctionnant sous Linux et RT-Linux, ont été effectués. Pour l'un des deux radars, la réalisation a été effectuée avec le soutien de la Société allemande GAMIC, spécialisée dans ce domaine, sous forme d'un appui technique et de la fourniture d'une interface utilisateur (FROG). Le test opérationnel de ce radar reste à effectuer et son insertion dans un projet pédagogique de salle d'observation hydrométéorologique (en dehors des périodes d'expérimentation) est en cours d'étude. On notera qu'une série d'incidents fâcheux liés au vieillissement du matériel laisse pour l'instant un espoir assez limité d'aboutir à la remise à niveau des deux appareils. Compte tenu de ces difficultés, le projet d'amélioration de la balise réceptrice, jugé moins prioritaire, a pour l'instant été reporté.

3) Perspectives

Dans la suite de ces travaux, le LTHE propose la réalisation de trois actions visant à amorcer la constitution d'un véritable Service d'Observation Hydrologique et Météorologique à méso-échelle de la région Cévennes – Vivarais :

i) Constitution d'une base de données hydrologiques et météorologiques opérationnelles.

Cette archive permettra le développement des connaissances et les retours d'expérience pour la prévision des risques de crue-éclair. Elle concernerait les données des services opérationnels (Météo France, DDE et DIREN, EDF/DTG..) et porterait à la fois sur le passé (projet Historique du CEMAGREF-Lyon) et sur une période à venir de durée significative (10 ans).

ii) Renforcement des moyens d'observation au cours de Périodes d'Observations Intenses (POI)

Pour la mesure de la pluie, l'amélioration est attendue de la densification du réseau ARAMIS de Météo France et de la mise en place pilote de moyens d'acquisition et de traitement des mesures recueillies plus adaptés à l'hydrologie (CASTOR2, HYDRAM). La mise en œuvre d'un radar local dans les conditions étudiées dans le cadre du présent projet est de plus souhaitée. Pour le débit des rivières, il est envisagé de compléter les stations de mesures limnimétriques par des dispositifs ne nécessitant ni infrastructure lourde ni étalonnage long au prix d'une moindre précision.

iii) Développement d'une application opérationnelle pour l'alerte aux crues de l'Ardèche.

Le Service d'Annonce de Crues de la DDE 07 dispose d'un ensemble de stations de mesure de la pluie et des débits permettant de surveiller un ensemble de bassins versants. Ce service est en cours d'équipement pour disposer en temps réel d'information radar via le système HYDRAM. Il s'agirait d'implanter et de tester à Privas les modèles pluie – débit TOPMODEL ET TOPODYN capables d'utiliser l'information radar ou sol pour prévoir les débits notamment en période de crue. Parallèlement, on analyserait dans quelle mesure le mode actuel de diffusion des alertes est adapté à la mise en place de ces nouveaux outils d'observation et de modélisation.

Publications issues de ce projet:

Revue internationale :

Delrieu G., S. Serrar, E. Guardo, J.D. Creutin, 1999. Rain measurement in hilly terrain with X-band radar systems: Accuracy of path-integrated attenuation estimates derived from mountain returns. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, Vol. 16, No 4, 405-416 .

Serrar S., G. Delrieu, J.D. Creutin, R. Uijlenhoet, 2000. Mountain Reference Technique : use of mountain returns to calibrate weather radars operating at attenuating wavelengths. *Journal of Geophysical Research*, Vol 105, No D2, 2281-2290.

Delrieu G., T. Pellarin, Hervé Andrieu, B. Vignal and J.D. Creutin, 2000. Hydrological visibility of weather radar systems operating in mountainous regions: theoretical formulation and case study for the Ardèche catchment (France). Soumis à *Water Resources Research*.

Thèse et rapport :

Cazenave, F., 1998 : Logiciel pilote d'un radar météorologique bande X, Rapport interne LTHE, Juin 1998, 149 pp.

Pellarin, T., 2000 : Visibilité hydrologique de radars météorologiques opérant en région montagneuse. Etudes de cas pour les bassins de l'Ardèche (France) et de la Toce (Italie). Thèse de Doctorat MMGE UJF, en préparation.

Conférences

Serrar, S., G. Delrieu, and J.D. Creutin, 1998 : Mountain Reference Technique. Fourth Int. Symp. on Hydrologic Applications of Weather Radar. San Diego, California, 6-9 April 1998.

Delrieu, G., S. Serrar, and J.D. Creutin, 1998: X-band radar rain measurement in an Alpine valley : validation of the « Mountain Reference Technique ». MAP MEETING'98, Chamonix, 17-19 June 1998.

Pellarin T., G. Delrieu, J.D. Creutin, 1999. Variability of mountain returns during dry-weather conditions : application to radar calibration control. 29th Conference on Radar Meteorology. Montreal, Canada, 12-16 Juillet 1999.

Pellarin T., Delrieu G., Creutin J. D., 1999 : Hydrological visibility of a weather radar operating in a mountainous region. 1999'General Assembly of the European Geophysical Society, La Hague, 19-23 April 1999.