

---

## **ESPADA : Un outil innovant pour la gestion en temps réel des crues urbaines**

ESPADA : An innovative tool for real time urban flood management

Raymond M.\* , Peyron N.\* , M. Bahl\* , A. Martin\*\*\* , F. Alfonsi \*\*\*

\* BCEOM, Groupe Egis, Montpellier, France

\*\* Ville de Nîmes, France

\*\*\* CS, Toulouse, France

### **RESUME**

En France, les dommages sérieux provoqués dans les secteurs urbains par des inondations récentes ont montré l'importance de réactions efficaces et adaptées de la part des municipalités. Face à une inondation, les décisions doivent être prises à partir de l'information disponible en temps réel et qui sont souvent très limitées à cause du manque de temps nécessaire pour les obtenir, les contrôler et les analyser. ESPADA est un outil de gestion intégré qui a été développé afin de prévoir et contrôler les inondations urbaines en temps réel. Le système se base sur les prévisions des précipitations à partir des images radar, un modèle hydrologique de type pluie-débit, un modèle hydraulique développé pour le secteur urbain et une définition du risque caractérisant l'importance de l'inondation. Pour sa première application, ce système innovant a été développé pour la ville de Nîmes et les premiers résultats ont été obtenus lors des inondations qui se sont produites en septembre 2005. Le système s'est avéré performant puisqu'il a permis de prévenir à l'avance les personnes chargées de prendre les décisions adéquates. Pour la première fois en temps de crise, l'anticipation a été possible et la meilleure préparation des actions appropriées a permis une meilleure protection des biens et des personnes. Ce système est transposable à tout contexte de crues.

### **ABSTRACT**

In France, the serious damages caused in urban areas by the recent floods showed the importance of efficient and adapted reactions of the municipality. Faced to a flood crisis, decisions should be taken based on the current information available that are often very limited due to the lack of time to obtain, manage and analyse them. Therefore, ESPADA is an integrated tool that was developed to forecast and manage urban flooding in real time. The modelling system is based on predicted precipitations from radar imaging, a rainfall-runoff model, a hydraulic model developed for urban area and a risk definition representing the flood importance. For its first application, this innovative system has been developed for the city of Nîmes and the first results were obtained for the floods that occurred in September 2005. The system was performant since it could prevent in advance the people that are in charge of decisions taking. For the first time during a flood crisis, anticipation to the crisis was possible and the better preparation of appropriate actions allowed a better protection of goods and people. This system is adaptable to any flooding context.

### **MOTS CLES**

Crues urbaines, Décisions en temps de crise, Prévision des inondations en temps réel, Plans de parade

## 1 CONTEXTE DES CRUES URBAINES DE LA VILLE DE NIMES

La ville de Nîmes est sujette à des inondations qui peuvent être catastrophiques lors d'événements pluvio-orageux méditerranéens très intenses. Ce fut le cas lors de la catastrophe du 3 octobre 1988, mais aussi à des degrés moindres en novembre 1963, le 12 octobre 1990, le 27 mai 1998, ... La morphologie particulière, en forme de cuvette, de la zone qui est drainée par des « cadereaux » généralement à sec, et l'urbanisation qui a pris place sur leur partie aval fait que la combinaison de l'aléa inondation et de la vulnérabilité (personnes, biens et services) conduit à des risques humains et économiques particulièrement aigus. A titre d'illustration, le débit de pointe estimé au point d'entrée dans la partie enterrée du cadereau d'Uzès lors de la crue d'octobre 1988 était de 130 m<sup>3</sup>/s pour une capacité du collecteur de l'ordre de 7 m<sup>3</sup>/s.

Les actions menées pour réduire ce risque se sont organisées autour de deux axes complémentaires :

- la réalisation d'équipements hydrauliques de prévention dans le cadre du Plan de Prévention contre les inondations (bassins de stockage, recalibrages, restructurations du réseau),
- le projet ESPADA (Evaluation et Suivi des Pluies en Agglomération pour Devancer l'Alerte) qui vise à anticiper les crises, à la fois par la surveillance hydro-météorologique et la mise en place d'une organisation préalable avec des moyens adaptés.

Un article préalable présentait le concept du système avant sa mise en œuvre opérationnelle (Dumay H. et Raymond M. 2001). Le présent papier présente le passage du concept à la réalité en donnant la méthodologie effectivement employée pour le développement du système opérationnel ainsi que les premiers retours d'expérience après son installation dans les locaux de la ville de Nîmes. Le bassin versant du cadereau d'Uzès a fait l'objet de la première tranche de l'étude (installation en juillet 2004) et les 4 autres cadereaux ont été intégrés au système ESPADA lors de la seconde tranche de l'étude en juillet 2005.

## 2 OBJECTIFS DU SYSTEME ESPADA

Les objectifs du système ESPADA sont les suivants :

- le suivi et la prévision hydrométéorologique pour l'anticipation des événements pluvieux,
- la gestion des alarmes et des alertes,
- la gestion des plans de parade.

Il s'agit d'un système « clé en mains » comprenant l'ensemble de l'équipement nécessaire pour le PC de crise (mobilier, équipement informatique, logiciels, équipements de communication, automate d'appel, alimentation secourue, garantie et maintenance, ...) ainsi que des caméras de vidéosurveillance.

Le système ESPADA est réalisé par le groupement BCEOM - CS SI - Météo France. BCEOM est en charge de la partie modélisation hydrologique et hydraulique, ainsi que de l'étude du risque. CS SI est en charge de la partie informatique (fourniture, développements de logiciels, développement des bases de données et des outils de gestion du SIG). Météo France est en charge de la partie acquisition des données radar, élaboration des lames d'eau observées et prévues.

### 3 FONCTIONS DU SYSTEME ESPADA

Le système ESPADA est articulé autour d'une base de données intégrant les données hydrométéorologiques observées et prévues, les modèles hydrologiques et un Système d'Information Géographique.



Schéma fonctionnel du système ESPADA.

#### 3.1 Acquisition et validation des données hydrométéorologiques

##### 3.1.1 Données météorologiques

Les données météorologiques sont récupérées sur le poste Météo + intégré au système ESPADA. Ce poste fournit : (i) une évaluation quantitative des lames d'eau précipitées sur les différents sous-bassins versants, à partir de l'interprétation des images radar, et (ii) une prévision des précipitations à très courte échéance (1 heure 30 maximum).

Ces données et prévisions sont fournies au pas de temps 15 minutes, à partir des images radar acquises au pas de temps 5 minutes. La taille des sous-bassins versants est de quelques km<sup>2</sup>, les images radar ont des pixels de 1km<sup>2</sup>.

##### 3.1.2 Données sol

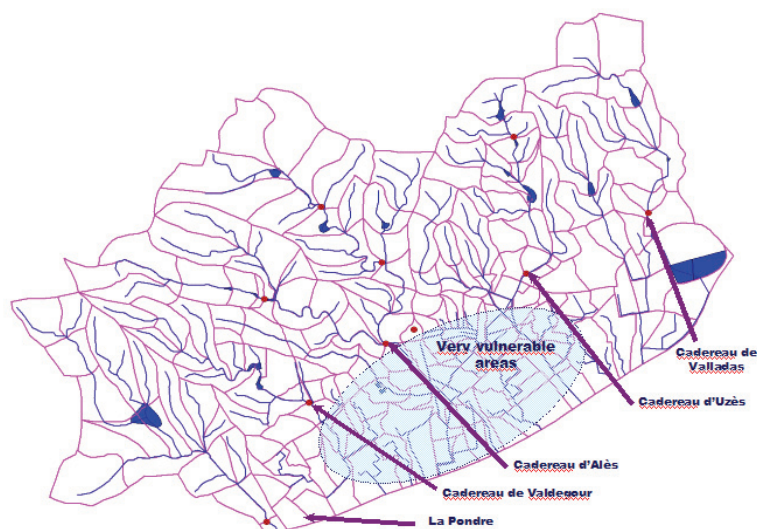
La Ville de Nîmes gère un réseau de 21 stations de mesure, avec au total 10 capteurs pluviographiques et 11 capteurs limnigraphiques répartis sur l'ensemble des bassins versants des 5 cadreaux traversant la ville.

Les données de ces stations sont acquises toutes les 15 minutes au pas de temps 6 minutes. Des capteurs de niveau sont prévus dans les bassins de stockage. Le système ESPADA propose à l'utilisateur des fonctions de visualisation graphique et numérique de ces données, ainsi que des fonctions de gestion des données

manquantes (interpolation pour les faibles lacunes, saisie/correction manuelle possible) et de validation (manuelle et automatique).

### 3.2 Les calculs de prévisions hydrologiques

A partir des lames d'eau observées et prévues, le système calcule des prévisions de débit à l'entrée de la zone densément urbanisée. Ces prévisions sont basées sur des modèles pluie-débit calés sur des événements observés, prenant en compte les comportements différents des parties rurales (garrigues) et urbanisées du bassin versant amont. Le comportement spécifique des zones karstiques conduit à des phénomènes de saturation et de mise en charge du karst avec des écoulements superficiels lorsque le cumul et l'intensité des précipitations deviennent importants (Maréchal.J.C., Ladouche.B. et Doerfliger.N. 2006).



Topologie des modèles et points de calcul principaux (points de débordements critiques)

Les prévisions hydrologiques sont réactualisées toutes les 30 minutes et tiennent compte des bassins de stockage existants. Les modèles utilisés pour la prévision en temps réel sont les suivants : (i) le modèle GR4 du CEMAGREF pour les parties rurales, (Editjano et Michel, C. 1989 ; Perrin C. 2000) et (ii) le modèle RERAM pour les zones urbanisées (Chocat, B. 1997).

### 3.3 L'identification du scénario d'aléa le plus probable

La capacité réduite des cadereaux dans leur partie enterrée (par exemple 7 m<sup>3</sup>/s pour des débits pouvant atteindre 120 m<sup>3</sup>/s pour les épisodes les plus violents) conduit à des écoulements de surface dans les rues. Ces écoulements, déconnectés des écoulements souterrains, sont hydrauliquement complexes (fortes vitesses, divergences dans les carrefours, présence d'obstacles à l'écoulement,...). Une simulation de ces écoulements peut être réalisée par une modélisation fine en 2D, mais qui ne peut être mise en œuvre en temps réel, ne serait-ce qu'à cause des temps de calcul très importants. C'est pourquoi, le système ESPADA est basé sur l'identification en temps réel du scénario d'aléa le plus probable, à partir d'une base de 44 scénarios prédéfinis lors de l'étude hydraulique préalable.

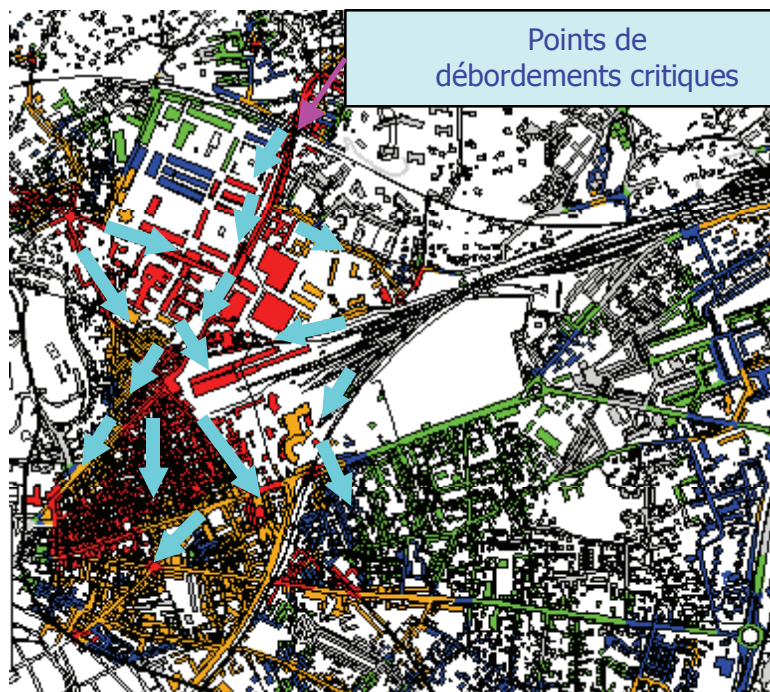


Schéma des écoulements traversant la zone urbaine

### 3.3.1 L'étude hydraulique préalable pour la création de la base de données de scénarios

La démarche suivie pour cette étude est la suivante :

- Elaboration de scénarios de pluie, établis à partir d'une étude régionale de la typologie des événements pluvieux réalisée par Météo France. Environ 60 scénarios de pluie ont été définis, répartis en 4 classes selon leur intensité et leur durée. Ces scénarios couvrent le « champ du possible ».
- Détermination des scénarios de débit amont correspondants, à l'aide des modèles pluie-débit amont calés sur des événements observés. Analyse de la typologie de ces scénarios et sélection des scénarios représentatifs.
- Elaboration de scénarios d'aléas, pour les scénarios de débits représentatifs des différentes situations possibles. Pour chaque scénario retenu, une carte d'aléa est établie sur l'ensemble de la zone inondable. Cette carte est établie par modélisation hydraulique et par expertise de terrain. Les paramètres de l'aléa sont la hauteur d'eau et la vitesse.
- Les cartes d'aléa sont stockées dans une base de scénarios.
- Par croisement avec les données de vulnérabilité, des cartes de risques sont établies et également stockées dans une base de scénarios. 3 à 4 classes de risque sont prévues. Les données de vulnérabilité doivent avoir une grande précision, elles sont également utilisées pour la gestion du plan de parade.





Exemple de carte de risques (centré sur le centre ville de Nîmes)

### 3.3.2 L'identification en temps réel du niveau de risque

En temps réel, le système ESPADA élabore des prévisions de débit aux points amont (à l'entrée de la zone urbaine dense), puis identifie le scénario d'aléa le plus probable sur l'ensemble de la zone inondable, parmi les scénarios stockés dans la base de données. Le système propose ensuite le scénario de risque correspondant, en tenant compte des incertitudes liées aux prévisions. Cette démarche est suivie pour les différentes échéances de prévision. Chaque scénario de risque est rattaché à un niveau d'alerte du plan de parade de la Ville de Nîmes, il y a plusieurs scénarios de risque possibles pour un même niveau d'alerte.

### 3.4 Le déclenchement du plan de parade

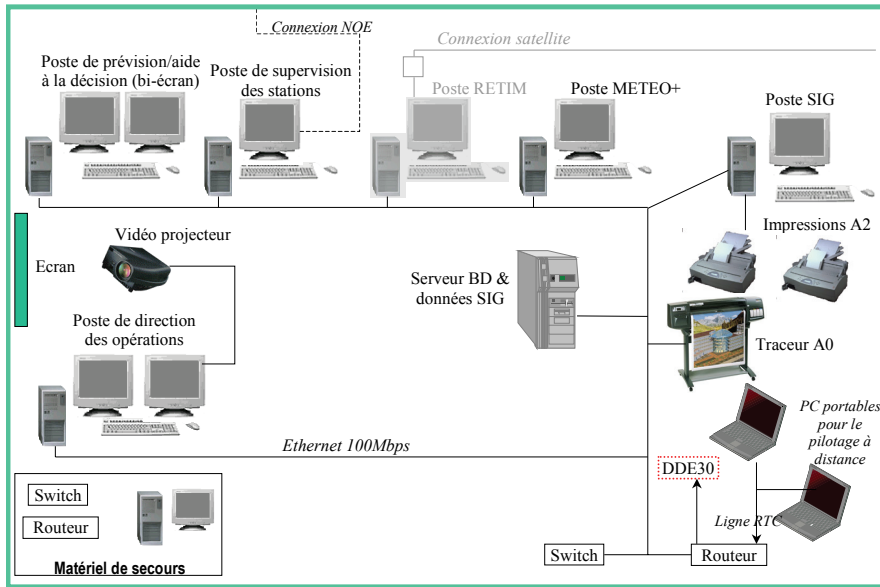
Les différents niveaux d'alerte du plan de parade de la Ville de Nîmes sont les suivants :

- Niveau 1 : Mise en vigilance du personnel d'astreinte à partir des bulletins Météo (Météo Flash par exemple),
- Alerte de niveau 2 : faibles débordements du réseau d'eaux pluviales, inondation des points bas
- Alerte de niveau 3 : correspond au début du débordement des cadereaux et à la limite d'efficacité des retenues amont,
- Alerte de niveau 4 : inondation grave généralisée, risque humain.

Le système propose les éventuels changements d'état du système, qui sont décidés par les prévisionnistes du PC crise. Le système ESPADA permet de gérer les appels téléphoniques liés aux actions du plan de parade selon le niveau d'alerte du système. Les appels téléphoniques sont gérés sur la base de scénarios d'appel (par exemple, appel de tous les établissements scolaires situés dans une zone à risque). Les listes d'appels peuvent être filtrées en fonction de la date (période scolaire ou non, week-end/semaine, jour férié) et de l'heure (horaires d'ouverture). Un automate d'appel assure l'émission des appels, sur décision de l'opérateur.

### 3.5 Architecture informatique du système ESPADA

Une connexion au système à distance est possible à partir d'un ordinateur portable relié à un modem. Le poste SIG permet la mise à jour des données (aléa, vulnérabilité, risque), en temps différé.



Architecture informatique du système ESPADA

La sécurisation du système est assurée par :

- Une redondance dans les systèmes d'acquisition (récupération possible des données via le réseau de la DDE30, deux modes de transmission pour certaines stations),
- La présence de caméras de vidéosurveillance aux points de débordement amont des cadereaux (visualisation des échelles limnis),
- Un fonctionnement possible du système en mode dégradé à partir des seules données radar (en cas de panne des stations sol et/ou de défaillance du système de télétransmission),
- Un serveur très sécurisé, échangeable à chaud
- Une alimentation électrique secourue (onduleur + groupe électrogène),
- Du matériel de secours (poste de travail, routeur, switch).

## 4 PREMIERS RETOURS D'EXPERIENCE

Le système ESPADA est opérationnel dans les locaux de la ville de Nîmes pour l'ensemble des cadereaux de la ville depuis juillet 2005. Les épisodes pluvieux de septembre 2005 ont été les premiers orages significatifs vécus depuis la mise en place opérationnelle du système (entre 400 et 500 mm de pluies sont tombés sur la ville en moins de 72h). Des retours d'expérience très intéressants ont été obtenus pour cet épisode, puisque des débordements significatifs ont eu lieu pour tous les cadereaux. La présentation détaillée des résultats obtenus par le système lors de ces

événements a fait l'objet d'une publication récente (Raymond M., Peyron N. et Martin A. 2006).

De manière générale, le système ESPADA s'est avéré performant dès sa première mise à l'épreuve puisqu'il a permis d'anticiper les importants débordements à l'entrée du centre ville de Nîmes et ainsi prévenir à l'avance les personnes chargées de prendre les décisions adéquates. Pour la première fois en temps de crise, l'anticipation a été possible permettant une préparation des actions appropriées plus efficace. Les conditions de terrain difficiles ont permis vérifier la fiabilité et la robustesse du système. Enfin, des directions d'amélioration ont pu être établies grâce à ce retour d'expérience (Raymond M., Peyron N. et Martin A. 2006).

## 5 CONCLUSIONS

Lors de son élaboration, les concepts innovants du système ESPADA étaient ambitieux et son passage en système opérationnel pour la ville de Nîmes a nécessité une méthodologie basée sur des techniques de pointe alliant des outils informatiques puissants à une expertise scientifique poussée. Dès sa première mise à l'épreuve en septembre 2005, cet outil intégré (basé sur l'acquisition de données, modélisation précise en temps réel, prévisions hydro-météorologiques, gestion des différents niveaux d'alertes et gestion des actions de secours) s'est avéré performant puisque l'anticipation des inondations a été possible permettant aux acteurs de la ville de mieux préparer les actions à mener sur le terrain.

Ce système a été développé initialement dans le cadre de la problématique particulièrement complexe de la ville de Nîmes (orages méditerranéens très intenses, zones urbaines denses, temps de réponses extrêmement rapides, phénomènes karstiques...), mais est cependant entièrement modulable et transposable à d'autres contextes de crues nécessitant de la prévision et de l'alerte en temps réel. A titre d'exemple, le développement pour le Conseil Général de Martinique du SDAC (Système Départemental d'Alerte de Crues) a permis d'équiper 4 bassins versants de ce type de système (installation en novembre 2006). Dans le cadre de cette étude, la communication a franchi encore un nouveau pas puisque les données et les cartes de risque prévues sont désormais disponibles au grand public sur internet en temps réel.

Pour conclure, ce type de système basé à la fois sur la récolte de données, la modélisation fine en temps réel et le déclenchement des niveaux d'alerte s'avère performant et extrêmement prometteur pour anticiper et ainsi mieux préparer les actions à mener en situations de crise, pour finalement atteindre l'objectif premier : mieux protéger les biens et les personnes menacées par des crues dévastatrices.

## BIBLIOGRAPHIE

- Chocat B., "Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement", Lavoisier, Paris, 1124 pages (1997).
- Dumay H. et Raymond M., " ESPADA : Un outil pour la gestion des crues urbaine", Conférence Novatech Lyon (2001).
- Editjano et Michel, C., "Un modèle pluie-débit journalier à trois paramètres", La Houille Blanche, 2, 11"-121 (1989).
- Maréchal.J.C., Ladouche.B. et Doerfliger.N. , "Role of karst system in the genesis of flash flood events at the Nîmes city", in EGU, Vienne , Autriche (2-7 avril 2006)
- Perrin C., "Vers une amélioration d'un modèle global pluie-débit au travers d'une approche comparative", Thèse INP CEMAGREF (2000).
- Raymond M., Peyron N. et Martin A. "ESPADA, " A unique flood management tool: first feedback from the September 2005 flood in Nimes", 7th International Conference on Hydroinformatics, Nice, France (2006).