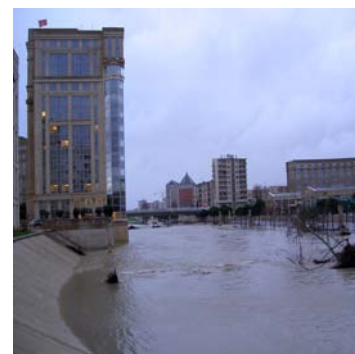


## Conférence scientifique sur l'estimation du débit centennal du Lez à Montpellier

.....  
Rapport de synthèse

Septembre 2007



*Crue du 04/12/2003*



*Crue du 06/09/2005  
(photos DIREN LR)*



Direction Régionale de l'Environnement Languedoc-Roussillon  
service SEMARN – unité Risques Naturels et Hydrométrie

## Conférence scientifique

### Rapport de synthèse sur l'estimation du débit centennal du Lez à Montpellier

**date** : septembre 2007

**auteur** : CETE méditerranée

**responsable de l'étude** : Bénédicte Frier (DREC/SH)

**participant** : Patrick Fourmigué (DREC/SH)

#### **résumé de l'étude :**

Dans son rapport du 4 juillet 2006, la mission d'Inspection Générale de l'Environnement conclut sur la nécessité d'actualiser, dans le cadre d'une conférence scientifique, le débit centennal du Lez en aval de Montpellier dont l'estimation actuelle à 755 m<sup>3</sup>/s ne prend pas en compte les crues majeures récentes. Ce rapport fait la synthèse des méthodes et hypothèses proposées par les membres experts de cette conférence, animée par la DIREN LR avec l'appui du CETE, pour répondre à la demande de l'IGE.

A partir des travaux réalisés dans le cadre de la conférence et compte tenu des observations disponibles, une majorité des experts (huit sur dix) revoit à la hausse la **crue centennale du Lez aval au droit de l'A9 à 900 m<sup>3</sup>/s**, rejoignant ainsi l'avis formulé dans le rapport de la mission. Cette nouvelle référence est obtenue à partir d'un débit centennal à l'amont de la zone urbaine de l'ordre de 700 m<sup>3</sup>/s (plus ou moins 150 m<sup>3</sup>/s) et d'apports urbains évalués à 200 m<sup>3</sup>/s en concomitance (plus ou moins 50 m<sup>3</sup>/s) en deçà de l'ordre de grandeur de la crue centennale du bassin aval estimé à 250 m<sup>3</sup>/s.

En conclusion, la conférence n'est pas unanime, deux experts sur dix considérant cette revalorisation du débit centennal du Lez aval comme excessive au regard des connaissances actuelles ; mais les nombreuses recommandations mises en avant pour affiner l'estimation de la crue de référence (en particulier celles visant à mieux cerner les apports de la partie karstique du bassin) et la considération du principe de précaution - au regard des enjeux, des incertitudes scientifiques sur les nombreuses hypothèses et approximations (nécessaires en l'état de l'analyse) et d'un futur climatique incertain - font consensus.

**zone géographique** : Région Languedoc-Roussillon

**nombre de pages** : 16 + annexes

n° d'affaire : 063925137

maître d'ouvrage : DIREN LR

référence : devis n° 25/137 du 24/11/2006



## SOMMAIRE

<b>1 INTRODUCTION.....</b>	<b>4</b>
1.1 Contexte.....	4
1.2 Objet.....	4
1.3 Documents remis aux experts.....	5
1.3.1 Documents de référence .....	5
1.3.2 Documents complémentaires.....	5
<b>2 DÉROULEMENT DE LA CONFÉRENCE SCIENTIFIQUE.....</b>	<b>6</b>
2.1 La commande et l'installation de la conférence .....	6
2.2 Les travaux de la conférence .....	7
2.3 Le rendu de la conférence .....	7
<b>3 AVIS DE LA CONFÉRENCE SUR LES TROIS POINTS SOUMIS PAR L'IGE.....</b>	<b>8</b>
3.1 Sur le point N°1.....	8
3.1.1 Questions préliminaires.....	8
3.1.2 Les débits du bassin amont à Lavalette.....	10
3.1.3 Conclusion sur l'estimation de la crue centennale amont par la DIREN .....	12
3.1.4 Recommandations des experts.....	12
3.2 Sur le point N°2.....	13
3.2.1 Analyse préliminaire des données topographiques.....	13
3.2.2 Les apports du bassin urbain aval.....	13
3.3 Sur le point N°3.....	15
3.3.1 Analyse météorologique des crues majeures récentes du Lez.....	15
3.3.2 Éléments d'analyse de la concomitance des crues rurales et urbaines.....	15
3.3.3 Conclusion.....	16
3.4 Conclusion sur le débit de la crue centennale à l'aval de Montpellier .....	16
<b>4 ANNEXES.....</b>	<b>17</b>
4.1 Annexe 1 : Documents complémentaires.....	18
4.2 Annexe 2 : Notes et courriers de la DIREN Languedoc-Roussillon.....	73
4.3 Annexe 3 : Compte-rendus des réunions de la conférence scientifique.....	78
4.4 Annexe 4 : Recommandations des experts.....	108
4.5 Annexe 5 : Contributions des experts.....	109
4.5.1 M. DESBORDES : Réponses aux « sous-questions » des 3 points posés à la conférence.....	110
4.5.2 M. DESBORDES : Étude statistique des débits du Lez à la station de Lavalette. 1975-2005. Données DIREN Languedoc Roussillon.....	114
4.5.3 P. LACHASSAGNE : État des connaissances du système karstique du Lez.....	116
4.5.4 P. LACHASSAGNE : Éléments sur le système karstique. Note d'avancement au 22/05/2007.....	128
4.5.5 M. LANG : Application rapide de la méthode du Gradex. Estimation de la crue centennale du Lez à Lavalette.....	144
4.5.6 J. LAVABRE : Éléments d'expertise de la crue du Lez.....	147
4.5.7 P. BOIS : Le Lez à Lavalette. Examen des documents et analyse concernant la courbe de tarage.....	168
4.5.8 M. BASSO : Le Lez aval Lavalette.....	172
4.5.9 R. GARÇON : Essai sur les incertitudes dans un contexte « gradexo-bayésien ».....	174
4.5.10 M. LANG : Étude de sensibilité sur l'application du Gradex.....	183

## 1 Introduction

### 1.1 Contexte

La mission d'Inspection Générale de l'Environnement, diligentée par le directeur de l'eau pour aider à la mise au point du programme de prévention des inondations sur le bassin versant du Lez et de la Mosson et de la protection de la ville de Lattes en particulier, a notamment conclu, dans son rapport du 4 juillet 2006<sup>1</sup>, sur la **nécessité d'arrêter une nouvelle référence pour la crue centennale du Lez à Montpellier** au droit de l'A9 dont l'estimation actuelle lui paraît très sous estimée au regard des dernières crues de 2002, 2003 et 2005.

La mission d'IGE a confié l'organisation et l'animation de la réflexion à la DIREN Languedoc-Roussillon. Cette réflexion a pris la forme d'une « conférence scientifique » mise en place par le Préfet de Région, associant des experts reconnus en hydrologie et en hydraulique.

Pour la conduite de la conférence et de cette expertise, la DIREN a souhaité l'appui technique du CETE Méditerranée dans le cadre de la mission d'assistance de ce dernier aux services dans le domaine de la gestion des risques d'inondation.

### 1.2 Objet

Les **points soumis à la conférence**, sur lesquels les experts doivent se prononcer, sont précisés dans un rapport complémentaire de l'IGE de novembre 2006, à savoir :

- ➔ **point 1** : l'estimation faite par la DIREN d'une crue centennale à l'amont de la zone urbaine de Montpellier (à Lavalette) à 650 m<sup>3</sup>/s est-elle appropriée ?
- ➔ **point 2** : sur la base de quelles données et/ou de quel raisonnement peut-on estimer les apports de la zone urbaine de Montpellier ?
- ➔ **point 3** : comment peut-on estimer la concomitance d'évènements pluvieux importants sur le bassin aval (zone urbaine) et des crues affectant le bassin amont ?

Le présent rapport fait la synthèse des hypothèses et méthodes proposées par les experts et mises en oeuvre pour répondre à ces trois questions, et des différents avis exprimés, longuement débattus.

---

<sup>1</sup> Rapport IGE/06/012 « Expertise des projets d'action de prévention des inondation sur le bassin du Lez » de Philippe QUEVREMONT



## 1.3 Documents remis aux experts

### 1.3.1 Documents de référence

Pour rédiger leurs avis, les experts ont pu s'appuyer sur les études et données récentes recensées par la DIREN et listées ci-dessous :

- ➔ « SAGE Lez Mosson Étangs Palavasiens, Expertise inondation », SIEE, avril 2006<sup>2</sup>.
- ➔ « Étude de faisabilité pour la réalisation de prévision des crues sur le bassin du Lez/Mosson », BRLi<sup>3</sup>.  
*Commentaire CETE :*  
*Le rapport de cette étude (rapport provisoire de la tranche ferme) n'est pas daté (fichier daté du 04/10/2006). Par ailleurs, ce rapport présente de nombreuses incohérences sur les valeurs de débit de pointe (entre le tableau 10 page 30, le tableau 16 page 37 et les hydrogrammes en annexe).*
- ➔ « Prise en compte des crues récentes dans l'analyse statistique des crues du Lez », DIREN Languedoc-Roussillon (SEMA), 9 juin 2006.
- ➔ « Expertise des projets d'action de prévention des inondations sur le bassin du Lez », Philippe Quévremont, 4 juillet 2006.  
*Commentaire CETE :*  
*Cette expertise s'appuie notamment sur l'analyse de P. Sergent et J.M. Tanguy jointe en annexe, intitulée : « Évaluation du projet de prévention des inondations sur le bassin du Lez, Réponses aux questions posées aux experts ».*
- ➔ « Rapport complémentaire à l'expertise des projets d'action de prévention des inondations sur le bassin du Lez ». Philippe Quévremont, novembre 2006.  
*Commentaire CETE :*  
*Ce rapport fournit en annexe une étude supplémentaire, « Expertise sur le risque lié à la rupture des digues du Lez sur la commune de Lattes. Rapport final », A. Paquier, CEMAGREF, U.R. Hydrologie-Hydraulique, septembre 2006.*

### 1.3.2 Documents complémentaires

Un certain nombre de documents (études et articles, hors contributions des experts dans le cadre de la conférence), fournis pour la plupart par les experts eux-mêmes, sont venus compléter la documentation de référence tout au long du déroulement de la conférence, permettant d'enrichir la réflexion (cf. annexe 1).

Il n'a pas été possible de financer d'études complémentaires dans le cadre de la conférence pour approfondir la connaissance du bassin du Lez. Les experts ont donc dû s'en tenir aux documents disponibles pour rédiger leurs avis mais la **nécessité de disposer de données et d'études complémentaires** ressort des conclusions du présent rapport.

<sup>2</sup>D'après fichier SIEE original « LM\_P1\_v9.doc »

<sup>3</sup>D'après fichier BRLi original « p:\cornille\4464\_f~1\07\_-r~1\4464\_t~3\4464\_tf\_rapport\_vpro01\_light.doc / Delichere »

## 2 Déroulement de la conférence scientifique

L'objet de ce chapitre est de rappeler les étapes clés de la conférence scientifique, depuis sa formation jusqu'à la présentation au Préfet des propositions de réponses aux points qui lui ont été soumis.

Les différents courriers, notes et compte-rendus, rappelés ci-après, figurent dans les annexes 2 et 3.

### 2.1 La commande et l'installation de la conférence

- **4 juillet 2006** : dans son rapport IGE/06/012 (P. Quevremont), la mission d'IGE recommande à la DIREN de réunir une « conférence scientifique » afin d'arrêter précisément une nouvelle référence pour la crue centennale prenant en compte les récentes crues de 2002, 2003 et 2005, à argumenter dans un document produit par la conférence.
- **novembre 2006** : dans son rapport complémentaire IGE/06/012, la mission précise les trois points soumis à la conférence scientifique (cf. §1.2).
- **10 novembre 2006** : la DIREN demande l'appui technique du CETE Méditerranée pour la conduite de l'expertise, depuis son cadrage initial jusqu'à l'organisation complète de la conférence : choix des experts, recueil et gestion de leur contribution, présentation des conclusions.
- **28 novembre 2006** : la DIREN passe commande au CETE Méditerranée.
- **18 janvier 2007** : réunion de démarrage DIREN / CETE (transmission des documents de référence, examen du calendrier, planification des premières échéances).
- **février 2007** : consultation DIREN / CETE pour la constitution du groupe d'experts et premières prises de contacts.
- **27 février 2007** : courrier de la Directrice de la DIREN, Mme STEINFELDER, pour invitation à la réunion de démarrage de la conférence scientifique, doublé d'un courriel CETE, adressé à chacun des **dix experts retenus**.
- **1<sup>er</sup> mars 2007** : réunion technique DIREN / CETE / DDE 34 pour mettre au point l'organisation de la conférence et son lancement programmé le 12/03/2007 (point sur la bibliographie, constitution du dossier à remettre aux experts, premières réflexions du CETE sur les questions aux experts).
- **12 mars 2007** : réunion d'ouverture de la conférence scientifique présidée par M. le Préfet THÉNAULT pour l'installation du comité des dix experts (6 présents) : introduction de la problématique, réactions des experts et annonce de l'échéance pour le rendu des travaux de la conférence fixée à octobre 2007.
- **26 mars 2007** : ouverture du serveur de la conférence scientifique (espace FTP ouvert sur le réseau du CETE) à l'adresse « ftp-q100lez » (mot de passe : nschtf).
- **27 mars 2007** : première réunion de la conférence scientifique (4 experts présents sur les 10) et visite de terrain. Examen du cours d'eau et des sites de mesure, définition des rôles et répartition parmi les experts :
  - sur le fonctionnement du karst, rédacteur : P. LACHASSAGNE (BRGM Montpellier).
  - sur la pluviométrie et l'hydrométrie, rédacteur : J. LAVABRE (CEMAGREF Aix-en-Provence)
  - sur l'hydrométrie et l'hydrologie statistique, rédacteurs : M. LANG (CEMAGREF Lyon), P. BOIS (professeur retraité de l'ENS Hydraulique Grenoble) et R. GARÇON (EDF / DTG).
  - sur l'hydrologie urbaine, rédacteurs : M. BASSO (IGPC retraité du MEDAD) et M. DESBORDES (université de Montpellier 2) avec la contribution de J.C. HÉMAIN (Montpellier Agglomération).
  - relecteurs : P. SERGENT (CETMEF Compiègne) et J.M. TANGUY (SCHAPI Toulouse).
- **24 avril 2007** : visite des stations de mesure organisée pour les experts absents le 27 mars 2007.

## 2.2 Les travaux de la conférence

- **20 avril 2007** : courrier de la DIREN adressé à MÉTÉO FRANCE (centre inter-régional Sud-Est) pour disposer d'un avis météorologique scientifique sur les événements majeurs de crue récents (de 2001 à 2005) et invitation à présenter cette analyse lors de la réunion de la conférence du 22 mai.
- **25 avril 2007** : deuxième réunion de la conférence scientifique (8 experts présents sur les 10). Présentations des premiers éléments sur le karst du Lez et son impact sur les crues du Lez, sur l'hydrométrie, sur les ajustements statistiques des débits à la station de Lavalette, sur les apports urbains et sur le laminage des crues. Premières réflexions sur la question des concomitances.
- **22 mai 2007** : troisième réunion de la conférence scientifique (8 experts présents sur les 10). Présentation par MÉTÉO FRANCE de la dynamique des événements majeurs depuis 2000 à partir des données de pluies et images radar sur ces épisodes récents. Présentation sur l'analyse des 4 plus fortes crues du Lez depuis 2000, sur la fourchette du débit centennal amont à Lavalette par application de la méthode du Gradex et des compléments sur le fonctionnement du système karstique et sur les rejets pluviaux urbains (nécessité de rencontrer les services techniques de Montpellier).
- **juin 2007** : invitation de Gilles BELAUD (Sup Agro) pour présenter les travaux d'étudiants sur la modélisation du Verdanson aval lors de la prochaine réunion de la conférence le 22 juin.
- **5 juin 2007** : P. BOIS est reçu à la DIREN LR pour consulter tous les dossiers, documents, données et procédures disponibles sur la station de Lavalette permettant une analyse critique de ce site.
- **22 juin 2007** : quatrième réunion de la conférence scientifique (8 experts présents sur les 10). Présentations sur l'analyse de la station de Lavalette, sur l'actualisation du calcul du débit centennal amont par le Gradex en fonction de nouvelles hypothèses et sur l'analyse bayésienne pour mieux en apprécier les incertitudes. Présentation des compléments d'analyse sur la crue de septembre 2003 et sur les apports urbains (première fourchette pour la crue de l'aval urbain à partir d'une synthèse des données disponibles depuis 1988).
- **11 juillet 2007** : M. BASSO et J.C. HÉMAIN sont reçus par A. VESTIER (Ville de Montpellier) pour compléter l'analyse sur les apports du bassin en aval de Lavalette à partir de données et études complémentaires.

## 2.3 Le rendu de la conférence

- **début août 2007** : rapport provisoire du CETE sur la synthèse des travaux de la conférence adressé à la DIREN.
- **août 2007** : examen par les experts du rapport provisoire.
- **septembre 2007** : prise en compte des compléments et corrections apportés par les experts dans la version finalisée du rapport de synthèse.
- **octobre 2007** : présentation au Préfet de Région du rendu des travaux de la conférence.

Ainsi, entre la réunion d'ouverture le 12 mars 2007 et la présentation du rendu de ses travaux sept mois plus tard en octobre 2007, la conférence s'est réunie à cinq reprises en mobilisant tous ses experts rédacteurs ou contributeurs dès la deuxième séance.

## 3 Avis de la conférence sur les trois points soumis par l'IGE

### 3.1 Sur le point N°1

En juin 2006, dans le cadre de l'expertise des projets d'action de prévention des inondations sur le bassin du Lez menée par l'IGE, la DIREN (SEMA) a actualisé l'analyse statistique des crues du Lez dans sa note « *Prise en compte des crues récentes dans l'analyse statistique des crues du Lez* », estimant à **650 m<sup>3</sup>/s** la crue centennale en amont de Montpellier à la station de Lavalette sur la commune de Montferrier : **les experts sont invités à se prononcer sur cette estimation faite par la DIREN.**

#### 3.1.1 Questions préliminaires

##### 3.1.1.1 Le fonctionnement karstique du bassin

Le Lez n'est pas un bassin versant ordinaire de part le rôle important joué par le karst et son influence vis à vis des crues. L'examen des documents de référence a pourtant montré que ce point est très peu évoqué dans les études antérieures disponibles. C'est pourquoi l'expertise a débuté par une analyse préliminaire du fonctionnement karstique du Lez afin de définir l'étendue réelle du bassin à prendre en compte et les principaux processus physiques en jeu en période de hautes eaux.

L'analyse par le BRGM du système karstique du bassin a permis d'apporter à la conférence des éléments de réponse concernant la caractérisation des propriétés du Lez amont karstique et son fonctionnement hydrologique, notamment sa capacité de stockage et de restitution<sup>4</sup>. Une étude de 2007 de HSM<sup>5</sup>, encore non publiée, a aussi alimenté la réflexion (référence [11] en annexe 1).

Parmi les éléments nouveaux à relier aux crues amont du Lez, la conférence retient que la source du Lez ne constitue pas, en hautes eaux, la seule émergence karstique du système aquifère du Lez.

Les experts retiennent également, des modèles conceptuels BRGM de reconstitution du débit du Lez en hautes eaux, les **non-linéarités du système « Lez amont karstique »**. Le karst, dont la capacité d'absorption serait limitée, conditionnerait ainsi un fonctionnement à seuil avec, schématiquement et chronologiquement, en réponse aux précipitations se produisant sur son bassin versant hydrogéologique :

- le remplissage du karst, partiellement « vidé » au cours de l'épisode sec précédent du fait de son drainage naturel et de son exploitation par pompage,
- la reprise des écoulements à la source du Lez puis aux exutoires temporaires,
- enfin la saturation des capacités d'absorption du système karstique (avant la décennale selon P. LACHASSAGNE) et par conséquent l'augmentation des écoulements de surface au droit de l'ensemble du bassin versant hydrogéologique (sur et au-delà du bassin versant topographique de la source du Lez).

#### **Conclusion :**

Les experts s'accordent à dire que la surface d'alimentation du Lez amont ne peut se résumer a priori aux 115 km<sup>2</sup> de surface du bassin versant topographique à Lavalette, notamment pour les événements pluvieux rares (hypothèse de 380 km<sup>2</sup> d'étendue du bassin de surface et souterrain) : le karst doit donc être considéré comme un facteur aggravant des crues du Lez, variable en fonction de son état de saturation.

Le fonctionnement à seuil de ce bassin amont karstique et l'absence d'éléments de calibration (pas de jaugeages sur les émergences temporaires de hautes et très hautes eaux, le Lirou notamment) rendent aujourd'hui hasardeux l'exercice de sa modélisation en très hautes eaux. Pour les experts, il apparaît donc important de se donner le temps et les moyens d'aller plus loin sur la connaissance du fonctionnement du karst (recensement des principaux exutoires temporaires connus du Lez, mesures des écoulements de crue de surface, estimation des écoulements passés ou potentiels sur la base d'une approche hydraulique, etc.).

**A défaut, dans le cadre de la présente expertise, l'apport du karst ne sera pris en compte que de façon très (trop) simple**, sous la forme d'un débit additionnel forfaitaire estimé avec beaucoup d'incertitude dans un ordre de grandeur de 100 m<sup>3</sup>/s (+ ou - 50 m<sup>3</sup>/s) d'après l'évaluation de la débitance maxi des différentes sources. Une analyse des couples averse-crues, basée sur les volumes précipités et les volumes écoulés, permettrait certainement de mieux cerner le comportement karstique du bassin.

<sup>4</sup> Ces éléments sont détaillés dans les différentes contributions du BRGM rapportées en annexe 5

<sup>5</sup> Hydrosciences Montpellier

### 3.1.1.2 L'analyse pluviométrique sur le bassin

La DIREN a réalisé son travail d'estimation sur la base d'une analyse de débits. La conférence a choisi d'utiliser, en sus, les pluies, via la méthode du Gradex explicitée dans la suite du présent rapport, pour l'extrapolation des ajustements. S'est alors posée la question de l'estimation des pluies d'occurrence centennale sur le bassin versant topographique du Lez pour laquelle l'expertise SIEE d'avril 2006 recommande de s'appuyer sur les recherches conduites sur la régionalisation des pluies extrêmes en Languedoc-Roussillon.

#### ➔ *Analyse régionale :*

Pour l'estimation des quantiles statistiques, la conférence s'est appuyée sur l'analyse régionale des précipitations, plus robuste que des ajustements ponctuels et moins sensible à l'échantillonnage, à partir de la méthode SHYREG<sup>6</sup> d'une part et de la loi régionale de HSM (L. NEPPEL) d'autre part.

Les éléments d'expertise sont détaillés dans les notes de M. DESBORDES en annexe 1 (référence [10]) et J. LAVABRE en annexe 5 (qui intègre le document de L. NEPPEL sur l'« *Application de la loi régionale des pluies journalières maximales annuelles sur le bassin versant topographique du Lez* »<sup>7</sup>).

Selon la méthode SHYREG, qui met en oeuvre un générateur régionalisé de pluies ponctuelles à l'échelle du km<sup>2</sup>, le quantile centennal moyen des pluies de 24 h atteint **319 mm** sur un pixel central du bassin versant topographique du Lez, sans prise en compte d'un abattement spatial.

Selon la loi régionale développée par L. NEPPEL pour les pluies ponctuelles journalières (origine fixe), les quantiles centennaux moyens sur le bassin versant topographique du Lez atteignent **229 mm** (soit un total sur 24 heures glissantes estimé à 263 mm), avec une variation sur le bassin de l'ordre de plus ou moins 10 % (valeur comparable de celle obtenue par la méthode SHYREG).

Sur la base des travaux de HSM, M. DESBORDES propose la valeur de **300 mm** pour la pluie centennale de 24 h sur ce bassin, déjà recommandée dans l'expertise SIEE d'avril 2006 (proposition alors retenue par les experts P. SERGENT et J.M. TANGUY de la mission IGE 06/012 du 4 juillet 2006).

#### ***Conclusion :***

Les experts de la conférence s'accordent pour utiliser les quantiles centennaux de pluies donnés par l'approche SHYREG, observant que toutes corrections faites sur les valeurs maximales ponctuelles entre pluie journalière d'origine fixe et pluie de 24 h d'origine mobile, les écarts entre les deux méthodes ne dépassent pas 20 %. Néanmoins, J. LAVABRE attire l'attention du groupe sur le fait que les pluies intégrées sur le bassin topographique du Lez atteignent, en décembre 2002 et septembre 2005, des cumuls de pluies surfaciques à 200 mm en moins de 24 h, soit inférieurs de 20 % seulement aux quantiles centennaux ponctuels proposés par L. NEPPEL.

#### ➔ *Compléments d'analyse de MÉTÉO FRANCE :*

MÉTÉO FRANCE, interrogé par la DIREN sur l'analyse météorologique des événements régionaux majeurs récents et la possibilité/probabilité d'observer sur le Lez de tels événements, a conclu que le Lez se situe sur la trajectoire des mouvements violents. Selon MÉTÉO FRANCE, un épisode type septembre 2002 ou septembre 2005 sur le Gard est donc possible et probable sur l'Hérault, par simple décalage des centres d'actions des pluies.

#### ***Conclusion :***

La probabilité d'occurrence n'étant pas quantifiable selon MÉTÉO FRANCE, ces observations apparaissent difficilement utilisables pour la conférence. A titre de comparaison, J. LAVABRE précise que par la méthode SHYREG, la pluie de 24 h de fréquence millénale sur le bassin Lez serait de l'ordre de 450 mm, soit nettement plus faible que les cumuls qui ont affectés la partie aval de la zone cévenole gardoise lors de l'événement de sept. 2002 atteignant ponctuellement des valeurs de l'ordre de 600 mm. Pour une telle pluie, les travaux de L. NEPPEL rapportés par M. DESBORDES montrent que la période de retour dépasserait 10 000 ans.

<sup>6</sup> Développée par le CEMAGREF avec METEO FRANCE

<sup>7</sup>A partir du document d'études de février 2007 transmis par M. DESBORDES (étude inondHis-LR dans le cadre du programme RDT - participation de Hydrosciences et du CEMAGREF Lyon)

## 3.1.2 Les débits du bassin amont à Lavalette

### 3.1.2.1 L'hydrométrie

En préliminaire à l'analyse statistique des débits amont à Lavalette, une expertise de cette station s'est révélée indispensable pour la conférence afin notamment de vérifier la cohérence de la courbe de tarage avec l'hydraulique et les points jaugés (sous le pont *a priori*).

Malgré l'absence du dossier DIREN de la station de Lavalette sur le Lez, P. BOIS a pu conclure, à partir des seules données de la Banque HYDRO et de la Base BAREME, à la cohérence de la courbe de tarage dans sa partie moyenne avec les lois de l'hydraulique fluviale, sans présumer de son exactitude.

J. LAVABRE a pu conforter la partie centrale de la courbe à partir des deux débits les plus élevés jaugés sur le Lez au pont Garigliano sur la crue du 12 décembre 2002 (184 et 330 m<sup>3</sup>/s) reportés en amont à la station de Lavalette en négligeant les apports intermédiaires.

#### **Conclusion :**

Si les résultats sont cohérents au regard des vitesses moyennes, ils n'en restent pas moins fragiles car fondés sur un seul jaugeage au-dessus de 100 m<sup>3</sup>/s (celui de 1979 à 290 m<sup>3</sup>/s). Les experts s'entendent donc pour accorder à la courbe de tarage une certaine fiabilité jusqu'à 300 m<sup>3</sup>/s et mettre des réserves sur l'extrapolation (strictement linéaire) incertaine au-delà de ce débit.

Pour aller plus loin dans l'analyse, ils soulignent la nécessité de retrouver le dossier DIREN de la station de Lavalette afin de répondre à un certain nombre de questions et d'incertitudes, en particulier sur la construction de la courbe, sur la correspondance de hauteur d'eau sous le pont et à l'échelle (variation des sections) et sur l'influence de l'écoulement à l'aval (seuil et forte courbure).

#### **Recommandations :**

Les experts partagent les recommandations de P. BOIS qui consistent, à court terme, à disposer de topographie au droit des sites de mesure et de jaugeage (profils à relever au droit du pont, du capteur et du seuil à l'aval) et à ajouter des échelles de contrôle du limnigraphe (si besoin échelles à maxima). Ils mettent en avant le besoin, à moyen terme, d'une analyse plus détaillée par modélisation hydraulique pour mieux cerner l'incertitude sur les débits au-delà de 300 m<sup>3</sup>/s.

### 3.1.2.2 Les ajustements statistiques sur les seuls débits

Le traitement statistique des débits de pointe de crues observés à la station de Lavalette sur la période 1975-2005 (séries extraites de la Banque HYDRO), réalisé à l'aide de l'ajustement d'une loi de Gumbel par la méthode des moments à l'échantillon des 20 débits de crue supérieurs à 100 m<sup>3</sup>/s, avait conduit la DIREN à proposer **650 m<sup>3</sup>/s** pour le débit centennal à l'amont de Montpellier dans la fourchette **[450-850]**<sup>8</sup>.

En procédant à divers ajustements de fonctions de distribution classiques à l'échantillon des débits de crue observés sur la même période (20 valeurs sur 31 années), M. DESBORDES retient la loi généralisée des valeurs extrêmes (GEV), qui conduit à une estimation de **600 m<sup>3</sup>/s**<sup>9</sup> pour la crue centennale, avec un intervalle de confiance à 95 % **[400-800]**. L'estimation est proche de celle de la DIREN, en étant inférieure de 8 %.

Il explique l'écart de 50 m<sup>3</sup>/s entre les deux estimations par l'utilisation de la DIREN d'un logiciel sans facteur correctif pour tenir compte de la taille de l'échantillon en fonction de la durée des observations.

#### **Conclusion :**

Les experts soulignent les problèmes d'échantillonnage révélés par l'examen des ajustements réalisés, (avec deux populations distinctes de débits de crue, insuffisants et difficiles à ajuster) indiquant que l'extrapolation du traitement statistique classique des débits observés en seulement 31 années à Lavalette n'est pas recommandée pour la crue centennale.

<sup>8</sup> Cf. « Prise en compte des crues récentes dans l'analyse statistique des crues du Lez », DIREN Languedoc-Roussillon (SEMA), 9 juin 2006

<sup>9</sup> Valeur correspondant à peu près à la moyenne des résultats des diverses lois et méthodes d'ajustements détaillés en annexe 1 (référence [9] dans les documents complémentaires) compris entre 530 et 640 m<sup>3</sup>/s

### 3.1.2.3 Les ajustements statistiques sur les débits complétés par la méthode du Gradex et l'analyse bayésienne

Plutôt qu'une simple analyse fréquentielle sur les données disponibles à Lavalette, lesquelles n'autorisent pas une évaluation statistique fiable de la crue centennale du Lez, c'est la méthode du Gradex que les experts ont majoritairement choisi d'appliquer, en intégrant les analyses précédentes sur les statistiques de pluies et le fonctionnement du karst sur ce bassin particulièrement complexe.

#### ➔ *Application de la méthode du Gradex<sup>10</sup> :*

En testant **deux hypothèses de fonctionnement du bassin amont karstique et de Gradex des pluies**, M. LANG obtient, par application de la méthode du Gradex sur les 115 km<sup>2</sup> de surface du seul bassin topographique à Lavalette et sur la base d'une durée caractéristique de 6 h<sup>11</sup> et d'un abattement spatial de 0,77<sup>12</sup>, une fourchette très large pour le débit de pointe centennal [**515 m<sup>3</sup>/s - 820 m<sup>3</sup>/s**] :

- **hypothèse basse à 515 m<sup>3</sup>/s :**  
Dans cette hypothèse, M. LANG se base sur un pivot à 10 ans comme seuil d'extrapolation par le Gradex et une valeur basse à 22 mm du Gradex des pluies de 6 h d'après l'atlas Cévennes-Vivarais (Gradex de pluies d'automne qui plus est non centrées). Le calcul réalisé ne prend pas en compte l'effet du karst.
- **hypothèse haute à 820 m<sup>3</sup>/s :**  
Dans cette hypothèse, M. LANG considère une saturation plus rapide du bassin (période de retour du point pivot avancée à 5 ans), une valeur à 27 mm du Gradex des pluies de 6 h d'après l'estimation SHYREG et un débit additionnel pris forfaitairement à 100 m<sup>3</sup>/s pour tenir compte des apports maximaux du karst estimés lors des crues du Lez (préféré à une surface additionnelle contributive liée au karst en complément de celle du bassin topographique à Lavalette).
- **valeur centrale et incertitudes :**  
Étant donné les incertitudes sur les hauts débits, estimées à 20 % pour les erreurs sur l'hydrométrie et l'échantillonnage, M. LANG propose une valeur centrale à **700 m<sup>3</sup>/s (+ ou - 150 m<sup>3</sup>/s)**.

#### ➔ *Traitement des incertitudes par l'analyse bayésienne<sup>13</sup> :*

Sur la base d'hypothèses très proches de celles de M. LANG (un pas de temps de 6 heures, un seuil d'extrapolation à 7 ans<sup>14</sup>, un Gradex des pluies de 6 heures de 27 mm et une contribution du karst estimée à 100 m<sup>3</sup>/s), R. GARÇON a cherché à mieux quantifier les incertitudes sur le débit centennal liées à l'application de la méthode du Gradex, en confrontant les hypothèses a priori aux observations. Par cette analyse, il obtient un intervalle de crédibilité à 80 % de [**570 m<sup>3</sup>/s - 820 m<sup>3</sup>/s**] autour d'une valeur centrale arrondie à **700 m<sup>3</sup>/s**.

#### **Conclusion :**

Une majorité d'experts note l'intérêt de l'analyse réalisée sur la méthode mise en oeuvre, qui permet d'affiner les incertitudes initiales et d'associer une probabilité à l'intervalle de crédibilité du débit de pointe centennal, tout en soulignant l'incertitude finale qui reste forte.

M. DESBORDES conteste la méthode, préconisant une approche déterministe plus simple basée sur la pluie et les volumes qu'elle peut générer<sup>15</sup>. Compte tenu de ses réserves sur la valeur centrale revue à la hausse, il maintient sa proposition de crue centennale du Lez à 600 m<sup>3</sup>/s à Lavalette.

<sup>10</sup> Les éléments complets de l'analyse figurent dans les différentes contributions de M. LANG en annexe 5

<sup>11</sup> Le pas de temps journalier est trop éloigné du fonctionnement en crue

<sup>12</sup> Ratio issu des pluies journalières

<sup>13</sup> Les éléments complets de l'analyse figurent dans le document de R. GARÇON en annexe 5

<sup>14</sup> Valeur de la période de retour du point pivot prise entre 5 et 10 ans

<sup>15</sup> Éléments détaillés dans les différents documents de M. DESBORDES en annexe 1

### 3.1.3 Conclusion sur l'estimation de la crue centennale amont par la DIREN

Dans son estimation, la DIREN donnait une fourchette très large de [450 – 850 m<sup>3</sup>/s] centrée sur la valeur 650 m<sup>3</sup>/s, remettant ainsi en cause la valeur de 500 m<sup>3</sup>/s utilisée jusque là.

La chronique de débits à Lavalette ne dépassant pas 30 ans, une majorité d'experts s'accorde sur l'utilisation de la méthode du Gradex qui complète l'analyse des seuls débits par l'information pluviométrique sur le bassin. Avec les compléments de l'analyse bayésienne, ils retiennent un intervalle de crédibilité à 80 % de [570 m<sup>3</sup>/s - 820 m<sup>3</sup>/s] autour d'une valeur centrale arrondie à 700 m<sup>3</sup>/s.

Compte tenu des incertitudes sur les valeurs de débit (nombreuses hypothèses et approximations), de la complexité du fonctionnement du bassin (surface à peu près connue mais systèmes non linéaires) et des limites des méthodes utilisées (dans des temps et avec des moyens limités), les experts concluent qu'il est impossible de trancher précisément sur la valeur « fiabilisée » du débit centennial du Lez à Lavalette.

### 3.1.4 Recommandations des experts

Partant du constat que l'échantillon des données de crues n'est pas fiable (extrapolation de la courbe de tarage non validée) et de taille trop réduite, les experts estiment très délicate une extrapolation à 100 ans basée sur la seule distribution des débits. L'exploitation de l'information pluviométrique leur semble indispensable mais les experts observent une forte sensibilité des résultats aux hypothèses de départ.

Ainsi, plutôt qu'une analyse probabiliste sur ce bassin versant très complexe, **ils privilégient une modélisation pluie-karst-débit du bassin**, certes longue et difficile mais plus pertinente et réaliste. Cette approche permettrait en outre de mieux cerner les apports de la partie karstique du bassin.

Leurs conclusions recommandent également de prendre en compte l'information sur les crues anciennes dans le cadre d'études complémentaires nécessaires pour mieux préciser et traiter ces informations historiques (utilisation des cotes d'évènements très anciens au pont Juvenal).



## 3.2 Sur le point N°2

S'appuyant sur l'expertise de P. SERGENT et J.M. TANGUY estimant entre 200 et 300 m<sup>3</sup>/s la contribution de la zone urbanisée de Montpellier par écrêtement intuitif d'un débit théorique centennal calculé par une formule rationnelle sur le seul bassin du Verdanson, P. QUEVREMONT (rapport IGE/06/012 du 4 juillet 2006) retient en première approche la valeur de **250 m<sup>3</sup>/s**. Dans son rapport complémentaire de novembre 2006, il interroge les experts de la conférence sur les données et/ou raisonnement permettant d'estimer les apports de la zone urbaine de Montpellier au Lez.

### 3.2.1 Analyse préliminaire des données topographiques

En s'appuyant sur le découpage des bassins versants sur l'agglomération de Montpellier se rejetant au Lez<sup>16</sup>, M. BASSO considère que son affluent principal le Verdanson ne résume pas tous les apports hydrologiques urbains. Il note en particulier la zone urbaine de Castelnau en rive gauche du Lez sur 13.4 km<sup>2</sup> (selon SIEE) et autres bassins diffus (comme le Nord-Est de Montpellier en rive droite) couvrant une surface totale d'environ 24 km<sup>2</sup> dont il apparaît trop réducteur de négliger les apports. En ajoutant les surfaces d'alimentation du Verdanson et de la Lironde drainant respectivement 14.5 et 12.1 km<sup>2</sup> d'après SIEE, M. BASSO relève à **50 km<sup>2</sup>** l'étendue de la zone urbanisée à l'aval de Lavalette (au droit de l'A9) estimée à 40 km<sup>2</sup> seulement dans l'expertise pour le rapport QUEVREMONT.

Ainsi, les éléments fournis à la conférence sur le bassin urbain aval, en particulier le repérage de ses sous bassins sur plan au 1/12500 transmis et explicité par J.C. Hémain, ont permis de mieux préciser la surface du bassin versant aval à prendre en compte pour estimer ses apports au Lez. M. BASSO souligne cependant l'incertitude sur la surface du bassin versant du Verdanson, variant entre 11.8 km<sup>2</sup> pour BRL et 14.5 km<sup>2</sup> pour SIEE.

### 3.2.2 Les apports du bassin urbain aval

Les experts, s'accordant sur le peu d'informations disponibles sur le sujet dans la documentation remise, ont sollicité les services de la Ville et de l'Agglomération par l'intermédiaire de J.C. HEMAIN pour tenter de disposer du complément d'informations nécessaires sur les écoulements pluviaux (les conditions de rejet, les capacités des exutoires, les stockages urbains et leur volume, les enregistrements aux stations municipales de mesure lors des événements pluviaux majeurs récents, etc.).

#### 3.2.2.1 Le bassin intermédiaire entre les stations de Lavalette et Garigliano

A l'aval de Lavalette, l'estimation des apports des trois bassins en amont du Verdanson (La Lironde en rive droite, la zone de Castelnau en rive gauche et autres bassins diffus réunis) est délicate, ces bassins ne demandant qu'à ruisseler mais en provoquant des stockages locaux difficiles à évaluer.

Concernant la zone urbaine de Castelnau, M. BASSO indique, sur la base de l'étude BCEOM du schéma directeur pluvial de la Ville, que les apports « centennaux » de la rive gauche de Castelnau au Lez sont bornés à 60 m<sup>3</sup>/s dans les conditions d'écoulement actuelles sur ce bassin caractérisé semble-t-il par une tendance plus forte à stocker qu'à drainer.

Compte tenu du peu d'informations disponibles sur les autres bassins, les experts décident de s'appuyer sur l'étude des épisodes de crues dont les pluies ont affecté essentiellement l'aval du Lez pour déterminer un ordre de grandeur des apports de l'ensemble du bassin intermédiaire. L'épisode aval assez remarquable de septembre 2003 constitue à ce titre une référence intéressante.

Ainsi, à partir de l'analyse de la crue du 22/09/2003, J. LAVABRE parvient à estimer les apports urbains hors Verdanson<sup>17</sup> dans un ordre de grandeur de **125 m<sup>3</sup>/s**, générés par le bassin intermédiaire de 32 km<sup>2</sup> entre les stations de Lavalette et Garigliano. Lors de cet événement, la partie aval du bassin a été affectée par une pluie remarquable de 242 mm en pluie journalière maximale (tandis que l'épisode pluvieux est bien plus ordinaire à l'amont, le total journalier intégré sur le bassin étant de 125 mm), caractérisée par une certaine homogénéité spatiale et un cumul centennal sur une durée de 2 heures certainement caractéristique de ce bassin (selon les quantiles SHYREG, cf. note du 07/06/2007 de J. LAVABRE en annexe 5).

<sup>16</sup> Plan d'ensemble au 1/12500 de la Ville de Montpellier (décembre 2006)

<sup>17</sup> La station récente de Garigliano se situe en amont du confluent du Verdanson

### 3.2.2.2 Le bassin du Verdanson

En se référant à une étude en cours de la Ville (encore non validée), J.C. HÉMAIN indique que le débit maximum du Verdanson à son extrémité, limité par la capacité des exutoires à 100 m<sup>3</sup>/s environ, n'a rien de commun avec le débit hydrologique centennal théorique de l'ordre du triple.

A partir des informations recueillies dans l'étude HYDROLOGIC sur l'ouvrage du pont des Pradiers sur le Verdanson (cadre limitant aval), recoupées avec les travaux SUP-AGRO de modélisation du Verdanson aval (rapport [4] en annexe 1), M. BASSO relève à **130 m<sup>3</sup>/s** le débit capable du Verdanson à son débouché dans le Lez. De plus, il s'interroge sur les conditions d'écoulement pour ce débit aval, les documents disponibles ne permettant pas de conclure que le débordement est atteint.

### 3.2.2.3 Le bassin urbain au droit de l'A9

Tout en visant les inconnues sur la fiabilité de la courbe de tarage à la station municipale de Moulin l'Evêque en aval du Verdanson, M. BASSO montre que les apports aval Garigliano pour la crue du 22/09/2003 sont de l'ordre de 130 m<sup>3</sup>/s sur la seconde pointe, évaluant ainsi à **250 m<sup>3</sup>/s** environ le cumul à l'aval de Lavalette au droit de l'A9 observé lors de cette crue pouvant être qualifiée de centennale.

### 3.2.2.4 Conclusion

Une des questions majeures qui s'est posée aux experts est celle de l'écrêtement des débits générés par les bassins urbains par les stockages en superficiel sur Montpellier dont le volume est difficile à évaluer.

Plutôt que d'appliquer la formule rationnelle inadaptée à un bassin de cette taille, conduisant à une majoration excessive des débits démontrée dans les notes de M. DESBORDES<sup>18</sup> (pas d'amortissement des ondes de crue dans leur propagation), les experts ont majoritairement privilégié l'exploitation des données sur le Lez et le Verdanson observées lors des événements majeurs récents sur le bassin aval<sup>19</sup>.

En particulier, l'examen des crues de septembre 2005 et septembre 2003 a montré que des débits non négligeables, supérieurs à la centaine de m<sup>3</sup>/s, peuvent être générés par les zones urbaines non comprises dans le bassin du Verdanson, les apports des 50 km<sup>2</sup> de surface totale du bassin aval urbain pouvant facilement atteindre selon J. LAVABRE un débit de pointe de 200 m<sup>3</sup>/s (déjà observé à deux reprises récemment), estimés à 250 m<sup>3</sup>/s par M. BASSO pour la crue aval de septembre 2003 pouvant être qualifiée de centennale. Pour affiner l'analyse, les experts recommandent notamment l'examen des rapports événementiels pour identifier les principales zones inondées lors des événements récents et estimer les volumes en cause.

Considérant que la crue du Verdanson passe avant l'arrivée des apports urbains, estimant le temps de réponse du Verdanson de 1 h à 2 h, M. DESBORDES et J.C. HÉMAIN contestent la valeur haute de l'estimation des apports urbains (250 m<sup>3</sup>/s), trop forte selon eux, et préconisent de raisonner sur les pluies nécessaires pour générer ces débits.

<sup>18</sup> Notes de lecture de M. DESBORDES sur le rapport QUEVREMONT du 4 juillet 2006 en annexe 1 référence [9]

<sup>19</sup> Les éléments d'expertise sont détaillés dans les contributions de J. LAVABRE et M. BASSO en annexe 5

### 3.3 Sur le point N°3

En répercutant en aval l'augmentation du débit amont du Lez à Lavalette estimé à 650 m<sup>3</sup>/s par la DIREN, les experts de la mission d'IGE retiennent un débit induit de 900 m<sup>3</sup>/s pour la crue centennale en aval de Montpellier au droit de l'A9, ajoutant aux 650 m<sup>3</sup>/s les 250 m<sup>3</sup>/s générés par la zone urbaine.

Dans le rapport QUEVREMONT du 4 juillet 2006, la mission considère que les éléments remis ne lui permettent pas de conclure sur ce point. C'est pourquoi elle interroge les experts de la conférence sur le raisonnement permettant d'« *estimer la concomitance d'évènements pluvieux importants sur le bassin aval (zone urbaine) et des crues affectant le bassin amont* ».

#### 3.3.1 Analyse météorologique des crues majeures récentes du Lez

Pour les experts, une configuration de cellules orageuses Sud-Nord avec d'abord un système étendu puis de fortes pluies sur le bassin aval paraît difficile à probabiliser, ce que leur confirme MÉTÉO FRANCE dans son analyse de la dynamique des évènements majeurs récents à partir des données de pluies et images radar sur ces épisodes. Interrogé sur la possibilité/probabilité d'observer une précipitation courte et intense sur Montpellier survenant après une précipitation de quelques heures sur le Lez, MÉTÉO FRANCE conclut que ce type de phénomène est possible et probable sur Montpellier comme sur n'importe quelle zone du Languedoc-Roussillon (sur la base des orages remarquables du 22/09/2003 sur Montpellier, du 05/08/1989 sur Narbonne ou encore du 03/10/1988 sur Nîmes) tout en indiquant que la concomitance de la pointe rurale amont avec celle urbaine aval ne peut être précisément quantifiée.

#### 3.3.2 Éléments d'analyse de la concomitance des crues rurales et urbaines

La forme assez étale des hydrogrammes ruraux observée par J. LAVABRE pour certaines crues, conséquence du mode de formation des crues avec prédominance d'écoulements souterrains, peut sembler propice à une concomitance de la crue rurale avec les apports urbains, ce à quoi d'autres experts opposent que les débits ruraux et urbains ne sont pas générés par le même type de pluie.

Citant en première approche l'utilisation classique de lois du type  $Q_{100}=a.S^b$  (avec  $b < 1$ ), les experts s'accordent à dire qu'une concomitance parfaite des deux pointes centennales, si elle n'est pas exclue, est cependant plus que centennale. Outre le léger écrêtement du débit depuis Lavalette d'après l'extrait de l'étude BCEOM<sup>20</sup> (référence [5] en annexe 1) qui ne traite toutefois que des débits théoriques, sans apport aval et supérieurs au centennal admis, **l'addition brutale des pointes ne peut conduire qu'à un événement statistique plus rare.**

Ainsi, sur la base des constatations de débits produits par la zone urbaine sur la crue de septembre 2003 en grande partie générée par des pluies intenses sur la partie aval du bassin, dont les estimations (dans la réponse au point 2) doivent être confortées, M. BASSO propose, pour la contribution des 50 km<sup>2</sup> de surface du bassin aval urbain, la fourchette [150 - 250 m<sup>3</sup>/s] jugée plus réaliste que celle estimée dans le rapport QUEVREMONT ([200 - 300 m<sup>3</sup>/s]) pour obtenir une centennale du Lez au droit de l'A9.

A ce stade, M. BASSO et J. LAVABRE proposent pour l'apport urbain au Lez un débit de **200 m<sup>3</sup>/s** centré dans la fourchette proposée, à ajouter à l'estimation du débit centennal à Lavalette ; M. LANG ajoute que cette valeur correspond à un débit spécifique de 4 m<sup>3</sup>/s.km<sup>2</sup> (200 m<sup>3</sup>/s pour 50 km<sup>2</sup>) inférieur au débit retenu pour le secteur rural de 6 m<sup>3</sup>/s.km<sup>2</sup> (700 m<sup>3</sup>/s pour 115 km<sup>2</sup>), ce qui selon lui montre bien que le débit de 200 m<sup>3</sup>/s proposé pour le secteur urbain intègre l'effet de laminage lié à la débitance maximale des exutoires hydrauliques (cf. §3.2.2.2 sur le bassin du Verdanson).

M. DESBORDES et J.C. HÉMAIN contestent cette valeur, considérant le décalage des hydrogrammes (réaction beaucoup plus rapide du secteur urbain) et l'effet de laminage du débit dans la traversée de la zone urbanisée.

<sup>20</sup>De l'ordre de 8 % entre l'amont de Castelnau et l'A9 pour un hydrogramme théorique à 1 000 m<sup>3</sup>/s injecté à Lavalette

### 3.3.3 Conclusion

Les experts s'accordent à dire qu'il n'est pas possible, dans l'état actuel des connaissances du bassin à partir des études disponibles, de fournir des éléments scientifiques fiables et suffisants pour quantifier le risque de concomitance entre les deux pointes de crues, étant entendu que la simple addition de débits par bassin versant supposés centennaux leur paraît inutilement pénalisante. Ils ajoutent que cette question de la concomitance est rendue encore plus délicate par l'importance de l'état initial des sols et du karst.

Pour une majorité d'experts, l'analyse des débits reconstitués lors des crues de septembre 2003 et septembre 2005 montre qu'une fourchette de **[150 - 250 m<sup>3</sup>/s] pour les apports urbains à ajouter à la crue centennale à Lavalette leur semble plus réaliste que le débit de 250 m<sup>3</sup>/s mentionné dans le rapport QUEVREMONT.**

### 3.4 Conclusion sur le débit de la crue centennale à l'aval de Montpellier

Sur les travaux réalisés dans le cadre de la mission, les experts s'accordent à dire que la fourchette [850 - 950 m<sup>3</sup>/s] donnée dans le rapport de la mission pour le débit centennial du Lez au droit de l'A9 est déjà très étroite. Il leur paraît en effet illusoire de pouvoir l'affiner « *sur des bases scientifiques incontestables* ».

Sur les travaux présentés en séance pour tenter de répondre aux trois questions de P. QUEVREMONT, force est de constater l'absence de consensus des experts :

- une majorité d'entre eux (MM. BASSO, BOIS, GARÇON, LANG et LAVABRE) concluent sur un débit centennial à Lavalette de **700 m<sup>3</sup>/s** (avec un intervalle de crédibilité à 80 % de [570 - 820 m<sup>3</sup>/s]) et une crue centennale du Lez en aval de Montpellier de **900 m<sup>3</sup>/s** obtenue à partir d'apports urbains évalués à **200 m<sup>3</sup>/s** (dans une fourchette de [150 m<sup>3</sup>/s - 250 m<sup>3</sup>/s]), inférieurs à l'ordre de grandeur estimé d'un phénomène centennial sur le bassin aval. Ces apports intègrent le risque toujours possible d'une crue généralisée et le laminage induit par les ouvrages hydrauliques du secteur urbain.
- d'autres experts (MM. DESBORDES et HÉMAIN) considèrent que cette évaluation à 900 m<sup>3</sup>/s du débit centennial au droit de l'A9 est excessive au regard des connaissances actuelles, notamment sur les précipitations capables de provoquer ce débit et sur la concomitance des crues rurales et urbaines. Expriment des réserves sur la valeur de 700 m<sup>3</sup>/s à Lavalette proposée par leurs collègues, ils retiennent plutôt un débit de **600 m<sup>3</sup>/s** à l'amont de la zone urbaine de Montpellier (avec un intervalle de crédibilité à 95 % de [400 m<sup>3</sup>/s - 800 m<sup>3</sup>/s]) et une crue centennale au droit de l'A9 inférieure à **800 m<sup>3</sup>/s**.

**Dans ces conditions, la conférence n'est pas unanime, mais elle rejoint dans une forte majorité les inquiétudes initiales** de la mission d'Inspection Générale de l'Environnement sur une sous-estimation du débit centennial de référence du débit aval du Lez au droit de l'A9.

Parmi les nombreuses recommandations<sup>21</sup> que les experts s'accordent à formuler, l'analyse approfondie du fonctionnement physique de l'ensemble du bassin versant du Lez, prenant en compte l'historique des précipitations ainsi que leur distribution spatiale, est mise en avant pour aller plus loin dans la connaissance du bassin et de son fonctionnement (karst notamment), analyse que les experts n'ont eu ni le temps ni les moyens de réaliser. Ainsi, la modélisation hydrologique du Lez (modèle conceptuel pluie-karst-débit) leur apparaît être à ce stade une étape nécessaire et indispensable dans la compréhension des crues de son bassin. Elle pourra ensuite être exploitée pour affiner l'estimation probabiliste de la crue centennale.

<sup>21</sup>Synthétisées dans l'annexe 4

## 4 Annexes

<b>Annexe 1</b> : documents complémentaires.....	p.18
<b>Annexe 2</b> : notes et courriers de la DIREN Languedoc-Roussillon.....	p.73
<b>Annexe 3</b> : compte-rendus des réunions de la conférence scientifique.....	p.78
<b>Annexe 4</b> : recommandations des experts.....	p.108
<b>Annexe 5</b> : contributions des experts.....	p.109

## 4.1 Annexe 1 : Documents complémentaires

- [1] « Bilan hydrologique du Lez à Lavalette ». Guerrin, CEMAGREF, juillet 1982.
- [2] « Délimitation des zones inondables du Lez. Avis sur les études réalisées ». J. de Saint Seine, CETE Méditerranée, septembre 1989.
- [3] « Temps de concentration Formules Bressand-Golossof ». M. Desbordes, avril 2004.  
.....p.19
- [4] « Caractérisation hydraulique et hydrologique du bassin versant urbain du Verdanson. Rapport de projet d'ingénieur pour la DIREN LR ». SupAgro, mars 2005.
- [5] « Aménagement de protection contre les inondations de la Basse Vallée du Lez, Analyse du fonctionnement hydraulique du projet ». Rapport 40101R\_V2/JFG, BCEOM, juin 2006.
- [6] « Débits potentiels du Lez ». M. Desbordes, Polytech'Montpellier, Université Montpellier II, 1<sup>er</sup> juin 2006 (revu le 2 mars 2007).  
.....p.27
- [7] « Débits rares du Lez ». M. Desbordes, Polytech'Montpellier, Université Montpellier II, 5 juillet 2006  
.....p.32
- [8] « Contournement ferroviaire de Nîmes et Montpellier. Études spécifiques hydrauliques en préalable à l'Avant Projet Détaillé. Le Lez et la Lironde. Rapport d'avancement. ». Rapport 60109S/JFG, BCEOM, octobre 2006.
- [9] « Notes de lecture sur le rapport de l'IGE du 4 juillet 2006 : Expertise des projets d'action de prévention des inondations sur le bassin du Lez ». M. Desbordes, Polytech'Montpellier, Université Montpellier II, 30 janvier 2007 (revu le 7 février 2007).  
.....p.34
- [10] « Pluies extrêmes sur Montpellier et ses environs ». M. Desbordes, Polytech'Montpellier, Université Montpellier II, 05/03/2007.  
.....p.47
- [11] « Incidence d'une gestion active de la ressource en eau en milieu karstique sur le risque hydrologique. Exemple du Fleuve Lez (Montpellier, France) ». Jourde H., Roesch A., Hydrosociences Montpellier, Université Montpellier II.  
.....p.50
- [12] « Dynamics and contribution of karst groundwater to surface flow during Mediterranean flood ». Jourde H., Roesch A., Guinot V., Bailly-Comte V., Environ Geol (2007) 51: 725-730.  
.....p.64
- [13] « La pluviométrie de l'année 2003 ». Service des Eaux, Ville de Montpellier, janvier 2004.  
.....p.70

### Avertissement :

*Parmi les documents référencés dans cette annexe bibliographique, seules les notes et articles (identifiées sous les numéros [3], [6], [7], [9], [10], [11], [12] et [13]) sont rapportées dans les pages suivantes.*

# Temps de concentration

Michel DESBORDES

Soit une plaque plane de pente  $\alpha$ , de longueur L, de rugosité superficielle K (Strickler), recevant une intensité constante de pluie i. En supposant que l'écoulement sur cette plaque peut être approximé par un modèle d'onde cinématique, le « temps de concentration de la plaque », instant au bout duquel apparaît le débit maximal à l'extrémité aval répond à :

$$T_c \text{ (s)} = L^{0,6} \text{ (m)} \times K^{-0,6} \times \alpha^{-0,3} \text{ (m/m)} \times i^{-0,4} \text{ (m/s)} \quad (\text{eq.1})$$

Avec t en minutes et i en mm/h, l'équation 1 devient :

$$T_c \text{ (min)} = 6,99 \times L^{0,6} \times K^{-0,6} \times \alpha^{-0,3} \times i^{-0,4} \quad (\text{eq.2})$$

Cette relation est, notamment, utilisée pour estimer les temps de concentration et les débits de ruissellement de structures comme des plate-formes autoroutières ou des pistes d'aviation.

Ainsi, pour une plaque correspondant à L = 40 m,  $\alpha = 0,01$ , K = 40 et i = 60mm/h, le temps de concentration serait de 5,4 minutes. Sachant que la profondeur d'écoulement à l'extrémité aval de la plaque répond à

$$h = i \times t \quad (\text{eq. 3})$$

et que le débit par unité de largeur peut être approché par :

$$q = K \times \sqrt{\alpha} \times h^{5/3} \quad (\text{eq. 4})$$

Le débit à l'équilibre s'écrit simplement :

$$Q = L \times i \quad (\text{eq. 5})$$

Soit dans l'exemple ci-dessus  $q = 0,67 \text{ l / (s} \times \text{m)}$

L'équation 1 suppose que la durée de la pluie est supérieure ou égale à  $t_c$ , et que le ruissellement superficiel en nappe est homogène et isotrope. Elle suppose également la plaque sèche au début de la pluie. Ce type d'écoulement n'est approximativement observé qu'en milieu urbain, sur des surfaces imperméables (toitures, voiries, parkings). Il est exceptionnel en milieu naturel ou rural. Les temps de concentration ainsi calculés correspondraient, à des bornes inférieures des temps de concentration de versants naturels, ou ruraux. Pour ces versants, la principale difficulté réside dans l'estimation d'une rugosité « équivalente ».

On peut tenter de comparer l'équation 1 à celle proposée par Ph. Lefort dans la note de décembre 93 et dérivée d'une formule élaborée par Askew (J. Astier et al. 1993) :

$$T_c \text{ (h)} = 1,8 \times L^{0,6} \text{ (K}_m) \times \alpha^{-0,33} \text{ (m/m)} \times R_m^{-0,23} \text{ (mm)} \quad (\text{eq. 6})$$

En utilisant les mêmes unités, l'équation 6 devient :

$$T_c \text{ (min)} = 1,71 \times L^{0,6} \text{ (m)} \times \alpha^{-0,33} \text{ (m/m)} \times R_m^{-0,23} \text{ (mm)} \quad (\text{eq. 7})$$

Dans cette expression  $R_m$  représente le ruissellement journalier, évalué selon :

$$R_m = 0,8 (P_j - P_o) \quad (\text{eq.8})$$

$P_j$  étant la pluie journalière en mm et  $P_o$  le seuil de ruissellement en mm également. Le terme  $R_m$  peut donc être assimilé au ruissellement « net » journalier, selon la terminologie en usage en hydrologie.

Les équations 2 et 7 ont la même structure et, en particulier L et  $\alpha$  y ont des poids comparables. Les différences tiennent dans :

- l'identification de la rugosité de surface dans la formule 2,
- le poids de l'intensité de la pluie,
- les bases de temps prises en compte : l'équation 2 considère des temps de la minute à l'heure, l'équation 7, la journée.

Une comparaison des 2 formules n'est donc pas évidente a priori. On peut modifier l'équation 2 en introduisant une approximation de l'intensité moyenne par le biais d'une relation empirique du type « intensité – durée – fréquence », par exemple.

$$i(t, T) = a(T) t^{b(T)} \quad (\text{eq. 9})$$

Dans cette dernière relation, appelée parfois formule de Montana, T représente la période de retour de l'intensité maximale moyenne de précipitation. Introduisant l'équation 9 dans l'équation 2, il vient :

$$T_c = (M \times a^{-0.4})^{[1/(1+0.4b)]} \quad (\text{eq.10})$$

Avec  $M = 6,99 \times L^{0.6} \times K^{-0.6} \times \alpha^{-0.3}$

Considérons alors des pluies à caractère rare en Languedoc-Roussillon. Pour le secteur Nîmes-Montpellier, J. Lavabre rappelle les valeurs des coefficients a et b (Lavabre 2004). Pour des pluies de 1h à 6h, l'équation 10 serait :

$$T_c (\text{min}) = (0,524 \times L^{0.6} \times K^{-0.6} \times \alpha^{-0.3})^{1,242} \quad (\text{eq.11})$$

et pour des pluies de 6h à 24h :

$$T_c (\text{min}) = (0,275 \times L^{0.6} \times K^{-0.6} \times \alpha^{-0.3})^{1,437} \quad (\text{eq.12})$$

Supposons 2 « unités hydrologiques » de « longueur » 1 000 et 10 000 mètres. Avec, en outre,  $K = 5$  et  $\alpha = 0,02$  on aurait :

- $L = 1000$  m,  $T_c = 81$  minutes soit une vitesse moyenne d'écoulement de 0,2 m/s (eq.11).
- $L = 10\ 000$  m  $T_c = 9\text{h}43$  minutes et vitesse moyenne 0,28 m/s

La valeur de  $K = 5$  n'a pas de signification physique formelle. Il s'agit d'une valeur intégrant, « en moyenne », les conditions d'écoulement sur les sols, dans les réseaux temporaires d'écoulement et dans les systèmes géométriquement définis (rigoles, thalwegs, ruisseaux, etc...). on notera que les « vitesses » données par ces formules sont beaucoup plus faibles que celles issues des formules « Bressan, Golossov » rappelées par J. Lavabre :

$$V = 1 + [(\alpha - 1)/9] \quad (\text{eq. 13})$$

qui, dans l'exemple ci-dessus, conduirait à des vitesses de l'ordre de 1,10 m/s soit 4 à 5 fois supérieures. Les temps de concentration étant proportionnels, d'après les équations 11 et 12, à :

$$K^{-0,75 \text{ à } -0,86}$$

pour atteindre des vitesses d'écoulement comparables à celles données par FBG, les rugosités équivalentes devraient donc être :

$$14 < K < 20$$

valeurs qui semblent très élevées pour représenter des écoulements en espaces naturels et notamment pour ceux se développant en surface ou dans des structures géométriquement mal définies.



valeurs qui semblent très élevées pour représenter des écoulements en espaces naturels et notamment pour ceux se développant en surface ou dans des structures géométriquement mal définies.

Il n'est de même pas simple de comparer les formules 11 et 12 avec celle issue des travaux de Ph. Lefort. Pour des pluies rares de durées supérieures à 6 heures, J. Lavabre propose pour les pluies cumulée en 24h une valeur de  $P_j$  de :

$$P_j = 144,4 \times (24)^{0,24} = 310 \text{ mm} \quad (\text{eq. 14})$$

Avec un seuil de ruissellement  $P_o$  variant de 0 à 90 mm, le ruissellement journalier net évoluerait donc entre 250 et 175 mm (eq.8). La formule 7 donne alors des temps de concentration de 7h18' à 8h. Soit des vitesses moyennes de 0,4 à 0,3 m/s du même ordre de grandeur que celle obtenue à partir de l'équation 12 pour  $L = 10\ 000\text{m}$ , tout en étant légèrement supérieures. Pour atteindre des résultats identiques il conviendrait de donner à  $K$  des valeurs de 6 à 7 au lieu de 5, valeurs identiques au regard des incertitudes sur l'adéquation des formules et du concept de rugosité.

Les formules de Ph. Lefort et de l'onde cinématique pour de faibles rugosités sont donc cohérentes globalement. Les formules FBG semblent conduire à des vitesses très élevées au regard des mécanismes d'écoulement mis en jeu et de 2 à 3 fois supérieures à celles données par la formule de Ph. Lefort, toutes choses étant égales par ailleurs. Or, la surestimation des vitesses induit la sous estimation des temps de concentration et donc la surestimation des intensités moyennes critiques et des débits. Si l'on admet la validité approximative de la classique formule rationnelle, les débits de pointe sont proportionnels aux intensités moyennes sur la durée des temps de concentration soit, selon l'équation 9, à  $T c^b$

Avec  
 FBG = formule Bressan – Golossof et  
 FPL = formule Philippe Lefort

On aurait donc

$$Q_{FBG} = Q_{FPL} \times (V_{FPL} / V_{FBG})^{b(T)} \quad (\text{eq. 15})$$

Pour la région Nîmes – Montpellier et des pluies rares de durées 6 à 24 heures, la relation 15 conduirait à :

$$Q_{FBG} = 1,7 \text{ à } 2,3 Q_{FPL}$$

dans le cadre des hypothèses de versant retenues dans les exemples ci-dessus. Il s'agit donc d'une majoration très sensible des débits de pointe.

Il semble par conséquent que la formule 13 conduite à une minoration excessive des temps de concentration. Ainsi, comparée à l'équation 2, issue de la théorie de l'ordre cinématique on peut écrire que le rapport  $r_{tc}$  des temps de concentration donné par ces deux formules conduit à la relation :

$$r_{tc} : \frac{T_{cBG}}{T_{cOC}} = \left[ \frac{K^{0,6} i^{0,4}}{6,99} \right] \times \left[ \frac{L^{0,4} \alpha^{0,3}}{53,33 + 667 \alpha} \right] \quad (\text{eq.16})$$

$T_c$  BG étant les temps donné par la formule Bressan – Golossof et  $T_c$  OC étant celui de l'onde cinématique. Pour le domaine de variation :

$$\begin{aligned} 1 < K < 10 \\ 10 \text{ mm/h} < i < 100 \text{ mm/h} \\ 0,001\text{m/m} < \alpha < 0,1 \text{ m/m} \\ 100\text{m} < L < 10\ 000\text{m} \end{aligned}$$

et des combinaisons acceptables de ces variables (100mm/h pour  $L = 100\ \text{m}$  et 10 mm/h pour  $L = 10\ 000\text{m}$ ), on en conclut que  $r_{tc}$  répond à

$$0,013 < r_{tc} < 0,24$$

Il s'en suit que pour les fréquences rares, et la région Nîmes – Montpellier le rapport  $r_q$  des débits de pointe répondraient approximativement à

$$3 < r_q < 8$$

La borne inférieure correspond au jeu de variable

$$L = 10\,000 \text{ m} ; \alpha = 0,1 \text{ m/m} ; K = 10 ; I = 10 \text{ mm/h}$$

et la borne supérieure à :

$$L = 100 \text{ m} ; \alpha = 0,001 \text{ m/m} ; K = 1 ; I = 100 \text{ mm/h}$$

Cette borne supérieure est d'ailleurs un majorant ; en effet avec  $i = 100 \text{ mm/h}$  et les valeurs considérées pour les autres variables, le temps de concentration donné par l'équation 2 serait de 139 minutes. Or, selon J. Lavabre, pour les pluies rares de la région, l'intensité moyenne maximale sur cette durée ne serait que de 59 mm/h. Si donc on utilise cette valeur dans l'équation 16 on obtient :

$$r_{tc} = 0,011 \text{ et } r_q = 9$$

En conclusion, les formules Bressan, Golossov conduisent à des vitesses très élevées pour les petits bassins versants ne présentant pas de réseau d'écoulement structuré, en particulier dans le cas d'unités hydrologiques à très faible pente. Certes, le modèle d'onde cinématique est probablement mal adapté pour traduire globalement les écoulements dans des bassins versants, même s'il est introduit dans de nombreux modèles hydrologiques. La difficulté principale résulte dans le choix d'un coefficient de rugosité réaliste. La formule proposée par Ph. Lefort semble intéressante dans la mesure où elle conduit à un intermédiaire entre l'onde cinématique qui surestime les temps de concentration des bassins versants et les formules BG qui les sous estiment fortement.

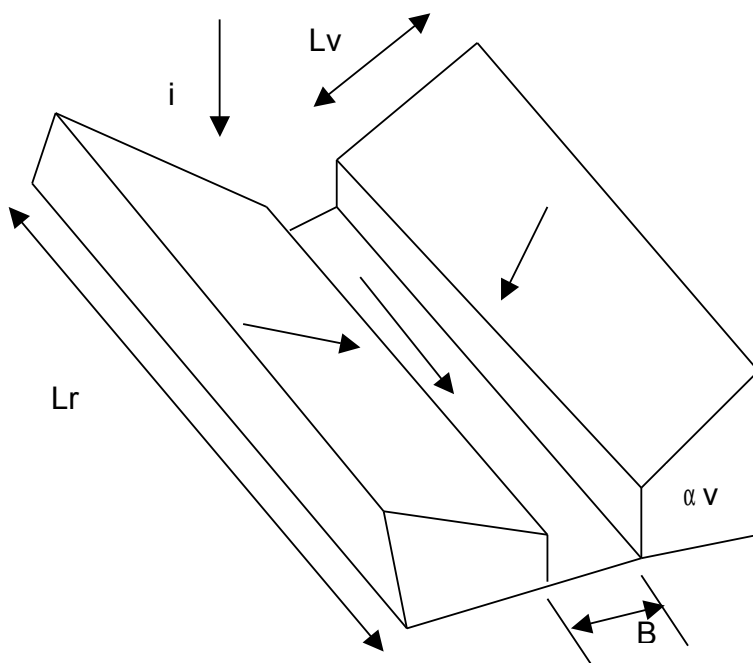
*Avril 2004*

## Temps de concentration (Suite)

*Michel DESBORDES*

Dans la note précédente, la comparaison entre les résultats d'estimation des temps de concentration donnés par la formule issue de la théorie de l'onde cinématique (éq.1) d'une part, et par celle connue sous le nom de Bressan-Golossof (éq.13) avait conclu à une sous estimation importante des temps de concentration de la part de cette dernière.

Il est cependant clair que le modèle d'onde cinématique de ruissellement en nappe sur une plaque plane reste une représentation très schématique et simplifiée du « ruissellement » sur une unité Hydrologique. Cette dernière, dès lors qu'elle atteint une certaine extension peut être effectivement décomposée en éléments dans lesquels les processus de transfert, tout en relevant des mêmes mécanismes fondamentaux, s'effectuent sous des conditions de rugosité et de profondeur d'écoulement très variables. Ainsi une première décomposition, également simplifiée, répond à la figure ci-dessous dans laquelle un bassin versant élémentaire est représenté par deux versants (v) sur lesquels s'effectue un ruissellement en nappe (éq.1) se déversant dans un collecteur (r) de largeur au miroir B (Fig.1) siège d'un écoulement à surface libre classique.



**Fig. 1**

Sous l'hypothèse d'alimentation par une pluie nette constante et uniforme, et d'un écoulement en collecteur répondant à un modèle d'onde cinématique, il est possible d'approximer le temps de concentration du bassin versant par :

$$t_c = t_{c_v} \times \left[ 1 + \frac{B}{2 L_v} \left( \frac{2 L_r}{B} \times R_k^{-1} \times R_\alpha^{-0,5} \right)^{0,6} \right] \quad (\text{eq.17})$$

sans laquelle  $t_{c_v}$  est le temps de concentration des versants et  $R_k$  et  $R_\alpha$  les rapports de rugosité et de pente soit :

$$R_k = \frac{K_r}{K_v} \qquad R_\alpha = \frac{\alpha_r}{\alpha_v}$$

Introduisant alors le rapport RL des longueurs, soit :

$$R_L = \frac{L_r}{L_v}$$

L'équation 17 devient

$$t_c = t_{c_v} \left[ 1 + 0,76 \left\{ \frac{B}{L_v} \right\}^{0,4} \times (R_k^{+0,6} \times R_L^{-0,6} \times R_\alpha^{-0,3}) \right] \quad (\text{eq.18})$$

Ou

$$t_c = t_{c_v} (1 + A) \quad (\text{eq.19})$$

A étant toujours positif, on en conclut donc que

$$t_c > t_{c_v}$$

Toutes choses égales par ailleurs, l'approximation d'un bassin versant par un plan en ruissellement reviendrait à minorer les temps de concentration et donc à surestimer les débits. C'est là un des reproches fait parfois à la classique méthode rationnelle. Cependant Wooding (1965), Woolhiser (1975), Muzik (1982) et d'autres, ayant étudié des modélisations des comportements des bassins hydrologiques à l'aide de modèles d'onde cinématiques, ont conclu que pour des petits bassins versants le poids du transfert dans l'axe principal d'écoulement était faible et le temps de concentration essentiellement contrôlé par les versants. Ce poids peut d'ailleurs être évalué en considérant l'équation 18.

$$\text{a) } R_k = R_L = R_\alpha = 1$$

Pour  $B/L_v = 0,01$  et  $0,001$

On aurait  $t_c = 1,05$  à  $1,10 t_{cv}$

modification hors de la précision avec laquelle sont connues les variables intervenant dans l'estimation des temps de concentration des bassins versants. De même en faisant les hypothèses suivantes :

$$1 \leq R_k \leq 10 \quad 1 \leq R_L \leq 100 \quad 0,1 \leq R_\alpha \leq 10$$

On concluerait que l'équation 19 conduit à

$$1,005 t_{cv} < t_c < 4,84$$

En réalité, les combinaisons conduisant aux bornes supérieures de  $t_c$  ( $R_k = 1$  et  $R_\alpha = 0,1$ ) sont très peu plausibles et dans la très grande majorité des combinaisons on aurait :

$$1,005 t_{cv} < t_c < 1,30 t_{cv}$$

la borne supérieure correspondant à  $R_L = 100$  c'est à dire des bassins versants très allongés .

En conclusion, dans la très grande majorité des bassins versants rencontrés, les temps de concentration seront contrôlés par les écoulements sur les versants sur lesquels les vitesses de transfert seront bien inférieures à celles constatées dans les cours d'eau, et également à celles estimées par la formule FBG.

On peut cependant examiner les conséquences de l'application de la théorie de l'onde cinématique en schématisant le fonctionnement d'un bassin versant à celui d'un plan dont le sens d'écoulement serait celui du collecteur (rivière). Avec les notations précédentes le temps de concentration  $t_c'$  de cette représentation s'écrit :

$$t_c' = L r^{0,6} K v^{-0,6} \alpha r^{-0,3} i^{-0,4} \quad (\text{éq.20})$$

Dans cette équation les caractéristiques du bassin sont celles de la rivière pour la longueur et la pente et celles des versants pour la "rugosité". Retenir la rugosité du cours d'eau conduirait, bien sûr, à une sous-estimation importante des temps de concentration. D'après les équations (19) et (20) on conclut que :

$$\begin{aligned} t_c/t_c' &= (t_{cv}/t_c') (1 + A) \\ &= R_L^{-0,6} \times R_\alpha^{0,3} [1 + A] \quad (\text{éq.21}) \end{aligned}$$

$$\text{Pour } R_L = R_\alpha = R_k = 1$$

On aurait  $0,91 t_c < t_c' < 0,95 t_c$

Pour les domaines de variation de rapports  $R_L$ ,  $R_\alpha$ ,  $R_k$  on aurait :

$$0,4 t_c < t_{c'} < 25 t_c$$

La borne inférieure correspond à des valeurs  $R_L = 100$  et  $R_\alpha = 0,1$  c'est à dire à des bassins très allongés à pentes de versant très supérieures à celle du cours d'eau.

La borne supérieure répond à :

$$R_L = 100 \quad R_k = 10 \quad \text{et} \quad R_\alpha = 0,1$$

C'est à dire des bassins très allongés drainés par une rivière à faible pente au regard de celle des versants et présentant des rugosités de versants très élevées.

En résumé, l'approximation du comportement d'un bassin versant pas assimilation de ces éléments de transfert à ceux de son axe d'écoulement reviendrait généralement à surestimer ses temps de concentration dès lors que l'on retiendrait la rugosité des versants. A contrario, cette approximation en retenant la rugosité du seul cours d'eau conduirait à une sous estimation de ces temps. C'est en particulier, à notre avis, le cas de la formule de vitesse FBG incompatible avec la réalité des transferts sur les versants.

*Mai 2004*

## Débits potentiels du Lez

Le Lez est un petit fleuve côtier méditerranéen issu d'une source karstique du nord montpelliérain, se déversant dans les étangs littoraux après un parcours de 28 km, et drainant un bassin versant de l'ordre de 180 km<sup>2</sup>. La pente moyenne du cours d'eau est modeste et de l'ordre de 2/1000.

Son bassin versant présente un allongement moyen ( $E = L / A^{1/2}$ ) de 2,1. Du point de vue géologique, les sols du bassin sont essentiellement perméables (32 %) à très perméables (52 %) et composés d'alluvions, de sables et de calcaires (dont 45% de karst). L'occupation des sols est relativement tranchée. Jusqu'à l'entrée de Castelnaud le Lez, où le fleuve s'écoule dans les gorges du pli de Montpellier, le bassin, d'une superficie de 140 km<sup>2</sup>, est de type naturel à rural et présente quelques secteurs urbains : Prades le Lez, Montferrier, Clapiers. Il s'écoule ensuite en milieu urbain dense, traversant Castelnaud et le sud de Montpellier. L'analyse de l'occupation des sols conduit ainsi à la répartition suivante des types de surfaces :

- forêts et espaces naturels : 46%
- espaces agricoles : 36%
- secteurs urbains : 18%

Considéré dans son ensemble, le bassin versant du Lez apparaît donc comme **rural, perméable, peu pentu, et moyennement allongé**. Ces éléments, certes qualitatifs, sont cependant essentiels pour une estimation de ses débits potentiels. Le caractère très différencié de l'occupation des sols, rural au nord (140 km<sup>2</sup>) et urbain au sud (40 km<sup>2</sup>), est également important pour juger de la dynamique de la formation des crues du bassin.

### I Méthodes d'estimation des crues du Lez

La méthode la plus fiable, pour estimer les débits de crue de probabilité donnée d'un cours d'eau, consiste à disposer d'une série « longue » de mesure de débits en une station fiable pour la quelle, en particulier, des jaugeages ont pu être réalisés **en période de crue significative**. Ces conditions sont rarement rencontrées ; ainsi, les installations de mesure sont fréquemment inopérantes lors des fortes crues, voire détruites. La question de la longueur de la série nécessaire pour assurer une réduction des intervalles de confiance d'estimation des crues peu fréquentes à rares est au cœur des préoccupations des spécialistes de l'hydrologie statistique. Sans entrer dans des détails de la théorie de l'échantillonnage, on peut indiquer que cette longueur doit être d'autant plus importante que la variable étudiée est plus « irrégulièrement » distribuée. Or les variables hydrologiques méditerranéennes sont précisément marquées par une forte irrégularité de leurs distributions statistiques. A titre d'indication, **les hauteurs de pluies annuelles méditerranéennes ne suivent pas une distribution normale**, cette « anormalité » étant d'autant plus marquée que la durée considérée pour le cumul des pluies est plus courte. Dans le cas du bassin du Lez, on dispose d'une station de mesure au lieu dit La Valette, installée en 1975 et contrôlant un bassin versant essentiellement rural de 115 km<sup>2</sup>. Si cette station est intéressante pour étudier la dynamique de formation des crues sur les secteurs ruraux du bassin, ses données ne permettent pas d'estimations fiables des crues du Lez qualifiées de « rares ».

Une autre méthode consiste à établir un modèle de comportement du bassin étudié à partir de données observées de pluies et de débits. Cette méthode, qu'il s'agisse de modèles « à bases physiques » ou « conceptuels », s'est fortement développée avec l'essor des calculateurs électroniques. Elle présente bien sûr des limites inhérentes à la complexité des mécanismes hydrologiques et, en particulier, à la connaissance des distributions spatiales des variables intervenant dans ces mécanismes, qu'il s'agisse de précipitations ou des caractéristiques des surfaces réceptrices au regard de leurs aptitudes au ruissellement. La question principale, relative à l'utilisation d'une modélisation pour l'estimation de débits de crue non observés, est **la stationnarité** des paramètres de calage du modèle déterminés sur les périodes d'observation. Cette question essentielle pour les modèles conceptuels, dans lesquels les paramètres de calage ne sont que très rarement reliés à des caractéristiques mesurables des variables hydrologiques (pluies, occupation des sols, nature des sols, surface...), reste posée pour les modèles à base physique en raison des difficultés de géométrisation du réel aux échelles d'espace compatibles avec la représentation de la dynamique des écoulements, et à certains « effets de seuils » résultant d'événements exceptionnels non observés. **La modélisation hydrologique du bassin de Lez, par voie mécaniste ou conceptuel, doit être une étape nécessaire dans la compréhension des crues de son bassin**. Cela sous entend un équipement météorologique minimal ne se limitant pas, comme aujourd'hui, à l'existence d'une seule station de jaugeage sur le haut bassin et à une couverture pluviographique réduite.

En l'absence de séries longues de mesure des débits et d'une modélisation fiable du comportement du bassin versant, les méthodes d'estimation des débits se résument à l'utilisation de formules globales, résultant d'études particulières, voire « régionales » dont la validité est d'autant plus critiquable que l'on s'intéresse à des fréquences rares. Ainsi, les auteurs de la méthode régionale CRUPEDIX, développée, en France, par le CEMAGREF, situaient l'intervalle de confiance d'estimation des débits centennaux à  $\{Q/2 - 2Q\}$ ... Si l'on suppose que les débits varient comme le logarithme de leur période de retour, cela signifierait que la borne supérieure de l'intervalle de confiance correspondrait à une valeur « moyenne » de période de retour 10000 ans...

En dehors de ces méthodes fondées sur l'exploitation de séries de données obtenues sur des bassins versants jaugés, il peut être également possible d'utiliser des modèles très globaux conduisant à **un majorant** des estimations recherchées. C'est le cas, en particulier, de la « formule rationnelle », d'un usage courant en hydrologie urbaine pour des bassins versants de faible taille (quelques km<sup>2</sup> au maximum). Cette formule, dont on connaît les fondements mécanistes (elle correspond à un modèle d'onde cinématique) conduit, d'une manière générale, à une surestimation des débits car elle ne comporte pas d'amortissement des ondes de crue dans leur propagation. Son application reste cependant délicate car elle est fondée sur l'évaluation difficile du **temps de concentration** des bassins versants. Son expression est la suivante :

$$Q_p(T) = C \cdot i(tc, T) \cdot A$$

dans laquelle  $Q_p(T)$  est le débit de pointe de période de retour  $T$ ,  $C$  le coefficient de ruissellement,  $i(tc, T)$  l'intensité moyenne maximale sur la durée du temps de concentration  $tc$  et de période de retour  $T$ , et  $A$  la surface du bassin. En milieu urbain, cette relation donne des estimations acceptables, les coefficients de ruissellement  $C$  étant des variables déterministes dès que  $T$  atteint quelques années. En milieu rural, son application est douteuse, du moins au regard de la probabilité du débit calculé, car les coefficients de ruissellement sont des variables aléatoires. Or, le caractère aléatoire de ces coefficients décroît avec la rareté des événements, toutes proportions gardées, la formule est d'autant plus satisfaisante que la crue est plus rare.

## II Application de la formule rationnelle aux crues « rares » du Lez

Deux problèmes majeurs se posent pour cette application : la détermination des temps de concentrations en divers points du bassin, d'une part, et l'estimation d'une intensité moyenne maximale de pluie sur cette durée, d'autre part. Concernant les coefficients d'écoulement, une formule « centennale » est actuellement admise dans le monde de l'expertise. Elle conduit à :

$$C = 0,8 (1 - Po/Pj 100)$$

$Po$  étant une « perte initiale » variant entre 0 et 100 mm selon les sols, la pente et la morphologie des bassins et  $Pj100$  la pluie journalière centennale (de l'ordre de 300 mm dans la région). Si l'on s'intéresse à des débits plus rares, **un majorant de cette relation est 0,8**.

Concernant l'estimation des temps de concentration, en l'absence d'observations, on a recours à des formules globales issues d'études empiriques. Lors de l'étude du tracé de la ligne TGV Méditerranée, un groupe d'experts avait proposé de retenir la formule d'Askew (ASTIER J., DESBORDES M., LEFORT Ph., LIMANDAT A., 1993, « *Méthodologie et principe de calcul pour le dimensionnement hydraulique des ouvrages de franchissement des petits bassins versants* », Dir Gén de la SNCF):

$$T_c(h) = 1,8 \cdot L^{0,8} \cdot Pa^{-0,33} \cdot Rm^{-0,23}$$

$L$  étant la longueur du bassin en km,  $Pa$  la pente moyenne des **versants** en m/m,  $Rm$  le ruissellement égal à  $0,8 (Pj - Po)$ .

Cette formulation a été reprise également dans une étude de la ligne TGV de contournement de Nîmes et de Montpellier (M. DESBORDES, J. LAVABRE, Ph LEFORT, 2004, « *Ligne nouvelle Languedoc-Roussillon. Contournement de Nîmes et Montpellier* », RFF).

De même, la DDE du Gard propose-t-elle une formulation hydraulique fondée sur l'estimation des temps de transit dans les axes d'écoulement. Cette formule, connue sous le nom de « Bressant-Golossof » (FBG), et valable pour des bassins versants inférieurs à 20 km<sup>2</sup>, conduit à :

$$T_c(mn) = L/V$$

$L$  est la longueur en mètres du drain le plus long,  $V$  la vitesse en m/mn

$$V = 1 + (p - 1)/9$$

Avec  $p$  la pente « moyenne » de l'**axe d'écoulement** en % et  $V$  en m/s.

Pour les bassins versants inférieur à 20 km<sup>2</sup>, la formule FBG majore fortement les débits dans un rapport atteignant 1,8. Nous avons montré que cette formule sous estimait fortement les temps de concentration des bassins versants peu pentus (voir étude « *Ligne nouvelle Languedoc-Roussillon* »).



La formule rationnelle majeure cependant les débits et son application devrait être limitée à des bassins versants de petite taille. Ainsi, en hydrologie urbaine, l'Instruction technique 77284 INT proposait comme borne supérieure de son utilisation 2 km<sup>2</sup>. Pour l'étude de la ligne du TGV Méditerranée, les experts limitaient son application aux bassins de 10 km<sup>2</sup> et recommandaient des études spécifiques pour les bassins de taille supérieure. La formule FBG, quant à elle, concerne des bassins de superficie inférieure à 20 km<sup>2</sup>, les auteurs proposant pour les bassins compris entre **20 et 400 km<sup>2</sup>** la relation suivante pour les crues « rares » :

$$Q \text{ rare} = 30 S^{0,75}$$

Avec Q en m<sup>3</sup>/s et S la surface en km<sup>2</sup>.

**Par rapport à d'autres estimations issues de modélisations régionalisées, comme la méthode SHYREG développée au CEMAGREF, la formule FBG conduit à des débits très supérieurs d'un rapport moyen de l'ordre de 1,5 à 1,8.** Si l'on fait l'hypothèse que les débits croissent sensiblement comme le logarithme de leur période de retour on aurait donc :

$$\text{Log T (FBG)} = 1,5 \text{ Log T (autre formulation)}$$

Pour T = 100 ans T (FBG) correspondrait donc à 1000 ans...

Appliquées en divers points caractéristiques du bassin du Lez, ces formulations conduisent aux résultats suivants (voir planche 23 et tableau p. 53 du rapport M. DESBORDES, HYDROLOGIK, SIEE, 2006, «SAGE Lez-Mosson-Etangs palavasiens, Expertise inondation, phase 1 : diagnostic »)

Point	Surface (km <sup>2</sup> )	Tc (Askeew, h)	Q(Askeew) m <sup>3</sup> /s	Q(FBG) (rares) m <sup>3</sup> /s
Prades	96,9	6,4	570	926
Agropolis	127,3	7,9	659	1137
Castelnau	140	8,7	683	1220
Montpellier				
Verdanson	158	9	756	1335
Amont				
A9	179	10,1	796	1466

Le rapport des débits estimés par les deux méthodes varie entre 1,6 et 1,84. Les débits « Askew » étant supposés centennaux, ceux donnés par la formule FBG apparaissent donc comme **des majorants** de crues très rares auxquelles on ne peut conférer de période de retour fiable. Il s'agit par ailleurs de débits potentiels supposant qu'ils sont acheminés sans débordements. Or, ces derniers peuvent se produire entre Prades et Castelnau dans la partie rurale du bassin, ou dans la traversée de Montpellier. Ainsi, avec un amortissement de 20% entre Prades et Agropolis, le débit réel en ce point serait ramené à 900 m<sup>3</sup>/s.

**Les débits obtenus à l'aide de la formule FBG nous semblent donc être des majorants des débits potentiels du Lez et ceci d'autant plus que le bassin est peu pentu, composé de sols relativement perméables et rural à plus de 80%.** Certes, d'aucun pourraient objecter que la présence de karsts serait de nature à modifier la dynamique de formation des crues exceptionnelles comme commencent à le démontrer certains travaux de recherche et comme on a pu le constater localement lors des inondations du Gard en septembre 2002. Dans le cas du Lez, il apparaît cependant que le fleuve draine en fait la partie superficielle d'un karst profond et que sa contribution aux crues reste limitée aux capacités de ses exutoires connus. Par ailleurs, le karst peut également jouer le rôle d'un réservoir de stockage significatif modifiant la production hydrologique.

On peut également utiliser la formule rationnelle pour juger de la fiabilité de certaines estimations de débits au regard des précipitations potentielles de la région. **Considérons un débit de 1500 m<sup>3</sup>/s en divers point du bassin** et déterminons les pluies qui le provoqueraient en supposant un coefficient global de ruissellement de 0,8. On a :  $i \text{ (tc)} \text{ mm/h} = 6750 / A \text{ (km}^2\text{)}$

soit :

Prades le Lez :	69,6 mm/h pendant 6,4h	soit 445 mm	<b>Tans* &gt; 1000</b>
Agropolis :	53 mm/h pendant 7,9h	soit 418 mm	<b>&gt; 1000</b>
Castelnau	48 mm/h pendant 8,7 h	soit 419 mm	<b>&gt; 1000</b>
Montpellier			
Verdanson	43 mm/h pendant 9 h	soit 384 mm	<b>&gt; 1000</b>
Amont			
Lironde	38 mm/h pendant 10h	soit 380 mm	<b>&gt; 1000</b>

\* par rapport à la série Montpellier Bel Air 1920-1971

Compte tenu de la valeur élevée retenue pour le coefficient de ruissellement, ces pluies sont des **bornes inférieures**. Elles entrent cependant dans le cadre des « monstres » régionaux **ponctuels** observés, en particulier 420 mm en 8h au Mas de Ponge dans le nord de Nîmes le 3 octobre 1988, ou encore 400 mm en 9 h aux Matelles le 23 octobre 1976 lors de la dernière crue majeure du Lez. **Cette dernière valeur est très intéressante**. En effet, la crue du Lez avait été estimée à 519 m<sup>3</sup>/s à La Valette (c'est-à-dire un peu à l'amont du point « Agropolis », le bassin en ce point ayant une superficie de 127,3 km<sup>2</sup> contre 115 à « La Valette ») contre 1500 dans le calcul ci-dessus... il est vrai pour une **lame moyenne sur le haut bassin** du Lez de l'ordre de 200 mm (estimation grossière compte tenu de la couverture pluviographique du bassin et du fort gradient sud-nord des précipitations), sur la durée du temps de concentration. Toute proportion gardée, si les hypothèses de la formule rationnelle étaient correctes cette lame aurait du conduire à un débit de :

$$1500 \times 200 / 418^* = 718 \text{ m}^3/\text{s} \text{ c'est-à-dire supérieure de 38\% au débit observé.}$$

\* la pluie prise en compte ici est celle d'Agropolis.

Le bassin contrôlé à Lavalette étant légèrement plus petit, et donc son temps de concentration également, la pluie devrait être légèrement plus élevée et donc le débit légèrement plus faible. En supposant une proportionnalité à la puissance 0,75 des surfaces, ce débit serait de 665 m<sup>3</sup>/s, c'est-à-dire supérieur de 28% au débit observé. Le coefficient de ruissellement aurait donc été, toutes proportions gardées, de 0,62 et non 0,8.

Ces quelques calculs donnent une idée des incertitudes existant dans l'évaluation de crues exceptionnelles de bassins versants non jaugés et **du caractère majorant de la formule rationnelle**.

**Par ailleurs, pour l'obtention des débits ci-dessus, il apparaît que les pluies journalières, peuvent être considérées comme très rares au regard des données locales disponibles. Qui plus est, les durées considérées pour les crues du Lez concernent des précipitations sur des durées de 6h à 10h suivant le point du cours d'eau et sont donc encore plus rares.** Les données actuellement disponibles ne permettent pas d'atteindre ce genre d'information pour des pluies inférieures à 24h. Par ailleurs, les estimations reposent sur une **équiprobabilité** d'apparition des pluies dans l'espace régional du Languedoc-Roussillon. Les derniers travaux, non encore confirmés, du Laboratoire « Hydrosociétés » tendraient à montrer que cette hypothèse serait pénalisante pour certains secteurs géographiques de l'espace régional et qu'il existerait une organisation spatiale des lames maximales journalières. **Sans que l'on puisse pousser plus loin, pour l'heure, les estimations, les périodes de retour « vraies » des pluies ci-dessus sont probablement de plusieurs fois supérieures.** A titre d'illustration, les estimations de la pluie journalière centennale de Montpellier, déduites des deux stations Montpellier-Fréjorgues (1957 à nos jours) et Montpellier-Bel Air (1920-1971), conduisent à une pluie centennale locale, respectivement de 200 et 260 mm. Une approche régionale donne quant à elle, respectivement 197 et 207 mm. Ainsi, dans cette approche, une valeur de 300 mm, souvent avancée comme « pluie centennale régionale », aurait, pour Montpellier, une période de retour de l'ordre de 700 ans (voir M. DESBORDES, avril 2006 « *Pluies extrêmes sur Montpellier et ses environs* », note Agglomération de Montpellier).

### III Rôle de la zone urbaine de Montpellier

La partie aval du bassin du Lez, sur environ 40 km<sup>2</sup>, est essentiellement urbanisée. Au sein de cette zone, le bassin versant du Verdanson couvrant une superficie de l'ordre de 15 km<sup>2</sup> constitue l'apport essentiel. Les autres secteurs sont drainés par des systèmes classiques d'assainissement, dont les capacités de transit n'ont pas été définies pour des débits de fréquence comparables à celles étudiées, dans la présente note, pour les crues du Lez, ou se déversent dans le bassin de La Mosson. Lors d'orages violents, les eaux de ces secteurs s'écoulent donc sur les voiries, sont stockées dans des dépressions et sous sols et rejoignent les axes principaux d'écoulement de façon différée et indirecte, les transparences hydrauliques superficielles n'ayant généralement pas été prises en compte lors de la réalisation de la ville. Au demeurant, le Verdanson peut présenter des débits potentiels importants pour des précipitations peu fréquentes. Le temps de concentration du bassin devrait être inférieur à 1h à 2h si les écoulements étaient libres. Les records régionaux **ponctuels** sur cette durée sont :

160 mm à Toreilles (P.O) le 13/10/86 et 143 mm à Alès-Deaux (Gard) le 22/09/93

L'application de la formule rationnelle au bassin du Verdanson **avec un coefficient de ruissellement de 0,8** conduit à :

$$Q \text{ (m}^3/\text{s)} = 0,222 i(tc) \text{ (mm/h)} A \text{ (km}^2\text{)}$$

soit des débits potentiels de 470 à 530 m<sup>3</sup>/s pour les pluies retenues, **en supposant qu'elles touchaient la totalité du bassin**. Pour une lame moyenne de 100 mm en 1h (période de retour 350 ans suivant la station de Montpellier Bel Air), le débit **potentiel** du Verdanson serait malgré tout de 330 m<sup>3</sup>/s et de 166 m<sup>3</sup>/s si le temps de concentration était de 2h et la pluie de 100 mm (période de retour 130 ans selon la station de Montpellier Bel Air).

La capacité des aménagements de ce cours d'eau étant très inférieure, on assisterait à un laminage généralisé de la crue avec étalement sur l'ensemble du bassin et le débit de pointe parvenant au Lez, sous forme directe ou diffuse, serait très inférieur et de l'ordre probablement de la moitié (150 à 200 m<sup>3</sup>/s). A titre indicatif il ressort d'une étude faite sur l'aménagement du Chambéry, affluent du Verdanson, à la faveur de la mise en chantier du tramway, que les simulations de la pluie du 9 octobre 2001 (de l'ordre de 85 mm en 72 min, période de retour de 30 à 50 ans) aurait donné lieu à un débit potentiel de l'ordre de 42 m<sup>3</sup>/s alors que les débits capables des ouvrages étaient inférieurs à 10 m<sup>3</sup>/s....

La question posée est bien sûr celle de **la concomitance d'une crue généralisée sur le haut bassin du Lez et d'une crue urbaine**. La différence très significative des temps de concentration de ces deux zones (8 à 9 h pour l'une et 1 à 2 h pour l'autre) conduit à conclure que **la concomitance des crues est très peu probable**. La situation la plus critique correspondait à une pluie rare de durée 8 à 9 h et de 400 à 500 mm provoquant une crue exceptionnelle du haut bassin, suivie par une pluie de 1h à 2h sur Montpellier et produisant 100 à 150 mm supplémentaires, soit, en 9 à 11 h, des lames moyennes de 500 à 650 mm dont les périodes de retour régionales, pour une lame moyenne couvrant 179 km<sup>2</sup>, **seraient, d'après le modèle régional de L. Neppel, respectivement de 14514 et 46330 ans, valeurs qui n'ont pas de sens physique**. Encore une fois il s'agit de bornes inférieures d'estimation des périodes de retour, les pluies étant inférieures à 24h d'une part, et le secteur de Montpellier semblant être « moins » touché par les extrêmes pluvieux que d'autres secteurs du Languedoc-Roussillon, d'autre part. Pour les pluies, **généralisées à l'ensemble du bassin du Lez** et provoquant les crues du haut bassin au droit du Verdanson, c'est-à-dire de 400 à 450 mm en 6 à 10h, le débit de ce dernier serait, selon la formule rationnelle, de l'ordre de 100 m<sup>3</sup>/s, en supposant que ce débit puisse transiter dans les aménagements.

#### IV Conclusions

Au regard des caractéristiques du bassin du Lez et de la climatologie régionale, nous pensons que les estimations obtenues à l'aide de la formule de Bressant-Golossof pour les crues « rares », et données ci-dessus, constituent des **bornes supérieures** acceptables pour tester le comportement, en situation extrêmes, des aménagements projetés de protection contre les inondations du Lez. Il n'est cependant pas possible de donner une probabilité d'occurrence de tels débits. **Il nous semble cependant très souhaitable, dans l'hypothèse de la mise en œuvre d'un dispositif de surveillance des crues du Lez, d'élaborer un modèle du comportement hydrologique du bassin qui permettra, ultérieurement, d'affiner les évaluations faites jusqu'ici.**

Montpellier, 1<sup>er</sup> juin 2006  
(revu le 2 mars 2007)

Michel DESBORDES  
Professeur à Polytech'Montpellier  
Université Montpellier 2

## Débits « rares » du Lez

Sous la dénomination de « rares », on entend des débits dont l'occurrence statistique moyenne excède la durée moyenne d'une vie humaine. Ce qualificatif permet d'éviter l'emploi de termes mathématiquement plus précis mais dont l'estimation quantitative ne peut être évaluée avec un niveau élevé de précision. C'est le cas général de la fameuse référence « centennale » souvent utilisée dans les procédures d'aménagement des cours d'eau, et dont l'évaluation, par le biais des méthodes de la statistique descriptive, est entachée d'incertitudes naturelles, conséquence de la faible durée, en général, des séries observées, de la fiabilité relative, en période de crue, des sections de mesure des débits, et de l'irrégularité éventuelle, au sens statistique du terme, des phénomènes hydrologiques à l'origine de ces crues.

Dans le cas du bassin du Lez, soumis au climat méditerranéen irrégulier par nature, comme nous l'avons indiqué dans une note du 1<sup>er</sup> juin 2006, les données disponibles n'autorisent pas une évaluation statistique fiable de « la crue centennale », les débits étant mesurés depuis 1975 seulement au lieu dit Lavalette. Cette station contrôle une superficie de 115 km<sup>2</sup>. Depuis cette date, la crue la plus importante observée a été celle de septembre 1976, estimée, en ce point, à environ 520 m<sup>3</sup>/s.

En l'absence d'un modèle spécifique de comportement hydrologique du bassin du Lez, calé sur des observations de pluies et de débits, l'estimation de débits rares repose sur l'utilisation de méthodes globales, s'appuyant, pour les plus scientifiquement fondées, sur une certaine « régionalisation » de l'information hydropluviométrique. De telles méthodes se développent de puis une dizaine d'années et permettent une certaine amélioration d'estimations jusque là fondées sur des formulations globales approximatives, généralement calées pour des conditions climatiques et hydrologiques particulières rendant leur extrapolations hasardeuses.

Parmi ces méthodes on peut citer, pour le sud de la France :

ASTIER J., DESBORDES M., LEFORT Ph., LIMANDAT A. 1993, « *Méthodologie et principe de calcul pour le dimensionnement hydraulique des ouvrages de franchissement des petits bassins versants* », Dir. Gen. De la SNCF. 47 p.

DDE du Gard, 1996, « *Méthode de calcul des débits rares et exceptionnels d'eaux pluviales et des lignes d'eau correspondantes sur les petits bassins versants naturels situés sur l'arc méditerranéen français (méthode dite de Bressand-Golossoff)* », Service Eau et environnement, 42 p.

CEMAGREF, 2002 (?), « *La méthode SHYREG* », Météo-France, CEMAGREF, DPPR du MEDD.

Les deux premières méthodes sont fondées sur les approches mécanistes de la formule rationnelle et diffèrent par les méthodes d'estimation des temps de concentration. La troisième est basée sur l'exploitation de bases de données statistiques de pluies et de débits qui ont été régionalisées à un pas d'espace de 1 km<sup>2</sup>. Elle concerne des bassins versants de 20 à 1000 km<sup>2</sup>.

Dans une note relative à l'étude de la ligne TGV Nîmes-Montpellier, nous avons montré que les formules « Bressand-Golossoff » de calcul des temps de concentration sous-estimaient fortement ces derniers et conduisaient à une surestimation des débits de crues des bassins versants (DESBORDES M., LAVABRE J., LEFORT Ph., 2004, « *Ligne nouvelle Languedoc Roussillon. Contournement de Nîmes Montpellier* », ch. 5 « *Considérations sur les temps de concentration* », RFF, 155p.). Lors de cette étude, il est apparu que SHYREG et la méthode SNCF conduisaient à des débits centennaux comparables, alors que la méthode Bressand-Golossoff majorait ces débits dans un rapport moyen de 1,8, considéré cependant comme une estimation acceptable pour tester les ouvrages en situation extrême. Ainsi obtient-on pour le débit centennal du Lez :

- Formule experts-TGV	755 m <sup>3</sup> /s
- Méthode SHYREG	740 m <sup>3</sup> /s
- Formule DDE du Gard	1362 m <sup>3</sup> /s

Au regard de ces écarts importants nous avons conclu : « *La formulation FBG, développée par la DDE du Gard, semble conduire pour les bassins versants interceptés à des estimations par excès des débits. Il est vrai qu'elle repose sur des observations cévenoles dont les bassins versants sont généralement plus pentus, de moindre capacité de rétention et soumis à des pluviométries plus importantes que la zone traversée par le TGV. On notera une certaine non homogénéité dans les formulations qui conduit, selon la taille des bassins versants, à des formulations de  $Q = 23 S^{0,75}$  ( $S < 1 \text{ Km}^2$ ),  $Q = 25 S^{0,75}$  ( $1 < S < 5 \text{ km}^2$ ) et  $Q = 30 S^{0,75}$  ( $S > 20 \text{ Km}^2$ ) ». La croissance de la constante avec la taille des bassins versants représente en effet une anomalie au regard des mécanismes de distribution spatiale des pluies.*

Les valeurs ci-dessus peuvent être comparées aux estimations réalisées depuis le début des années 60 par divers organismes et rappelées dans le dernier rapport effectué pour le compte du SAGE « Lez-Mosson-Etangs palavasiens » : DESBORDES M., HYDROLOGIK, SIEE, 2006, « *Expertise inondation, phase 1 : diagnostic* ». On note ainsi page 44 du rapport :

- 1980, SOGREAH : débit centennial 600 m<sup>3</sup>/s. Cette valeur sera retenue pour le projet de recalibrage et d'endiguement du Lez dont les travaux seront réalisés de 1983 à 1985.
- 1980 à 1989, BCEOM, reprise de la valeur de 600 m<sup>3</sup>/s et évaluation des effets d'une crue « exceptionnelle » de 800 m<sup>3</sup>/s
- lors de la réalisation des études du PER de Montpellier, le CETE propose de retenir la valeur haute de l'estimation SOGREAH soit 755 m<sup>3</sup>/s à l'aval de la confluence avec le Verdanson.

Ces valeurs « anciennes » de crue centennales du Lez sont cohérentes avec les estimations plus récentes issues de formules régionales (experts-SNCF, SHYREG). Elles montrent les incertitudes d'estimation des crues rares des cours d'eau méditerranéens. Les tendances actuelles visant à une certaine surestimation de ces crues ne nous semblent cependant pas scientifiquement fondées. A notre avis, bien plus que des tentatives de réduction des incertitudes d'estimation, dont certaines nécessiteront de très longues années d'observation, c'est sur le choix de la période de retour des crues de projets présidant aux protections structurelles des zones à risque que devrait porter l'essentiel des réflexions. Ainsi, la norme actuelle NF-EN 752-2 élève-t-elle le niveau de performance à atteindre en matière d'équipements d'assainissement urbain, traditionnellement calculés pour des événements décennaux, à 20 ans en zone résidentielle, 30 ans en centre ville et 50 ans dans les passages souterrains (CERTU, 2003, « *Guide de la ville et de son assainissement* », CD Rom).

En conclusion, au regard des données disponibles à ce jour, qu'il s'agisse de celles propres au bassin du Lez ou de celles concernant l'espace régional, une estimation du débit centennial du Lez entre 700 et 800 m<sup>3</sup>/s nous paraît acceptable.

Montpellier, 5 juillet 2006

Michel DESBORDES  
Professeur à Polytech'Montpellier  
Université Montpellier 2

**Notes de lecture de**  
**« Expertise des projets d'action de prévention**  
**des inondations sur le bassin du Lez »**  
**(Rapport de l'Inspection générale de l'environnement**  
**du 4 juillet 2006)**

**Michel Desbordes**  
**Professeur à Polytech'Montpellier**  
**Université Montpellier 2**  
**30 janvier 2007**

p 5 « ... si l'on en croit l'estimation des hauteurs d'eau à l'ancien pont Juvenal dans Montpellier : 14,52 m en 1976 contre 15,74 m en 1891 et 15, 14 m en 1933 »

Il ne peut en effet s'agir que d' « estimations » (données malgré tout au cm près...). Ces valeurs ne peuvent être, par ailleurs comparées en raison de l'instationnarité de la vallée du Lez de Castenau à Montpellier entre 1891 et 1976. En outre, la configuration de l'ancien pont Juvenal constitué, aux extrémités par deux arches de faibles sections, ne permet pas d'effectuer un lien entre hauteurs et débits, ces arches faisant ou non l'objet d'obstructions partielles ou totales durant les fortes crues.

p5 « Cette double alimentation (bassin amont et ensemble urbain) possible pour les crues du Lez...ayant affecté le bassin du Lez dans son ensemble »

C'est effectivement un des points délicats de l'estimation des débits de crue du Lez à Montpellier. J'ai indiqué, dans une note du 1<sup>er</sup> juin 2006, destinée à l'agglomération de Montpellier, qu'une concomitance d'une crue rare du haut bassin du Lez et d'une crue également rare du bassin urbanisé, avait une probabilité très faible de se produire en raison des différences des temps de concentration de ces deux unités hydrologiques (8 à 10 h pour la première et 1 à 2 h pour la seconde). Une telle occurrence nécessiterait une répartition particulière des précipitations dont les cumuls pourraient atteindre au moins 250 à 350 mm en 9 à 11 h. De tels cumuls représentent, au regard de nos connaissances actuelles, pour une lame moyenne couvrant de l'ordre de 180 km<sup>2</sup> (superficie concernée) des périodes de retour très supérieures à 100 ans.

p 5 « Ces estimations ne prenaient pas en compte les récentes crues de 2002, 2003 et 2005. La mission a donc demandé à la DIREN... une estimation de 900 m<sup>3</sup>/s (850 à 950, voir annexe 4) »

L'examen de cette annexe apportera peut être un éclairage sur ces indications. Cela dit, la trop faible longueur d'observation des crues à la station de La Valette, installée en 1975, ne permettait pas d'évaluation par un traitement statistique des débits observés en ce point. Les estimations ont généralement résulté de l'utilisation de modèles « régionaux », dont on peut, il est vrai critiquer la fiabilité.

p 6 « Les experts recommandent ainsi de simuler des crues allant jusqu'à 1500 m<sup>3</sup>/s (voir annexe 4). Cette estimation est homogène avec la prise en compte d'une pluie journalière à 300 mm, sans intégrer l'hypothèse de pluies extrêmes constatées ailleurs en Languedoc »

Là encore cette indication est curieuse. En effet si l'on peut proposer que la pluie journalière « régionale » centennale à Montpellier soit de l'ordre de 300 mm (contre 200 à 260, par une analyse statistique des deux séries de référence que sont respectivement Montpellier Fréjorgues d'une part et Montpellier Bel-Air d'autre part), le temps de concentration du système hydrologique du Lez est de l'ordre de 8 à 10h. Des cumuls de pluie de 300 mm sur de telles durées, pour Montpellier, correspondent alors à des périodes de retour de l'ordre de 1000 ans. En outre, pour obtenir un débit de 1500 m<sup>3</sup>/s avec une pluie de 300 mm, il faut faire l'hypothèse que le temps de concentration est de 8h, que le coefficient de ruissellement moyen du bassin est de 0,8, que ce débit peut être calculé par la « formule rationnelle » et qu'il peut transiter sans amortissement jusqu'à l'aval de Montpellier. Il s'agit là d'une majoration systématique de tous les aspects du calcul. En particulier, la formule rationnelle est inadaptée à un bassin de cette taille et conduit à une majoration excessive des débits, indépendamment d'un coefficient de ruissellement de 0,8 lui-même très élevé pour un bassin rural à 80%... La lecture de l'annexe permettra peut être de lever ces interrogations.

p 6 « *Au-delà de ce rapport, la mission recommande à la DIREN de poursuivre ses travaux, notamment en réunissant, dès le début de l'automne 2006, une conférence scientifique... devra être argumenté* »  
C'est une très bonne idée . Je n'en ai cependant pas entendu parler à la date de fin janvier 2007...

p 7 *L'impact concret d'une aussi basse protection...avant de subir sa première inondation* »

Les probabilités sont des concepts qu'il convient de manipuler avec prudence. Dans la note de bas de page, s'il est exact qu'avec un risque annuel de 5% d'une crue destructive et un crédit à 15 ans un habitant a 54% de chance de subir une inondation (soit en gros une sur 2), avant d'avoir remboursé son crédit, si ce dernier est souscrit à 20 ans ce n'est pas une chance sur 3, comme indiqué, mais 2 sur 3. Plus la durée considérée s'accroît, plus le risque grandit (ici l'inondation). Cela dit, compte tenu des coûts actuels de l'immobilier, les durées de crédits sont bien supérieures et l'on atteint aujourd'hui 40 ans (moins cependant qu'au Japon où l'on transmet les emprunts à ses enfants...). Ainsi, avec une durée de remboursement de 40 ans et une protection centennale, avancée comme la « norme » actuelle, un habitant aurait **plus d'une chance sur 3** de connaître une inondation pendant la durée de remboursement de son crédit... Conclusion : il vaut mieux faire construire en dehors des « chemins » de l'eau...

p 11 30000 € à l'hectare pour des terres agricoles inondables, l'étonnement de Monsieur l'Inspecteur Général nous semble tout à fait légitime...Le moteur principal des constructions en zones inondable reste, à mon avis, la spéculation foncière...

p 13 « *...dans la mesure où une inspection serait nécessaire après chaque crue...* »

Une telle inspection nous semble **nécessaire** quelque soit la solution d'aménagement retenue.

p 14 « *Mais le financement de ces acquisitions...supérieure, en principe, au coût de l'acquisition* »

Quand on voit le « coût » des terres agricoles inondable, on peut se poser la question...

p 20 « *( envoyer dormir les jeunes gens chez la grand-mère..)* »

Voilà une proposition sympathique ! Mais outre le fait que l'on ne saurait anticiper sur les conflits de génération, la mission semble ignorer que plus de la moitié de la population de l'agglomération n'en est pas originaire et que la majorité des grands-mères se trouvent à des distances incompatibles avec les délais de prévision de Météo France....

p 21 « *le choix complémentaire d'un déversoir de type « fusible » se déclenchant seulement lorsque le risque de rupture est devenu significatif, réduirait en outre l'inconvénient des inondations trop précoces* »

Cela nous apparaît comme une proposition « techno-théorique » qui, dans le cas concerné, semble assez irréaliste. Un fusible est un dispositif visant à limiter l'aggravation d'un danger. Dans le cas présent il s'agit de protéger des vies humaines. Le déclenchement du fusible ne doit donc s'opérer que lorsque l'on a l'assurance que :

1/ Il y a bien risque de rupture des digues principales

2/ L'on maîtrise parfaitement les risques aux personnes résultant de la rupture du fusible.

En période de crise, ces deux points sont difficilement contrôlables, sauf si le fusible alimente un secteur inhabité sans circulation d'individus, ce qui n'est pas le cas du secteur concerné. La maîtrise des mouvements des populations est assez illusoire sans des délais d'anticipation incompatibles avec les connaissances actuelles de la météorologie et les temps de réponse des unités hydrologiques concernées. A moins de mettre en place des dispositifs politiques contraignants du genre « couvre feu » ou « loi martiale »...

La question posée ici est : « Peut-on prendre le risque de perdre des vies humaines, même en « infraction », ou des biens, dans l'hypothèse d'une rupture plus grave d'ouvrages dont on aura des difficultés à démontrer a posteriori qu'elle était certaine ? ». « Faire la part du feu » suppose une prise de responsabilité d'une « autorité » qui aura peut être, ultérieurement, des difficultés à démontrer qu'elle a agi « en son âme et conscience », et, surtout, en « connaissance de cause »...

Cette première question en soulève une seconde : « Doit-on ne rien faire ? ». La réponse n'est pas aisée à formuler, même si une réponse affirmative a été implicitement acceptée jusqu'ici, par **tous** les acteurs, en laissant l'urbanisation envahir la plaine de Lattes, alors que l'inondation de 1976 avait montré les risques dans ce secteur. Par suite si « fusible » il devait y avoir, il ne pourrait, à notre avis, être réalisé qu'au prix de la suppression des risques sur les trajets des écoulements induits c'est-à-dire : indemnisation des habitats concernés et mise hors d'eau des voies de communication du secteur. La facture devrait être salée...

p 27 « *L'urbanisation du bassin ne va pas s'arrêter... de marges supplémentaires pour amortir les événements majeurs* ».

La pratique généralisée des « mesures compensatoires à la parcelle », si elle donne bonne conscience aux techniciens de l'Etat (MISE en particulier...) relève, au demeurant, d'une vision plutôt simplificatrice de l'hydrologie. La multiplication de ces ouvrages dans un secteur géographique donné pourrait très bien conduire à des incidents dommageables en cas de pluies extrêmes, en raison de l'impression illusoire de sécurité qu'ils auraient pu donner. Il est urgent de faire procéder à des études hydrologiques par bassin versant et non par opération d'urbanisme. Il convient, en particulier, d'étudier les risques liés au ruissellement pluvial urbain.

p 27 « *Pour ce bassin, la connaissance de base des aléas est peu fournie, pour les pluies comme pour les cours d'eau. Cette situation... à une meilleure compréhension des écoulements dans Montpellier* »

La faute à qui ? Il est encore heureux qu'une station ait été installée à La Valette en 1975... La mission semble découvrir une situation généralisée au moins à l'Arc méditerranéen. La thèse de Luc Neppel, en 1997, avait montré l'insuffisance de la densité des réseaux météorologiques et la difficulté d'évaluer de façon fiable un risque pluvieux de fréquence donnée. La question de la méconnaissance de l'importance des pluies méditerranéennes a été fréquemment évoquée au cours des vingt dernières années notamment à la faveur de l'anecdote de la pluie du 20 septembre 1900 à Valraugues... L'observateur bénévole du service météorologique de l'époque, instituteur de son état (et de la IIIème République s'il vous plaît...) avait indiqué l'observation d'une précipitation de 950 mm en moins de 24h. Cette valeur jugée « impossible », parce que trop éloignée des « croyances » scientifiques des « experts » de l'époque, ne fut jamais officiellement enregistrée, tout du moins jusqu'en 1997, date à laquelle Météo France, après les interventions d'un responsable du service d'annonce des crues des Gardons, l'a finalement introduite dans ses bases de données de pluies journalières... Ce sont les grandes inondations de Nîmes, en 1988, qui ont servi de déclencheur à un ensemble de réflexions scientifiques sur la question, même si le célèbre hydrologue français Maurice Pardé avait tenté de mettre en garde les services publics après les inondations de Nîmes en 1963, à la suite de la couverture du dernier « cadereau » de la ville, celui de Camplanier. Il disait à peu près ceci : « C'est une manie chez les ingénieurs en génie civil que de mettre en tunnel des torrents dont on n'est pas en mesure de chiffrer les débits capable avec toute la précision nécessaire »... Va-t-on assister à un changement d'attitude et passer d'une époque de l'« ingénierisme » flamboyant à celle d'un repli frileux des « experts » pour risque de « contentieux » ?

#### **Analyse de l'annexe 4.2 « Evaluation du projet de prévention des inondations sur le bassin du Lez. Réponse aux questions posées aux experts » de MM. Philippe Sergent et Jean-Michel Tanguy**

p.4 « *Les bassins du Lez et de la Mosson sont soumis au régime des pluies cévenoles qui se traduisent par des orages de courte durée, de forte intensité et des fréquences élevée* »

Cette phrase contient un certain nombre d'approximations et n'a pas grand sens. Il n'est, tout d'abord, pas évident d'affirmer que les bassins du Lez et de La Mosson sont soumis au régime des pluies « cévenoles », dont la manifestation géographique caractérisée se situe à une quarantaine de Km au moins de la mer, avec les premières élévations significatives du relief. Par ailleurs, ces pluies ne sont précisément pas de « courte durée » en comparaison de celles des orages se produisant en d'autres régions de France et loin de la mer. Ces manifestations s'accompagnent souvent, en Languedoc, d'advections d'air chaud et humide en provenance de la mer, entretenant le mécanisme orageux en en augmentant la durée moyenne. C'est par ailleurs le relief des massifs montagneux de l'arrière pays qui est à l'origine de ces puissants mouvements convectifs et de l'advection qu'ils engendrent. En outre que signifie une « fréquence plus élevée » ? Plus élevée que quoi ? Une fréquence doit être rapportée à un événement ou à la quantification d'une variable à caractère aléatoire. S'agissant d'orages, veut-on dire qu'ils sont plus « fréquents » dans le sud de la France qu'ailleurs ? Cela ne me semble pas du tout évident et devrait être démontré. Maintenant si l'on parle de quantité d'eau tombée sur une durée donnée il est clair qu'elle se produit plus « fréquemment » qu'en région parisienne par exemple, ce qui par contre n'a pas de sens si l'on s'intéresse au pluies locales pour lesquelles la fréquence d'une hauteur sur une durée donnée « est ce qu'elle est » et rien de plus, et tout du moins ni plus ni moins...

p. 4 « *En ce qui concerne le réseau de mesures pluviométriques, seulement deux stations sont encore actives sur la Bassin du Lez : Montpellier Fréjorgues (depuis 1957) et Valfrunes (1920-1971)* »

Outre le fait que je ne connais pas « Valfrunes » (Valflaunes ?) je m'interroge sur le fait qu'elle soit « toujours active » si arrêtée de puis 1971 ! Par ailleurs si les stations pluviographiques sont effectivement peu nombreuses sur le site il en existe plus de deux, gérées par divers organismes.



p.5 « *Cependant, des phénomènes extrêmes se sont produits récemment dans des bassins voisins, comme des épisodes des 12 et 13 novembre 1999 sur l'Aude (619 mm en 24 h à Lézignan) ainsi que les 8 et 9 septembre dans le Gard (680 mm à Anduze. **Sur le Lez, des épisodes récents sont venus confirmer ces tendances : l'épisode du 22 septembre 2003 avec 187 mm en 12h mesurés à Montpellier et l'épisode du 6 septembre 2005 avec 270 mm en 24 h. l'épisode du 3 décembre 2003 caractérisé par 167 mm à Montpellier en 24h ....d'une forte tempête marine.*** »

« Confirmer ces tendances »...C'est aller un peu vite en besogne. Il y a en effet une sacrée différence entre des pluies « monstrueuses » de 600 à 700 mm en 24 dont la fréquence ponctuelle ne saurait être déterminée pour des raisons d'échantillonnage insuffisant et des pluies de 200 à 300 mm, presque « ordinaires » en comparaison, dont les périodes de retour, au regard des données locales, varient en fait de 25 à un peu plus de 100 ans (voir moins si l'on adopte une valeur centennale « régionale » à 300 mm pour le secteur de Montpellier....

p. 7 « *Cette étude (de la DIREN) conclut de la manière suivante : « On peut raisonnablement estimer que le débit centennal en amont (La Valette) se situe autour de 650 m<sup>3</sup>/s (entre 480 et 850 m<sup>3</sup>/s) »*

Avec Luc Neppel nous avons repris cette étude à partir du fichier de débits du Lez de la DIREN. Sur la période 1975-2005 (31 années) 20 crues ont atteint ou dépassé 100 m<sup>3</sup>/s (21 si l'on incorpore celle du 19 01 2001 qui a atteint 97 m<sup>3</sup>/s). Lorsque l'on applique à cet échantillon 5 fonctions de distribution plus ou moins classiques pour l'étude des crues des cours d'eau, ajustées par deux méthodes, celle des « moments » (MOM) et celle du « maximum de vraisemblance » (ML), on constate tout d'abord **qu'il existe, de toute évidence, un problème d'échantillonnage**, certains points se trouvant en limite voire hors des intervalles de confiance à 95%, généralement utilisés pour juger de la qualité d'un ajustement d'une distribution théorique à un échantillon donné. Les débits en dessous de 150 et ceux au dessus de 200 semblent appartenir à deux populations distinctes, mais il n'est pas possible de tester cette hypothèse en raison de la taille trop réduite de l'échantillon retenu. Cette situation n'a pas a priori d'explication scientifique, mais peut tirer son origine de fonctionnements différenciés du bassin du Lez à l'amont de La Valette, suivant l'historique des précipitations sur le bassin (par exemple en raison des karsts dont la capacité de rétention peut être élevée en fonction de leur niveau de remplissage)

Quoiqu'il en soit, les résultats des ajustements sont les suivants :

1) Distribution exponentielle généralisée (GEV) méthode MOM:

Q 100 = 600<sup>+</sup> m<sup>3</sup>/s

IC 95 % 280 à 1000

Points expérimentaux en limite de l'IC

2) Gumbel, méthode ML

Q 100 = 530 m<sup>3</sup>/s

IC 95% 390-680

Points expérimentaux en limite d'IC

3) Gamma méthode ML

Q 100 = 590 m<sup>3</sup>/s

IC 95% 400-740

4) Gamma méthode MOM

Q 100 = 610 m<sup>3</sup>/s

IC 95% 390-860

5) Exponentielle (EXPN) MOM

Q 100 = 640 m<sup>3</sup>/s

IC 95% 350-1000

6) Exponentielle (EXPN) ML

Q 100 = 610 m<sup>3</sup>/s

IC 95% 400-860

7) Log-Pearson III

Q 100 = 600 m<sup>3</sup>/s

IC95% inchiffrable pour T = 100 ans

Un simple examen visuel des ajustements montre les problèmes d'échantillonnage, indiquant que le traitement par la statistique descriptive des données observées en 31 années à la station de La Valette n'est pas fiable. Les divers ajustements conduisent à  $530 \text{ m}^3/\text{s} < Q < 640$ . Le « meilleur » ajustement semble être donné par la loi exponentielle généralisée (GEV) avec  $600 \text{ m}^3/\text{s}$  (qui correspond également à peu près à la moyenne des estimations des divers ajustements)

p. 7 « *Le principal collecteur est le Verdanson (bassin versant de  $15 \text{ km}^2$ )... voir les chroniques cataclysmiques des crues de 1903, 1933 et 1976.* »

Si le terme « chronique » se rapporte aux écrits de la presse locale, les informations n'ont pas nécessairement grande valeur scientifique... Les qualificatifs employés ne permettent aucune comparaison d'un événement à l'autre. Qui plus est, en 1976, il n'y a pas eu de crue du Verdanson car la pluie sur la ville a été faible ce jour là (de l'ordre de 40 mm de lame moyenne sur le bassin du Lez de La Vallette à la mer et 5,8 mm à la station de Fréjorgues). L'épicentre de l'orage se situait au nord est, les maxima observés ont été mesurés au pluviographe des Matelles, non loin de la source du Lez (**en particulier 260 mm en 4 h**).

p. 7 « *Or, du fait de la non concomitance des crues du Lez et du Verdanson... nous retiendrons une fourchette de 200 à  $300 \text{ m}^3/\text{s}$  qui prend en compte les apports des autres bassins urbains* »

Il s'agit là d'une approximation très grossière qui ne saurait être retenue sans une analyse plus fine du système hydrologique des écoulements de Montpellier. Pour le cas qui nous intéresse, c'est-à-dire les apports à l'amont de Lattes, le Verdanson reste le contributeur principal. L'est de la ville est drainé par des cours d'eau comme le Lantissargue ou le Rieucoulon qui relèvent plutôt du bassin de La Mosson. S'agissant du Verdanson des débits de 200 à  $300 \text{ m}^3/\text{s}$ , dans l'hypothèse où ils pourraient atteindre le Lez sans amortissement par débordements généralisés, correspondent à des pluies peu fréquentes à très rares dont on ne peut donner des fourchettes d'estimation.

Supposons que l'on puisse traduire le comportement du bassin du Verdanson par le modèle de la formule rationnelle. Pour un bassin de 1500 ha, le débit de pointe sera majoré par cette formule. Lors de la réalisation de l'Instruction technique 77284, nous avons, en effet, proposé de limiter l'emploi de cette formule à des bassins urbains inférieurs à 200 ha. Le groupe d'experts du CERTU a indiqué en 2003, que cette limite était trop importante et que la formule rationnelle (ou modèle de « Caquot » coté français) devait être limitée à des bassins de taille inférieure à quelques hectares. Quoiqu'il en soit, **en supposant un coefficient de ruissellement moyen du bassin élevé de 0,8**, on obtient les résultats suivants :

$i(\text{tc}) \text{ mm/h} = Q/3,33$ , soit

$Q = 200 \text{ m}^3/\text{s}$   $i = 60 \text{ mm/h}$

Si  $\text{tc} = 1 \text{ h}$  alors  $h = 60 \text{ mm}$  et  $T = 25 \text{ ans}$  d'après les données de Montpellier Bel AIR

Si  $\text{tc} = 2 \text{ h}$  alors  $h = 120 \text{ mm}$  et  $T = 135 \text{ ans}$

$Q = 300 \text{ m}^3/\text{s}$   $i = 90 \text{ mm/h}$

Si  $\text{tc} = 1 \text{ h}$  alors  $h = 90 \text{ mm}$  et  $T = 190 \text{ ans}$

Si  $\text{tc} = 2 \text{ h}$  alors  $h = 180 \text{ mm}$  et  $T \text{ est } > 1000 \text{ ans}$

On notera au passage la sensibilité des fluctuations des valeurs des débits et des temps de concentration sur celles des périodes de retour. Des variations de 50% des débits et de 100% des temps de concentration couvrent en effet des phénomènes pluvieux allant de « peu fréquents » (25 ans) à « extrêmement rares » (plus de 1000 ans i). **La borne inférieure soit  $Q = 200$  et  $\text{tc} = 1 \text{ h}$ , n'est sans doute pas très réaliste associée d'un coefficient de ruissellement de 0,8. Pour  $C = 0,7$  on obtiendrait  $i = 69 \text{ mm/h}$  et  $T = 40 \text{ ans}$  et pour  $C = 0,6$   $i = 80 \text{ mm/h}$  et  $T = 90 \text{ ans}$ .**

Maintenant, revenons au bassin du Lez. La seule crue importante mesurée est celle du 24 septembre 1976 à la station de La Valette. Ce jour là, la lame d'eau sur le bassin, en ce point, a été estimée à 200 mm. On peut tenter une évaluation du coefficient de ruissellement en supposant des temps de concentration de 6h à 8 h, toujours en appliquant la formule rationnelle. **On notera qu'une pluie de 200 mm en 6 à 8 h a une période de retour de 200 à 300 ans d'après la série de Montpellier Bel Air.** Les données sont les suivantes :

$Q = 519 \text{ m}^3/\text{s}$

$A = 115 \text{ Km}^2$

$\text{tc} = 6 \text{ h}$   $i = 33,3 \text{ mm/h}$

$\text{tc} = 8 \text{ h}$   $i = 25 \text{ mm/h}$

$C = Q/(0,278 \times A \times i)$

**$\text{tc} = 6 \text{ h}$   $C = 0,49$**

**$\text{tc} = 8 \text{ h}$   $C = 0,65$**

Ces coefficients de ruissellement sont donc inférieurs à la valeur de 0,8 retenue par la mission. La DIREN propose un débit centennal de  $650 \text{ m}^3/\text{s}$ , valeur retenue par la mission. On peut tenter d'estimer la lame moyenne de pluie qu'il conviendrait d'avoir pour obtenir semblable débit et cela pour diverses hypothèses de coefficient C

On a toujours  $Q = 0,278 C i(tc) A$  ou  $i(tc) = Q / (0,278x C x A)$

a)  $C = 0,49$

$i(tc) = 41,5 \text{ mm/h}$  soit

$tc = 6 \text{ h}$   $h = 248 \text{ mm}$  et  $T = 900 \text{ ans}$

$tc = 8 \text{ h}$   $h = 332 \text{ mm}$  et  $T > 1000 \text{ ans}$

b)  $C = 0,65$

$i(tc) = 31,3 \text{ mm/h}$  soit

$tc = 6 \text{ h}$   $h = 188 \text{ mm}$  et  $T = 230 \text{ ans}$

$tc = 8 \text{ h}$   $h = 250 \text{ mm}$  et  $T = 600 \text{ ans}$

c)  $C = 0,7$

$i(tc) = 29 \text{ mm/h}$

$tc = 6 \text{ h}$   $h = 174 \text{ mm}$  et  $T = 160 \text{ ans}$

$tc = 8 \text{ h}$   $h = 232 \text{ mm}$  et  $T = 400 \text{ ans}$

d)  $C = 0,8$

$i(tc) = 25,4 \text{ mm/h}$

$tc = 6 \text{ h}$   $h = 152 \text{ mm}$  et  $T = 80 \text{ ans}$

$tc = 8 \text{ h}$   $h = 203 \text{ mm}$  et  $T = 200 \text{ ans}$

On voit donc qu'à l'exception d'un coefficient de ruissellement très élevé pour un bassin essentiellement rural à l'amont de la station, et pour les bornes inférieures du temps de concentration, un débit de  $650 \text{ m}^3/\text{s}$  ne saurait être produit que par des pluies de période de retour pluricentennales, et **ceci d'autant plus que les période de retour données correspondent à des maxima ponctuels alors que les hauteurs calculées ci-dessus sont des lames moyennes sur une superficie de  $115 \text{ km}^2$ .**

Ces calculs peuvent être repris pour le bassin du Lez à l'amont de la confluence du Verdanson, c'est-à-dire pour une superficie de  $158 \text{ km}^2$ . Les temps de concentration peuvent être estimés à 8 à 10 h. Supposons que le débit de pointe soit, comme le propose la mission de  $650 \text{ m}^3/\text{s}$ . Déterminons les lames d'eau nécessaires pour obtenir un tel débit, en supposant toujours valide le modèle de la formule rationnelle.

a)  $C = 0,6$

$i(tc) = 24,7 \text{ mm/h}$

$tc = 8 \text{ h}$   $h = 197 \text{ mm}$  et  $T = 190 \text{ ans}$

$tc = 10 \text{ h}$   $h = 247 \text{ mm}$  et  $T = 500 \text{ ans}$

b)  $C = 0,7$

$i(tc) = 21,4 \text{ mm/h}$

$tc = 8 \text{ h}$   $h = 169 \text{ mm}$  et  $T = 90 \text{ ans}$

$tc = 10 \text{ h}$   $h = 214 \text{ mm}$  et  $T = 200 \text{ ans}$

c)  $C = 0,8$

$i(tc) = 18,5 \text{ mm/h}$

$tc = 8 \text{ h}$   $h = 150 \text{ mm}$  et  $T = 55 \text{ ans}$

$tc = 10 \text{ h}$   $h = 185 \text{ mm}$  et  $T = 120 \text{ ans}$

Un débit de  $650 \text{ m}^3/\text{s}$  du Lez à la confluence du Verdanson, recevant de façon synchrone un débit de 200 à 300  $\text{m}^3/\text{s}$  de ce dernier, correspondrait-il à un phénomène « centennal » comme le prétend la mission ? Au regard des calculs ci-dessus et des différences des temps de concentration des deux unités hydrologiques cela ne devrait se produire qu'en rendant défavorables tous les éléments des calculs à savoir :

- coefficients de ruisselllements très élevés  $C = 0,8$
- temps de concentration minimum 1h pour le Verdanson et 8h pour le Lez

Dans ces conditions extrêmes, les hauteurs de pluie en 8 h devraient atteindre :

$$H = 60 + (18,5 \times 7) = 189 \text{ mm soit } T = 150 \text{ ans}$$

Si  $t_c$  Verdanson = 2h alors :

$$H = 120 + (18,5 \times 6) = 231 \text{ mm soit } T = 400 \text{ ans.}$$

Maintenant, si le temps de concentration du Lez était de 10h, toujours avec  $C = 0,8$ , on aurait :

$t_c$  Verdanson = 1h

$$H = 60 + (1,5 \times 9) = 226 \text{ mm soit } T = 300 \text{ ans}$$

$t_c$  Verdanson = 2h

$$H = 120 + (18,5 \times 8) = 268 \text{ mm soit } T = 800 \text{ ans}$$

En considérant des coefficients de ruissellement plus faibles, les périodes de retour des pluies seraient encore plus importantes. Ainsi pour  $C$  Lez = 0,7 et  $C$  Verdanson = 0,8 on aurait :

$t_c$  Verdanson = 1h,  $t_c$  Lez = 8h

$$H = 60 + (21,4 \times 7) = 210 \text{ mm et } T = 350 \text{ ans}$$

$t_c$  Verdanson = 2 h

$$H = 120 + (21,4 \times 6) = 248 \text{ mm et } T = 700 \text{ ans}$$

Ces divers calculs, pour aussi approximatifs qu'ils soient, **mais toujours dans le sens d'une majoration du risque**, indiquent que la conjonction d'une crue du Lez de  $650 \text{ m}^3/\text{s}$  et d'un apport synchrone de  $250 \text{ m}^3/\text{s}$  du Verdanson a une probabilité très inférieure à la probabilité centennale, au regard de nos connaissances actuelles en matière de précipitation et de débits.

On peut d'ailleurs, par les memes calculs, estimer les précipitations nécessaires pour obtenir un débit de  $900 \text{ m}^3/\text{s}$  en amont de l'A9. Les données sont les suivantes :

$$A = 179 \text{ km}^2, t_c \text{ de l'ordre de } 9 \text{ à } 11 \text{ h}$$

a)  $C = 0,8$  ( pour l'ensemble du bassin)

$$i(t_c) = 900 / (.278 \times 0,8 \times 179) = 22,6 \text{ mm/h}$$

$$H = 200 \text{ mm en } 9 \text{ h soit } T = 160 \text{ ans et } 248 \text{ mm en } 11 \text{ h soit } T = 400 \text{ ans}$$

b)  $C = 0,7$

$$i(t_c) = 25,8 \text{ mm/h}$$

$$H = 232 \text{ mm en } 9 \text{ h soit } T = 300 \text{ ans et } 284 \text{ mm en } 11 \text{ h soit } T = 700 \text{ ans.}$$

Le même calcul avec la valeur de  $750 \text{ m}^3/\text{s}$  que nous avons proposée, en juin 2006, comme estimation du débit centennal du Lez, conduit à :

a)  $C = 0,8$

$$i(t_c) = 18,8 \text{ mm/h}$$

$$H = 170 \text{ mm en } 9 \text{ h ou } T = 80 \text{ ans}$$

$$H = 207 \text{ mm en } 11 \text{ h et } T = 190 \text{ ans}$$

b)  $C = 0,7$

$$i(t_c) = 21,5 \text{ mm/h}$$

$$H = 193 \text{ mm en } 9 \text{ h et } T = 150 \text{ ans}$$

$$H = 236 \text{ mm en } 11 \text{ h et } T = 300 \text{ ans}$$

Contrairement à ce qu'à donc indiqué la mission, la valeur de  $750 \text{ m}^3/\text{s}$  n'apparaît donc pas comme une borne inférieure d'estimation de la crue centennale du Lez à l'amont de l'A9. Certes les périodes de retour, données ci-dessus à titre indicatif, sont issues des traitements statistiques de la série de Montpellier Bel Air (52 ans) pour laquelle l'estimation de la pluie centennale journalière est de 260 mm. Ces périodes de retour seraient par ailleurs plus élevées si nous retenions la série plus récente de Montpellier Fréjorgues (50ans) pour laquelle la pluie centennale journalière est de l'ordre de 200 mm.

Avec une pluie journalière « régionale » centennale de 300 mm, les périodes de retour seraient certes plus faibles mais toujours voisines ou supérieures à 100 ans. En effet, en supposant un comportement asymptotique exponentiel des distributions de probabilité des hauteurs de pluie, le « gradex » des précipitations. Pour les pluies journalières on aurait ainsi :

$$T' (H100 = 260) = 0,87 T (H100 = 300\text{mm})$$

En supposant ce rapport constant quelque soit la durée, cela signifierait que les périodes de retour des pluies calculées ci-dessus, en supposant une pluie centennale journalière de 300 mm devraient être multipliées par 0,87 et varieraient donc de 70 à 260 ans, c'est-à-dire seraient semblables.

Ces divers et longs calculs amènent, à notre avis, aux conclusions suivantes :

- l'estimation de la crue du Lez à l'amont de l'A9 à 900 m<sup>3</sup>/s nous semble correspondre à une surestimation significative de cette crue au regard des fonctionnements très différenciés des bassins versants d'amont et d'aval et des données de pluie et débits disponibles. Si elle devait être retenue, elle devrait être appuyée par des argumentations scientifiques ne relevant pas que du « principe de précaution »
- la valeur de 750 m<sup>3</sup>/s, proposée en juin n'est pas une valeur minimale de la crue de référence car elle ne peut être atteinte qu'en minorant les temps de concentration, majorant les coefficients de ruissellements et utilisant des modèles surestimant les débits.
- Il est urgent de tenter une modélisation du bassin du Lez à l'amont de La Valette à partir des données accumulées à cette station depuis 1975. Nous conseillons d'adopter des modèles conceptuels du genre GR 3 ou 4 J, développés depuis plus de 20 ans par Claude Michel au CEMAGREF d'Antony. Ce modèle permettrait peut-être de détecter des fonctionnements différenciés du bassin en fonction des pluies journalières et de leurs antécédents sur des durées de quelques jours à plusieurs semaines

p. 8 « *La note de Michel Desbordes indique par ailleurs... compte tenu de la dynamique météorologique locale* »

Il s'agit d'un calcul théorique, des débits de cet ordre ne pouvant s'écouler sans débordement généralisé...

p. 8 « *Une autre estimation encore plus maximaliste en débit résulte de l'utilisation de la méthode régionale prenant en compte une production de l'ordre de 12m<sup>3</sup>/ (s.km<sup>2</sup>)...sur l'ensemble du bassin* »

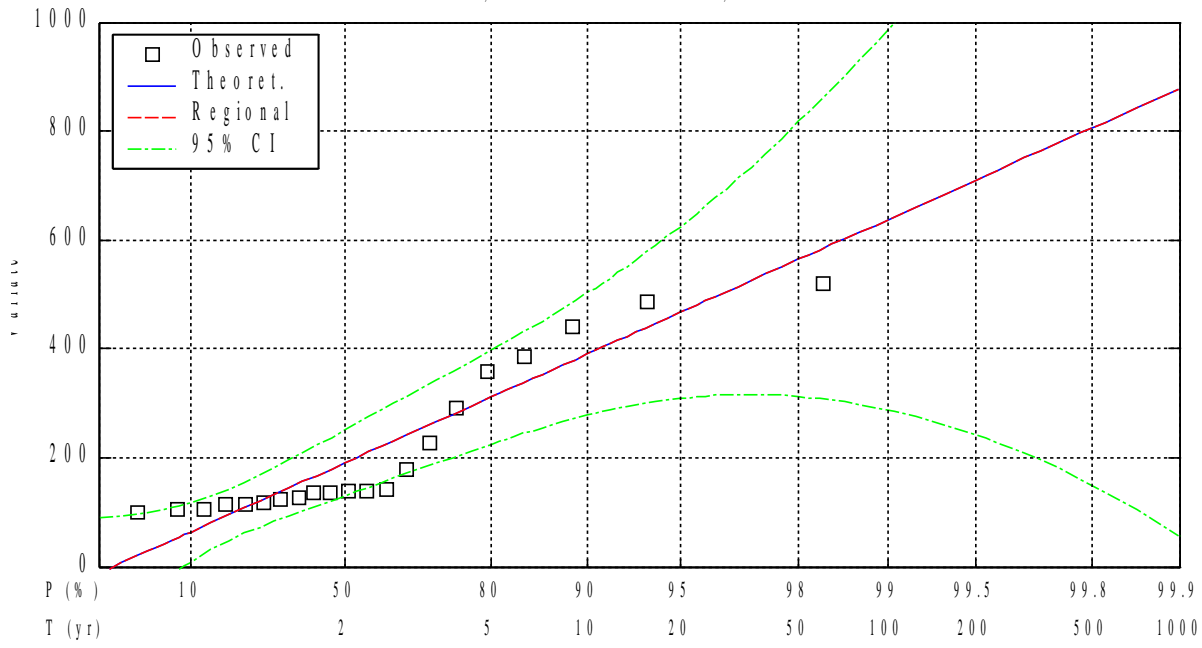
De quelle méthode « régionale » s'agit-il ? SHYREG du CEMAGREF d'Aix en Provence donne de l'ordre de 750 m<sup>3</sup>/s. Je soupçonne qu'il s'agit d'une méthode proposée par un dénommé Viorel Alexandru Stanescu, de l'Institut d'hydrologie de Bucarest, méthode qui commence à faire des adeptes. Il s'agit de l'établissement de « courbes enveloppes » de débits spécifiques extrêmes, calculés pour diverses régions européennes, sur la base de données d'observation. Dans sa publication « The extreme floods in Europe ; an analysis of their occurrence and regionalization », pour le sud de la France, son « recueil » de données est très mince (6 crues... dont deux en Corse en 1993) et comporte des inexactitudes patentes : 1600 m<sup>3</sup>/s pour les 42 km<sup>2</sup> des cadreaux de Nîmes en 1988 (alors que les estimations situent ce débit dans la fourchette 800 à 1000) et 140 mm de pluie pour la crue de l'Ouvèze en 1992 supposée se produire sur les 580 km<sup>2</sup> du bassin (alors que la pluie n'a concerné que 80 à 100 km<sup>2</sup> à l'aval et que le radar a conduit à des estimations de pluie de plus de 300 mm...)

p. 8 « *Estimation préconisée par le CETE...que d'une évaluation scientifique* »

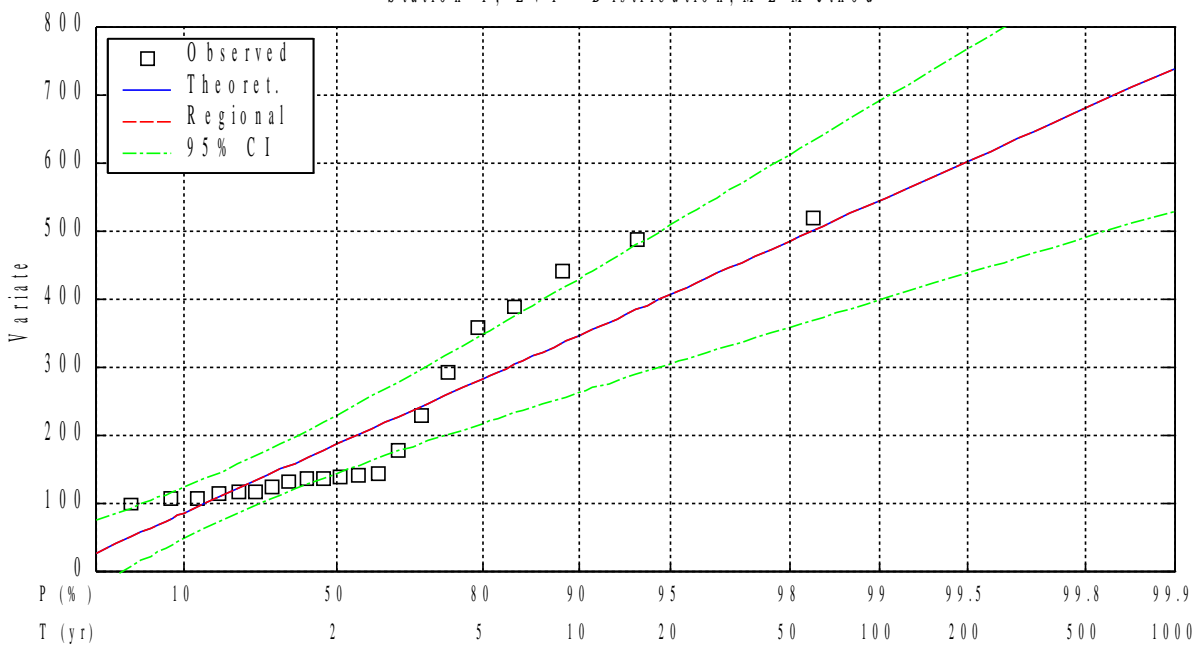
Il s'agit là d'une affirmation gratuite et désobligeante qui peut être, à mon avis, « retournée aux envoyeurs » compte tenu des observations et calculs développés dans les pages précédentes....

Michel DESBORDES  
7 février 2007

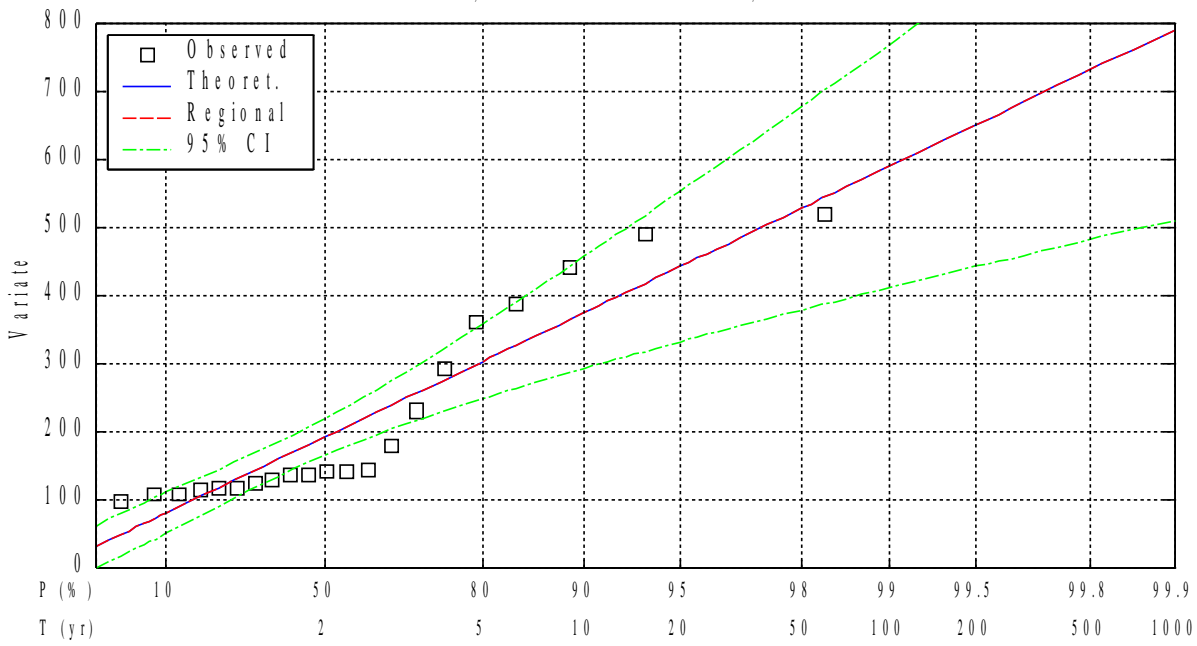
Station 1, GEV Distribution, M O M Method



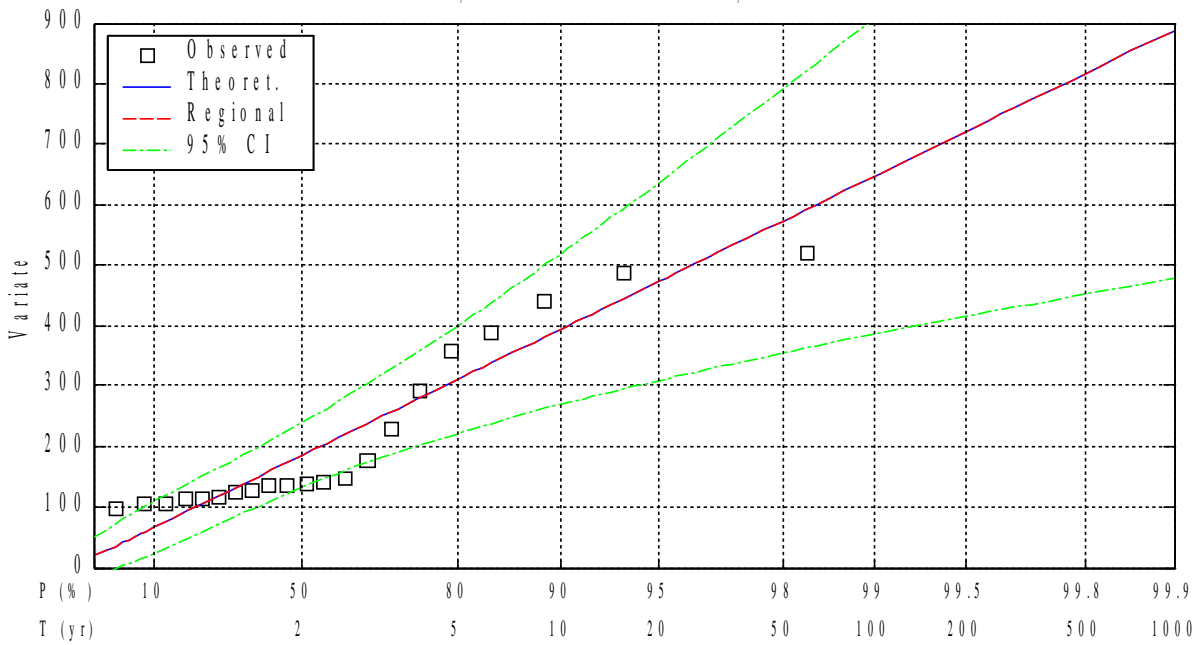
Station 1, EVI Distribution, M L M method



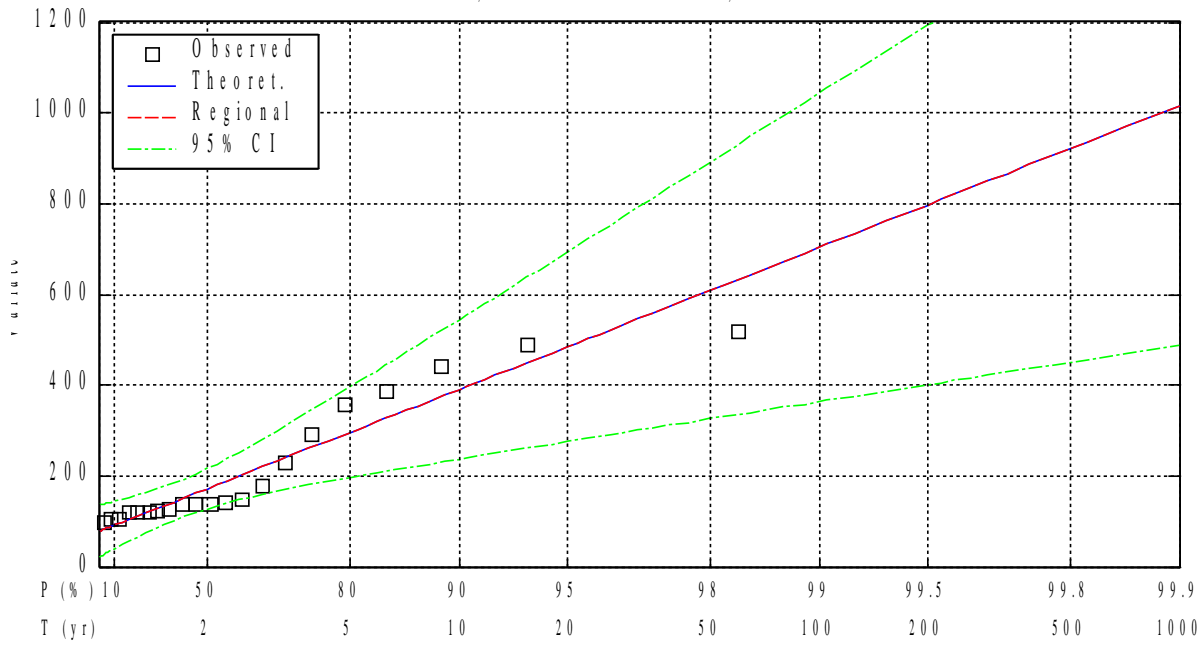
Station 1, G A M M A Distribution, M L M e t h o d



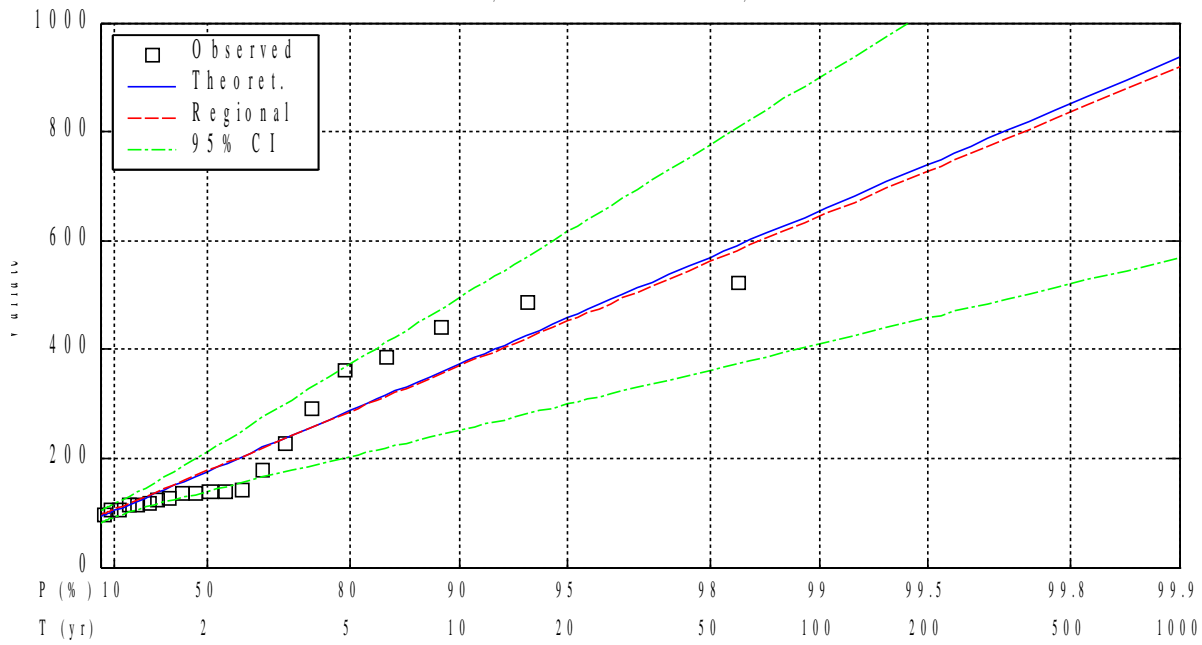
Station 1, G A M M A Distribution, M O M M e t h o d



Station 1, EXPN Distribution, M O M Method

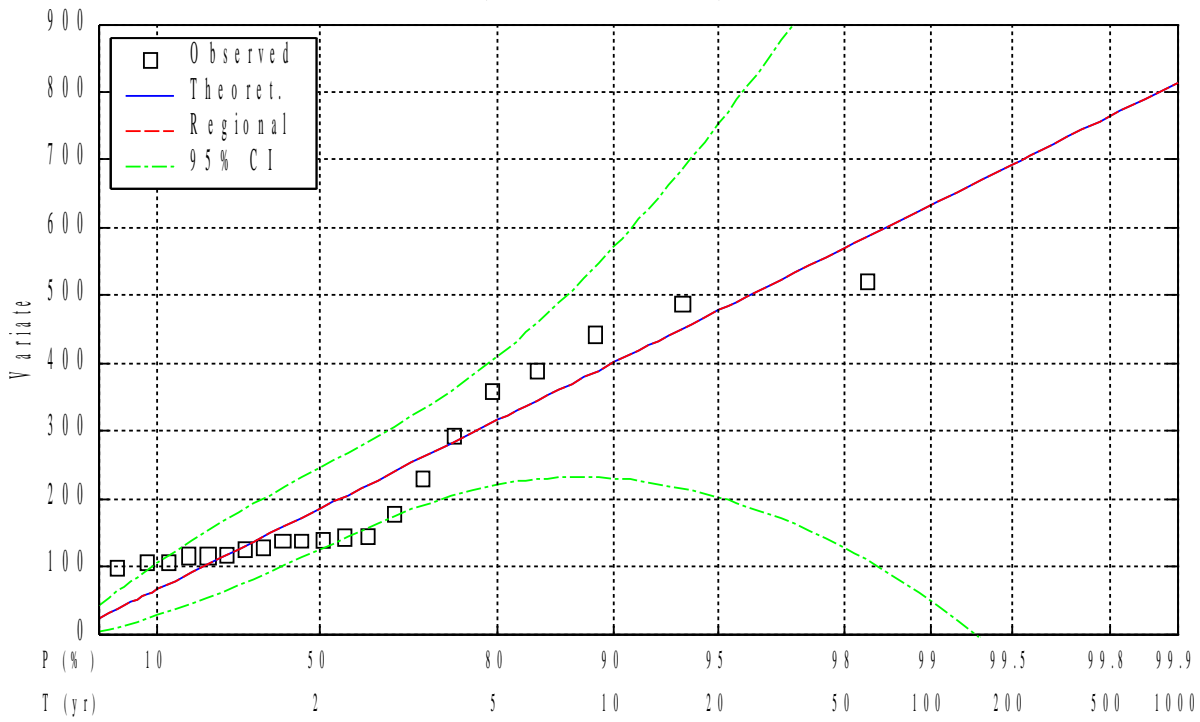


Station 1, EXPN Distribution, M L Method





Station 1, LP-III Distribution, M O M Method



**31 années , 21 crues ( $Q > 95 \text{ m}^3/\text{s}$ ) soit  $\lambda = 21/31 = 0,677419$**   
 **$T = 100 \text{ ans}$  soit  $F = 1 - (1/\lambda T) = 0,985$**

**Débits maximaux annuels du Lez**  
La Valette 1975-2005

75	17,6
76	519
77	36,5
78	86,5
79	357
80	23,1
81	36,5
82	22,5
83	37,4
84	138
85	4,09
86	35,7
87	136
88	228
89	24,3
90	115
91	4,25
92	32,4
93	48,5
94	128
95	105
96	143
97	124
98	29,7
99	54,1
00	56,3
01	292
02	387
03	440
04	29,7
05	487

# Pluies extrêmes sur Montpellier et ses environs

**Michel DESBORDES**

Professeur à Polytech Montpellier  
Université Montpellier 2

L'étude des précipitations à Montpellier est relativement ancienne, mais les séries d'observation fiables ne remontent pas au-delà du milieu du 19<sup>ème</sup> siècle. La majorité de ces séries sont, en outre, limitées à la mesure des précipitations en 24 h, **durée trop importante, en général, pour l'étude des ruissellements pluviaux urbains**. Deux séries principales font exception :

- Montpellier Bel-Air 1920-1971 (Ecole d'Agriculture)
- Montpellier Fréjorgues 1957 à nos jours

Il est par contre possible de trouver des archives, remontant jusqu'au 14<sup>ème</sup> siècle, et relatant les conséquences de précipitations élevées ayant entraîné des inondations des cours d'eau de l'agglomération. Parmi les documents intéressants à ce sujet, on retiendra, par exemple, l'édition (imprimerie Roumegous et Dehan) des actes du « Congrès de l'eau » qui s'est tenu à Montpellier du 24 au 26 mai 1923, et dont le comité d'organisation comprenait d'illustres montpelliérains ayant laissé leur nom à de nombreuses rues de la ville (Ch. Flahaut, L. Chaptal, L. Ravaz, etc...).

Les séries d'observations sont relativement courtes au regard de l'irrégularité du climat méditerranéen et limitent donc la fiabilité des statistiques qui en sont extraites. La recherche des données historiques est donc nécessaire pour conforter ou non les résultats des estimations effectuées à partir de ces séries. Le regretté Bernard Dartaud, du Conseil Général de l'Hérault a été un acteur très actif de cette collecte de données anciennes, et les informations mentionnées ci-dessous sont, pour partie, issues de ses travaux de collecte.

## Pluies remarquables à Montpellier et ses environs

70 mm en 45'	27 09 1933	Montpellier.	R. Ducamp « L'Eclair » du 07 10 1933
100 mm en 1h	26 10 1979	Montpellier	Labo. d'Hydrologie Mathématique, UM2
190 mm en 2h	12 10 1971	St. Gely du Fesc	CNRS Montpellier
302 mm en 4h	23 09 1976	Les Matelles	Annales Clim. de l'Hérault (ACH)
223 mm en 5h	11 10 1862	Montpellier	ACH
174 mm en 6h	07 10 1979	Montpellier	Lab. d'Hydro Math., UM2
233 mm en 7h	11 10 1862	Montpellier	P. Rey 1907, cité par B. Dartaud
400 mm en 9h	23 09 1976	Les Matelles	ACH
250 mm en 10h	22 09 2003	Montpellier	Météo France
272 mm en 10 h	22 09 2003	Montpellier	Agro Montpellier
318 mm en 24h	08 09 1938	Montpellier	Reminiéras, Météo France
326 mm en 30h	25 09 1979	Castelnau le Lez	Météo France

Les données ci-dessus sont donc des estimations des maxima locaux observés sur des durées de 45' à 30h. Il est bien sûr évident que la très faible densité des réseaux d'observation conduit à conclure que ces maxima correspondent, à égalité de fréquence d'apparition, à des bornes d'estimation inférieures. Lorsque l'on souhaite attribuer une fréquence aux hauteurs de pluie observées sur une durée donnée, on doit utiliser les plus longues séries observées. Ainsi, **la pluie centennale journalière** à Montpellier, estimée à partir des 2 séries longues mentionnées ci-dessus, conduit à :

Montpellier-Bel Air	262 mm
Montpellier-Fréjorgues	200 mm

Cet écart d'estimation, pour important qu'il paraisse, ne doit cependant pas surprendre. Il peut être d'une part la conséquence des fluctuations naturelles d'échantillonnage, les données n'étant concomitantes que sur 15 ans, et de la faible longueur relative des séries, s'agissant, en outre, d'une variable très irrégulièrement distribuée. Il peut également traduire une fluctuation géographique, le poste de Fréjorgues se situant près de la cote méditerranéenne, celui de Bel Air pouvant déjà être sensible aux effets du relief dans le voisinage du nord de la ville.

Certes des pluies journalières plus importantes ont été observées dans l'espace régional. Si l'on exclut les aiguats des Pyrénées orientales, on peut noter, d'après les données collectées par B. Dartaud :

312 mm 26 09 1992 Cazouls les Béziers (Hérault)  
420 mm 03 10 1988 Mas de Ponge (nord de Nîmes)  
448 mm 21 09 1992 Le Caylar (Hérault)  
520 mm 24 02 1964 Valleraugue (Gard)  
621 mm 13 11 1999 Lézignan (Aude)  
687 mm 08 09 2002 Anduze (Gard)  
828 mm 20 09 1890 Valleraugue (Gard)  
950 mm 29 09 1900 Valleraugue (Gard)

En dehors de la pluie de Cazouls, ces précipitations se sont produites dans des secteurs où les effets orographiques sont sensibles (Cévennes, Montagne Noire...). On ne peut bien sûr pas affirmer qu'elles ne peuvent se produire sur l'agglomération, dans la mesure où nos connaissances actuelles ne nous permettent pas de décrire précisément les mécanismes de leurs apparitions dans l'espace. On peut cependant tenter une estimation de leur probabilité d'apparition au regard des observations faites à Montpellier. En première approximation, on peut avancer que les distributions de probabilité des pluies extrêmes ont un comportement asymptotique exponentiel. Cela signifie, en particulier, que les hauteurs de pluie varient linéairement avec le logarithme de leur période de retour. Ainsi, en majorant, au regard des données disponibles, la pluie centennale journalière à 300 mm, cela signifierait **qu'une pluie de 600 mm, à Montpellier, aurait une période de retour de l'ordre de 10000 ans.**

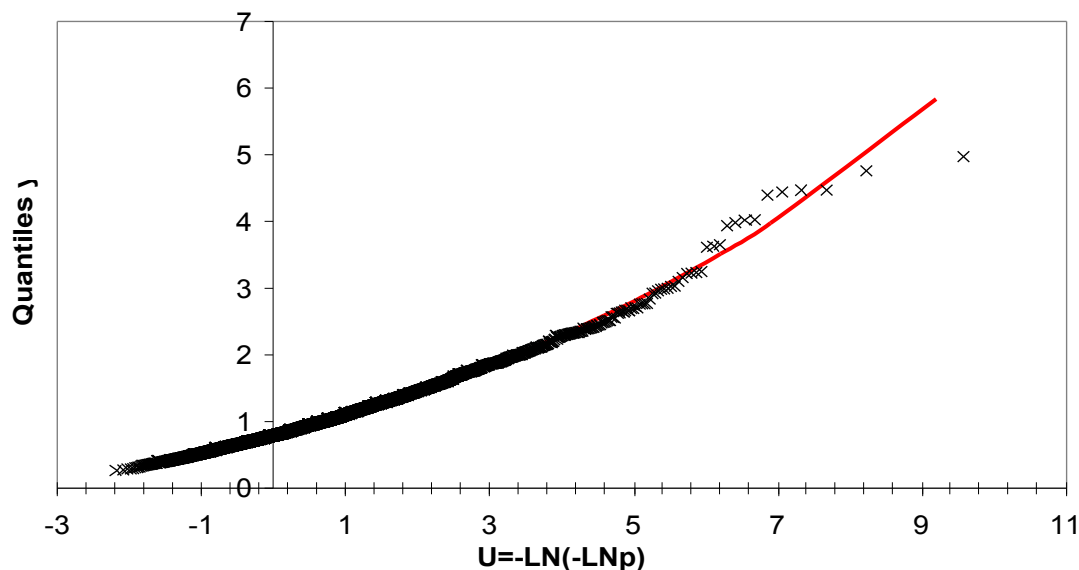
On peut également procéder à une analyse régionale des précipitations afin d'améliorer la qualité des estimations en augmentant la taille de l'échantillon des observations. Les travaux de Luc Neppel (Laboratoire Hydrosociétés de Montpellier, Université Montpellier 2), résumés sur la figure ci-après, montrent alors qu'une pluie ponctuelle de 600 mm aurait une période de retour **supérieure à 10000 ans**. Cette estimation est supérieure à la précédente car elle intègre un modèle statistique plus précis d'une part et d'autre part les données régionales prenant en compte les observations maximales dans des secteurs à relief marqué. La figure jointe montre également que la pluie centennale montpelliéraine serait de l'ordre de 200mm, valeur inférieure à celle obtenue par le traitement statistique isolé de la série de l'ENSAM (262 mm), et tirant son origine de modèles de distribution différents. Cette valeur est également plus faible que la pluie « régionale » centennale déterminée par le modèle SHYPRE développé au CEMAGREF d'Aix en Provence par Jacques Lavabre, et estimée à 300 mm. Ces fluctuations d'estimation sont inhérentes à la nature des variables étudiées, aux échantillonnages et aux modèles de distribution utilisés empiriquement pour traduire les observations. Les intervalles de confiance des estimations sont bien sûr importants dès lors que les périodes de retour excèdent la durée des observations.

En conclusion, on peut indiquer qu'une pluie de **600 mm à Montpellier a une période de retour égale ou supérieure à 10000 ans**, d'après un modèle de régionalisation des pluies. De telles périodes de retour n'ont bien sûr pas de sens physique affirmé. Ceci est d'autant plus évident qu'à cette échelle de temps se pose la question de la **stationnarité** de phénomènes sensibles aux changements climatiques (naturels ou d'origine anthropique). Plus encore, cette instationnarité concerne les conséquences de telles précipitations au regard de l'aménagement de l'espace. 10000 ans représentent, en effet 10 fois l'âge de la ville actuelle !

Michel Desbordes

(revu et corrigé le 05/03/07)

### Loi régionale des y



Loi régionale :

- Quantile T=100 ans :  $y(T) = 2.616$
- Quantile T=1000 ans :  $y(T) = 4.035$

	T (P = 600 mm)	Quantile 100 ans (1000 ans)
FREJORGUES Pmoy = 75.2 mm	$y=7.978$ T > 2000 ans	197 mm (303 mm)
ENSAM Pmoy = 79.2 mm	$Y=7.578$ T > 2000 ans	207 mm (319 mm)

### Commentaires :

Le « quantile »  $y(T)$  est une variable réduite de période de retour T :  $y(T) = P_j(T)/P_j \text{ moy}$  dans laquelle  $P_j(T)$  est la pluie journalière de période de retour T et  $P_j \text{ moy}$  la pluie journalière maximale annuelle moyenne à la station étudiée et déduite des observations à la station.

p est la probabilité de **non dépassement** de la variable y ; LN est le symbole du logarithme népérien. Par exemple pour une variable centennale, la probabilité p de non dépassement est 0.99. La variable U du graphique est donc  $-\text{LN}(-\text{LN} .99) = 4.600$ . On notera que pour des valeurs de p proches de 1, U est sensiblement égal à  $\text{LN}(T)$ , avec  $T = 1/(1-p)$ . Pour T = 100 on a ainsi  $U = 4.605$ .

L'équation générale d'ajustement de la loi régionale est donnée sur la figure et permet de calculer des valeurs ne figurant pas sur le graphique. U = 11 correspond ainsi à une période de retour T de  $e^{11}$  soit de l'ordre de 60000 ans...

Utilisation du graphique : Considérons le poste ENSAM pour lequel PJ moy est de 79,2 mm. Pour T = 100 ans ou U = 4,6, le graphique ou son équation donne  $y = 2,616$  soit  $P_j(100) = 2.616 \times 79.2 = 207, 2$  mm. Pour T = 1000 et U = 6,9 on a de même  $y = 4,035$  et  $P_j(1000) = 4,035 \times 79,2 = 319,6$  mm. Soit maintenant  $P_j(T) = 600$  mm ou  $y = 600/79,2 = 7,576$  l'équation de la loi régionale donne T = 46320 ans Cette valeur n'a pas de sens physique, elle signifie simplement qu'au regard des observations régionales, et sans introduire de correction en fonction de l'altitude autrement que par le biais de la hauteur maximale moyenne annuelle du poste considéré, une pluie journalière de 600 mm à Montpellier apparaît comme très peu probable.

# ***Incidence d'une gestion active de la ressource en eau en milieu karstique sur le risque hydrologique. Exemple du Fleuve Lez (Montpellier, France)***

Roesch A., Jourde H

Hydrosciences Montpellier - Université Montpellier II - France

**Résumé** — L'aléa inondation est en France le risque naturel générant le plus de dégâts matériels mais aussi humains. Cet état de fait est d'autant plus remarquable sur la bordure méditerranéenne que les conditions pour la mise en place de phénomènes météorologiques intenses sont réunies : les épisodes « cévenols ». Par ailleurs, la présence de terrains calcaires dont la karstification est très développée facilite la concentration et le transfert rapide de crues souterraines vers les exutoires naturels de ces aquifères karstiques.

**La concomitance des épisodes cévenols avec ces terrains karstifiés engendre des crues « éclaires » très intenses et relativement brèves. L'objet de ce document est de déterminer, à partir des données de pluviométrie spatialisée (radar), de piézométrie et de débits, l'impact des terrains karstiques nord montpellierain sur les crues du Lez.**

Mots-clés : hydrogéologie, hydrologie, karst, crue, inondation

## ***INTRODUCTION***

En domaine méditerranéen, la concomitance des événements pluviométriques extrêmes (de l'ordre de 200 à 300 mm en 24h) et la présence de terrains calcaires fracturés et karstifiés ne permet pas d'utiliser les méthodes classiques de détermination de l'aléa inondation. En effet, la relation équivoque entre pluie et débit est perturbée par les spécificités liées au sous-sol fracturé et karstifié engendrant dur de petit bassins versants des débits de l'ordre de 100m<sup>3</sup>/s [Camaras Belmonte et al, 2001] à plusieurs centaines m<sup>3</sup>/s [Gaume et al, 2003]. Ce phénomène est connu mais peu étudié et non quantifié en milieu karstique, contrairement au milieu poreux. Néanmoins, pour pouvoir quantifier cet aléa, il est nécessaire de comprendre sa genèse [Gaume et al, 2003] ce que nous nous attacherons à faire dans ce document.

Une comparaison des processus hydrologiques et hydrogéologiques est menée sur le fleuve côtier « le Lez » dont la source est d'origine karstique. Les enjeux liés à ce fleuve sont très importants que ce soit la ville de Montpellier ou les villes du cordon littoral.

L'étude se focalisera sur plusieurs événements à l'origine de crues spécifiques (caractérisées par leurs intensités et leurs allures) dépendante des périodes hydrologiques considérées. L'objet de cette étude est de mieux comprendre l'impact du système karstique sur les crues de surface, et essentiellement d'identifier le rôle du karst sur ces crues dans le contexte particulier de la source du Lez, soumise à un pompage actif. Le karst sera ainsi identifié non pas comme amplificateur [Jourde et al, 2005] de crue mais comme modérateur dans certaines conditions.

## ***PRESENTATION DU SITE D'ETUDE***

Le Lez est un fleuve côtier d'une longueur de 25.8 km qui traverse la ville de Montpellier et se jette dans la Méditerranée après un passage chenalisé dans les lagunes du front de mer. Ce fleuve, d'origine karstique prend sa source au niveau de la faille de Corconne à 10 Km au nord de Montpellier. Ces deux principaux affluents, le Lirou et le Terrieu, sont des cours d'eau éphémères en relation très étroite avec l'aquifère karstique.

Dans le cadre de cette étude, nous nous occuperons essentiellement de la partie amont du système hydrologique et hydrogéologique. Le point de repère de l'étude sera le pont sur le Lez au niveau de Lavalette à l'entrée du fleuve dans la ville de Montpellier. En ce point, le bassin hydrologique (B1) a une superficie de 128 km<sup>2</sup> alors que le bassin hydrologique jusqu'à la mer (B2) recouvre 560 km<sup>2</sup> (Fig.1).

Le bassin hydrogéologique (impluvium) de la source de Lez, fait partie intégrante de l'aquifère karstique des calcaires jurassiques et crétacés. Cet aquifère est limité par les fleuves Hérault à l'ouest et Vidourle au nord et à l'est [Drogue, 1963 1969]. La structuration de cet aquifère vers le sud est très certainement lié à l'épisode messinien et aux sources sous-marine telle que la source de la Vise (bassin de Thau) [Bonnet et Paloc, 1969 ; Fleury, 2005]. Néanmoins, la présence de grands accidents (failles compressives d'orientation Est-Ouest active lors de la phase pyrénéo provençale) confère à ce système une typologie de « karst barré » permettant la mise en fonctionnement de sources de débordement en amont. La source du Lez est l'exurgence principale de ce système à laquelle peut être associé un bassin hydrogéologique BH d'une surface minimisée à 360 km<sup>2</sup> à partir de traçage [Bérard, Camus et al 1983, Bérard 1983 ; Bérard et Thiéry, 1984 ; CERGA, 1970 ; Salado et Marjolet,

1971 et 1975]. Les recherches réalisées à cette époque pour l'alimentation de la ville de Montpellier nous ont permis d'hériter d'un important réseau de suivi de la piézométrie en amont de la source du Lez.

Ce réseau comprend actuellement 15 piézomètres équipés pour une mesure horaire. L'étude du comportement hydrodynamique enregistré au pas de temps horaire sur chaque piézomètre a permis de mettre en évidence quatre compartiments hydrodynamiques distincts (Fig. 2) semblables à ceux proposés par Karam [1989]:

- i) Comportement en relation direct avec la source du Lez
- ii) Comportement en relation avec la source du Lez et un niveau piézométrique toujours supérieur à celui de la source
- iii) Comportement en relation avec la source du Lez et un niveau piézométrique légèrement inférieur à celui de la source
- iv) Comportement différent du comportement hydrodynamique observé à la source du Lez.

La disposition des forages et les faciès géologiques rencontrés ne permet pas de mettre en évidence une compartimentation géographique, géologique ou structurale associée aux piézomètres de même ensemble.

L'écoulement dans cet aquifère de la source du Lez est globalement d'orientation nord-ouest/sud-est. Une carte de piézométrie apparente (Fig. 3), avec les précautions de rigueur pour les milieux inhomogènes tel que le karst, montre cet écoulement général avec des charges hydrauliques pouvant atteindre 150m NGF au nord-ouest et 80m NGF au sud-est en hautes eaux et de l'ordre de 80m NGF au nord-ouest et de 35 m NGF au sud-est (Fig. 3) à l'étiage. L'activité de la station de pompage pour l'alimentation en eau de la ville de Montpellier générant d'importants rabattements, le rabattement maximal étant limité (DUP) à 35 m par rapport à la cote de la source (vasque). Par conséquent cette source, normalement pérenne, est principalement active lors des crues importantes du karst.

Les cartes de piézométrie apparentes semblent mettre en évidence un comportement hydrodynamique associé à différents compartiments (Fig.3):

Au nord-ouest, un premier compartiment avec un gradient hydraulique faible et des niveaux piézométriques élevés quelle que soit la saison hydrologique

Au sud-est, un second compartiment avec un gradient hydraulique plus fort, en partie lié à l'impact anthropique des pompages sur la source du Lez qui présente un niveau piézométrique moyen inférieur à celui du premier compartiment quelle que soit la saison.

Cette piézométrie apparente met en évidence la structure géologique du réservoir et particulièrement la faille de Corconne. En effet les faciès jurassiques et crétacés sont affleurant au nord ouest alors qu'au sud-est le jeu secondaire de la faille, lors de l'effondrement du bassin camarguais, a permis l'enfouissement de ces terrains aquifères sous un recouvrement plus récent. Cela confère à cet aquifère un comportement de « karst barré » caractéristique courante dans le bassin méditerranéen français [Karam, 1989 ; Camarasa Belmonte et Segura Beltran 2003].

Le choix du site d'étude est également sujet aux spécificités climatiques locales. En effet, le climat méditerranéen et plus particulièrement du sud-est de la France est connu pour ses orages intenses, plus ou moins courts et souvent très localisés (Nimes 1987, Nimes 2002 [Delrieu et al ; 2004]) dont les intensités atteignent fréquemment 200 à 300 mm en 24 heures. La proximité des reliefs importants du Massif Central et de la Méditerranée engendre des cellules orageuses dites « cévenoles ». Ces cellules ne peuvent pas s'éloigner des zones riches en vapeur d'eau et s'autoalimentent, ce qui peut générer des volumes précipités très importants sur de courte durée. Ce phénomène est d'autant plus important en fin d'été lorsque le contraste entre la température de l'eau et de l'air est élevé. Ces pluies naissent donc principalement en début d'automne.

La plupart des épisodes que nous avons sélectionnés peuvent être qualifiés de pluies cévenoles mais recouvrent une plus ou moins grande partie de notre site d'étude (B1, B2 et BH). Néanmoins, l'épisode de décembre 2003 ne peut être qualifié d'évènement cévenol du fait des faibles intensités pluviométriques enregistrées.

## **Mesures et Méthodes**

Nous avons donc analysé 3 évènements remarquables de part leur intensité et leur position dans le cycle hydrologique, mais aussi de part leur conséquence sur les crues du Lez.

Ainsi les 3 évènements remarquables sélectionnés sont :

- Le 08 septembre 2002
- Le 22 septembre 2003
- Le 01, 02 et 03 décembre 2003

Ces évènements seront étudiés en fonction de leurs caractéristiques pluviométriques :

- i) répartition spatiale de la pluie,
- ii) surfaces de bassin hydrologique et bassin hydrogéologique (Impluvium) impactés,
- iii) volumes précipité sur les bassins hydrologiques et sur le bassin hydrogéologique.

Les données sont extraites du suivi radar de l'Observatoire Hydro Météorologique Cévennes-Vivarais (OHMCV). Nous utiliserons ici uniquement l'intensité journalière de chaque épisode, ce qui reste suffisant dans cette première étape et permet de caractériser ces évènements « éclairs ».

Les conséquences de ces précipitations sur le Lez seront ensuite étudiées à partir des chroniques de débits mesurés par la DIREN (déversoir) depuis 1987 à pas de temps variables en trois points du cours d'eau :

- i) en aval de la source (Station Source du Lez) G1
- ii) à son entrée dans la ville de Montpellier (Station de Lavalette) G2
- iii) et au centre de la ville (Station du pont Garigliano) G3.

Enfin, l'évolution de la piézométrie de l'aquifère karstique du jurassique et crétacé sera analysée, afin d'appréhender l'incidence des conditions piézométriques initiales apparentes et l'état hydrique du réservoir sur l'intensité et la durée des crues de surface.

### ***Caractéristiques des évènements enregistrés***

Chaque épisode sera analysé indépendamment en fonction de la spatialisation des pluies sur l'ensemble des bassins hydrologiques (B1, B2) et hydrogéologique (BH). L'effet de ces épisodes sur la mise en charge dans l'aquifère sera ensuite étudié et leur impact sur les crues du Lez sera analysé.

#### ***Evènement du 08 septembre 2002 :***

Cet évènement, de type cévenol, est localisé principalement dans la partie Nord-Est. L'intensité journalière enregistrée est comprise entre 14mm et 310mm (Fig. 4a). L'emprise de l'évènement reste particulièrement importante sur le bassin amont du Lez B1 où l'on rencontre des intensités journalières de l'ordre de 50 à 200mm selon la répartition surfacique donnée en figure 4b):

La répartition des pluies a été classée en ensemble de 0 à 10mm, 10 à 50mm, 50 à 100mm, 100 à 150mm et 150 à 200mm. La superficie du bassin B1 impactée par chaque lame d'eau a été calculée et rapportée à la superficie totale de B1 (Fig. 4b).

Pour cet évènement, nous pouvons considérer la classe 100-150mm comme étant l'intensité maximale connue sur le bassin B1 (la classe 150 à 200mm n'affectant que 0.01% de sa superficie).

Le volume total précipité lors de cet épisode sur le bassin B1 est de  $24 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>.

Avant la crue (Fig. 5a), la répartition des niveaux piézométriques dans le système caractérisée par un niveau moyen de 85m NGF dans le compartiment nord-ouest et de 50m NGF dans le compartiment sud-est. La transition piézométrique entre ces deux ensembles était marquée par une rupture nette (Fig 5a).

Lors de la crue, c'est essentiellement par le nord que l'aquifère a été alimenté, engendrant une hausse de la piézométrie jusqu'à 120m NGF (Fig. 5b) puis un équilibrage s'est opéré lissant la rupture piézométrique entre les deux blocs pour alimenter le bloc sud-est suivant l'écoulement général NW-SE (Fig. 5c).

Cette mise en charge par le nord est cohérente avec la spatialisation de la pluie et la présence de faciès calcaires et fortement fracturés qui favorisent la réaction rapide de l'aquifère aux évènements météoriques.

La crue générée par cet évènement est intervenue sur un cours d'eau alimenté par le débit réservé de 160 l/s à la source (AEP Montpellier).

La crue est d'intensité moyenne avec un débit de pointe de 7,9m<sup>3</sup>/s mesuré à la station de jaugeage de la source du Lez (G1) et de 131 m<sup>3</sup>/s à la station de jaugeage Garigliano (G3).

L'hydrogramme enregistré montre des réactions à chaque nouvelle précipitation. La courbe rose de la figure 6 représente le cumul de précipitation horaire pour une station météorologique au nord de Montpellier [St Martin de Londres]. D'ailleurs l'impact de la plaque urbaine que constitue la ville de Montpellier est visible par l'augmentation notable des débits entre G2 et G3.

Sur cet évènement, les précipitations étaient localisées au nord de la zone étudiée donc sur la zone d'alimentation de l'aquifère des calcaires jurassiques de la source du Lez. Ces précipitations ont engendrée une hausse piézométrique importante dans le compartiment NE de l'aquifère, néanmoins le débit à l'exutoire principal est relativement faible.



### **Evènement du 22 septembre 2003 :**

Cet évènement est celui ayant généré les plus fortes précipitations. L'intensité journalière a atteint 265mm sur la ville de Montpellier, le minimum étant de 40mm dans la partie Nord du système. Contrairement à l'épisode précédent, c'est plus particulièrement le sud du bassin versant du Lez B1 et le centre du bassin versant B2 qui ont été touchés dans le cas présent, la cellule étant centrée sur Montpellier (Fig 7a).

La figure 7a montre la spatialisation de l'évènement après classification. Sur le bassin versant du Lez B1, on observe du nord au sud un gradient d'intensité des pluies depuis la classe 50-100mm jusqu'à la classe 200-250mm. Tout comme pour l'épisode précédent, l'évolution des débits entre G2 et G3 met en évidence la localisation, au sud de la ville de Montpellier, du cœur de la cellule orageuse. Toutefois, la figure 7a montre que le bassin hydrogéologique BH n'est pas isolé de cet évènement, une lame précipitée comprise entre 50 et 150mm a été mesurée sur son emprise. Le volume total précipité sur le bassin B1 est de  $32.6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ .

A partir de la répartition surfacique données en figure 7b, il semble que, tout comme lors de l'épisode précédent, la lame précipitée qui affecte principalement le bassin B1 correspond à la classe 100-150mm et impacte 68% de ce bassin. En effet, lors de l'évènement précédent (septembre 2002) la classe 100-150mm impactait 65% de B1 sur des surfaces géographiquement très proches situées dans la partie nord de ce bassin (zone de calcaire affleurant).

Cette caractéristique permettra d'observer l'importance des terrains non karstiques (terrains marno-calcaire éocène, détritiques oligocène et quaternaire) dans l'apport par ruissellement sur les crues du Lez. En effet, l'évènement de septembre 2003 a généré une lame beaucoup plus importante dans le sud de B1 que celui de septembre 2002 sur une superficie restreinte et favorable au ruissellement, ce qui a eu un impact notable sur les débits mesurés sur le Lez en G3.

Lors de cet évènement, la France et notamment le sud avait été particulièrement touché par la sécheresse. Le niveau de la nappe était extrêmement bas avec une piézométrie maximale de 80m NGF pour le compartiment nord-ouest et 50m NGF pour le compartiment sud-est (Fig.8 a). La piézométrie moyenne avant la crue était très faible du fait de la très forte sécheresse de l'été 2003.

Lors de l'évènement météorique, la mise en charge a été prépondérante sur les piézomètres situés sur la zone de transition piézométrique entre les deux compartiments (Fig. 8b ; Forages 3, 6, 9 et 10). L'apport d'eau d'infiltration facilité par la fracturation de cette zone en est certainement la cause. En effet, la rupture piézométrique observée est pratiquement placée au niveau de la faille de Corconne et de son cortège fracturé qui génère une zone particulièrement favorable à l'infiltration rapide des eaux météoriques.

Ensuite un rééquilibrage s'effectue à partir de ce dôme piézométrique vers le nord et vers le sud pour reprendre un gradient piézométrique conforme à l'écoulement globalement NW-SE. Cette mise en charge est retardée d'environ 6 heures par rapport à la crue de surface et n'atteint pas, à son pic d'intensité, des niveaux piézométriques très importantes.

Lors de cette crue, les débits mesurés à l'aval sont relativement importants ( $>200\text{m}^3/\text{s}$ ) alors que le débit à la source est faible ( $<2,5\text{m}^3/\text{s}$ ) (Fig.9). La crue est plurimodale comme celle précédemment analysée mais l'impact des précipitations est encore plus marqué ici du fait de la cellule orageuse centrée sur la ville de Montpellier qui affecte plutôt le sud du bassin B1 du Lez (Fig. 8). Le déphasage entre les débits de pointe mesurés entre G2 et G3 est relativement constant. Or dans ce cas, le déphasage est inexistant et le débit enregistré en G3 est 2 fois supérieur à celui du Lez lors de son entrée dans Montpellier (G2).

L'impact des pluies (250 mm en 1 jour) sur la partie sud du bassin et l'imperméabilisation des surfaces de la ville aura généré cette hausse du débit. En effet, la différence entre l'épisode de septembre 2002 et de septembre 2003 réside principalement dans l'existence de précipitations beaucoup plus fortes sur le sud du bassin en 2003.

Lors de cet épisode, le système aquifère a été peu affecté par les précipitations. Seule la zone de la faille de Corconne connaît une hausse piézométrique mais de façon retardée par rapport à la crue de surface. Le débit à la source du Lez est d'ailleurs négligeable. Peut-on dire que le rôle du système karstique est négligeable ?

### **Evènement du 01, 02 et 03 décembre 2003 :**

Contrairement aux deux précédents évènements, celui-ci ne peut être qualifié d'évènement cévenol du fait de son intensité et de sa durée importante.

Seule la spatialisation du 01/12/2003 est connue du fait des préoccupations de l'OHMCV. L'intensité journalière maximale enregistrée est de 54mm pour une valeur minimale de 15mm, soit le quart, voire le cinquième des intensités des évènements précédents (Fig. 10).

L'évènement était localisé au nord du bassin B1 du Lez. Dans ces conditions, c'est plus particulièrement le bassin hydrogéologique BH qui a été touché. La lame d'eau affectant le bassin amont du Lez B1 dans notre système de classification est uniforme et comprise entre 10 et 50mm.

Le volume total précipité sur le bassin amont du Lez est de  $8.9 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ .

Si les deux premiers évènements intervenaient sur une nappe déprimée, ce n'est pas le cas de celui-ci. En effet, la piézométrie dans le compartiment NW est de l'ordre de 110m NGF et de 70m NGF dans le compartiment SE (Fig. 11a). L'écoulement

global se fait selon le régime général en direction du SE. Le gradient de charge hydraulique relativement uniforme du nord au sud tend à montrer qu'un équilibre s'était établi lissant ainsi la rupture qui surligne la structure géologique. L'équilibre est mis en évidence par un gradient relativement uniforme du nord au sud sans rupture piézométrique brutale.

La localisation de la pluie au nord du site d'étude génère une hausse piézométrique atteignant 130m NGF pour le bloc nord avec de l'artésianisme sur certains forages (Fig. 11b , forages 6, 12 et 13). La rupture piézométrique devient d'autant plus marquée que la piézométrie apparente au sud montre peu de réaction à cet évènement.

Enfin le drainage naturel tend à rééquilibrer les masses d'eau du nord-ouest au sud-est (Fig. 11c).

La crue est ici unimodale avec des valeurs de débits très importantes qui atteignent 27.7m<sup>3</sup>/s à la source du Lez (G1), 440 m<sup>3</sup>/s en G2 et 539 m<sup>3</sup>/s en G3 (Fig. 12). Ces valeurs sont très nettement supérieures à celle des deux crues précédentes alors que la pluviométrie enregistrée est notablement plus faible. Le déphasage entre les pics est de 4h entre G1 et G2 et 1h entre G2 et G3. Ces temps de transfert entre les différents points de mesure semblent significatifs d'un transport de masse d'amont vers l'aval contrairement aux épisodes précédents où pour celui de septembre 2002 le temps de propagation était relativement court et pour celui de septembre 2003 était inexistant.

Cette crue est le résultat de 3 jours de pluies consécutifs mais seule la spatialisation du premier jour est connue. Le volume cumulé de précipitation sur les trois jours (calculé à partir de la station de St Martin de Londres) est sensiblement comparable à ceux obtenus en 1 journée pour les évènements d'automne. Cependant les premières précipitations (<> 50mm le 1 décembre) ne semblent pas efficace au développement de crue de surface contrairement à celles du 3 décembre (<> 150mm). En revanche, ces premières précipitations affectent fortement l'aquifère qui connaît une forte mise en charge le 2 décembre (précipitations négligeables).

La présence d'artésianisme, de débit importants en G1 peuvent ils être significatif d'un débordement karstique?

### **Discussion :**

L'enregistrement de la pluie spatialisée, de la piézométrie et des débits sur la totalité du système hydrodynamique du Lez permet d'identifier le rôle joué par chaque caractéristique (pluie, géologie, hydrologie) de ce système ainsi que leur impact respectif.

Les évènements étudiés sont caractéristiques de phénomènes extrêmes que nous pouvons observer en climat méditerranéen sub-cévenol, à savoir des évènements brefs mais intenses atteignant des valeurs journalières de 200mm voire plus. Ceux-ci affectent un système aquifère de type karst barré : l'aquifère karstique qui affleure en amont donne naissance à un fleuve qui s'écoule par la suite sur le recouvrement récent moins perméable, mis en place par des failles. Les différents affluents de ce fleuve (le Lirou et le Terrieu), cours d'eau éphémères fonctionnent lors des crues souterraines grâce à leur relation étroite avec le karst tout au long de leur cours.

L'analyse des crues au sein de cet hydrosystème se fera par la prise en compte les aspects suivants :

- l'aspect hydrologique
- l'aspect hydrogéologique

Dans un premier temps occultons les aspects hydrogéologiques et considérons uniquement la surface du bassin B1 siège du ruissellement. La répartition spatiale de la pluie entre septembre 2002 et 2003 peut expliquer les différences observées entre les deux crues. En effet, la lame d'eau précipitée sur la partie sud de B1 est beaucoup plus importante en septembre 2003 qu'en septembre 2002. Or, cette partie de B1 correspond à des terrains plus favorables au ruissellement (éocène marno-calcaire et oligocène détritique). Ceci peut être à l'origine de débits plus importants en 2003 qu'en 2002 sur la station G2, ainsi que sur la station G3 après le passage du Lez dans la ville et le ruissellement facilité par les surfaces imperméables de la cité. Les crues de septembre 2002 et 2003 s'expliquent donc assez bien par la considération de phénomènes hydrologiques. Par contre, la crue de décembre 2003 a été générée par des précipitations moins intenses et localisées essentiellement au nord sur des terrains peu favorable au ruissellement. Afin de quantifier l'impact de cette répartition spatiale, nous avons établi des bilans volumiques réalisés sur les différentes stations hydrométriques et pour les différents bassins B1 et BH. Ceci nous a permis de calculer des coefficients de ruissellement « apparents » (Tab. 1) pour les trois évènements sélectionnés :

Le tableau 1 met en relation les volumes précipités, les volumes transitant par le système hydrologique B1 au travers d'un coefficient de ruissellement en décomptant les volumes issus de la source du Lez.

Le calcul nous a donné un coefficient compris entre 16 et 20% du volume précipité pour les crues d'automne. Ces valeurs sont conformes à ce que l'on retrouve en milieu karstique où une part non négligeable des précipitations s'infiltrerait rapidement au sein de l'aquifère. En revanche, pour la crue de décembre 2003, ce coefficient de ruissellement est de 99% ce qui voudrait dire que tout le volume d'eau des précipitations cumulées sur les 3 jours aurait participé à la crue. Or nous savons qu'une partie des précipitations (notamment du 1 décembre) était localisée essentiellement sur BH et sur la partie nord de B1. Ces deux zones, en terrain calcaire, sont peu favorable au ruissellement et plus propice à de l'infiltration rapide, d'ailleurs ces précipitations semblent avoir conduit à la mise en charge du 2 décembre. Il est donc concevable qu'une partie des volumes participant à la crue de décembre 2003 mettent en évidence la participation de phénomènes autres que purement hydrologiques, raison pour laquelle nous avons analysé plus en détail l'évolution de la piézométrie dans l'aquifère karstique.

L'évolution de la piézométrie au cours des différents événements peut nous apporter des informations complémentaires sur l'origine des crues enregistrées. En effet, le bassin hydrogéologique BH de la source du Lez et le bassin versant B1 du Lez sont étroitement liés sur les deux tiers nord de ce dernier : le bassin BH draine un système karstique bien développé qui se retrouve en relation avec le bassin B1 à la faveur d'exurgences karstiques tels que la source du Lez ou du Lirou. Il existe également une quantité importante de phénomènes plus petit fonctionnant lors de grandes crues souterraines en débordement : ceci faisant ressortir la typologie de karst barré de notre aquifère. Les volumes transitant par le système souterrain (BH) peuvent donc participer aux écoulements de surface en aval des ces exurgences notamment au travers des cours d'eau éphémères affluent du Lez (Lirou et Terrieu) [Camarasa Belmonte et Segura Beltran 2001].

Suite à ces considérations, nous avons essayé de quantifier les échanges entre l'aquifère et les écoulements de surface. Pour ce faire, nous avons dû déterminer les volumes transitant par l'aquifère karstique. Nous avons donc calculé la porosité apparente de l'aquifère des calcaires jurassiques. Cette donnée hydrodynamique a été estimée dans différents cas (Fig.13 a, b) :

Cas 1 : Porosité apparente au dessus de la zone de la résurgence :

Cas 2 : Porosité apparente sous la zone de résurgence :

Compte tenu de l'hétérogénéité des milieux karstiques, nous avons déterminé une porosité apparente lors des décrues souterraines mais aussi lors de la désaturation de l'aquifère lié au pompage. En effet, il semblait logique que la porosité sous le niveau saturé soit affectée par les développements karstiques mais ce ne fut pas le cas. Malgré le développement karstique potentiellement important de l'aquifère de la source du Lez (notamment si on l'associe aux sources sous-marines de la bordure côtière), la porosité apparente calculée reste constante dans la zone de battement de notre aquifère (ce qui représente une tranche désaturée de 100m). Ainsi la porosité globale apparente est estimée à 0,164%. Grâce à cette porosité, nous pouvons évaluer les volumes d'eau dans l'aquifère avant une crue (état initial) après une crue (état final) lorsque la résurgence de la source du Lez n'est plus en fonctionnement. Les volumes exprimés ainsi n'ont pas de sens physique directement car ils sont calculés comme les volumes entre la cote 0m NGF et la surface piézométrique à un temps donné pour une porosité apparente constante. La connaissance du mur de cet aquifère permettrait de formuler plus rigoureusement ces volumes. Néanmoins, ce qui nous intéresse est la différence entre ces deux volumes qui représente le volume stocké par l'aquifère lors des crues (fig.14).

Lors des épisodes de fins d'étiages (automne), le volume stocké serait de  $12 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  pour la crue de septembre 2002 et de  $11,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  pour la crue de septembre 2003. En revanche, lors de l'épisode en période de hautes eaux (décembre 2003), l'aquifère n'emmagasine que  $1,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ . Les différences de volumes sont liées à l'espace disponible pour le stockage dans l'aquifère. En effet, en automne l'aquifère est déprimé par le manque de précipitation durant la période estivale mais aussi par la gestion active des pompages dans la source du Lez. La gestion active de la ressource en eau prend ici toute son ampleur du fait de l'augmentation de la population estivale en proximité de la Méditerranée (+50% de volume prélevé environ  $120000 \text{ m}^3/\text{j}$ ). Par contre en décembre l'aquifère est fortement saturé car les précipitations d'automne et d'hivers permettent une restauration des réserves et les prélèvements d'eau sont moins importants (environ  $80000 \text{ m}^3/\text{j}$ ).

Les résultats donnés dans la figure 14 soulèvent divers points intéressants pour à la gestion de l'aléa inondation avec une participation karstique, à savoir :

Est-ce que  $12 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  correspond au volume maximal de stockage ? Et sinon quel est ce volume ?

Peut on, à partir des données de piézométrie, estimer si le l'aquifère karstique a atteint sa limite de débordement?

En septembre 2003, l'aquifère était très déprimé (période de sécheresse extrême en France) ce qui dans la suite de notre raisonnement a offert un espace de stockage important pour les crues d'automne. Or le volume absorbé par le karst lors de la crue est sensiblement égal (voire inférieur) à celui stocké durant la crue de septembre 2002 pour laquelle l'état initial était nettement moins favorable quand bien même le volume précipité en septembre 2003 était supérieur à celui de septembre 2002 . De plus, si on considère la zone où le karst affleure dans le bassin versant B1, nous avons vu précédemment que la lame précipitée était équivalente (lame de 100-150mm sur une surface de 65% de B1 en septembre 2002 et de 68% en septembre 2003) pour ces deux épisodes. La différence s'est donc faite au niveau du bassin hydrogéologique BH, zone d'alimentation de l'aquifère. En effet, en septembre 2002, la cellule orangeuse était localisée au nord de la zone d'étude c'est-à-dire plutôt à l'aplomb de BH contrairement à septembre 2003 lorsque la cellule était au sud de B1. Nous avons vu précédemment qu'en septembre 2003 que le système karstique a réagit tardivement par rapport à la crue de surface sans en affecter l'hydrogramme quelque soit le point de mesure. Ceci semble indiquer que le karst n'a pas participé à cette crue donc que le réservoir n'était pas saturé. Ceci est d'ailleurs corroboré par la piézométrie apparente de l'épisode en septembre 2003. On peut donc penser que le volume « stockable » est supérieur à celui estimé pour cet événement si les conditions, notamment la spatialisation des précipitations plutôt au dessus de BH, sont favorables.

Répondre à la seconde question revient à se demander si le volume final calculé pour l'épisode de septembre 2002 et décembre 2003 est représentatif d'un aquifère totalement saturé et prêt à déborder où vient de déborder. La méthode employée consiste à déterminer si le débit mesuré en G1 est essentiellement d'origine karstique ou plutôt lié au ruissellement et à des transferts rapides épikarstiques. En effet, la station de mesure est située en aval de la source, le débit mesuré n'est donc pas uniquement lié au fonctionnement en résurgence de la source du Lez.

Les débits de pointe mesurés au niveau de la station G1 sont de 7,9m<sup>3</sup>/s en septembre 2002, 2,5 m<sup>3</sup>/s en septembre 2003 et pour décembre 2003 de 27,7m<sup>3</sup>/s. Nous venons de démontrer que lors de la crue de septembre 2003 que l'aquifère n'avait pas participé à la crue de surface. En revanche, si on étudie les mises en charge dans l'aquifère pour les épisodes de septembre 2002 et décembre 2003, on peut s'apercevoir quelles sont synchrones des hausses de débit dans le Lez. Ceci amène à penser que des apports karstiques aux crues de surface ont pu exister lors de ces deux événements. Qui plus est, en décembre 2003 les mises en charge ont été telles que certains forages sont devenus artésiens. De plus, les débits mesurés en G1 semblent étayer cette conclusion car les précipitations ne peuvent pas expliquer ce débit à partir du bassin versant vu par la station G1.

Il semble donc que le débit en septembre 2002 et en décembre 2003 soit assuré en partie par le débordement du système karstique alors que celui de septembre 2003 est davantage lié à du ruissellement de surface.

Ainsi il semble que le karst ait débordé en septembre 2002 avec un apport léger à la crue de surface et qu'il ait beaucoup plus participé à la crue de décembre 2003. Le volume maximum stockable dans l'aquifère est donc de l'ordre de celui calculé lors de l'état final de septembre 2002 et de décembre 2003 soit une valeur théorique de 45 \*10<sup>6</sup> de m<sup>3</sup>. Cette valeur peut être considérée comme seuil de débordement karstique dans la gestion de l'aléa inondation.

Nous avons vu au travers de ces trois événements que le système karstique jouait un rôle très important dans la genèse et le développement des crues de surface :

lors de l'épisode de décembre 2003, le débit dans le Lez était assuré par le débordement du système karstique avec un emmagasinement faible dans l'aquifère qui est devenu artésien. Le système karstique a eut pour effet d'accroître l'intensité de la crue;

en septembre 2003, la crue avait plutôt une origine hydrologique de part l'exceptionnelle intensité de précipitation localisée dans la partie moins perméable du bassin versant du Lez, l'aquifère a peu réagi et en déphasage de 6 heures par rapport à la crue. Néanmoins, le volume absorbé est de l'ordre de 11 \*10<sup>6</sup> de m<sup>3</sup>;

et en septembre 2002, le karst a stocké un volume de l'ordre de 12\*10<sup>6</sup> de m<sup>3</sup>. Néanmoins, le débit du Lez semble affecté par un apport karstique. Le système karstique a donc eut l'effet de « barrage écrêteur de crue » en diminuant l'intensité de la crue.

Enfin, si nous considérons l'étiage prononcé de septembre 2003 comme référence de plus basses eaux possibles, il semble que la capacité d'amortissement des crues par le karst soit relativement efficace à condition de maintenir un espace dénoyé suffisant dans l'aquifère et pourrait atteindre un volume de 20 \*10<sup>6</sup> de m<sup>3</sup>.

## **Conclusion**

Afin de qualifier et quantifier le rôle des différents processus de participation des aquifères karstiques dans l'aléa inondation, nous avons choisi d'interpréter 3 événements importants affectant le Lez et son aquifère karstique.

Ces événements ont été détaillés et ont permis de montrer l'incidence de la répartition spatiale des pluies sur le ruissellement mais aussi sur le stockage dans le système hydrogéologique notamment lors de l'épisode de septembre 2003. Ce deuxième point est extrêmement important compte tenu des caractéristiques de notre système hydrogéologique à savoir une partie amont fracturée karstique où l'infiltration rapide est prépondérante et une partie aval soumise à du ruissellement. Cette deuxième partie se trouve étroitement liée avec le réservoir karstique sous-jacent par l'intermédiaire d'un grand nombre d'exurgences karstiques. Ainsi, le Lez peut présenter deux sortes de crue : des crues fortement marquées par des aspects hydrologiques (ruissellement sur le bassin versant B1) et des crues plus fortement marquées par des aspects karstiques (artésianisme, fonctionnement des résurgences). Ces dernières pouvant générer des débits de pointes extrêmes de par l'importance de l'impluvium (BH) de la source du Lez et de ces affluents.

Nous avons aussi mis en évidence l'impact de la saturation du système karstique dans l'intensité des crues de surface sur le Lez en relation étroite avec ce karst. Ou plutôt, le rôle atténuateur du karst dans les crues de surface lors des épisodes pluviométriques extrêmes en période de basses eaux (septembre 2002).

Du fait de la gestion active du système karstique qui génère un niveau piézométrique particulièrement déprimé en période d'étiage. Le karst joue le rôle d'un barrage écrêteur de crues qui aurait une capacité d'amortissement maximum théorique de l'ordre de 20\*10<sup>6</sup> de m<sup>3</sup>. Néanmoins, comme le montre la crue de septembre 2003, la présence d'un sol plus ou moins imperméable dans la partie aval du bassin versant peut générer des débits par ruissellement non négligeable.

## *Remerciements*

Nous remercions la Compagnie Générale de l'Eau, la Ville de Montpellier et la DIREN Languedoc Roussillon pour les données fournies dans le cadre de cette étude soutenue par l'IFR ILEE

## *Références*

- Berard, P., A. Camus, et al. 1983. Etude de relations entre la source du Lez et son réservoir aquifère - Recueil des données et établissement d'un modèle de cohérence. Montpellier, BRGM: 95 p.
- Berard, P. et D. Thiery 1984. Etude de la relation entre la source du Lez et son réservoir aquifère - Modèle d'étude détaillée. Montpellier, BRGM: 70 p.
- Berard, P. 1983. Etude des relations entre la source du Lez et son réservoir aquifère - Définition des unités hydrogéologiques. Montpellier, BRGM: 22 p.
- Bonnet, A. & Paloc, H. 1969 : Les eaux des calcaires jurassiques du bassin de Montbazin-Gigean et de ses bordures (Pli de Montpellier et massif de la Gardiole, Hérault). Bull. BRGM (2), III, 3-1969, 12 p
- Camarasa Belmonte, A. et Segura Beltran, F. (2001). Flood events in Mediterranean ephemeral streams (ramblas) in Valencia region, Spain. *Catena* 45 (2001) 229-249.
- C.E.R.G.A. 1981 – 2000. Fonctionnement hydrogéologique, vulnérabilité et protection contre la pollution de l'aquifère de la source du Lez. Rapport d'activités annuel de 1981 à 2000. Montpellier.
- Delrieu, G. et al. 2004. The catastrophic flash-food event of 8-9 september 2002 in the Gard region, France: a first case study for the Cévennes-Vivarais Mediterranean hydro-meteorological Observatory. *Journal of hydrometeorology* p
- Drogue, C. 1963. Essais de délimitation du bassin d'alimentation d'une résurgence des karsts noyés languedociens. *Ann. Spéléol.*, 18, 4, p. 409 -414.
- Drogue, C. 1969. Contribution à l'étude quantitative des systèmes hydrologiques karstiques d'après l'exemple de quelques karsts périméditerranéens. Thèse de Doctorat Université des sciences et techniques du Languedoc 482p.
- Gaume, E., Livet, M., Desbordes, M. 2003. Study of hydrological processes during the Avene river extraordinary flood (south of France): 6-7 october 1997. *Physic and chemistry of the earth* 28 (2003) 263-267.
- Fleury, P. 2005. Sources sous-marines et aquifères karstiques côtiers méditerranéens. Fonctionnement et caractérisation. Thèse de Doctorat Université Paris VI Pierre et Marie Curie.
- Jourde, H. et al. 2005.
- Karam, Y. 1989. Essais de modélisation des écoulements dans un aquifère karstique. Exemple de la source du Lez (Hérault, France). Thèse de Doctorat Université des sciences et techniques du Languedoc.
- Salado, J. et Marjolet, G. 1971. Contribution à l'étude de l'aquifère karstique de la source du Lez (Hérault) – La source du Lez et son bassin. Montpellier, C.E.R.G.A.: 101 p.
- Salado, J. et Marjolet, G. 1975. Contribution à l'étude de l'aquifère karstique de la source du Lez (Hérault) - Etude du chimisme des eaux de la source du Lez et de son bassin. Montpellier, C.E.R.G.A.: 101 p.
- Salado, J. et Marjolet, G. 1975. Contribution à l'étude de l'aquifère karstique de la source du Lez (Hérault) - Etudes des écoulements d'eau dans les calcaires fissurés et karstifiés du site du futur captage des eaux de la source du Lez. Montpellier, C.E.R.G.A.: 140 p.

Figure 1 : Site d'étude (d'après la carte modifiée)

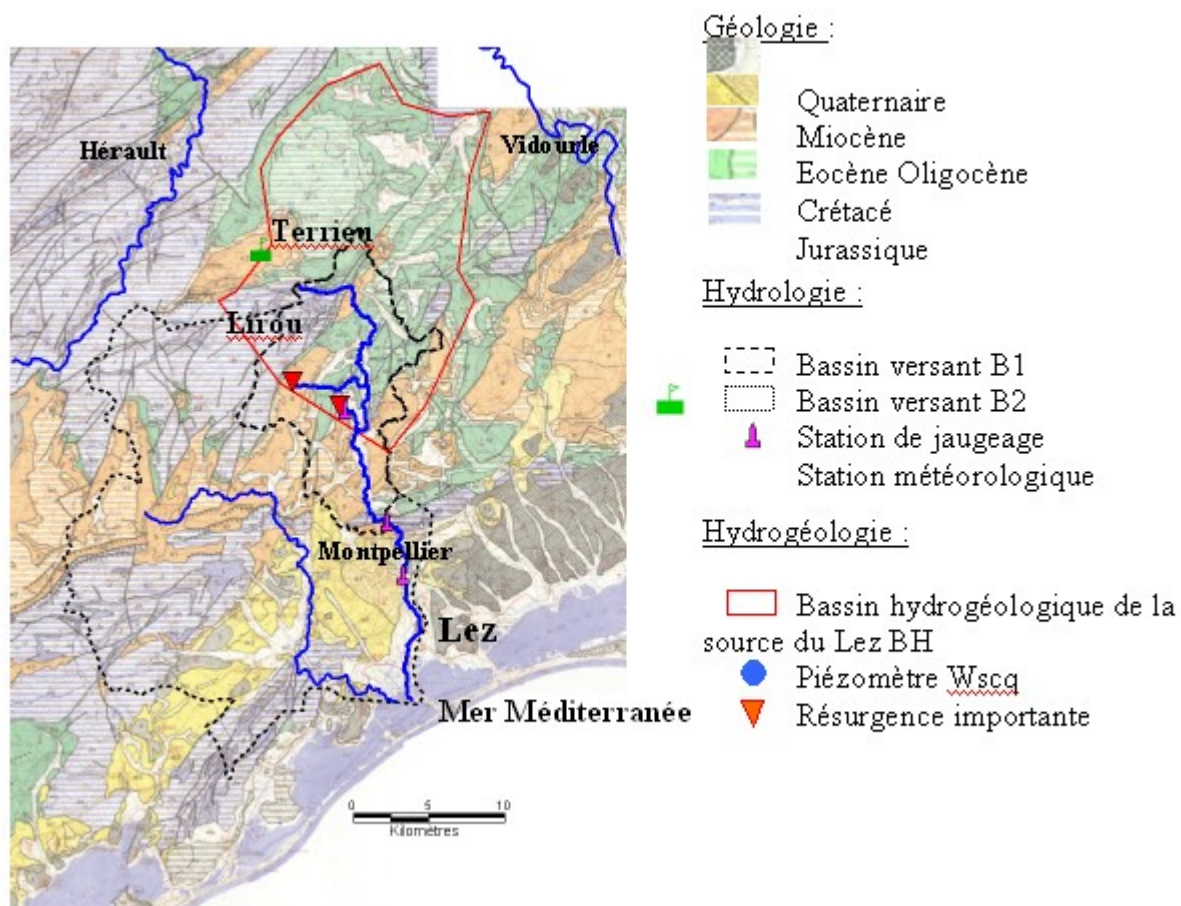


Figure 2 : Structure géologique et répartition spatiale des piézomètres

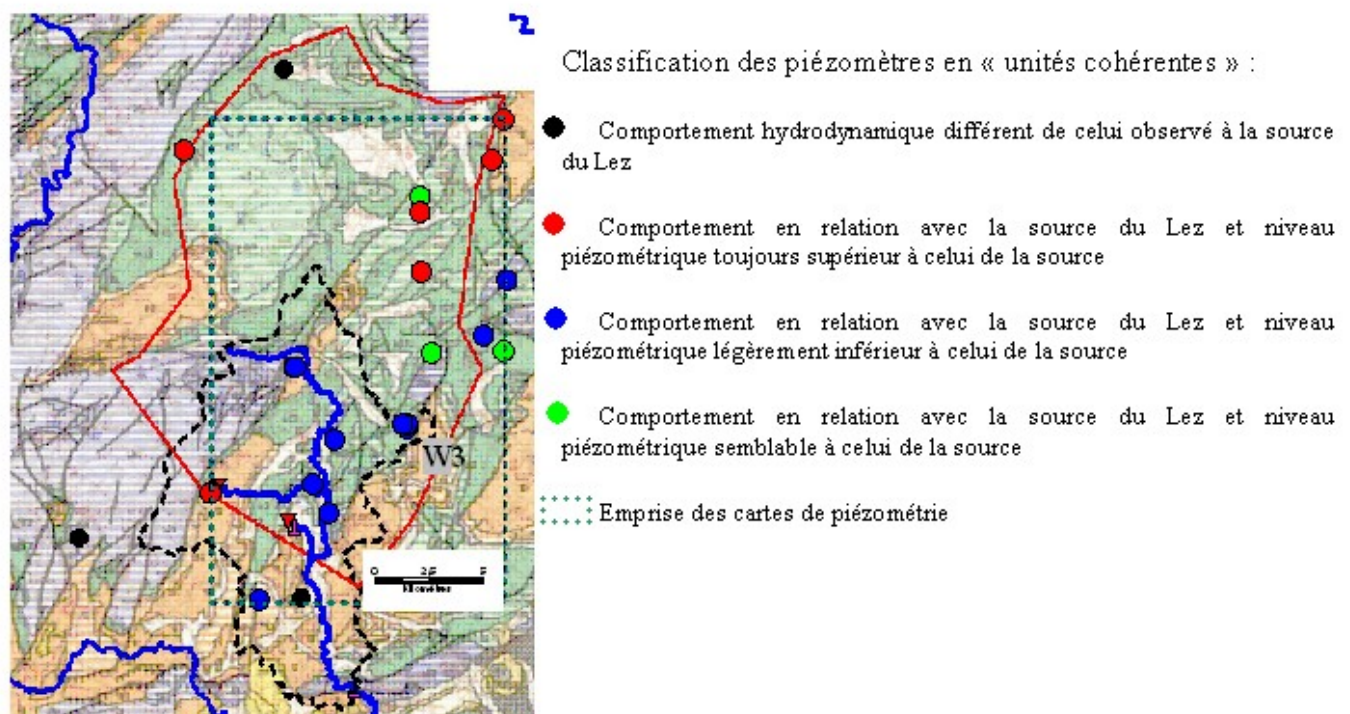




Figure 3 : Cartes de la piézométrie apparente a) hautes eaux ; b) basses eaux.

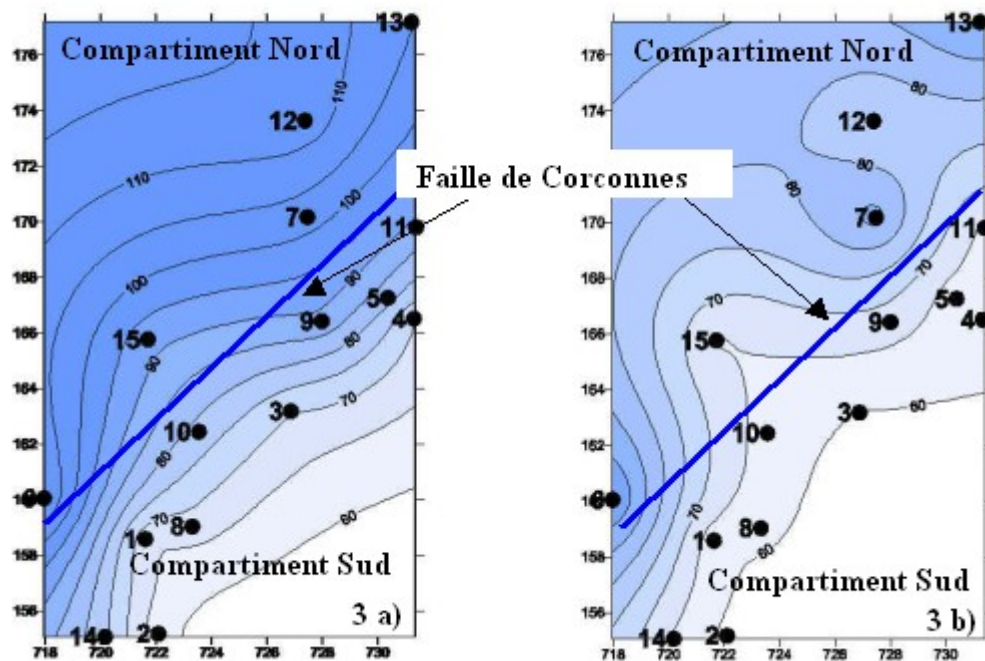


Figure 4 : a) Spatialisation des précipitations du 08 septembre 2002 ; b) Emprise des précipitations sur le bassin B1 (% surfacique)

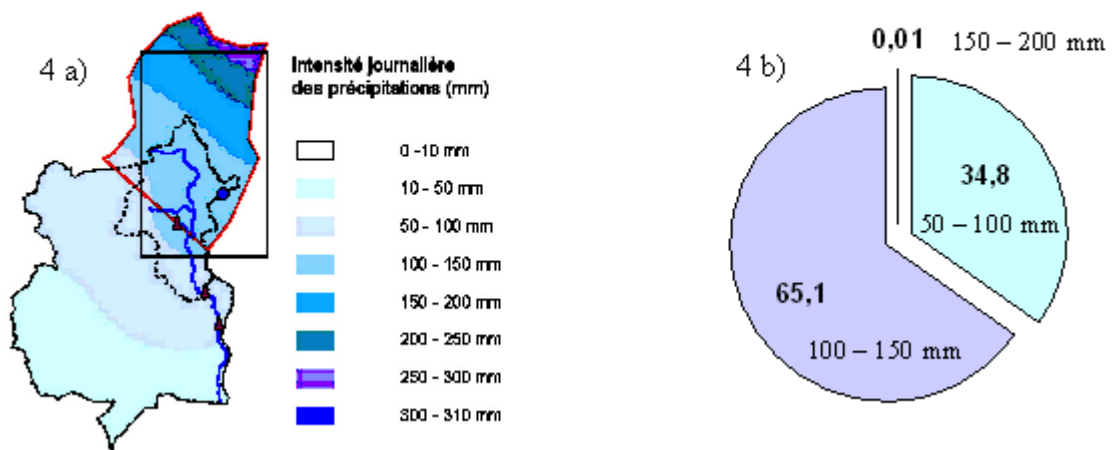


Figure 5 : Piézométrie apparente a) avant la crue; b) au pic de la crue souterraine (piézométrie maximale), c) en fin de crue

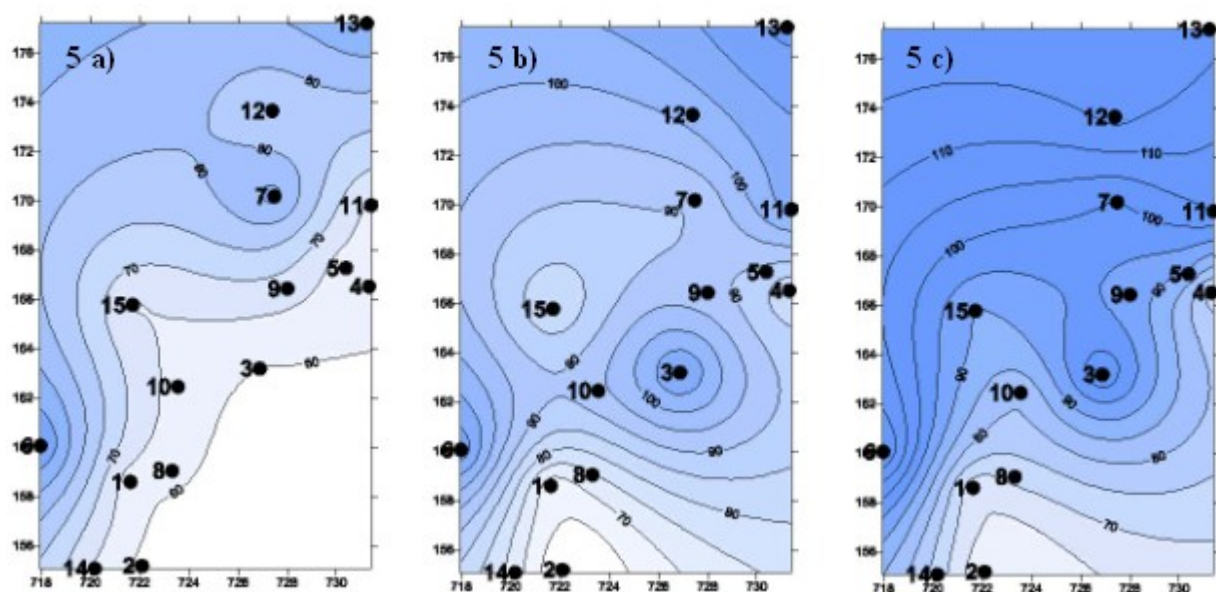


Figure 6 : Débit dans le Lez, évolution de la piézométrie dans l'aquifère et pluviométrie horaire cumulée à la station de St Martin de Londres pour la crue de septembre 2002

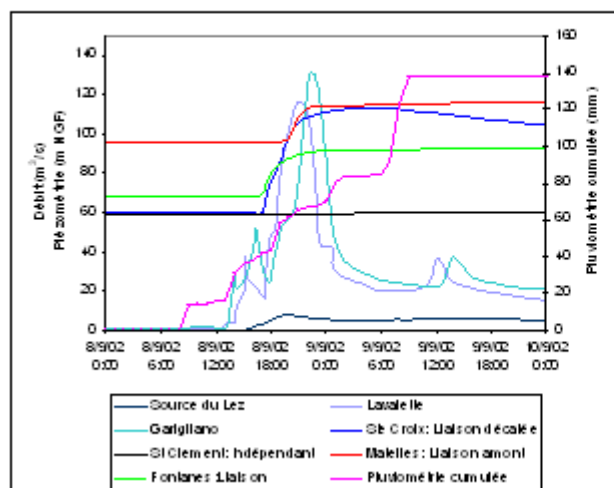


Figure 7 : a) Spatialisation des précipitations du 22 septembre 2003 ; b) Emprise des précipitations sur le bassin versant B1 (%)

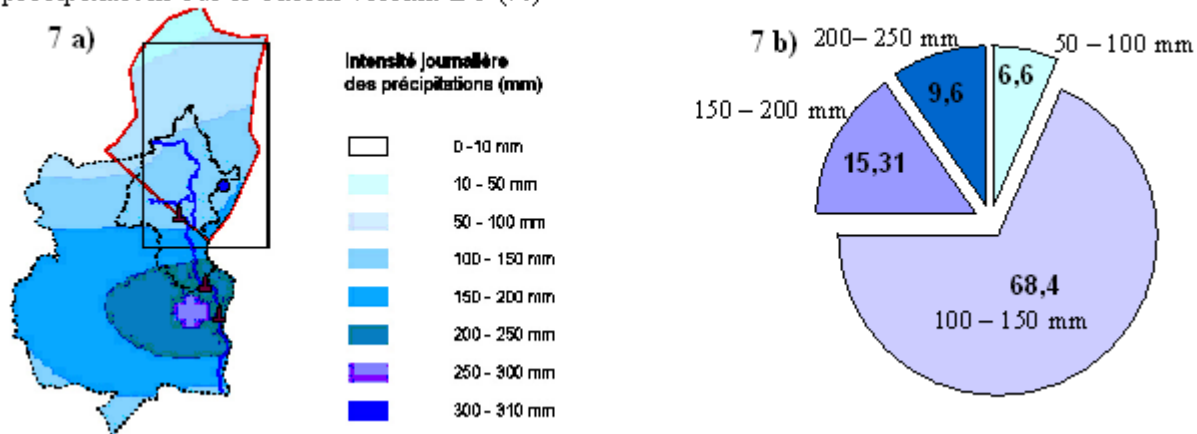




Figure 8 : Piézométrie apparente a) avant la crue; b) au pic de la crue souterraine (piézométrie maximale).

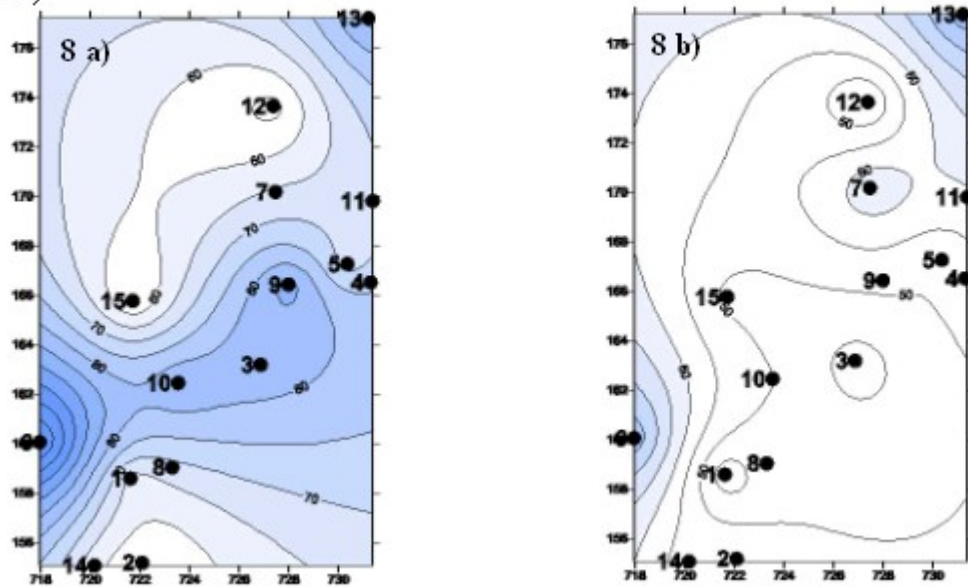


Figure 9 : Débit dans le Lez et évolution de la piézométrie dans l'aquifère pour la crue de septembre 2003

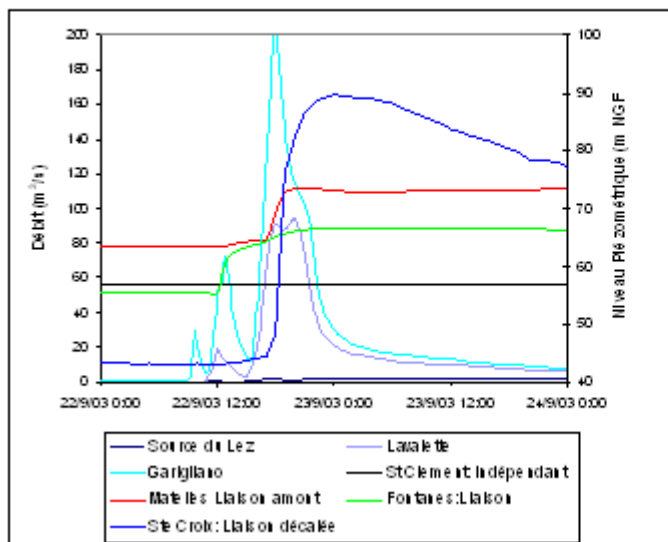


Figure 10 : Spatialisation des précipitations du 1 décembre 2003

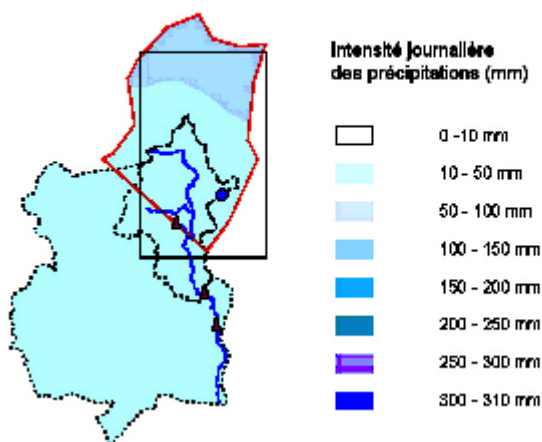


Figure 11 : Piézométrie apparente a) avant la crue; b) au pic de la crue souterraine (piézométrie maximale), c) en fin de crue

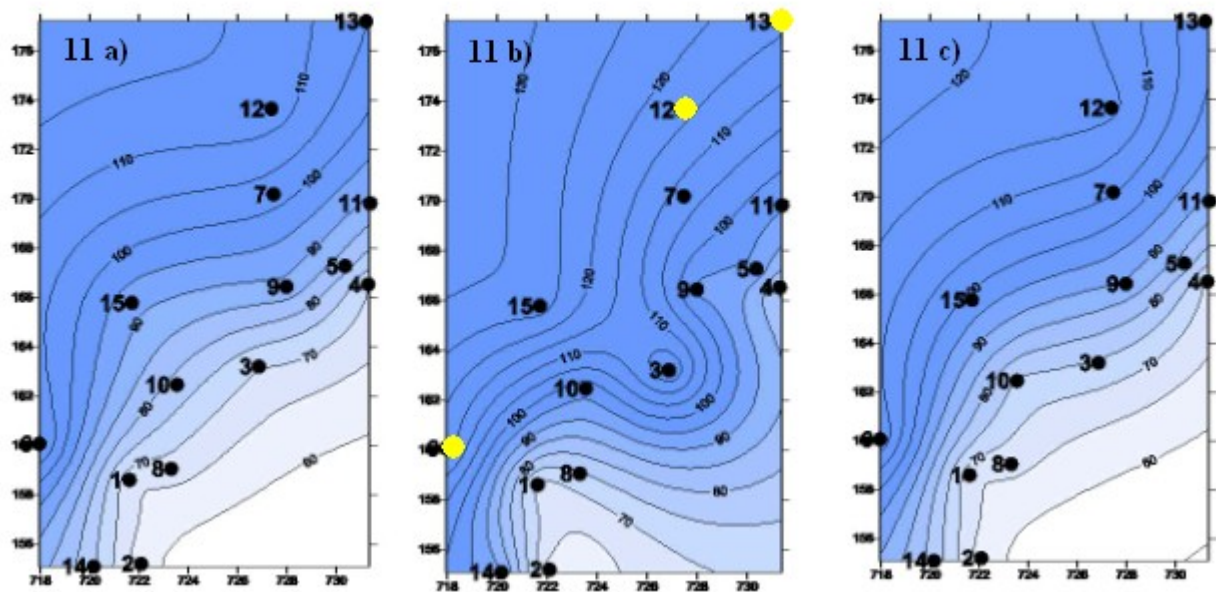


Figure 12 : Débit dans le Lez, évolution de la piézométrie dans l'aquifère et pluviométrie horaire cumulée à la station de St Martin de Londres pour la crue de décembre 2003

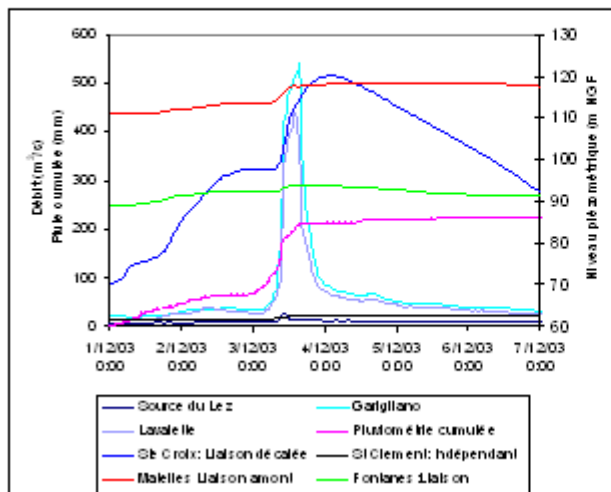
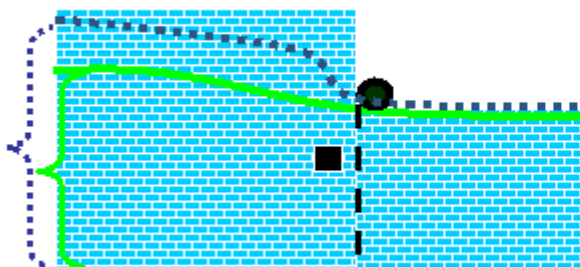


Figure 13 a : Cas 1 : Porosité apparente au dessus de la zone de la résurgence



$V_{prel}$  = volume prélevé par le pompage  
 $V_s$  = volume transitant par la station de jaugeage  
 $V_{initial}$  = volume compris entre la surface de piézométrie avant la crue et la cote 0 mNGF  
 $V_{final}$  = volume compris entre la surface de piézométrie lorsque la source ne fonctionne plus en résurgence et la cote 0 mNGF

$$n = (V_{prel} + V_s) / [(V_{initial} - V_{final}) - (V_{prel} + V_s)]$$

Figure 13 b : Cas 2 : Porosité apparente en dessous de la zone de la résurgence

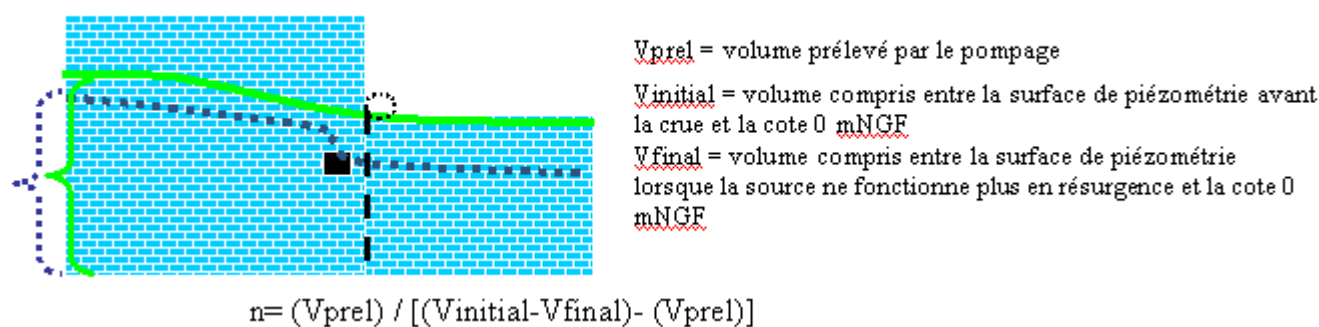


Figure 14 : Volume emmagasiné par le système karstique de la source du Lez

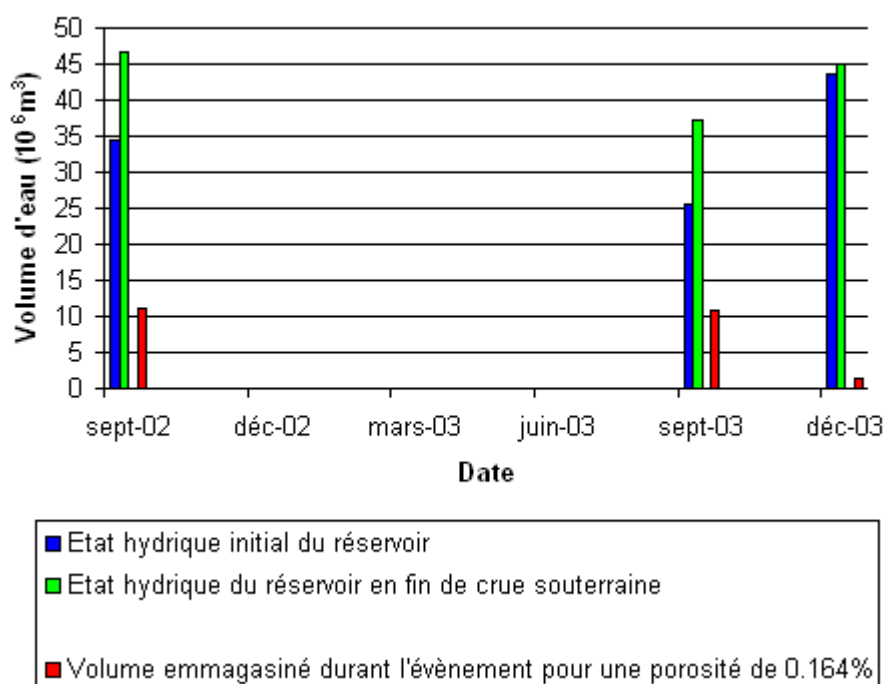


Tableau 1 : Bilan volumique et coefficient de ruissellement sur les trois évènements

	Septembre 2002	Septembre 2003	1, 2, 3 Décembre 2003
Volume [Vs] transitant en G1 (origine : BH)	3,5	0,385	8,5
Volume [V1] en G2 (origine BH+B1)	8,3	5,6	36,6
Volume précipité [Vp]	24	32,6	28.16
Coefficient de ruissellement apparent : $Cr = (V1 - Vs) / Vp$	0,2	0,16	0.99

Hervé Jourde  
Axel Roesch  
Vincent Guinot  
Vincent Bailly-Comte

## Dynamics and contribution of karst groundwater to surface flow during Mediterranean flood

Received: 9 October 2005  
Accepted: 23 May 2006  
Published online: 18 July 2006  
© Springer-Verlag 2006

H. Jourde (✉) · A. Roesch  
V. Guinot · V. Bailly-Comte  
Hydrosciences, University of Montpellier  
II, 300, Avenue Emile Jeanbrau,  
34095 Montpellier, France  
E-mail: jourde@msem.univ-montp2.fr  
E-mail: roesch@msem.univ-montp2.fr  
E-mail: guinot@msem.univ-montp2.fr  
E-mail: bailly@msem.univ-montp2.fr

**Abstract** This paper describes the role of groundwater contribution to surface flow at the Causse d'Aumelas, a karst system near Montpellier (France), which is traversed by an intermittent river, the Coulazou. A first hydrologic model integrating a digital terrain model shows the inability of a standard rainfall-runoff model to replicate recorded flood hydrographs. While the flood peaks are routed through the karstic system along the Coulazou without a phase lag, the peak magnitude is somewhat modified. These results indicate an initial karst system

recharge followed by a significant contribution to surface flow. A hydrodynamic analysis of groundwater flow confirms these results: the karst system first absorbs part of the rainfall, which induces a general water table rise within the aquifer, and then contributes to surface flow in the Coulazou.

**Keywords** Flash flood · Karst watershed · Groundwater contribution · Hydrodynamic analysis · Flood modelling · Mediterranean · France

### Introduction

The role of groundwater contribution to surface flow in karst watersheds is not well understood, although it may have a considerable impact on intense and rapid flooding in Mediterranean karst regions. This phenomenon has been studied in porous media (Freeze 1972), but has been scarcely observed in karstic heterogeneous terrains. A comparison of hydrologic and hydrogeologic processes is being carried out at the Causse d'Aumelas, a karst system near Montpellier (France), with the objective of obtaining better understanding of the dynamics and contribution of karst discharge to surface flow. The Causse d'Aumelas is crossed by the intermittent Coulazou River along which over 15 main karst features (estavelles) acting as sinkholes/springs have been recorded. The watershed is monitored with a dense monitoring network used to estimate the exchange between the Causse d'Aumelas aquifer and the surface drainage network (Fig. 1). The present study focuses on the dynamics and contribu-

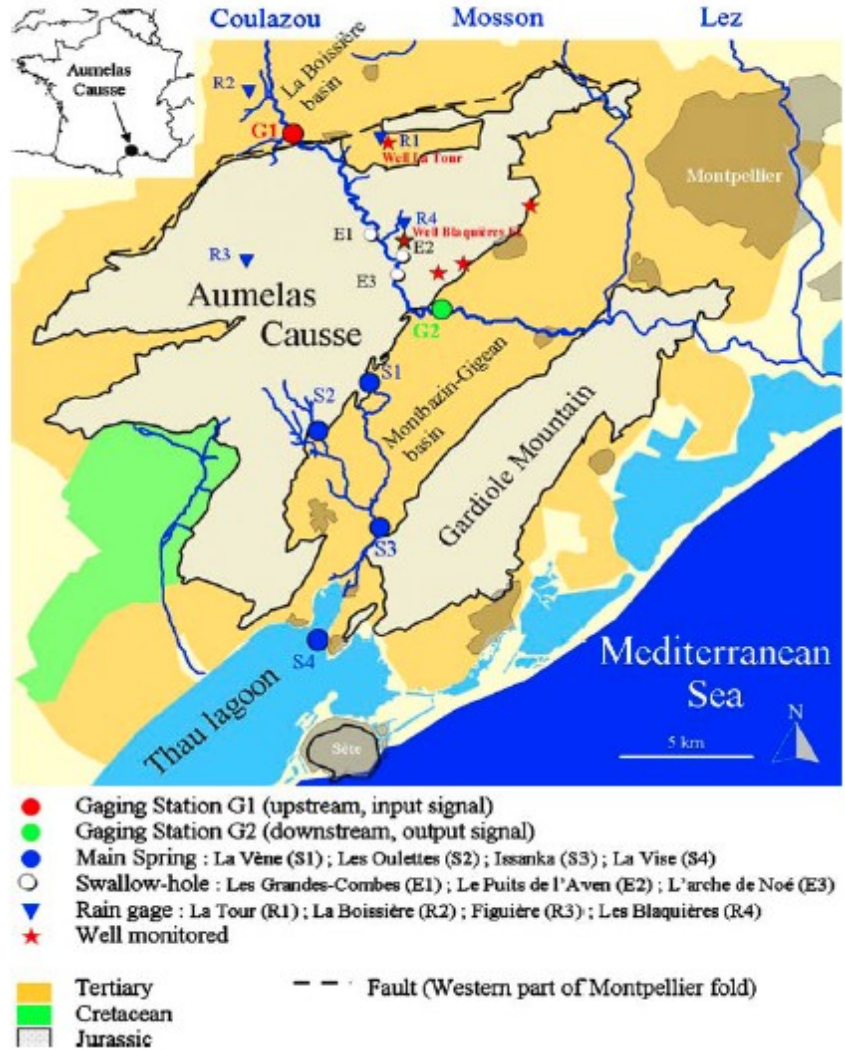
tion of karst groundwater to surface flow for one particular rainfall event.

### Study area and field measurements

The French karstic region called Causse d'Aumelas is a Jurassic calcareous plateau crossed by the intermittent Coulazou River (Fig. 1). This region is a binary karstic system developed within the calcareous Jurassic plateau, in contact with an Oligocene impermeable basin in the North and a Miocene impermeable basin in the South. For this study, the upstream Oligocene watershed is distinguished from the downstream Jurassic karst watershed of the Coulazou River. The upstream watershed is a synclinal mainly constituted of marly limestone covered by Oligocene detritic terrains, formed of limestone pebbles embedded in a clayey matrix. The downstream watershed corresponds to the Causse d'Aumelas karstic Jurassic plateau traversed by the Coulazou, the surface of which is about 40 km<sup>2</sup>.



Fig. 1 Monitoring network of the watershed karst system



During the periods of high water table level, many sinkhole/springs (estavelles) in the Coulazou valley contribute to superficial flows. Under normal conditions, the underground flow is directed towards four main karstic outlets: S1 (intermittent spring La Vène), S2 (intermittent spring Les Oulettes), S3 (permanent spring Issanka) and S4 (submarine spring La Vise). For this karst system, an upper compartment associated with a surface drainage network with S1, S2, and the Coulazou River as main outlets can be distinguished from a lower compartment connected to a deep drainage network, the main outlets of which are S3 and S4. Pressure and temperature data in the upper compartment of the karst system are available at four wells and two sinkholes/springs (Fig. 1) from April 2004 onwards with a 10 min time step. Measurements are recorded every 5 min at four rain gauges distributed over the area and two gauging stations at the entrance and the outlet of the Coulazou karst watershed.

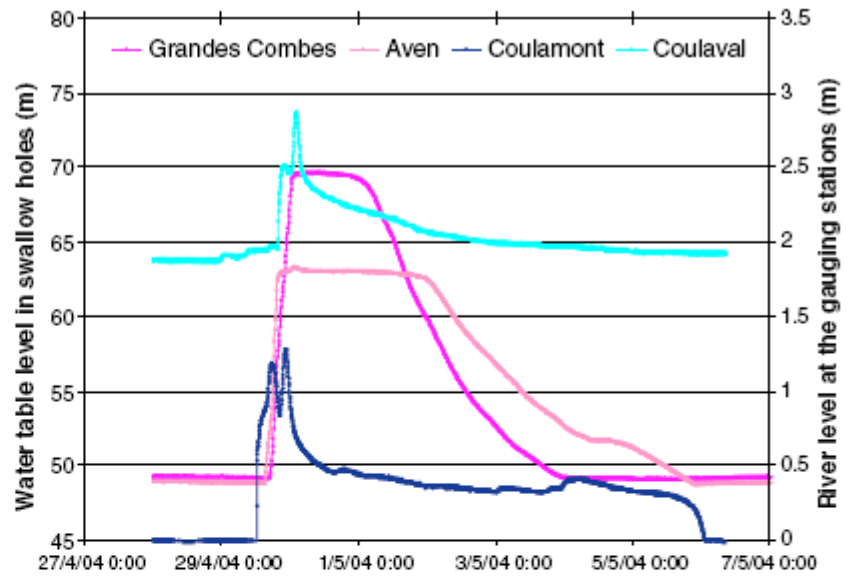
### Hydrodynamic analysis

Figure 2 shows the water table variations (m above mean sea level) in the two swallow holes located within the Coulazou riverbed and the river level water stage at the upstream (G1, Coulamont) and downstream (G2, Coulaival) gauging stations. During surface flooding, the water table rises in both monitored sinkholes/springs (E1, E2).

The rise takes place a little earlier in the downstream sinkhole/spring (E2, Aven) than in the upstream sinkhole/spring (E1, Grandes Combes).

The water table elevation exhibits a plateau at E1 and E2 during 20 and 42 h, respectively. This plateaus indicate that karst overflow occurs with groundwater contribution towards the Coulazou River. Furthermore, a second peak is observed at the downstream gauging station with higher amplitude than at the upstream gauging

Fig. 2 Water table and river level variation

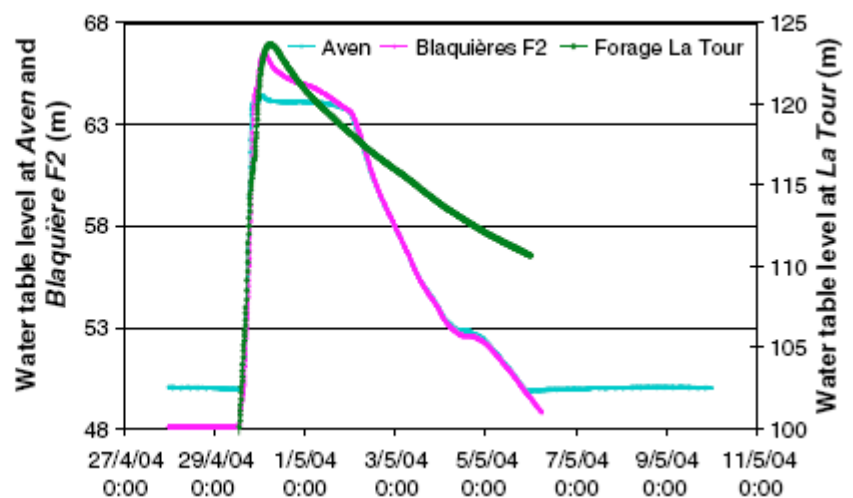


station when overflows occur on both sinkhole/springs. This behaviour is in agreement with the observed general increase in the water table level propagating from downstream of the aquifer to upstream before groundwater contributes to surface flow of the Coulazou.

Figure 3 shows the water table variation (m above mean sea level) in the downstream swallow hole (E2, Aven) located in the Coulazou riverbed and in two monitored wells (Blaquières F2, Forage La Tour). When overflow occurs at E2, it affects the water table variations in the conduit and thus in Blaquières F2 well. From aerial photographs, well Blaquières F2 and sinkhole/spring E2 can be observed to be on a main fault. It can explain their apparent hydraulic connectivity illustrated by their common hydrodynamic behaviour. This may indicate that both holes are connected to a high

conductivity conduit linked to the main drainage network of the aquifer, since water table rises and decreases rapidly with amplitude of 18 m. The well La Tour is in the northern part of the karstic watershed, very close to its boundary with the upstream Oligocene watershed. It shows very rapid water table rises with a high amplitude (30 m), synchronized with the previous ones. However, the dynamics of the water table decrease is slightly different, which may be related to a compartment of the karstic aquifer with a lower porosity or lower conductivity conduit. The hydrodynamic behaviour observed on these three monitored stations during water table rise confirms that the karst system first absorbs part of the rainy event, which induces a general water table rise within the aquifer, thus contributing significantly to surface flow in the Coulazou.

Fig. 3 Water table variation





## Hydrologic modelling

Before the studied flood event, this intermittent river was dry and flowed only from 28 April to 5 May 2004. To assess the fraction of the rain contributing to surface runoff, the flood hydrograph was integrated between these two dates, at the upstream (non karstic watershed) and downstream (karstic watershed) gauging stations.

The volume of water that flowed at the upstream gauging station corresponds to 9% of the net cumulated rainfall over the upstream watershed. The difference between the volume of water that flowed at the downstream and at the upstream gauging station corresponds to 36% of the net cumulated rainfall over the downstream karstic watershed. The 36% net rainfall for the downstream watershed also integrates the groundwater contribution to surface flow since it is calculated from the downstream Coulazou River hydrograph. The 9% net rainfall for the upstream watershed is in agreement with the land use. Indeed, it mainly comprises vineyards on marly and clayey ploughed terrains that may retain most of the water. These net rainfall volumes were used in the hydrologic model for the upstream and downstream watershed, respectively. The flood event was modelled with the Mike SHE and Mike 11 software (Graham and Refsgaard 2001).

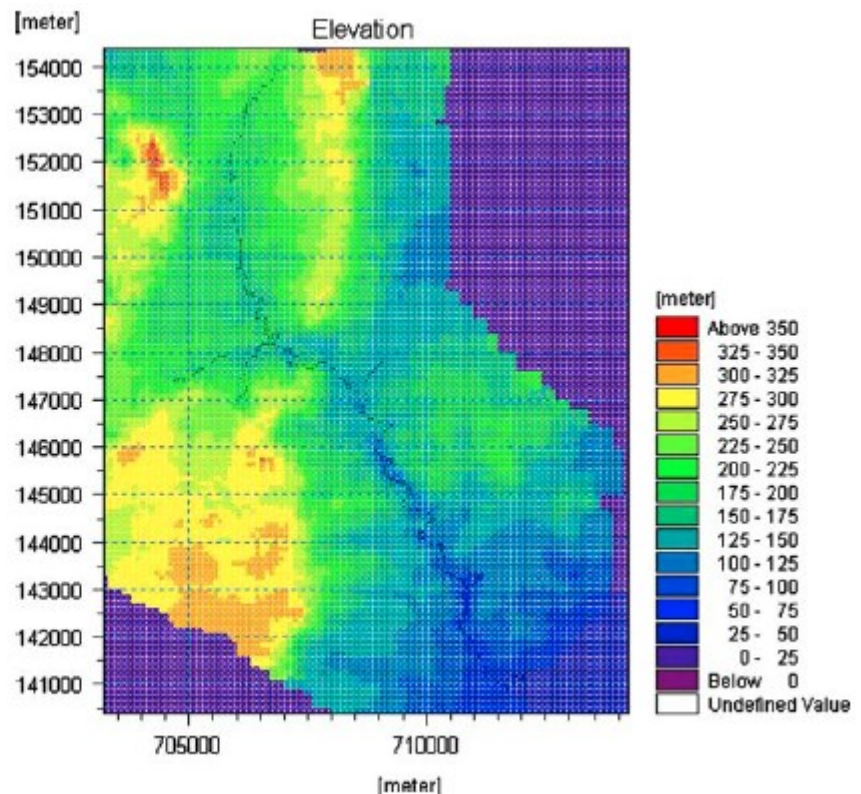
## Hydrologic data

A digital terrain model (DTM) with a cell size of 50 m (Fig. 4) was used to define the topography of the site and the Coulazou River watershed, which fits correctly with the watershed determined from the topographic maps. The spatial variability of the rainfall was inferred from measurements while considering also the topography of the whole watershed and the rain gauges monitoring stations elevations. This distribution was felt to be more adequate than a Thiessen Polygon-based method because of the topography (Fig. 4: watershed DTM) and the geological properties of the watershed. Four sub-watershed were distinguished: the upstream watershed of La Boissière, the western karst watershed of Mas de Figuière (mean elevation 250 m), the southern karst watershed of Les Garrigues (mean elevation 150 m), and the intermediate karst watershed of Mas de La Tour (mean elevation 100 m).

## Hydrodynamic data

The flood wave propagation in the Coulazou was modelled using the diffusive wave approximation. The longitudinal profile of the river was measured and var-

Fig. 4 Watershed digital terrain model



ious significant (widening, narrowing) cross sections determined.

### Model calibration

During model calibration, the hydrologic response was obviously controlled by the spatial distribution of surface runoff, but also by sub-surface detention storage (mm). Therefore, various sub-regions corresponding to different land use and geological properties were determined. A high surface roughness, with a Strickler coefficient equal to  $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  was selected for the detritic

Oligocene part of the upstream watershed, cultivated with vineyards. For the remainder of this upstream watershed (pastoral activity), a lower surface roughness (higher surface runoff), with a Strickler coefficient equal to  $35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  was used.

For the downstream karst watershed, a high surface roughness value with a Strickler coefficient equal to  $22 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  was selected. Finally, a high roughness value with a Strickler coefficient equal to  $7 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  was chosen for the Coulazou riverbed. The river bed is constituted of blocks of various sizes and both the main channel and the floodplain are highly vegetated.

The best fit between the simulated and observed hydrographs was obtained using net rainfall coefficients of 13% and 32% over the upstream and downstream watersheds, respectively (Fig. 5). They were also assigned a sub-surface detention storage of 5 and 10 mm, respectively.

Figure 6 shows the measured and simulated flood hydrographs at the upstream gauging station. On the measured hydrograph, two peaks were observed on 29/04/2004 at 6.00 p.m. and 11.00 p.m., with estimated discharges of 3 and  $4 \text{ m}^3/\text{s}$ , respectively. On the simulated hydrograph, two peaks on 29/04/2004 at 6.20 p.m. and 11.00 p.m. were evident with values of 3.55 and  $3.52 \text{ m}^3/\text{s}$ , respectively. Accordingly, the fit is good, although the two peaks are more noticeable on the measured hydrograph.

Figure 7 shows the measured and simulated flood hydrographs at the downstream gauging station. On the measured hydrograph, two peaks are observed at 10.00 p.m. on 29/04/2004 and at 2.30 a.m. on 30/04/2004. Estimated discharges are 10.3 and  $23 \text{ m}^3/\text{s}$ , respectively. On the simulated hydrograph, only one peak is evident for this period, 30/04/2004 at 0.49 a.m., with a discharge

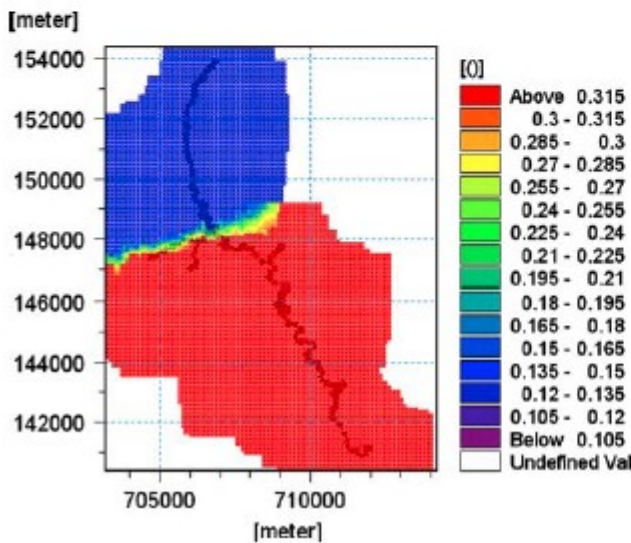


Fig. 5 Net rainfall spatial distribution

Fig. 6 Estimated and simulated flood hydrographs at the upstream gauging station

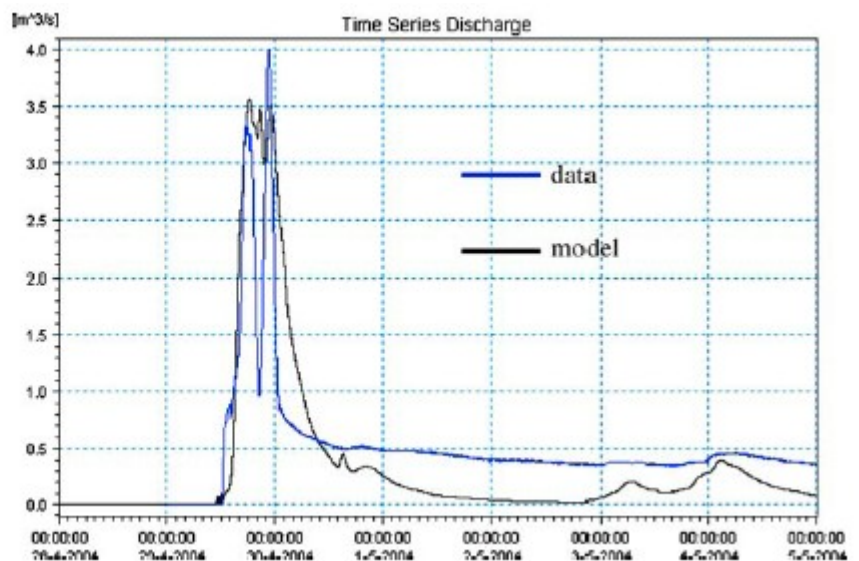
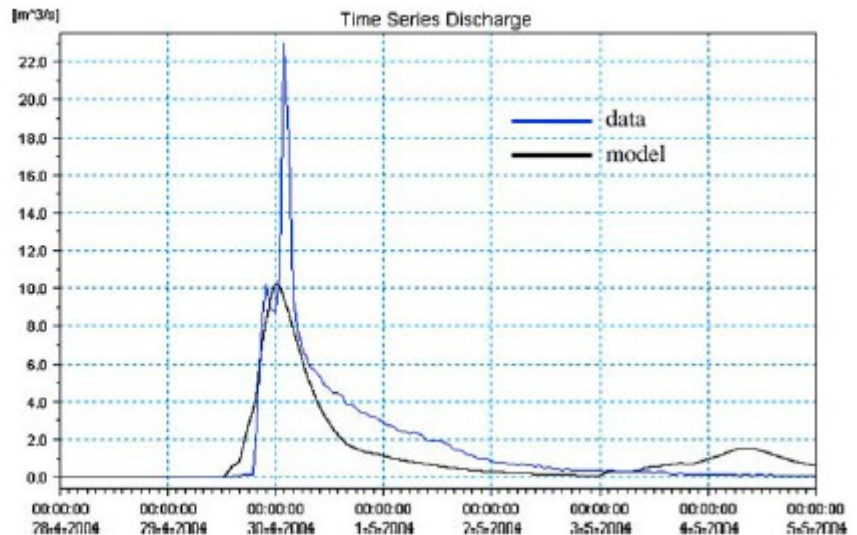




Fig. 7 Estimated and simulated flood hydrographs at the downstream gauging station



of 10.24 m<sup>3</sup>/s. The first maximum discharge is thus correctly simulated (same order of magnitude), but the second maximum flow rate does not appear on the simulation. Therefore, either the model calibration is incorrect, or the surface runoff hydrologic model cannot simulate the second peak because there is an additional contribution to surface flow.

Given the good fit on the upstream gauging station and the previous hydrodynamic analysis, this discrepancy for the second peak of the hydrograph is probably related to a delayed contribution of karst groundwater to surface flow. The difference between simulated and measured volumes appears to be about 410,000 m<sup>3</sup>, which may correspond to groundwater contribution. This volume constitutes 36% of the whole surface water volume at the downstream gauging station, which means that for this particular rainy event, karst groundwater contribution constituted over one-third of the total flood volume of the Coulazou. To characterize the dynamics of karst groundwater contribution to the surface drainage network, it would be interesting to model this flood event with a fully coupled surface–subsurface hydrologic model (e.g. Panday and Huyakorn 2004). However, it implies building a hydrogeologic model at the aquifer

scale that includes geometric and tectonic information (Jourde et al. 2002), which is difficult in such a heterogeneous media as the Causse d’Aumelas karst watershed.

## Conclusion

This study illustrated for one particular rainy event karst groundwater contribution to surface flow during a Mediterranean flood, both with hydrodynamic analysis and hydrologic modelling. The inability of a standard rainfall-runoff model to replicate recorded flood hydrographs in a karst watershed was confirmed. However, the hydrologic model allowed the karst groundwater contribution to surface flow to be quantified. It was also shown that the karst flow represents more than one-third of the cumulated flow at the outlet of the karst watershed. Hopefully, other flood events will be recorded and examined if this explanation can be generalized. It will then be possible to build a coupled surface–subsurface hydrologic model for the Causse d’Aumelas karst watershed.

## References

- Freeze RA (1972) Role of subsurface flow in generating surface runoff. 2: Upstream source areas. *Water Resour Res* 8:1272–1283
- Graham DN, Refsgaard A (2001) MIKE SHE: A distributed, physically based modelling system for surface water/groundwater interactions. *MODFLOW 2001 and other Modeling Odysseys*, Conf Proc, Golden, CO, pp 321–327
- Jourde H, Pistre S, Bidaux P (2002) Flow behavior in a dual fracture network. *J Hydrol* 266:99–119
- Panday S, Huyakorn PS (2004) A fully coupled physically-based spatially-distributed model for evaluating surface/subsurface flow. *Adv Water Resour* 27:361–382

# LA PLUVIOMETRIE DE L'ANNEE 2003

## Service des Eaux - Ville de Montpellier

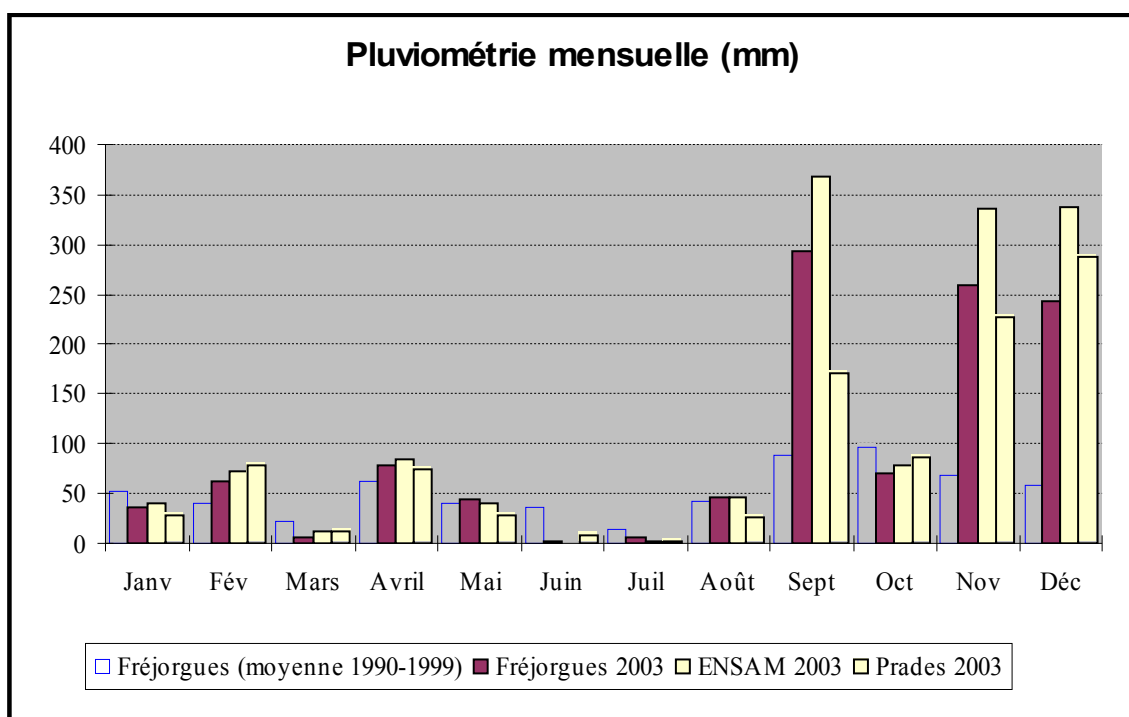
Janvier 2004

### ① Bilan annuel

Le cumul des précipitations observées sur certains postes pluviométriques en 2003 s'établit à **1414 mm** à l'ENSAM, **1148 mm** à Fréjorgues et 1027 mm à Prades.

Les moyennes annuelles sur une quarantaine d'années d'observation sont respectivement de 825 mm à Montpellier (ENSAM) et **699 mm** à Fréjorgues.

Par rapport au poste pluviographique de l'aéroport, l'année 2003 est donc largement excédentaire (**164% de la moyenne**).



### ② Analyse mensuelle

Les cinq premiers mois de l'année ne présentent pas d'écart particulier avec les valeurs habituellement observées.

Juin et Juillet sont, par contre, des mois très secs (respectivement 6 et 38% de la moyenne). A cette sécheresse, il vient s'ajouter jusque fin août, une hausse importante des températures.

**L'automne**, sur le plan pluviométrique, est **remarquable**.

A Fréjorgues, de septembre à décembre, le cumul des précipitations s'élève à 865 mm soit 24% de plus que la moyenne annuelle.

A Montpellier, pour la même période, le cumul des précipitations s'élève à 1119 mm soit **36% de plus** que la moyenne annuelle.

Septembre est le mois le plus arrosé avec près de 300 mm soit 229% de plus que la moyenne mensuelle et 42% de la lame d'eau annuelle d'une année "normale".

Décembre, comme en 2002, est à nouveau un mois particulièrement arrosé avec 4 fois plus de précipitations que la moyenne.

### ③ Le 22 septembre 2003

Les précipitations enregistrées sur 24h sont importantes sur Montpellier : **235 mm** à Lavalette, **270 mm** à l'ENSAM, **239 mm** à Grammont et 187 mm à Fréjorgues mais beaucoup plus faibles sur le bassin versant rural du Lez (80 mm à Prades).

Il est ainsi tombé en une seule journée entre 16 et 33% du total annuel de 2003.

Les pluies ont démarré à 09h du matin pour s'arrêter totalement à 20h.

L'essentiel des précipitations est toutefois survenu sur deux périodes : tout d'abord de 09h à 15h (147.4 mm à l'ENSAM) puis de 16h à 20h (120.8 mm).

L'intensité horaire maximale a été observée entre 17h et 18h (à l'ENSAM) : **66.1 mm**

Si l'on compare les différentes valeurs enregistrées avec les statistiques tirées de la série d'observations de Montpellier-Bel Air (1920-1971), on peut "situer" ainsi l'épisode dans l'histoire :

Sur 24h, la période de retour de l'évènement se situe au-delà de 100 ans.

**Sur 11h qui est la durée de l'épisode, ce dernier est également qualifié de plus que centennal.**

Sur 1h, la période de retour de l'évènement n'est plus que de 25 ans.

### ④ Le 03 décembre 2003

Les précipitations enregistrées sur 24h sont importantes sur Montpellier : 125 mm à Grammont, 112.2 mm à Fréjorgues, **167 mm** à ACH (avenue d'Assas), **207 mm** à l'ENSAM et 149.6 mm à Prades.

Les valeurs sur Montpellier sont inférieures à celles observées en septembre.

L'essentiel des précipitations est survenu entre 07h et 13h où il est tombé 129 mm à ACH

Si l'on compare les différentes valeurs enregistrées à l'ENSAM avec les statistiques tirées de la série d'observations de Montpellier-Bel Air (1920-1971), on peut "situer" ainsi l'épisode dans l'histoire :

Sur 24h, la période de retour de l'évènement se situe entre 50 et 100 ans.

Sur 6h qui est la durée de l'épisode principal, la période de retour est également comprise entre 50 et 100 ans.

Mais deux paramètres sont également à prendre en compte qui ont conduit à des valeurs de débit importants sur le Lez :

- l'épisode est survenu sur des terrains saturés en eau par les précipitations des jours précédents (116 mm les 4 jours avant à Fréjorgues, 110 mm les 2 jours avant à ACH et 76 mm les 2 jours avant à Prades),
- les précipitations ont également été soutenues sur le bassin versant amont ; ainsi l'analyse des onze postes pluviométriques représentatifs du bassin versant de la source du Lez montre que les précipitations, moyenne des onze postes, se sont élevées à 255 mm du 29 novembre au 03 décembre.

### Pluvio CEMAGREF – 22/09/2003

Date	Heure légale	Pluie_mm	Durée cumulée	Cumul_mm	T
22/09/2003	2:00	0		0	
22/09/2003	3:00	0		0	
22/09/2003	4:00	0		0	
22/09/2003	5:00	0		0	
22/09/2003	6:00	0		0	
22/09/2003	7:00	0		0	
22/09/2003	8:00	0.2	1:00	0.2	
22/09/2003	9:00	0.2	2:00	0.4	
22/09/2003	10:00	22.6	3:00	23	
22/09/2003	11:00	10	4:00	33	
22/09/2003	12:00	57.8	5:00	90.8	10
22/09/2003	13:00	24.2	6:00	115	<25 >10
22/09/2003	14:00	1	7:00	116	
22/09/2003	15:00	2.4	8:00	118.4	
22/09/2003	16:00	39.8	9:00	158.2	50
22/09/2003	17:00	<b>64.2</b>	10:00	222.4	> 100
22/09/2003	18:00	9.2	11:00	231.6	
22/09/2003	19:00	2.8	12:00	234.4	
22/09/2003	20:00	1	13:00	235.4	> 100
22/09/2003	21:00	0		235.4	
22/09/2003	22:00	0		235.4	
22/09/2003	23:00	0		235.4	
22/09/2003	0:00	0		235.4	
23/09/2003	1:00	0		<b>235.4</b>	

### Pluvio ENSAM – 22/09/2003

Date	Heure légale	Pluie_mm	Durée cumulée	Cumul_mm	T
22/09/2003	2:00	0		0	
22/09/2003	3:00	0		0	
22/09/2003	4:00	0		0	
22/09/2003	5:00	0		0	
22/09/2003	6:00	0		0	
22/09/2003	7:00	0		0	
22/09/2003	8:00	0.2	1:00	0.2	
22/09/2003	9:00	8	2:00	8.2	
22/09/2003	10:00	25	3:00	33.2	
22/09/2003	11:00	18	4:00	51.2	
22/09/2003	12:00	58.8	5:00	110	25
22/09/2003	13:00	28.9	6:00	138.9	50
22/09/2003	14:00	8.7	7:00	147.6	
22/09/2003	15:00	1.8	8:00	149.4	
22/09/2003	16:00	44.8	9:00	194.2	100
22/09/2003	17:00	<b>66.1</b>	10:00	260.3	> 100
22/09/2003	18:00	6.4	11:00	266.7	
22/09/2003	19:00	3.3	12:00	270	
22/09/2003	20:00	0.4	13:00	270.4	> 100
22/09/2003	21:00	0		270.4	
22/09/2003	22:00	0		270.4	
22/09/2003	23:00	0		270.4	
22/09/2003	0:00	0		270.4	
23/09/2003	1:00	0		<b>270.4</b>	



LISTE DES EXPERTS SOLLICITES POUR LA CONFERENCE DE CONSENSUS  
POUR LA CRUE CENTENNALE DU LEZ

=====

- Experts rédacteurs :

Patrick LACHASSAGNE (BRGM Montpellier)  
Jacques LAVABRE (CEMAGREF Aix-en-Provence)  
Michel LANG (CEMAGREF Lyon)  
Philippe SERGENT (CETMEF)  
Jean-Michel TANGUY (SCHAPI Toulouse)  
Marcel BASSO (IGPC retraité du MTETM)

- Experts relecteurs :

Philippe BOIS (ENS Grenoble)  
Rémy GARCON (EDF – DTG)

- Experts contributeurs :

Michel DESBORDES (fac de Montpellier)  
Jean-Claude HEMAIN (Communauté d'Agglomération)



PREFECTURE DE LA REGION LANGUEDOC-ROUSSILLON

**Direction Régionale  
de l'Environnement**  
LANGUEDOC-ROUSSILLON

Montpellier, le  
Le Préfet de la région  
Languedoc-Roussillon  
Préfet de l'Hérault  
à  
(voir destinataires)

objet : Invitation à l'installation du comité d'experts de la conférence de consensus pour statuer sur la valeur du débit centennal du Lez

réf. : ZB/JM

Monsieur,

Vous avez été pressenti pour vos qualités d'expert pour faire partie de la conférence scientifique souhaitée dans le rapport de l'Inspection Générale de l'Environnement de Monsieur QUEVREMONT du 4 juillet 2006 « expertise des projets d'actions de prévention des inondations sur le bassin du Lez ».

A ce titre, je vous remercie de bien vouloir participer à la réunion d'installation du comité d'experts que je présiderai :

**Le lundi 12 MARS à 10H30** en salle Erignac à la Préfecture de l'Hérault

L'ordre du jour proposé pour cette réunion de lancement est :

- Description des épisodes de crues récents sur le bassin versant du Lez  
Présentation du rapport QUEVREMONT
- Etat de la prévention des risques sur le bassin versant du Lez (procédure PPR)
- Calendrier de travail et officialisation du démarrage de la conférence de consensus

Veuillez agréer, Monsieur, l'expression de mes sentiments distingués.

Le Préfet



Direction régionale de l'environnement – Languedoc-roussillon  
58, avenue Marie de Montpellier – CS 79034  
34965 MONTPELLIER CEDEX 02  
tél : +33 04 67 15 41 00 – [www.Languedoc-roussillon.ecologie.gouv.fr](http://www.Languedoc-roussillon.ecologie.gouv.fr)



Liberté • Égalité • Fraternité  
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

PREFECTURE DE LA REGION LANGUEDOC-ROUSSILLON

**Direction Régionale  
de l'Environnement**

LANGUEDOC-ROUSSILLON

REÇU LE

24 AVR. 2007

221

COPIE

Montpellier, vendredi 20 avril 2007

Service de l'Eau et des  
Milieux Aquatiques  
Affaire suivie par : Bernard BRAUDEAU  
tél : 04 67 15 41 88 – fax : 04 67 15 41 15  
[bernard.braudeau@languedoc-roussillon.ecologie.gouv.fr](mailto:bernard.braudeau@languedoc-roussillon.ecologie.gouv.fr)

à  
Monsieur le Directeur du Centre  
Météorologique Inter-Régional Sud-Est  
2 boulevard du Château Double

13098 AIX –EN-PROVENCE Cédex 02

objet : Analyse météorologique dernières crues du Lez  
Appui scientifique  
réf. : BB/JM/n° 055  
PJ :

Dans le cadre de la conférence scientifique sur le débit centennal du Lez menée suite au rapport d'Inspection QUEVREMONT du 4 juillet 2006 qui a été mise en place par le Préfet de Région et animée par la DIREN avec l'appui du CETE, un des experts (Jacques LAVABRE du CEMAGREF) nous a indiqué qu'il serait utile de disposer d'un avis météorologique sur les derniers événements de crue importants (09/10/2001, 12/12/2002, 03/12/2003, 06/09/2005).

Suite aux contacts qu'il a eus à ce titre avec vous, je vous confirme, par le présent courrier, tout l'intérêt que la DIREN attache à l'appui que vous pourrez nous apporter dans ce domaine.

Il s'agit notamment d'apporter un éclairage sur la « possibilité/probabilité » d'observer :

1 – sur le bassin du Lez un événement du genre de septembre 2002 sur le Gard (600 mm/jour en ponctuel) ;

2 – une précipitation courte et intense sur Montpellier survenant quelques heures après une précipitation de quelques heures sur le Lez, ce qui provoquerait une concomitance de la pointe de crue rurale amont avec la pointe de crue urbaine aval ;

3 – une précipitation type 06-09 septembre 2005 Vistre, en deux épisodes intenses à 48 heures d'intervalle – ou à 24 heures, ou à un intervalle qui sera défini plus précisément prochainement, pour tenir compte de l'état karstique du bassin amont lors de la crue générée.



Je vous remercie d'ores et déjà pour l'attention que vous voudrez bien porter à cette demande.

*Respectueusement,*

Pour la Directrice Régionale  
et par délégation  
La Chef du Service de l'Eau et  
des Milieux Aquatiques



Zoé BAUCHET

Copie transmise pour information à :

- CETE d'Aix-en-Provence  
A l'attention de Patrick FOURMIGUE
- CEMAGREF d'Aix-en-Provence  
A l'attention de Jacques LAVABRE



Ministère de l'Ecologie  
et du Développement Durable

Direction régionale de l'environnement – Languedoc-roussillon  
58, avenue Marie de Montpe  
lier – CS 79034  
34965 MONTPELLIER CEDEX 02  
tél : +33 04 67 15 41 00 – [www.Languedoc-roussillon.ecologie.gouv.fr](http://www.Languedoc-roussillon.ecologie.gouv.fr)

U:\Sema\Braudeau\2007\Centre Météorologique (13).doc

### 4.3 Annexe 3 : Compte-rendus des réunions de la conférence scientifique

#### Conférence scientifique "Q100 Lez à Montpellier"

-----  
Réunion d'ouverture du 12 mars 2007  
-----

Préfecture - Montpellier

M. le Préfet THÉNAULT remercie les participants à cette réunion d'ouverture de la conférence scientifique sur le **débit centennal du Lez à Montpellier**. Il explique le cadre de cette expertise (rapport d'inspection Quevremont et projet de protection de Lattes) et propose un tour de table pour que les experts réunis ce jour se présentent (liste jointe en annexe 1).

M. le préfet donne quelques éléments de cadrage relatif au Contrat de Projet Etat Région de la région Languedoc Roussillon qui comporte un important volet "inondations", comprenant le financement des PAPI (plans d'action pour la prévention des inondations) engagés ou à venir sur la région : Vidourle, Gardons, Tech, Aude, Vistre, Cadereaux de Nîmes. L'enveloppe financière du CPER pour la période 2007-2013 allouée au seul volet inondation est de : 60,9 M€ crédit Etat, 68 M€ crédit Région et 30 M€ Europe (FEDER). Il est à noter que le PAPI Lez qui intéresse la conférence ouverte ce jour ayant été en partie financé sur 2006 n'émarge pas au CPER mais représente à lui seul une enveloppe de 55M€ dont 40 M€ pour les travaux sur Lattes . ). L'état apportera 10 M€ sur ce projet, expertisé, évalué et amélioré par l'ingénieur général de l'environnement (IGE) Quévremont mi-2006. Ce projet est actuellement en enquête publique. Dans le cadre de l'expertise faite par l'IGE (M. Quevremont), la problématique du débit centennal du Lez a été posée et conduit à la constitution de la présente Conférence scientifique.

M. le préfet évoque la politique de prévention mise en œuvre dans la région et le rôle important des politiques d'aménagements et d'urbanisations actuelles et passées : la menace est réelle pour certains quartiers comme à Lattes. Désormais, le contrôle est plus rigoureux sur les projets d'urbanisme, des efforts sont faits pour inciter les maires à s'engager dans la démarche des plans communaux de sauvegarde, des exercices en grandeur réelle sont conduits, et de nombreux PPR prescrits et approuvés.

M. le préfet invite la DDE à présenter le projet (cf. présentation jointe en annexe 2, allégée des photos). La DDE (MM. Bouchut & Jaumard) rappelle que tous les PPR (approuvés, à l'étude ou prescrits) du LEZ sont basés sur un débit centennal de 755 m<sup>3</sup>/s au pont Juvénal. M. le préfet indique qu'il vient de notifier, au maire de Lattes, le PPRi par anticipation.

M. le préfet invite ensuite la Diren à introduire la problématique du débit centennal du Lez, (cf. présentation jointe en annexe 3, allégée de quelques graphiques). La Diren (M. Braudeau) présente les stations et notamment la plus ancienne (Lavalette-1975) et sa plus forte crue enregistrée (montée de 4m en 4h dans la nuit du 23 au 24/09/1976). Il commente ensuite les différentes évolutions d'estimation du Q100 (avec la procédure CRUCAL de la banque HYDRO), jusqu'aux fortes crues de 2001 à 2005.

M. le préfet propose aux experts de réagir après ces deux présentations.

M. Hemain s'interroge sur les valeurs issues des statistiques du Q100 du Lez à Lavalette : le maximum des différentes estimations fournies par la DIREN est de 650 m<sup>3</sup>/s, alors que la banque HYDRO indique toujours 500 m<sup>3</sup>/s.

M.Lavabre insiste sur le problème préalable de métrologie des débits et considère qu'il faut examiner l'ensemble des jaugeages, notamment celui de 1979 à 290 m<sup>3</sup>/s. Il remarque que le Lez a des crues bien plus fortes que la Mosson (qui a pourtant un bassin versant 2 fois plus grand) et s'interroge sur cette différence.

M.Bois souligne qu'en général, les extrapolations de courbe de tarage manquent souvent d'analyse hydraulique. En outre, il faut accepter que les crues ne suivent pas les lois statistiques. Pour le Lez, la fourchette 850-950 m<sup>3</sup>/s du rapport Quévremont est déjà très étroite et il lui paraît illusoire de pouvoir la confirmer et plus encore de l'affiner. Quant au centennal comme référence, il faudrait peut être aller au delà, comme de nombreux pays étrangers...

M. le préfet rappelle que pour les procédures (PPRi notamment), il faut bien pouvoir se baser sur une valeur de référence.

M.Desbordes admet qu'on ne changera pas facilement les règles administratives. Cependant, en hydrologie urbaine, les doctrines ont évolué et le "décennal", considéré comme de "saine gestion" n'est plus la règle intangible. Déjà, la circulaire de 1977 avait introduit une modulation de la période de retour pour les dimensionnements selon les enjeux. Il regrette cependant que l'Etat ne fasse plus de circulaire sur l'assainissement, depuis les lois de décentralisation.

M.Desbordes estime que rechercher une valeur précise de la Q100 du Lez n'est pas une question scientifiquement valable. En effet, d'un point de vue scientifique, il n'est pas évident de savoir s'il faut retenir 650 ou 900 m<sup>3</sup>/s. Il fait remarquer aussi que le Lez n'est pas un bassin versant ordinaire, car le karst y joue un rôle important (cf. les 30 Mm<sup>3</sup> pompés par la ville de Montpellier). Lorsque ce karst est déprimé par le pompage de la Ville, il peut bien absorber les crues de début d'automne, mais lorsqu'il est plein ce n'est plus le cas. Enfin, il évoque la concomitance entre crue amont et pluie aval, le problème n'est pas simple non plus. Enfin, il est nécessaire de faire attention aux données anciennes disponibles et à leur fiabilité: par exemple en 1976, le pont Juvénal s'est mis en charge et la plaine de Lattes était une « immense piscine ».

M.Lassachagne explique que les hydrogéologues ont moins tendance à faire appel aux statistiques et qu'il faut chercher à comprendre ce qui se passe à l'échelle de l'ensemble du bassin versant, et notamment prendre en compte l'historique des précipitations, ainsi que leur distribution spatiale. Il confirme que le karst peut jouer un rôle écrêteur significatif. Enfin, il se demande si les experts de la conférence auront le temps et les moyens d'aller plus loin sur la connaissance du fonctionnement du karst.

M.Tanguy rappelle que la mission Quévremont (à laquelle il a participé) a fait le point sur les connaissances disponibles. Cette mission a permis de montrer qu'il ne fallait pas s'en tenir à la prise en compte d'un débit unique pour le projet : ainsi, des simulations hydrauliques complémentaires ont été faites jusqu'à 1500 m<sup>3</sup>/s.

M.Hémain pense que des statistiques pourraient être faites sur le karst, car on dispose de données depuis 25 ans, mais il faudrait les exploiter. Il précise que sur ce bassin il y a 3 aspects essentiels à prendre en compte : l'influence du karst, l'hydrologie à l'amont du bassin et la problématique de ruissellement urbain.

M. le préfet confirme que l'Etat s'efforce de ne pas reproduire les erreurs d'aménagement du passé. Pour les événements exceptionnels, on essaie de traiter aussi les problèmes d'évacuation des populations. Cependant, pour afficher des servitudes, il faut une référence pour la crue centennale et même si les estimations issues de la conférence divergent, l'Etat retiendra in fine la valeur supérieure pour l'urbanisation future.

M.Fournigue rappelle les trois questions posées à la conférence par l'IGE Quévremont (cf. présentation jointe en annexe 4) et détaille rapidement chacune d'entre elles.

M.Lavabre note que la problématique du Lez est très influencée par les apports amont et il s'interroge sur la possibilité de faire des retenues.

M.Lassachagne répond que la gestion du karst peut permettre d'améliorer son rôle écrêteur.

M.Desbordes pense que les volumes disponibles, tant sur des retenues que dans le karst, ne sont pas à la hauteur des volumes de crue. Dans le cadre du SAGE et du PAPI les différentes possibilités ont été étudiées. Il signale aussi que l'amont du BV est en partie en zone natura 2000.

M.Lavabre insiste sur le fait qu'il sera nécessaire d'étudier plus précisément les apports de l'amont.

M.Hemain informe que dans le PAPI est prévu un programme d'études, comprenant une modélisation hydrologique du bassin versant amont, avec étude d'une rétention possible dans une retenue (Domaine de Restinclières), ainsi qu'une analyse hydraulique globale. M.Lassachagne propose que la commission d'experts puissent donner un avis sur les cahiers des charges de ces études mais signale aussi le manque de temps si le travail des experts doit être disponible dès fin juin 2007.

M.Lavabre estime qu'il faudrait beaucoup de temps pour répondre valablement aux questions qui leur sont posées.

M. le préfet pense qu'on peut donner à la commission un peu plus de temps que les 3 mois prévus initialement, mais il souhaite disposer des éléments pour l'automne au plus tard afin de pouvoir se baser sur ce travail notamment pour les procédures PPR sur le bassin versant du Lez.

Mme Steinfeldt propose donc de retenir un aboutissement des travaux de la conférence pour septembre/octobre 2007.

M.Bois revient sur les statistiques et la notion d'intervalle de confiance. Il cite M.Duband qui ne les affichait délibérément pas car sinon les décideurs prennent systématiquement la valeur maximale.

M.Desbordes invite à faire attention aux « manipulations » statistiques. Il précise aussi que les courbes-enveloppes sont souvent mal utilisées, voire mal faites.

Dans le cadre des documents qui ont été remis aux experts, Mme Steinfeldt tient à souligner que le rapport complémentaire de M.Quévremont n'est pas diffusable à ce jour. Elle revient ensuite sur l'organisation de la conférence et propose une réunion sous 15 jours, puis une réunion mensuelle jusqu'en septembre. A la DIREN, c'est Mme Bauchet qui assure le pilotage de cette conférence et s'appuie sur le CETE (Patrick Fournigue) comme assistant technique (remise des documents, rédaction des compte-rendus de réunions, aiguillage des experts et réponse à leurs besoins entre les réunions,...).

M.Lavabre souhaite que les experts puissent aller voir les stations de mesures, de la DIREN et des collectivités. La DIREN organisera une visite de terrain dans le mois prochain.

M.Hémain informe que les services de l'agglomération peuvent mettre à disposition des experts. Il pense qu'en 6 mois, il devrait être possible de faire le point sur les connaissances que l'on peut considérer comme admises.

M.Bauchet souhaite que la prochaine réunion puisse définir les différents rôles parmi les experts, et notamment désigner des rédacteurs, contributeurs, relecteurs, afin qu'un partage des rôles permettent de s'organiser pour établir le rapport d'experts finalisés à l'automne.

M. le préfet remercie chaleureusement les experts pour leur participation et leurs prochains travaux dans le cadre de cette conférence scientifique sur le débit centennal du Lez, inaugurée ce jour et clôt la réunion.

Le Préfet de la région  
Languedoc-Roussillon,  
Signé

#### **Annexe 1 : liste des participants**

**Réunion présidée par** : M. le préfet Michel THÉNAULT accompagnés de MM. CELET (SGAR) et FONTAINE

**Pour la DIREN** : Mauricette STEINFELDER (Directrice), Alain VALETTE VIALARD, Zoé BAUCHET, Bernard BRAUDEAU, Charlotte PARENT, Gilles LE GAC

**Pour le CETE** : Patrick FOURMIGUE (CETE Méditerranée – Assistant à la Maîtrise d'Ouvrage DIREN)

**Pour la DDE** : Dominique JAUMARD, Jean Emmanuel BOUCHUT

**Experts présents** : Patrick LASSACHAGNE, Jacques LAVABRE, Jean-Claude HEMAIN, Jean-Michel TANGUY, Michel DESBORDES, Philippe BOIS

**Experts Excusés** : Michel LANG, Philippe SERGENT, Rémy GARÇON, Marcel BASSO

#### **Annexe 2 : présentation de la DDE**

Voir fichier [annexe2\\_Q100lez\\_présentationDDE12mars2007.pdf](#)

#### **Annexe 3 : présentation de la DIREN**

Voir fichier [annexe3\\_Q100lez\\_présentationDIREN12mars2007.pdf](#)

#### **Annexe 4 : présentation du CETE Méd.**

Voir fichier [annexe4\\_Q100lez\\_présentationCETE12mars2007.pdf](#)

CR12mars2007Prfet.doc

21/05/2007 15:47

## Document préparatoire à la réunion de la conférence du 27 mars 2007

Proposition de déclinaison en sous-questions des 3 points posés à la conférence scientifique dans le rapport n°2 de l'I.G. Quévremont de novembre 2006

CETE Méditerranée - 22/03/2007

### 1 Sous-questions sur le point n°1 de Quévremont

Sur le comportement hydro(géo)logique :

En quoi le caractère karstique d'un BV comme le Lez peut-il influencer les crues fortes à exceptionnelles ?

- 1.1 Est-on capable de définir la surface d'alimentation du Lez, selon que les pluies sont faibles ou fortes ? en clair, pour les événements pluvieux rares, peut-on ne considérer que la surface du bassin versant topographique ?
- 1.2 Compte tenu des liens entre les karsts des BV Lez et Mosson, peut-on étudier l'hydrologie des crues d'un des cours d'eau sans s'intéresser à l'autre ?
- 1.3 Y a-t-il une limite au débit que peut sortir la source du Lez (*Qix de déc2003 est de 27.7 m3/s*) ? ou d'autres résurgences ?

Sur la pluviométrie :

- 1.4 Peut-on s'accorder sur une loi idf locale sur la ville de Montpellier, sur le bassin du Lez ? Accepte-t-on de se baser sur la méthode SHYPRE de Cemagref-MétéoFrance ? Mais alors, quel abattement spatial appliquer ?
- 1.5 Quelle période de retour pour les événements pluvieux observés en 2001, 2002, 2003, 2005 ?
- 1.6 Peut-on définir ce que serait une pluie "exceptionnelle" sur ce bassin versant ? Peut-on lui appliquer raisonnablement les pluies max. du type Aude1999 ou Gard2002 ?

Sur l'hydrométrie (qualité des débits ?) :

- 1.7 Quelle qualité des stations de mesure en crue (sensibilité, stabilité dans le temps, contournement possible en forte crue) ?
- 1.8 Précision des jaugeages de crue sur les stations ?
- 1.9 Quid de l'extrapolation de la courbe de tarage ?

Sur l'analyse fréquentielle des débits : sous réserve d'une qualité correcte des débits

- 1.10 peut-on se limiter à l'analyse des débits de pointe ?
- 1.11 la loi de Gumbel est-elle adaptée à l'échantillon du Lez ?
- 1.12 peut-on utiliser la méthode du Gradex pour l'extrapolation aux fréquences rares ?
- 1.13 quel intervalle de confiance afficher ?
- 1.14 au final, que penser d'une valeur de 650 m3/s (plutôt que 500 ou 850 m3/s) pour le débit centennal de pointe du Lez à Montferrier ?

Sur l'hydraulique :

- 1.15 sur le Lez, de Montferrier à Lattes, peut-on estimer l'importance du laminage des crues débordantes ?

### 2 Sous-questions sur le point n°2 de Quévremont

#### Sur le réseau pluvial de Montpellier :

- 2.1 quelle niveau de connaissance des bassins versants, de la topographie ?
- 2.2 est-il possible d'estimer la capacité globale des exutoires au Lez ?
- 2.3 quid de la mesure des hauteurs et débits sur les exutoires ? cf. question 1.8 sur l'hydrométrie

#### Sur les méthodes d'estimation :

- 2.4 peut-on se limiter à l'application de l'instruction technique de 1977 ? avec quelle pluie ?
- 2.5 peut-on accepter l'estimation  $Q_{100}=2.Q_{10}$  ?
- 2.6 la formule rationnelle a-t-elle un sens pour une zone urbaine ?

#### Finalement :

- 2.7 un débit centennal de pointe de 200 à 300 m<sup>3</sup>/s paraît-il approprié pour la zone urbaine ?

### **3 Sous-questions sur le point n°3 de Quévremont**

- 3.1 a-t-on des éléments disponibles et aisément utilisables sur la variabilité spatio-temporelle de la pluie sur le bassin (notamment pour les événements réels de 2001, 2002, 2003, 2005)
- 3.2 quelles données faudrait-il avoir pour être valablement capable de répondre à la question de la concomitance d'une crue "amont rurale" et d'une "crue aval urbaine" ?

## Conférence scientifique "Q100 Lez à Montpellier"

-----  
Compte rendu de la réunion-visite du 27 mars 2007

La réunion s'est tenue à la DIREN LR à Montpellier avec :

Experts		Autres participants	
Jacques	LAVABRE	Patrick FOURMIGUE	CETE
Michel	DESBORDES	Bernard BRAUDEAU	DIREN
Philippe	BOIS	Gilles LE GAC	DIREN
Marcel	BASSO	Zoé BAUCHET	DIREN

J-Claude HEMAIN(expert) : excusé pour la journée.

Zoé BAUCHET (DIREN) : excusé pour la matinée, présente pour la visite.

-----  
La matinée (10h00-12h00) devait être consacrée au mode de fonctionnement du groupe d'experts et à un premier balayage des questions soulevées. M.Fournigué indique qu'il n'a reçu qu'une seule réponse aux 2 documents préparatoires (questionnement) qu'il avait envoyés. M.Lachassagne l'a adressé à tous les autres experts ; ses notes semblent montrer que des éléments intéressants sur le karst pourraient être apportés en complément.

Les experts présents n'ont pas pu prendre le temps de prendre connaissance de la totalité de la documentation remise le 12 mars.

M.Desbordes engage la discussion.

### sur le 1<sup>o</sup> point de Quévremont (Qamont Montpellier)

M.Desbordes signale qu'il a refait des études et des calculs, suite au rapport Quévremont en 2006, notamment pour les services de la Communauté de l'Agglomération de Montpellier (CAM). Il en a envoyé des extraits à ses collègues Bois et Lavabre. Des ajustements ont été refaits et tournent le plus souvent autour de 600m<sup>3</sup>/s. Cependant, les intervalles de confiance sont trop larges, du fait de la présence de deux populations de crues, pas assez nombreuses. Il souhaiterait savoir comment la DIREN a pu donner 650 m<sup>3</sup>/s.

M.Basso pense qu'il faudrait que la DIREN demande officiellement à la CAM, communication de ces documents de M. Desbordes.

>>>M.Desbordes fera lui même la démarche auprès de la CAM (M.Hémain) et fournira l'ensemble des fichiers au CETE, pour les mettre à disposition des autres experts.

M.Basso se demande pourquoi personne n'a utilisé les pluies (via la méthode du gradex) pour l'extrapolation des ajustements.

M.Desbordes répond qu'il l'a fait mais qu'il faut aussi se poser la question de l'estimation des pluies, notamment sur des durées de 6 à 8 h, et en fonction de leur répartition spatiale. Il montre un document d'études de fév2007 (étude inondHis-LR dans le cadre du programme RDT – participation de Hydrosociences et du Cemagref Lyon).

>>>M.Desbordes remettra ce document inondHis-LR au CETE, qui le mettra à disposition des autres experts.

M.Desbordes invite à faire attention à ne pas donner des valeurs trop précises, car il peut y avoir des problèmes en terme de responsabilité.



M.Bois suggère que soit tenue une liste à jour des documents fournis aux experts, en plus de ceux remis le 12 mars.

M.Fourmigué signale qu'il devrait être rapidement possible de disposer d'un serveur FTP au CETE, afin d'héberger la totalité des documents fournis et produits.

M.Desbordes mentionne une autre étude, en cours sur les effets du karst sur les crues (par Hervé Jourde et Vincent Guinot du LHM). Elle montre qu'en fin d'été il y aurait une possibilité de 10 à 15 Mm<sup>3</sup> de stockage. Par contre pour des pluies de déc. le risque d'être avec un karst plein est très probable. Comme il s'agit d'une future publication, M.Desbordes verra avec M.Jourde s'il peut les communiquer à la conférence.

En fin, il signale qu'il y a trois points d'alimentation du Lez à partir du canal CNABRL (Lavalette, Antigone, ...). Ces alimentations coûteuses ne sont utilisées qu'en cas de sécheresse grave.

M.Lavabre voudrait revenir sur l'hydrométrie et l'hydrologie. Pour cela il faut pouvoir examiner les données de base des différentes stations, et surtout Lavalette et Garigliano.

>>>La DIREN doit fournir la section de jaugeage, de mesure, les courbes de tarage avec les points de jaugeage et le détail des jaugeages les plus forts.

M. Fourmigué pense qu'il faudrait aussi s'intéresser aux volumes de crue et pas seulement à des ajustements du débit de pointe.

>>>M.Lang sera interrogé pour savoir si le Cemagref pourrait faire une analyse Qdf sur les données de Lavalette ?

Pour la méthode du gradex, le problème de la surface d'application (bassin versant) reste posé et renvoie à la connaissance du karst.

M.Lavabre pense qu'on peut aussi faire un modèle PQ, analysé au moins sur les gros événements, en utilisant les données de mesures radar.

M.Lavabre pense qu'on peut aussi faire un modèle pluie-débit, permettant au moins d'analyser les gros événements récents, en utilisant les données de mesures radar. M.Lavabre indique qu'il dispose de toutes les données pluies et images radar sur les événements récents du Lez (depuis 2000).

>>M.Lavabre prendra contact avec Météo France pour voir la possibilité d'utiliser les données, pour cette expertise.

Le problème reste de savoir qui fera le travail correspondant de traitement de ces données ? Il pourrait en sous traiter une partie, mais quel financement peut apporter la DIREN ?

#### **sur le 2<sup>o</sup> point de Quévremont (Qurbain)**

Pour l'apport de la zone urbaine estimé à 250 m<sup>3</sup>/s dans le rapport Quévremont, M.Desbordes indique que le débit hydrologique du Verdanson n'a rien de commun avec la capacité des exutoires et qu'il faut en tenir compte.

Les présents s'accordent sur le peu d'informations disponibles sur ce sujet, dans la documentation remise. Il faudrait que la ville communique les documents qu'elle a sur le pluvial. Il est envisagé de tenir une réunion d'une demi-journée dans les services de la CAM, pour consulter, voire récupérer les documents utiles.

>>M.Hémain pourrait-il organiser cela ? ne faudrait-il pas aussi contacter Arnaud Vestier de la Ville de Montpellier ?

### sur le 3<sup>o</sup> point de Quévremont (concomitance)

M.Basso se demande s'il n'aurait pas fallu avoir un météorologue dans l'équipe. Cette analyse des concomitances lui paraît très liée à la dynamique météorologique.

>>>M.Lavabre prendra contact avec Météo France Aix pour voir ce qu'ils peuvent apporter comme éléments sur ce thème pour les gros événements depuis 2000.

-----

A l'issue de ces échanges, il apparaît que :

- Il faut laisser un peu de temps aux experts pour digérer la documentation déjà fournie
- la documentation déjà fournie étant plutôt synthétique, il apparaît nécessaire de leur communiquer des données plus basiques(en hydrométrie notamment). La DIREN devra s'en charger.
- Tous les documents fournis devraient être centralisés sur un site
- Le début de la prochaine réunion mériterait d'être consacré au fonctionnement karstique du bassin versant

>>>M. LACHASSAGNE pourrait-il préparer une présentation sur ce sujet ?

### MODALITES D'ORGANISATION

En l'absence de 6 des 10 experts et de Zoé BAUCHET (DIREN), ce point a été peu évoqué. Néanmoins, sur la base des documents préparés par le CETE, les présents s'accordent sur quelques points.

Distribution des rôles : parmi les dix membres de la conférence, on retient 6 rédacteurs, un contributeur , avec leurs spécialités respectives, et 3 relecteurs (dont un porte-parole), comme indiqué ci-dessous.

prénom	NOM	lieu	Rôle	Spécialité d'intervention
Patrick	LACHASSAGNE	Montpellier	Rédacteur	Fonctionnement du karst
Jacques	LAVABRE	Aix	Rédacteur	Pluviométrie, hydrométrie
Michel	LANG	Lyon	Rédacteur	Hydrologie statistique
Michel	DESBORDES	Montpellier	Rédacteur	Hydrologie urbaine
Philippe	BOIS	Grenoble	Rédacteur	Hydrométrie, Hydrologie statistique
Rémy	GARÇON	Grenoble	Rédacteur	Hydrométrie, Hydrologie statistique
J-Claude	HEMAIN	Montpellier	Contributeur	Hydrologie urbaine
Philippe	SERGENT	Compiègne	Relecteur	
Jean-Michel	TANGUY	Toulouse	Relecteur	
Marcel	BASSO	Aix	Relecteur porte-parole	

#### Questions sur les modalités de travail :

? : entre les réunions mensuelles, les experts peuvent-ils se concerter par téléphone/courriel ou se voir par proximité géographique (il y en a 3 sur Lyon-Grenoble, 2 sur Aix, 2 sur Montpellier) ?

pas d'objection pour M.BOIS sur Grenoble, ni pour les 2 sur Aix.

*? la liste de sous-questions à examiner ? : quelles sont les données dont auraient besoin les experts pour pouvoir répondre à certaines questions ? quel temps pourraient consacrer les experts à d'éventuels traitements de ces données ?*

La liste paraît assez exhaustive mais se pose le problème de la disposition des documents ou données permettant de pouvoir répondre. Ils sont dispersés chez divers maîtres d'ouvrages, ce qui ne simplifie pas l'organisation.

Il apparaît que, en l'absence de certains traitements de données, il soit nécessaire d'en faire, mais on ne peut pas raisonnablement s'engager dans une nouvelle étude technique, car ce n'est pas le rôle d'une conférence scientifique ou d'une mission d'expertise.

>>>la DIREN devra se prononcer sur la possibilité de financement de certains compléments d'études, qui pourraient être réalisés par des prestataires autres que les experts.

Enfin, le courriel de M.LACHASSAGNE pose deux points importants :

- la méthodologie de travail
- le financement des interventions des experts, au delà de quelques jours.

>>>Questions posées au CETE et à la DIREN.

-----

#### **L'après midi a été consacré à la visite du Lez, depuis la source, jusqu'à l'A9.**

L'examen des sites de mesure et du cours d'eau pousse à s'interroger sur les conditions d'écoulement, informations que l'on devrait pouvoir trouver dans les dossiers d'études du BCEOM (pour le PPRi - DDE ; pour la simulation de la crue de 1200m<sup>3</sup>/s - CAM).

>>>M. FOURMIGUE contactera la DDE pour savoir quels sont les dossiers dont ils disposent et comment les récupérer pour pouvoir les mettre à disposition des experts ?

## Conférence scientifique "Q100 Lez à Montpellier"

-----  
Réunion du 25 avril 2007 - Relevé de décisions

La réunion s'est tenue à la DIREN LR à Montpellier avec :

Experts		Autres participants	
Marcel	BASSO	Zoé BAUCHET	DIREN
Philippe	BOIS	Jean-Emmanuel BOUCHUT	DDE34
Michel	DESBORDES	Bernard BRAUDEAU	DIREN
Rémy	GARÇON	Nathalie DORFLIGER	BRGM
Jean-Claude	HEMAIN	Patrick FOURMIGUE	CETE
Michel	LANG	Bénédicte FRIER	CETE
Jacques	LAVABRE	Stagiaire	DDE34
Jean-Michel	TANGUY		

Philippe SERGENT (expert) : excusé pour la journée.

Patrick LACHASSAGNE (expert) : excusé pour la journée, représenté l'après-midi par Nathalie DORFLIGER pour son exposé sur le système karstique du Lez.

Gilles LE GAC (DIREN) : excusé pour la journée.

Jacques TAILHAN (retraité DIREN de l'équipe hydrométrie) : invité pour la journée.

### 1. Validation du compte-rendu de la réunion précédente

A l'issue d'un tour de table de présentation (notamment pour les nouveaux participants), le compte rendu de la réunion précédente du 27/03/2007 est validé.

### 2. Questions en suspens

Deux questions restées en suspens font débat :

- sur la question de l'intitulé de la conférence :

→ Il est décidé de retenir les termes de « **conférence scientifique** », repris de M. Quévremont, plutôt que « conférence de consensus » qui s'appuie sur une méthode et des moyens différents.

- sur la question de la définition du débit à estimer :

→ Un débat s'engage sur le débit de projet d'une part et le débit de référence à prendre en compte pour le PPRi d'autre part (débit de la crue centennale  $Q_{100}$ , sous réserve qu'il soit supérieur au débit de la plus forte crue connue). Selon M. Garçon, la  $Q_{100}$  n'est qu'une crue conceptuelle à considérer comme un modèle décisionnel.

→ Il est rappelé que **les experts sont questionnés sur l'aléa** (valeur chiffrée de débit de la crue centennale pour le PPRi) et non sur la vulnérabilité et que le rapport final devra faire état de leur méthode de travail avec précision.



### 3. Modalités de fonctionnement de la conférence

Les participants s'accordent sur les modalités suivantes d'organisation et de contribution des experts :

- en préliminaire à la question n°1 de M. Quévremont (le karst du Lez et son fonctionnement vis à vis des crues) :

→ Présenté par Mme Dörfliger, l'exposé de M. Lachassagne sur l'état des connaissances hydrogéologiques du système karstique à l'amont du Lez met en évidence la capacité de stockage et de restitution du karst. Pour exploiter ces éléments nouveaux à relier aux crues du Lez, **M. Lachassagne, expert rédacteur** sur cette problématique, pourrait établir une note destinée à renseigner les points suivants :

↗ sur les modèles conceptuels BRGM de reconstitution du débit du Lez en hautes eaux : les hypothèses prises seront explicitées (souhait de M. Basso) ;

↗ sur la réaction du karst et ses contributions sur les événements majeurs récents : les cotes piézométriques de la source seront données (au pas de temps journalier de 2001 à 2005) ;

↗ sur l'étendue du bassin souterrain à Lavalette (100 km<sup>2</sup>, 259 km<sup>2</sup>, 380 km<sup>2</sup> ?) à prendre en compte en complément du bassin topographique du Lez.

→ Dans l'analyse attendue pour la conférence, le karst apparaît comme un facteur aggravant en fonction de son état de saturation.

→ M. Desbordes sera saisi en tant que de besoin sur les effets du karst sur les crues du Lez en rapport avec les publications du LHM qu'il a pu communiquer à la conférence (articles de Mrs Jourde et Guinot).

*Nota : l'exposé BRGM de M. Lachassagne présenté par Mme Dörfliger et les articles de Mrs Jourde et Guinot du LHM, transmis par M. Desbordes, sont téléchargeables sur le serveur ftp de la conférence.*

M. Lachassagne

- sur la question n°1 de M. Quévremont (estimation par la DIREN de la crue centennale amont à 650 m<sup>3</sup>/s) :

→ Le trio d'experts en hydrologie statistique (Mrs Bois, Garçon et Lang) sera **piloté par M. Lang** pour rédiger, en lien avec Mrs Lavabre et Lachassagne, la réponse au premier point posé par M. Quévremont (débit centennal à l'amont de Montpellier).

→ Plutôt qu'une analyse fréquentielle Qdf sur les données de Lavalette, c'est la **méthode du Gradex** qui sera appliquée (sur une durée de 6 h ou 12 h), en intégrant les contributions de M. Lavabre sur les statistiques de pluies et celles de M. Lachassagne sur la surface d'application à Lavalette à partir de sa connaissance du fonctionnement du karst.

→ Pour cette analyse, la DIREN (M. Braudeau) est chargé d'extraire de la banque Hydro les **fichiers Qtvar** (débit à pas de temps variable) de 1976 à nos jours.

Mrs Lang, Bois, Garçon, Lavabre et Lachassagne

M. Braudeau

<p>→ Suite à la présentation par M. Lavabre de quelques calculs hydrauliques simples, calés sur les courbes de tarage actuelles, il apparaît nécessaire de disposer de topographie au droit et en aval des sites de mesures.</p> <p>La DIREN recherchera les <b>sections de jaugeages</b> et tous les <b>profils topographiques</b> disponibles à Lavalette (au droit du pont, du capteur et profil du seuil) et à Garigliano (section de mesure, largeur de la crête déversante...). Pour le seuil de Garigliano, M. Hémain verra ce qu'il peut retrouver comme données topographiques.</p> <p>En complément, le CETE contactera M. Bebeau de l'ENGREF pour récupérer des profils en travers utilisés a priori dans le cadre d'un travail de modélisation du Lez à Lavalette.</p> <p>→ Dans leur synthèse, les experts pourront s'appuyer sur les éléments de réponse apportés par M. Desbordes (meilleur ajustement à 600 m<sup>3</sup>/s donné pour Q<sub>100</sub> par la distribution GEV).</p> <p>Ils pourront également tenter d'utiliser les côtes d'évènements très anciens à Pont Juvénal (géométrie du pont à retrouver?). Leurs conclusions proposeront les éventuels compléments d'études nécessaires pour mieux préciser et traiter ces informations historiques.</p> <p><i>Nota : les courbes de tarage et jaugeages aux stations extraits de la banque Hydro (dossier DIREN remis en séance) et la note du 24/04/2007 de M. Desbordes (avec la réponse au premier point posé par M. Quévremont), sont téléchargeables sur le serveur ftp de la conférence.</i></p>	<p>M. Braudeau M. Hémain CETE  Mrs Lang, Bois et Garçon</p>
<p>- <u>sur la question n°2 de M. Quévremont (apports urbains) :</u></p> <p>→ La réponse de M. Vestier (Ville de Montpellier), interrogé par le CETE sur les apports de la zone urbaine de Montpellier, reste floue sur les documents disponibles (a priori, pas de document synthétique).</p> <p>Selon M. Hémain, l'essentiel des informations concerne le Verdanson (existence d'un système de surveillance et production de rapports événementiels) : il sollicitera la Ville pour récupérer ces éléments.</p> <p>→ Un débat s'engage sur les apports du pluvial en urbain : il en ressort que <b>le Verdanson ne résume pas tous les apports hydrologiques urbains</b> (hypothèse trop réductrice) et que la zone de Castelnau en rive gauche représente une surface non négligeable (contribution à préciser) ainsi que le Nord-Est de Montpellier en rive droite.</p> <p>Un découpage des bassins versants du Lez et du Verdanson sur l'agglomération de Montpellier (comprenant Castelnau) sera transmis par M. Hémain.</p> <p>La question du rejet de Castelnau sera posée par le CETE aux services techniques de la ville (coordonnées à transmettre par M. Hémain).</p> <p>→ Selon M. Desbordes, les apports théoriques de la zone urbaine (de l'ordre de 400 à 500 m<sup>3</sup>/s) sont bien supérieurs à la capacité des ouvrages souterrains (évacuation du débit décennal au plus).</p> <p>Le volume qui peut rester stocké en superficiel sur Montpellier est difficile à évaluer.</p>	<p>M. Hémain     M. Hémain CETE</p>

<p>→ <b>M. Basso, pilote des réflexions sur la problématique urbaine</b>, se propose de faire la synthèse qualitative de toutes les informations transmises qui feront l'objet d'une présentation lors de la prochaine réunion (22/05/2007), l'objectif étant d'apporter un premier niveau de réponse en juin. La synthèse attendue intégrera la liste des éventuelles études complémentaires sur les apports urbains.</p>	M. Basso
<p>- <u>sur la question n°3 de M. Quévremont (concomitance des crues amont du Lez et des apports urbains sur le bassin aval) :</u></p> <p>→ Il conviendra d'intégrer les réflexions sur le laminage de crue dans la traversée de Montpellier (hypothèses d'écrêtement données dans le rapport BRL et dans la modélisation BCEOM en propagation de crue).</p> <p><i>Nota : l'étude de modélisation BCEOM (extraits) transmise par M. Hémain et présentée en séance (découpage en casiers très sommaire) est téléchargeable sur le serveur ftp de la conférence.</i></p> <p>→ Les présents s'accordent à dire qu'une concomitance parfaite des deux pointes centennales, si elle n'est pas exclue, est cependant plus que centennale (M. Garçon cite en première approche l'utilisation classique de lois du type <math>Q_{100}=a.S^b</math> avec <math>b&lt;1</math>). Une configuration de cellules orageuses Sud-Nord avec d'abord un système étendu puis de fortes pluies sur le bassin aval paraît difficile à probabiliser.</p> <p>De plus, cette question de la concomitance est rendue encore plus délicate par l'importance de l'état initial des sols et du karst.</p> <p>→ Il est décidé de partir de l'analyse météorologique des dernières crues du Lez <b>en s'intéressant à la dynamique de ces événements majeurs récents</b>. Météo France a été sollicité par la DIREN (courrier du 20/04/2007) pour réaliser cette analyse à partir des données de pluies et images radar sur les épisodes depuis 2000.</p> <p>→ Le pilotage de cette question des concomitances est confié à <b>M. Lavabre en collaboration avec M. Garçon</b>. M. Lavabre sollicitera une intervention de Valérie Jacq de Météo France pour la prochaine réunion du 22/05/2007.</p> <p><i>Nota : les images de pluies au sol pour les événements majeurs entre 2001 et 2005, présentées en séance par M. Lavabre et le courrier de la DIREN à Météo France sont téléchargeables sur le serveur ftp de la conférence.</i></p>	<p>M. Lavabre</p> <p>Météo France (Valérie Jacq)</p> <p>M. Lavabre</p>
<p>La prochaine réunion se tiendra le <b>mardi 22 mai 2007</b> (10 h - 16h30) à la DIREN LR à Montpellier.</p>	
<p>Q100Lez_CR_2007-04-25_envoye.doc</p>	

## Conférence scientifique "Q100 Lez à Montpellier"

Réunion du 22 mai 2007 – Compte rendu / Relevé de décisions

La réunion s'est tenue à la DIREN LR à Montpellier avec :

Experts	Autres participants	
Marcel BASSO	Zoé BAUCHET	DIREN
Philippe BOIS	Bernard BRAUDEAU	DIREN
Michel DESBORDES	Gilles LE GAC	DIREN
Rémy GARÇON	Patrick FOURMIGUE	CETE
Jean-Claude HEMAIN	Bénédicte FRIER	CETE
Patrick LACHASSAGNE	René JOURDAN	METEO FRANCE
Michel LANG	Jean-Paul MIZZI	METEO FRANCE
Jacques LAVABRE	Stagiaire	DIREN

Philippe SERGENT, Jean-Michel TANGUY (experts) : excusés pour la journée.

Jean-Paul MIZZI et René JOURDAN (METEO FRANCE) : invités pour la journée.

### 1. Ouverture de la séance

A l'issue d'un tour de table de présentation, notamment pour Mrs. Mizzi et Jourdan de Météo France invités pour la journée, Mme Bauchet rappelle :

- le contexte de travail de la conférence scientifique
- **l'échéance du 22 juin 2007** pour la première proposition des experts de la valeur chiffrée de débit de la crue centennale du Lez à Montpellier assortie d'une fourchette d'incertitude (première rédaction attendue pour cette date).

En préalable à la présentation de l'ordre du jour, le compte rendu de la réunion d'ouverture du 12/03/2007, dans sa version validée par la Préfecture, est remis en séance.

### 2. Ordre du jour

Les interventions et présentations inscrites à l'ordre du jour concernent :

- l'analyse météorologique des événements pluvieux sur les dernières crues du Lez par Météo France (Direction Interrégionale Sud-Est)
- l'analyse des crues du Lez par M. Lavabre (les 4 crues majeures depuis 2000, l'analyse des pluies et des débits, l'examen des jaugeages)
- l'analyse statistique des débits par M. Lang
- les compléments d'analyse sur le fonctionnement du karst par M. Lachassagne
- l'étude des apports de la zone urbaine par Mrs Basso et Hémain
- les modalités de travail et de contribution des experts jusqu'au 22 juin 2007.



### 3. Avancées des contributions des experts

#### - sur les 3 questions posées par la DIREN à Météo France (courrier du 20/04/2007) :

→ *En préliminaire aux questions DIREN sur le retour possible/probable des derniers événements majeurs observés en oct. 2001, déc. 2002 et 2003 et sept. 2005, Météo France :*

↗ précise que dans la réponse apportée, des épisodes supplémentaires ont été ajoutés (1976, 1979 et sept. 2003) ;

↗ distingue sur l'Hérault les épisodes dits « cévenols », des précipitations orageuses intenses (comme les événements d'oct. 2001 ou de sept. 2003 et 2005) sans influence forte du relief. Ce type d'orages, organisés en ligne et pouvant devenir stationnaires, intervient dans une configuration de résonance des mouvements en altitude et au sol (tourbillons d'altitude et de surface).

→ *Sur la 1<sup>ère</sup> question DIREN : possibilité/probabilité d'observer sur le Lez un événement type sept. 2002 sur le Gard avec des cumuls jusqu'à 600 mm/jour en ponctuel*

L'animation radar du 8 sept. 2002 met en évidence une organisation SO-NE des cellules qui se reforment sur Montpellier, générant les cumuls les plus forts sur le Gard mais Météo France précise qu'il aurait été tout autant possible de les rencontrer sur l'Hérault.

Le 9 sept. 2002, le système multicellulaire toujours orienté SO-NE, bloqué sur les Cévennes gardoises, aurait tout aussi bien pu se décaler sur les Cévennes héraultaises.

↗ Météo France conclut que le Lez se situe sur la trajectoire des mouvements violents et qu'un épisode type sept. 2002 sur le Gard est possible et probable sur l'Hérault, par simple décalage des centres d'actions des pluies (mais probabilité d'occurrence non quantifiable).

↗ Un débat s'engage entre M. Desbordes et Mrs Mizzi et Jourdan concernant les épisodes comptabilisés (épisodes sur le bassin versant du Lez ou sur le département de l'Hérault, épisodes cévenols uniquement ou épisodes cévenols et orageux intenses, épisodes en 24 h ou également épisodes courts de quelques heures).

→ *Sur la 2<sup>ème</sup> question DIREN : possibilité/probabilité d'observer une précipitation courte et intense sur Montpellier (survenant après une précipitation de quelques heures sur le Lez)*

↗ Sur la base des orages remarquables du 22/09/2003 sur Montpellier, du 05/08/1989 sur Narbonne et du 03/10/1988 sur Nîmes, Météo France conclut que ce type de phénomène est possible et probable sur Montpellier comme sur n'importe quelle zone du Languedoc Roussillon.

↗ La concomitance de la pointe de crue rurale amont avec celle urbaine aval ne peut être précisément quantifiée selon Météo France.

→ *Sur la 3<sup>ème</sup> question DIREN : possibilité/probabilité d'observer une précipitation type 06-09 sept. 2005 sur le Vistre*

↗ Selon Météo France, il aurait suffi d'un léger décalage des centres d'actions des pluies, tout à fait possible, pour voir la région de Montpellier touchée une deuxième fois le 8 sept. par la seconde partie de l'épisode survenue dans le Gard.

Nota : un document reprenant l'exposé de METEO FRANCE est remis en séance.

<p>- <u>sur l'analyse des crues du Lez par M. Lavabre</u> (les éléments d'expertise sont détaillés dans le document envoyé avant la séance, version du 15 mai 2007, disponible sur le serveur ftp de la conférence) :</p> <p>→ <i>sur l'analyse des crues majeures depuis 2000</i> :</p> <p>↗ pour la <u>crue du 9/10/2001</u>, M. Hémain propose de rechercher les informations de débit supposées manquantes à Lavalette entre 18 h et 20 h (<u>données DIREN à vérifier</u>) dans les enregistrements à la station de la Ville.</p> <p>↗ pour la <u>crue du 12/12/2002</u>, l'absence de cote échelle lue à Garigliano pour le jaugeage le plus élevé pose problème. L'hypothèse CEMAGREF d'une cote revue à la hausse pour ce jaugeage entraîne une <u>incertitude de la courbe de tarage à Garigliano de l'ordre de 15 % sur sa partie centrale</u>.</p> <p>Les deux débits les plus élevés jaugés à Garigliano sur cette crue et reportés en amont à la station de Lavalette (en négligeant les apports intermédiaires) confortent la partie centrale de la courbe de tarage de cette dernière.</p> <p><i>Nota</i> : le document complet de la DIREN sur cette crue sera mis sur le serveur ftp de la conférence, de même que les données topographiques transmises par M. Hémain pour le seuil de Garigliano.</p> <p>↗ pour la <u>crue du 3 déc. 2003</u>, il est rappelé le doute de BCEOM (cf. rapport SIEE p. 47) sur le débit de 540 m<sup>3</sup>/s atteint à Garigliano (ramené à 400 m<sup>3</sup>/s). M. Hémain ajoute que cette crue est largement surestimée à la station de Moulin l'Evêque en aval de Garigliano (aval confluence Verdanson) en raison d'une erreur de formule introduite dans l'automate (données de hauteur à récupérer si encore disponibles).</p> <p>→ <i>sur l'analyse des pluies et des débits</i> :</p> <p>En préambule, M. Lavabre précise que les pluies SHYREG sont celles d'une pluie ponctuelle sur 1 km<sup>2</sup> sur la partie amont du bassin (sans prise en compte d'un abattement spatial).</p> <p>Selon M. Lachassagne, l'analyse CEMAGREF sur les pluies et les écoulements met en avant <u>deux non-linéarités</u> du bassin du Lez avec d'une part le remplissage du karst et d'autre part le débordement du bassin hydrogéologique au-delà du bassin topographique, principalement vers le Vidourle et la Mosson, lorsque le karst est saturé (mais <u>absence de mesure de ces écoulements de crue de surface</u>).</p> <p>Selon M. Bois, une modélisation pluie-débit de ce système, certes longue et difficile, serait une démarche plus pertinente et réaliste qu'une analyse probabiliste sur ce bassin versant très complexe (surface connue mais systèmes non-linéaires).</p> <p>→ <i>sur les concomitances</i> :</p> <p>Il semble admis que l'apport du bassin rural soit nettement plus important que celui de la zone urbaine, à vérifier néanmoins pour les très hauts débits (<u>données du Verdanson à valider</u>, débit capable notamment).</p> <p>La concomitance de la pointe de crue rurale amont avec celle urbaine aval ne pouvant être précisément quantifiée selon Météo France, il est décidé, dans le doute, pour l'estimation du débit Q<sub>100</sub> du Lez à Montpellier, de <u>partir sur une hypothèse pessimiste d'une concomitance des évènements</u>.</p>	<p>M. Braudeau et Hémain</p> <p>M. Braudeau et CETE</p> <p>M. Hémain</p> <p>M. Basso et Hémain</p>
---	--

<p>Ainsi, le travail de M. Lavabre, <u>première ébauche du rapport final</u>, permet :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>↗ de <u>donner une bonne crédibilité de la courbe de tarage à Lavalette</u> dans sa partie moyenne (jusqu'à <math>Q_{10}</math>) mais l'extrapolation à <math>Q_{100}</math> par la DIREN, à partir d'un jaugeage maxi à <math>290 \text{ m}^3/\text{s}</math> de l'ordre de <math>Q_{10}</math>, demande à être explicitée.</li> <li>↗ de montrer une meilleure concordance des débits de pointe de crue observés à Lavalette avec les lames écoulées estimées à cette station <u>en calculant les lames écoulées sur une surface de <math>380 \text{ km}^2</math></u> (bassin hydrogéologique avancé par le BRGM) plutôt que sur les <math>115 \text{ km}^2</math> du seul bassin topographique.</li> <li>↗ de <u>faire apparaître les non-linéarités</u> du système d'étude très complexe.</li> <li>↗ de montrer qu'une <u>analyse pluie-débit</u> est la démarche à privilégier sur ce bassin (plus pertinente et réaliste qu'une analyse statistique).</li> <li>↗ de mettre en évidence la <u>nécessité de disposer de données et d'études complémentaires, inexistantes aujourd'hui</u> (à mettre en avant dans le rapport final).</li> </ul>	M. Braudeau
<p>- <u>sur l'analyse statistique des débits par M. Lang pour estimer la crue centennale du Lez à Lavalette</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>→ quelle que soit la méthode d'extrapolation mise en œuvre (simple extrapolation loi exponentielle ou extrapolation par application de la méthode du Gradex), on observe une <u>dispersion des résultats</u> (distribution empirique chahutée difficile à ajuster).</li> <li>→ par l'application standard de la méthode du Gradex sur une durée de 6 h et une surface de bassin versant topographique à Lavalette de <math>115 \text{ km}^2</math>, le débit « initial » obtenu est de <math>650 \text{ m}^3/\text{s}</math>. Mais selon les hypothèses prises de superficie du bassin versant, de Gradex des pluies, etc. (différentes variantes étudiées par M. Lang), le débit de pointe centennial calculé varie dans une <u>fourchette allant de <math>540 \text{ m}^3/\text{s}</math> à <math>760 \text{ m}^3/\text{s}</math></u>.</li> </ul> <p>M. Lavabre trouve faibles les données de Luc Neppel (estimation du Gradex des pluies) prises en compte par M. Lang.</p> <p>Selon M. Lachassagne, c'est le fonctionnement physique du bassin qui apparaît à travers les résultats de l'extrapolation : le remplissage du karst puis la réponse du bassin aux précipitations et enfin l'exportation des écoulements au-delà du bassin topographique lorsque le karst est saturé.</p> <p>En conclusion, il apparaît :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>↗ que <u>les données de crues sont insuffisantes</u> (30 années de données seulement) ce qui rend dangereuse une extrapolation à <math>T=100</math> ans et repose la question de la prise en compte de l'information sur les crues anciennes.</li> <li>↗ que le pas de temps journalier est trop éloigné du fonctionnement en crue.</li> <li>↗ que la surface réelle du bassin à prendre en compte est incertaine.</li> <li>↗ que le fonctionnement à seuil de ce bassin karstique rend périlleux l'exercice de sa modélisation.</li> </ul> <p><i>Nota : la présentation complète de M. Lang est disponible sur le serveur ftp de la conférence.</i></p>	M. Lang et Lavabre



- sur les compléments d'analyse par M. Lachassagne sur le fonctionnement du système karstique :

→ *sur la source du Lez* :

↗ elle exprime le débordement du système karstique constitué d'une grande unité de calcaires jurassiques dont 100 km<sup>2</sup> affleurant et 280 km<sup>2</sup> souterrains sur les 380 km<sup>2</sup> de surface totale drainée par la source.

↗ en basses et moyennes eaux, les écoulements de surface sur ce système karstique alimentent la source. En hautes et très hautes eaux, une partie de l'eau des bassins de surface s'écoule vers d'autres bassins versants comme le Vidourle ou la Mosson (la capacité d'absorption des pertes, non linéaire par rapport aux pluies, est alors dépassée).

→ *sur les premiers résultats de modélisation du système* :

↗ l'outil utilisé est un modèle de type fonction de transfert et le calage de cette fonction donne une surface de l'impluvium de 110 km<sup>2</sup> nécessaire pour faire fonctionner la source du Lez (contribution des pertes négligeable).

↗ l'absence d'éléments de calibration pose problème (pas de jaugeages sur les exutoires de très hautes eaux, notamment le Lirou qui est alimenté par le même aquifère que le Lez). Il est demandé au BRGM de donner la liste des principaux exutoires connus du Lez.

↗ il apparaît impossible d'équilibrer le bilan hydrologique avec 115 km<sup>2</sup> de surface de bassin à Lavalette, y compris en crue.

↗ le karst conditionnerait un fonctionnement à seuil. Selon M. Lachassagne, la capacité d'absorption du karst serait limitée et la saturation serait à positionner assez tôt, avant la décennale (autour de T=5 ans ?)

→ *sur l'application de la méthode du Gradex pour l'estimation de Q<sub>100</sub> à Lavalette* :

↗ on peut envisager de fixer comme limite physique du karst un débit forfaitaire de 100 m<sup>3</sup>/s (la somme du débit des sources du Lez, du Lirou et autres sources est estimée par le BRGM entre 60 et 80 m<sup>3</sup>/s).

↗ plutôt que d'appliquer la méthode du Gradex sur une surface plus importante que les 115 km<sup>2</sup> de bassin topographique à Lavalette (hypothèse de 200 à 250 km<sup>2</sup>), il est décidé de remplacer l'apport de surface par un apport forfaitaire de débit du karst fixé à 100 m<sup>3</sup>/s et d'appliquer le Gradex sur un bassin de 115 km<sup>2</sup>.

↗ un débat s'engage entre M. Lavabre et Hémain sur le choix du Gradex des pluies à prendre en compte et sur l'importance de l'abattement spatial des pluies en 24 h.

*Nota* : la note complète de M. Lachassagne explicitée en séance est téléchargeable sur le serveur ftp de la conférence.

M.  
Lachassagne

- sur les apports de la zone urbaine par M. Hémain et Basso :

→ M. Basso rappelle en introduction que le rapport de M. Quévremont affichait un débit de 900 m<sup>3</sup>/s à Montpellier (A9) en ajoutant aux 650 m<sup>3</sup>/s de Lavalette 250 m<sup>3</sup>/s supposés provenir du seul Verdanson (drainant 14 km<sup>2</sup>).

<p>Or à l'aval de Lavalette, les bassins versants de la Lironde, de la zone de Castelnau (en rive gauche) et autres bassins diffus couvrent une surface totale d'environ 42 km<sup>2</sup> (la superficie de la zone urbaine est donnée à 56 km<sup>2</sup> à l'aval de Lavalette) dont il apparaît trop réducteur de négliger les apports.</p> <p>M. Basso souhaite pouvoir disposer du rapport CETE de 1989 dans lequel les apports sont estimés à cette valeur de 250 m<sup>3</sup>/s sur le bassin urbain aval (débit résultant d'un écrêtement intuitif d'un débit théorique centennal de 330 m<sup>3</sup>/s estimé par une formule rationnelle).</p> <p>Cette valeur de pointe centennale qui pourrait s'ajouter concomitamment avec les crues « rurales » du Lez paraît haute selon M. Hémain et Basso.</p> <p>→ sur Castelnau (apports de 14 km<sup>2</sup>), M. Hémain recense trois ruisseaux en rive gauche (identifiés sur une carte du bassin à l'échelle 1/25 000) auxquels il faut ajouter le ruissellement sans réseau structuré. Il semble que ce bassin ait plus tendance à stocker qu'à drainer.</p> <p>→ sur Montpellier, les bassins versants urbains hors Verdanson sont constitués des bassins des Aiguerelles, du Chambéry, etc., repérés sur un plan d'ensemble de la Ville de déc. 2006 (échelle 1/12 500) explicité par M. Hémain.</p> <p>Pour le Verdanson, M. Hémain fait référence à une étude en cours de la Ville sur la capacité de cet affluent à l'exutoire (étude encore non validée). Le débit pour une pluie centennale atteindrait potentiellement 400 m<sup>3</sup>/s ; or le débit capable physique est donné à 100 m<sup>3</sup>/s maxi.</p> <p>→ M. Hémain liste les aménagements, actuels ou projetés, stoppant les écoulements ou limitant leur évacuation (remblai, voie SNCF, cadre, etc.) sur ces bassins.</p> <p>En conclusion, il est décidé :</p> <p>↗ de disposer d'un <u>tableau récapitulatif de la surface des bassins versants urbains en aval de Lavalette et des apports estimés</u> (à fournir par M. Hémain).</p> <p>↗ d'étudier des épisodes de crue ayant affecté par leurs pluies essentiellement le bassin aval du Lez (septembre 2003 par exemple) de façon à <u>mettre en évidence la débit généré par la zone urbaine</u> entre les stations de Lavalette et Garigliano.</p> <p>↗ d'organiser une rencontre (Basso, Hémain et Frier) avec M. Vestier de la Ville de Montpellier.</p> <p><i>Nota : les documents présentés en séance par M. Hémain (cartes et photos) sont disponibles sur le serveur ftp de la conférence (à l'exception du plan d'ensemble de la Ville trop grand pour être facilement scanné).</i></p>	<p>CETE via M. Bouchut</p> <p>M. Hémain</p> <p>M. Lavabre</p> <p>CETE</p>
<p><b>4. Synthèse sur les modalités de travail des experts jusqu'à la prochaine réunion</b></p>	
<p>- sur la question n°1 de M. Quévremont (crue centennale amont à Lavalette estimée à 650 m<sup>3</sup>/s par la DIREN) :</p> <p>M. Lang est chargé de réévaluer la crue centennale amont en appliquant la méthode du Gradex sur 115 km<sup>2</sup> de superficie de bassin versant, avec 100 m<sup>3</sup>/s de débit forfaitaire correspondant à la limite physique estimée du karst (<u>échanges à prévoir entre M. Lang et Lavabre pour l'estimation du Gradex des pluies</u>). Le débit amont sera réestimé sur la base de ces hypothèses, en intégrant dans le rapport les contributions de M. Lavabre et Desbordes et de la DIREN (données de crues à vérifier).</p>	<p>M. Lang</p> <p>M. Lavabre</p> <p>M. Bois</p>

<p>→ <i>sur la question n°2 de M. Quévremont (apports urbains) :</i>  Une rencontre avec M. Vestier (Ville de Montpellier) devra permettre à M. Basso et Hémain de préciser les zones d'accumulation dans la Ville et les volumes correspondants, les capacités des exutoires des sous bassins principaux (Verdanson et autres + rejet de Castelnaud), les conditions d'écoulement, etc., de façon à estimer tous les apports hydrologiques urbains de référence.</p> <p>→ <i>sur la question n°3 de M. Quévremont (concomitance des crues amont du Lez et des apports urbains sur le bassin aval) :</i>  Le débit <math>Q_{100}</math> du Lez à Montpellier sera estimé en partant sur une hypothèse pessimiste d'une concomitance des événements avec des débits revus à la baisse pour les apports urbains (inférieurs à <math>250 \text{ m}^3/\text{s}</math>).</p> <p><b>Etant donné les contraintes de délais fixés par le Préfet (premier rendu fin juin), ces trois contributions sont attendues pour mi-juin.</b></p>	<p>M. Basso et Hémain</p> <p>CETE</p>
--	---------------------------------------

La prochaine réunion se tiendra le **vendredi 22 juin 2007**

(10 h - 16h30)

à la DIREN LR à Montpellier.

Q100Lez\_CR\_2007-05-22\_envoye2.doc

## Commentaires sur le compte rendu de la réunion du 22 mai 2007

**M. Desbordes,  
le 13/06/2007**

1° concernant les développements de Météo France sur les possibilités d'observer, sur le bassin du Lez, une précipitation comparable à celle d'Anduze en septembre 2002 (soit près de 700 mm en 24h) :

Les observations de Météo France sont « prudentes » et le fait de conclure qu'un tel épisode soit « possible et probable » n'engage à rien et n'apporte aucune information utilisable sauf à conclure **que c'est désormais la référence régionale. Dans ce dernier cas, il va falloir revoir tous les plans de secours communaux de façon drastique. Je rappellerai que les épisodes de septembre 2005 dans le Gard ont coûté la vie à 24 personnes et occasionné 1,2 milliards € de dégâts.**

« *Un débat s'engage entre M. Desbordes et Mrs Mizzi et Jourdan concernant les épisodes comptabilisés...* ». Je ne sais pas si un jour quelqu'un reprendra les comptes rendus de cette « conférence scientifique », mais il m'étonnerait qu'il puisse tirer un renseignement d'une telle indication... De quoi s'agit-il en réalité : des résultats d'une étude des probabilités d'apparition dans l'espace régional des pluies journalières ayant atteint ou dépassé 190 mm en 24 h, observés sur le réseau de Météo France. Cette étude achevée en novembre 2006 et intitulée « *InondHis-Lr : analyse régionale des précipitations et crues anciennes en Languedoc-Roussillon* » (Contrat RDT CV 04000067) et réalisée conjointement par Hydrosociences Montpellier, le CEMAGREF, le CERREVE, GESTER et ACTHYS Diffusion **montre que les précipitations importantes ne sont pas empiriquement équiprobables dans l'espace régional et que ces pluies ont respectivement, 19, 11, 10 et 7 fois plus de chances de se produire sur le bassin de l'Ardèche, de l'Hérault, du Gard et de l'Orb que sur les bassins du Lez ou de la Mosson... (j'ai remis l'extrait correspondant de cette étude lors d'une de nos réunions)** Il s'agit bien sur d'une étude empirique mais qui intègre les observations régionales de Météo France au cours des 54 dernières années. Cela signifie, en gros, que si la pluie d'Anduze avait, par exemple une probabilité centennale sur ce secteur (il s'agit simplement d'une hypothèse car je ne connais pas la probabilité réelle d'une telle pluie en ce lieu) elle aurait une période d'au moins 1000 ans sur le bassin du Lez. L'objection des représentants de Météo France était de dire que cette étude, fondée sur les pluies journalières, ne prenait pas en compte celles qui se seraient produites sur des durées plus courtes et pouvant conduire à des cumuls importants susceptibles de produire des crues brutales de petites unités hydrologiques... Cette observation ne tient pas.

D'abord parce que les pluies ayant dépassées 190 mm en moins de 24 h sont comptabilisées dans l'échantillon. A ce titre en voici 3 reconnues comme très importantes dans le voisinage de Montpellier

190 mm en 2h le 12 10 1971 à Saint Gély du Fesc au nord de Montpellier (LHM-CNRS)

232 mm en 2h le 22 09 1993 à Alès-Deaux (Météo France)

400 mm en 4h le 23 10 1976 à Saint Jean de Cuculles (Hérault) (Ann. Clim. de L'Hérault) (pas de crue marquante du Lez ce jour là...).

Ensuite parce qu'en descendant le seuil en dessous de 190 mm on aurait certes plus d'orages localisés et de courte durée (mais également plus de pluies « banales » en 24h) mais rien n'indique qu'ils soient moins nombreux dans l'arrière pays que sur le littoral. Ce que faisant on pourrait, au contraire, accentuer l'inégalité des répartitions spatiales de ces orages

Enfin, s'il est clair que des pluies de moins de 190 mm en une heure ou deux peuvent provoquer des débits importants sur de petits bassins versants pentus ou des zones urbaines (**la pluie du 12 10 1971 à Saint Gély du Fesc a ravagé un petit vallon d'un affluent de la Mosson où il n'y avait heureusement personne et qui compte, aujourd'hui, plusieurs centaines d'habitations ...**), ils ne peuvent donner lieu à des crues dévastatrices du Lez pour lesquelles les crues majeures résultent de pluies supérieures à 190 mm comme on peut le constater sur les débits enregistrés à Lavalette depuis 1975.

Pour terminer, au regard des travaux cités ci-dessus, il serait quand même bon que d'aucuns en prennent connaissance : ainsi, la probabilité régionale d'une lame de 600 mm sur une superficie de 380 km<sup>2</sup> (retenue comme superficie du bassin d'alimentation du système du Lez) serait, selon les recherches de Luc Neppel, de période de retour supérieure à 1000 ans et donc plus encore sur le bassin du Lez...

En conclusion, je préférerais que les comptes rendus « rendent compte » de ce qui s'est dit...

2° *M. Lavabre trouve faibles les données de Luc Neppel (estimation du Gradex des pluies) prises en compte par M. Lang.* Le fait que Jacques trouve « faibles les données de Luc » ne signifie pas qu'elles le soient... A ce propos, je pense qu'il conviendrait peut être de relire la note que je vous avais communiquée et qui s'intitule « Pluies extrêmes sur Montpellier et ses environs » dans laquelle peut être apprécié le résultat des recherches de Luc Neppel au travers d'une loi régionale pour les pluies ponctuelles à origine fixe. Il existe sans doute des différences entre SHYREG et cette loi régionale, mais elles ne sont pas aussi considérables que cela. Ainsi la pluie centennale ( à origine variable) journalière à Montpellier serait de 260 mm ( station de Montpellier Bel-Air) alors que Jacques propose 327,5 mm valeur jamais observée à Montpellier, le maxima étant de 318 mm en 24 h le 08 09 1938 ( selon Réminiéras...). Si l'on utilise les résultats de Luc sur le bassin du Lez (qui compte au nord des stations « plus arrosées ») la pluie journalière centennale, agrégeant les données des postes du bassin, de Luc est de l'ordre de 290 mm contre 327,5 mm pour Jacques soit une différence de 12,9% **absolument non significative du point de vue statistique...** Il y a déjà pas mal de temps que je propose de retenir, pour l'aménagement des écoulements dans le secteur de Montpellier, une pluie centennale en 24 h de 300 mm...

3° *un débat s'engage entre M. Lavabre et Hémain sur le choix du Gradex des pluies à prendre en compte et sur l'importance de l'abattement spatial des pluies en 24 h*

Même observation que pour le 2° ci-dessus...





DIREN  
A l'attention de Zoé BAUCHET  
58, avenue Marie de Montpellier  
CS 79034  
34965 MONTPELLIER CEDEX 2

Aix en Provence, le 5 septembre 2007  
Références à rappeler : DIRSE/D - N° 476  
Affaire suivie par : J-P Mizzi  
Tél. : 04 42 95 90 12

**Objet : réunion du 22 mai 2007, Conférence scientifique Q100 du lez à Montpellier**

Madame,

Suite aux observations formulées par M. Desbordes sur notre présentation et au compte rendu que vous en avez fait, je me permets d'apporter les compléments suivants.

En faisant de nouveau référence à l'étude InondHis-LR (citée par M. Desbordes) : Analyse régionale des précipitations et crues anciennes en Languedoc-Roussillon, « *la caractérisation de l'aléa, en particulier des événements majeurs, repose souvent sur la seule exploitation des séries hydrométéorologiques issues des réseaux de mesures. La densité trop faible et les chroniques trop courtes de ces réseaux sont source d'incertitudes surtout lorsqu'on se focalise sur les événements majeurs* ». L'auteur de ce rapport (L. Neppel) a tout à fait raison.

En effet, se baser sur une fréquence empirique, pour déterminer le risque d'apparition d'un phénomène majeur sur un secteur de l'arc méditerranéen sous-estime le risque réel : ce n'est pas parce qu'un événement ne s'est jamais produit sur un secteur (ou alors qu'il n'a pas été mesuré : les réseaux de mesure sont « récents » et de densité variable au cours du temps) qu'il n'a pas de chance de se produire sur ce dit secteur.

Avant les années 1950, très peu de situations sont répertoriées. Après 1950, elles deviennent plus nombreuses. Ceci est dû à une augmentation de la densité du réseau, mais cela n'offre qu'une cinquantaine d'années de recul.

**Direction interrégionale Sud-Est**  
2, boulevard Château Double, 13098 Aix-en-Provence cedex 02, France  
Téléphone : 04 42 95 90 00. Télécopie : 04 42 95 90 19. Site Internet : [www.meteo.fr](http://www.meteo.fr)  
Météo-France, Etablissement public administratif sous la tutelle du ministère chargé des Transports.



Certaines n'apparaissent pas comme :

- les 400 mm de St Jean de Cuculles du 23/10/1976 (poste de mesure non répertorié dans la base de données Météo-France mais auquel M. Desbordes fait référence)

- les 420 mm de la catastrophe de Nîmes du 3 octobre 1988 (200+220 mm à cheval sur 6 H UTC).

Ainsi au vu des observations empiriques (environ 50 ans), un épisode type « septembre 2002 » (quantités et extension spatiale) n'était pas envisageable avant 2002. Sur l'Aude, c'est encore plus flagrant : avant le 12 novembre 1999, aucune fréquence empirique ne pouvait présager que se produise un phénomène d'une telle ampleur géographique sur le département (plus de 300 mm en 24 heures sur 15 postes) avec une valeur maximale : 551 mm, soit 75 % de plus que les valeurs les plus fortes enregistrées jusque-là (16 février 1982 : 315 mm à Port La Nouvelle et 13 octobre 1986 : 300 mm à Fitou). Voir tableaux en annexe.

Cette sous-estimation augmente si on raisonne à une échelle spatiale encore plus faible (le BV de la Mosson ou du Lez).

La durée de retour estimée par calcul est très sensible aux valeurs extrêmes qui peuvent apparaître au cours du temps.

Voici les durées de retour calculées à Gènerargues (poste de la BDCLIM ayant enregistré le maximum de précipitations en septembre 2002). Avant 2002, la pluie centennale était de l'ordre de 200 mm.

Durées de retour de précipitations calculées par la loi GEV – Gènerargues – 1942 - 2001

Durée de retour	Hauteur estimée	Intervalle de confiance à 70 %	
5 ans	127.3 mm	120.6 mm	135.9 mm
10 ans	148.1 mm	138.1 mm	159.6 mm
20 ans	188.0 mm	156.8 mm	182.9 mm
30 ans	179.5 mm	168.0 mm	196.2 mm
50 ans	193.9 mm	179.5 mm	212.9 mm
100 ans	213.2 mm	196.5 mm	235.4 mm

En incluant la valeur de 2002, la centennale augmente de 100 mm et la pluie de 2002 (539 mm) sort largement de l'intervalle de confiance à 70 %.

Durées de retour de précipitations calculées par la loi GEV – Gènerargues – 1942 - 2005

Durée de retour	Hauteur estimée	Intervalle de confiance à 70 %	
5 ans	135.7 mm	128.4 mm	143.0 mm
10 ans	169.0 mm	153.3 mm	184.7 mm
20 ans	207.0 mm	180.2 mm	233.8 mm
30 ans	232.0 mm	195.8 mm	266.1 mm
50 ans	266.9 mm	215.5 mm	318.3 mm
100 ans	321.3 mm	241.6 mm	406.9 mm

Les phénomènes météorologiques, déclencheurs de phénomènes pluvieux type novembre 1999, septembre 2002 ou 2005, sont de maille beaucoup plus importante que l'échelle spatiale à laquelle on se situe ici (Corbières – bassin des Gardons, distants de 150 km).

C'est pourquoi il n'est pas scientifiquement recevable de chiffrer une probabilité d'occurrence distincte d'un phénomène type « 2002 » sur ces sites.

Je rappelle que les phénomènes tels que nous les avons exposés ne trouvent pas leur origine dans la géographie des lieux (ascendances orographiques notamment) mais dans des conjonctions phénoménologiques entre des mouvements de masses d'air au niveau de la tropopause et au niveau des basses couches de l'atmosphère.

Météo-France confirme bien la position exprimée au cours de la réunion du 22 mai 2007.

*Le directeur interrégional adj  
pour Météo-France Sud-Est*

Jean-Paul MIZZI

## Conférence scientifique "Q100 Lez à Montpellier"

Réunion du 22 juin 2007 – Relevé de décisions

La réunion s'est tenue à la DIREN LR à Montpellier avec :

Experts	Autres participants	
Marcel BASSO	Zoé BAUCHET	DIREN LR
Philippe BOIS	Gilles BELAUD	SupAgro
Michel DESBORDES	Jean-Emmanuel BOUCHUT	DDE 34
Rémy GARÇON	Bernard BRAUDEAU	DIREN LR
Jean-Claude HEMAIN	Patrick FOURMIGUE	CETE
Patrick LACHASSAGNE	Bénédicte FRIER	CETE
Michel LANG	Gilles LE GAC	DIREN LR
Jacques LAVABRE	Stagiaire	DDE 34

Philippe SERGENT et Jean-Michel TANGUY (experts) : excusés pour la journée.

Gilles BELAUD (SupAgro) : invité pour l'après-midi.

### 1. Ouverture de la séance

Préalablement à l'examen de l'ordre du jour, Mme Bauchet :

- informe de la nomination d'un nouveau préfet de région
- remercie vivement les experts de la conférence pour leur investissement
- rappelle que cette réunion se veut conclusive sur les réponses à apporter aux trois questions posées par M. Quévremont.

Les interventions et présentations inscrites à l'ordre du jour pour y parvenir concernent :

- l'analyse par M. Bois de la station de Lavalette (cohérence entre courbe de tarage, section mouillée et vitesse moyennes)
- les compléments apportés par M. Lavabre à son travail d'analyse des crues majeures du Lez depuis 2000 présenté le 22/05/2007, en particulier sur la crue du 22/09/2003
- l'actualisation des calculs du débit de la crue centennale à la station de Lavalette par M. Lang en fonction des nouvelles hypothèses discutées le 22/05/2007 et l'appréciation des incertitudes par M. Garçon
- les résultats des travaux de modélisation du Verdanson aval encadrés par M. Belaud à SupAgro
- la synthèse par M. Basso des données disponibles sur les apports de la zone urbaine au Lez et les premiers éléments de conclusion

Mme Bauchet précise que l'examen du planning et des modalités de travail pour le rendu final viendra conclure la séance, suivie d'un point d'information sur le PAPI Lez (par M. Bouchut).

- sur la question n°1 de M. Quévremont ( $Q_{100}$  à Lavalette estimé à  $650 \text{ m}^3/\text{s}$  par la DIREN) :

→ *En préliminaire à l'analyse statistique des débits à Lavalette, M. Bois présente son analyse de la station à partir des seules données issues de la banque HYDRO et de la base BAREME :*

↗ il conclut à la cohérence de la courbe de tarage avec les lois de l'hydraulique fluviale (résultats cohérents au regard des vitesses moyennes mais fragiles car fondés, au-dessus de  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ , sur le seul jaugeage de 1979 à  $300 \text{ m}^3/\text{s}$ ) sans présumer de son exactitude (réserves sur l'extrapolation strictement linéaire au-delà de  $300 \text{ m}^3/\text{s}$ , partagées par M. Desbordes).

↗ il souligne la nécessité, pour aller plus loin dans l'analyse, de retrouver le dossier DIREN de la station de Lavalette sur le Lez pour répondre à un certain nombre de questions et d'incertitudes, en particulier sur la construction de la courbe (quelle est la pratique de fabrication ?), sur la correspondance de hauteur d'eau sous le pont (section de jaugeage a priori) et à l'échelle (variation des sections) et sur l'influence de l'écoulement à l'aval (seuil, forte courbure). La DIREN contactera M. Tailhan, retraité de l'équipe hydrométrie.

→ *Sur les compléments apportés par M. Lavabre à son analyse présentée le 22/05/2007 :*

↗ compléments sur la crue du 22/09/2003 :

Le travail de J. Lavabre sur cette crue permet d'estimer clairement un ordre de grandeur des apports urbains hors Verdanson ( $125 \text{ m}^3/\text{s}$  observés, générés par le bassin intermédiaire entre Lavalette et Garigliano de  $32 \text{ km}^2$  affecté par une pluie journalière moyenne importante de 212 mm) et montre tout l'intérêt de regarder aussi les crues plus faibles.

↗ compléments sur la courbe de tarage à Garigliano :

Le levé de la section du seuil de contrôle de la station (profil en travers transmis par le CETE à partir de la topographie fournie par M. Hémain) met en évidence la présence d'un lit majeur en rive droite ce qui laisse à penser que la partie haute de la courbe pourrait être sous-estimée.

↗ compléments sur les pluies de Luc Neppel :

Toutes corrections faites sur les valeurs maximales ponctuelles (+ 15 % entre  $P_j$  d'origine fixe et  $P_{24 \text{ h}}$  d'origine mobile), les écarts avec les quantiles de pluies Shyreg ne dépassent pas 20 % et M. Lavabre ajoute qu'en pluies intégrées, le bassin topographique du Lez a récemment connu (en déc. 2002 et sept. 2005) deux cumuls de pluies surfaciques à 200 mm en moins de 24 h, inférieurs de 20% seulement aux quantiles en centennal proposés ponctuellement par Luc Neppel sur le Lez.

→ *Sur l'actualisation des calculs du débit de la crue centennale à la station de Lavalette par M. Lang en fonction des nouvelles hypothèses discutées le 22/05/2007 :*

↗ hypothèses sur le Gradex des pluies de 6 h :

M. Lang prend en compte une valeur basse à 22 mm (atlas Cévennes-Vivarais avec un Gradex de pluies d'automne qui plus est non centrées, comme le souligne M. Bois) et une valeur haute à 27 mm (estimation Shyreg). Pour la valeur de l'abattement spatial des gradex des pluies de 6h, on conserve le ratio de 0.77 trouvé sur les pluies journalières.

↗ hypothèses sur l'effet du karst :

Un débit additionnel du karst est fixé forfaitairement à  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  et la méthode du Gradex reste appliquée sur les  $115 \text{ km}^2$  du seul bassin topographique à Lavalette sans prise en compte de la surface additionnelle contributive liée au karst.

↗ hypothèses sur le seuil d'extrapolation par le Gradex défini par la période de retour de saturation du bassin :

La période de retour du point pivot passe de 10-50 ans à 5-10 ans (saturation plus rapide).

M. Lang estime à 20 % l'incertitude sur les débits en considérant une erreur « optimiste » de 10% sur l'hydrométrie et de 10 % sur l'échantillonnage.

➤ résultat du calcul par le Gradex :

Sur la base de ces hypothèses, le débit de pointe centennal calculé à Lavalette varie dans une fourchette très large allant de 515 à 820 m<sup>3</sup>/s avec une valeur centrale à 670 m<sup>3</sup>/s.

Au final, M Lang met en avant les **fortes incertitudes** sur la valeur proposée revue à **700 m<sup>3</sup>/s plus ou moins 150 m<sup>3</sup>/s**.

➔ *Sur l'appréciation par M. Garçon des incertitudes liées à l'application de la méthode du Gradex sur une durée de 6 h entre 7 ans et 100 ans, traitées par une analyse bayésienne :*

➤ M. Garçon explicite la formule de Bayes mise en œuvre, laquelle confronte clairement les hypothèses a priori aux observations (traitement des incertitudes sur la méthode, le Gradex des pluies, l'abattement spatial et la contribution du karst convertie en Gradex).

- sur les débits moyens VCX (6 h) à Lavalette, l'ajustement non linéaire (courbure empirique sur les points jusqu'à 200 m<sup>3</sup>/s) conduit à 7 hypothèses de débit pour le point pivot de période de retour 7 ans (fourchette entre 185 et 260 m<sup>3</sup>/s . L'analyse a posteriori conduit à orienter plutôt vers la valeur forte (pour recoller aux 5 débits les plus hauts).
- sur le Gradex à appliquer, partant de l'estimation SHYREG de 27 mm sur 6h, M. Garçon situe le Gradex global dans une fourchette de 12 à 31 mm/6h (y compris incertitudes sur abattement spatial, contribution à l'écoulement et contribution du karst).

➤ Résultats et conclusion :

- l'observation ne se révèle pas concluante sur les hypothèses a priori (fourchette plus basse que les points observés reportés). Si les hypothèses et approximations sont certes nombreuses, la méthode pour affiner l'incertitude est acceptable et incontournable selon M. Garçon
- un premier intervalle à 80% du Q<sub>100</sub> max. instantané est donné à 604-781. Puis, après prise en compte d'incertitudes complémentaires (sur le point pivot de départ de l'extrapolation et sur l'hydrométrie pour les hauts débits) la fourchette **570 – 820 m<sup>3</sup>/s** est retenue comme **intervalle de crédibilité à 80 % centré sur 695 m<sup>3</sup>/s** (Q<sub>100</sub> maxi instantané).
- le travail réalisé permet d'associer une probabilité à la fourchette d'incertitude et de resserrer les incertitudes initiales. Pour conclure sur la question n°1 de M. Quévremont, Mme Bauchet propose de retenir cet intervalle à 80 % avec une **valeur centrale arrondie à 700 m<sup>3</sup>/s**.

➤ Réactions :

- M. Lachassagne réagit sur l'apport du karst qui selon lui ne peut être pris en compte aussi simplement.
- M. Desbordes conteste la méthode (« cuisine » à faire monter les débits) et préconise des approches plus simples (méthode déterministe) basées sur la pluie et les volumes qu'elle peut générer (quelle pluie pour retrouver tel débit de pointe ?). Il ajoute que l'échantillon n'est pas fiable et exprime ses réserves, non sur la fourchette mais sur la valeur centrale à 700 m<sup>3</sup>/s.
- M. Bouchut rejoint la position de M. Desbordes sur la crédibilité de ce débit de pointe centennal à établir au regard de la pluie nécessaire. Partant de l'exemple de St Guilhem-le-désert, il ajoute que la cohérence des débits calculés avec l'analyse historique doit être regardée, avis partagé par M. Desbordes (comparaison avec d'autres événements régionaux).

*Nota : les présentations détaillées de MM. Bois, Lavabre, Lang et Garçon sont disponibles sur le serveur ftp de la conférence.*

- sur la question n°2 de M. Quévremont (apports urbains) :

→ En introduction, M. Belaud (SupAgro) est invité à présenter les résultats des travaux d'étudiants sur la modélisation du Verdanson aval jusqu'à la station de la Pépinière :

↗ les travaux confirment l'influence aval au-delà de 300 m<sup>3</sup>/s dans le Lez, sans faire apparaître de problème de confluence. Le Verdanson, dont le débit capable à l'exutoire serait de 110 m<sup>3</sup>/s d'après une étude en cours de la Ville (à comparer au Q<sub>100</sub> hydrologique estimé à 400 m<sup>3</sup>/s), est donc limité par ses propres ouvrages et non par l'influence du Lez. Ces contraintes sont décrites par M. Hémain qui établira une note précisant les éléments à l'appui :

- ouvrage de franchissement sous la voie SNCF au droit du Corum : débit capable de 90 m<sup>3</sup>/s
- arrivée du Chambéry calibrée en souterrain à 25 m<sup>3</sup>/s

↗ interrogé sur la cote de débordement, M. Belaud indique ne pas la connaître et précise que des modifications ont eu lieu suite aux travaux du tramway.

↗ sur le débit maximum de 30 m<sup>3</sup>/s à la Pépinière donné par le modèle hydrologique (modèle conceptuel à réservoir linéaire) pour une pluie de 120 mm en 3 h. (événement de nov. 2003), M. Lavabre trouve le résultat douteux pour une pluie de l'ordre de la centennale et aimerait connaître les coefficients d'écoulements.

→ Sur la synthèse par M. Basso des données disponibles sur les apports de la zone urbaine au Lez aval Lavalette à partir des différents rapports depuis 1988 et les premiers éléments de conclusion :

↗ M. Basso précise, que les surfaces topographiques tirées du rapport SIEE et reprises dans sa note du 18/06/2007, ont pour origine Prades le Lez (ce qui ramène la surface du bassin aval Lavalette à l'A9 à 48 km<sup>2</sup>). De plus, il souligne l'incertitude sur la surface du bassin versant du Verdanson (de 11.8 km<sup>2</sup> pour BRL à 14.5 km<sup>2</sup> pour SIEE).

↗ M. Basso fait connaître ses interrogations sur les apports théoriques du bassin aval estimés dans le rapport SIEE à 300 - 400 m<sup>3</sup>/s : M. Desbordes précise qu'ils ne correspondent pas au débit d'apport de la zone urbaine au Lez mais au débit potentiel du bassin à l'échelle de l'agglomération de Montpellier (comprenant la Mosson et hors phénomène de stockage).

↗ En conclusion de son analyse et sur la base des informations transmises, M. Basso propose pour la crue de l'aval urbain la **fourchette 150 - 250 m<sup>3</sup>/s** pour 48 km<sup>2</sup>, qu'il juge plus réaliste que la fourchette 200 - 300 m<sup>3</sup>/s, estimée dans le rapport Quévremont, pour obtenir une crue centennale à l'A9. Pour affiner son analyse, il souhaite pouvoir disposer d'ici la mi-juillet :

- de l'étude SupAgro pour vérifier la cohérence entre la courbe de tarage établie et celle de la Ville à la station de la Pépinière et valider les données de débit de pointe du Verdanson issues de l'étude BRL (65 m<sup>3</sup>/s en sept. 2003 avec limni écrêté, 81 m<sup>3</sup>/s en déc. 2003, etc.)
- de compléments sur le cadre limitant aval (Verdanson) à partir de l'étude en cours menée par la Ville (encore non validée) et d'un rapport de la Ville sur l'évènement du 22/09/2003.
- d'informations sur les rejets pluviaux au Lez en rive gauche de Castelnau (étude récente réalisée dans le cadre du PLU de Castelnau, à transmettre par M. Bouchut).
- des données à la station de Moulin l'Evêque sur le Lez : M. Hémain précise qu'il a récupéré les données brutes en hauteur sur les clapets à la station, à exploiter sur les crues majeures.

↗ Réactions :

- M. Hémain réagit sur la valeur haute de 250 m<sup>3</sup>/s trop forte selon lui (car réponse du Verdanson à 1 h).
- M. Lavabre estime que les apports urbains pourraient facilement atteindre un débit de pointe de 200 m<sup>3</sup>/s (125 m<sup>3</sup>/s déjà produit en sept. 2003 par le bassin aval hors Verdanson).
- M. Desbordes indique que la crue du Verdanson passe avant l'arrivée des apports urbains et préconise de raisonner sur les pluies qu'il faudrait pour générer ces débits.

- sur la question n°3 de M. Quévremont (concomitance des crues amont et aval) :

En préliminaire, M. Basso préconise, dans la suite de son analyse des apports urbains, de ne pas sommer les pointes du bassin amont et aval et d'afficher de façon claire les hypothèses prises.

→ Pour introduire la problématique de la concomitance, le CETE présente une illustration de sommation des hydrogrammes, parmi d'autres combinaisons possibles, à partir de l'analyse de MM. Lang et Lavabre (sur les temps de montée, de décrue, de plateau) :

↗ avec cette composition très simple des crues élémentaires, les 2/3 du débit de pointe du bassin urbain aval pourraient être ajoutés au débit de pointe à Lavalette.

→ Un débat s'engage sur la concomitance entre les deux pointes de crues :

↗ M. Bouchut signale le laminage du débit de pointe à Lavalette dans la traversée de Montpellier (écrêté à l'A9), appuyé par M. Hémain qui souligne l'effet de débordement significatif à prendre en compte.

M. Basso s'interroge néanmoins sur les résultats de modélisation BCEOM (écrêtement de 20 % sur les très hauts débits) dans la mesure où il passe peu de débit dans les casiers du lit majeur, entre Castelnau et l'A9.

↗ Pour M. Lang, ajouter les deux hydrogrammes ne constitue pas une hypothèse pessimiste si les apports urbains sont déjà laminés (on pourrait donc les ajouter au débit de pointe de Lavalette).

M. Basso précise cependant qu'il faudrait alors pouvoir estimer la période de retour du débit correspondant aux apports urbains écrêtés (comment ?...).

↗ M. Desbordes juge irréaliste d'additionner les crues du Lez et du Verdanson.

↗ M. Lavabre fait observer que les crues du Lez sont pourtant assez étales sur la pointe. Il ajoute que le débit décennal de la zone aval urbaine pourrait être proche de 200 m<sup>3</sup>/s car déjà observé à deux reprises récemment.

→ Conclusion :

Les experts s'accordent à dire qu'il n'est pas possible, dans l'état actuel des connaissances du bassin à partir des études disponibles, de fournir des éléments scientifiques fiables et suffisants pour quantifier le risque de concomitance entre les deux pointes de crues. Mme Bauchet retient l'hypothèse pessimiste, qui envisage « au pire », d'additionner les deux pointes.

Sur les travaux présentés en séance pour tenter de répondre aux questions de M. Quévremont, force est de constater l'absence de consensus des experts (MM Desbordes et Hémain ne rejoignant pas les propositions de MM. Basso, Bois, Garçon, Lang et Lavabre).

**Dans ces conditions, la conférence n'est pas conclusive sur le débit aval du Lez à l'A9.**

### 3. Synthèse sur les modalités de travail jusqu'à la prochaine réunion

Le CETE est chargé d'établir un rapport de synthèse des productions des experts au 22/06/2007 (intégrées en annexe) attendu pour fin juillet (avis à rendre pour fin août).

Mme Bauchet précise son souhait d'y voir intégrées les réserves de M. Desbordes que ce dernier communiquera au CETE en réaction au rapport.

La date du 19 septembre est retenue pour validation du rapport (réunion à annuler si un accord est trouvé pendant l'été, à maintenir si divergence) avec comme objectif une présentation au Préfet en octobre.

La prochaine réunion (à confirmer) se tiendra le **19 septembre 2007**

à la DIREN LR à Montpellier.

Q100Lez\_CR\_2007-06-22\_envoye.doc

## 4.4 Annexe 4 : Recommandations des experts

La nécessité de disposer de données et d'études complémentaires à celles existantes disponibles, dont le financement n'a pas été possible dans le cadre de la conférence, ressort unanimement à travers les nombreuses recommandations des experts pour approfondir la connaissance du bassin du Lez, formulées tout au long du présent rapport et résumées dans cette annexe.

### Sur le fonctionnement du karst :

En tout premier lieu, l'examen des études antérieures a mis en évidence le peu d'informations disponibles et exploitables sur l'influence du karst vis à vis des crues du Lez. Pour les experts, il apparaît donc important de se donner le temps et les moyens d'aller plus loin sur la connaissance du fonctionnement du karst : recensement des principaux exutoires temporaires connus du Lez, mesures des écoulements de crue de surface, estimation des écoulements passés ou potentiels sur la base d'une approche hydraulique, etc...

Les experts concluent sur le besoin d'une analyse approfondie du fonctionnement physique de l'ensemble du bassin versant du Lez, qu'ils n'ont eu ni le temps ni les moyens de réaliser, prenant en compte l'historique des précipitations ainsi que leur distribution spatiale. Une analyse des couples averses-crues, basée sur les volumes précipités et les volumes écoulés, permettrait certainement de mieux cerner le comportement karstique du bassin.

### Sur la qualité de l'hydrométrie :

A court terme, les experts recommandent de disposer de topographie au droit des sites de mesure et de jaugeage et d'ajouter des échelles de contrôle des limnigraphes (si besoin échelles à maxima). A la station de Lavalette, ils soulignent en outre la nécessité de retrouver le dossier DIREN du Lez pour répondre à un certain nombre de questions notamment sur la construction de la courbe actuelle.

A moyen terme, ils estiment nécessaire une analyse plus détaillée par modélisation hydraulique des sites de mesures, en priorité à Lavalette pour mieux cerner l'incertitude sur les débits au-delà de 300 m<sup>3</sup>/s.

Plus largement, devant les questions et les manques observés, auxquels le manque de traçabilité au cours de l'histoire des services et la perte d'information ont conduit, les experts recommandent, au regard des enjeux, un réel et rapide renforcement des moyens des services hydrométriques sur le Lez, en personnel et en matériel, indispensable à la qualité des données (jaugeages et courbes de tarage en particulier) et à la «mémoire du Lez». Au-delà, ils suggèrent de renforcer également le suivi hydro-météorologique du bassin et mettent en avant l'intérêt d'une station sur le Lez à l'aval du Verdanson (à Moulin l'Evêque a priori) et accessoirement sur le Verdanson.

### Sur la méthode d'estimation du débit centennal du Lez :

Compte tenu des fortes incertitudes sur les valeurs de débit, de la complexité du fonctionnement du bassin amont karstique et des problèmes d'échantillonnage des débits de crue, les experts privilégient une modélisation hydrologique du bassin du Lez (modèle conceptuel pluie-karst-débit), plus pertinente et réaliste que les méthodes d'évaluation statistique du débit centennal utilisées, limitées dans l'état actuel des connaissances.

Cette approche, certes longue et complexe, leur apparaît être à ce stade une étape nécessaire et indispensable dans la compréhension des crues de ce bassin difficile à appréhender. Elle permettrait en outre de mieux cerner les apports de la partie amont karstique du Lez ; elle pourra ensuite être exploitée pour affiner l'estimation probabiliste de la crue centennale amont. Par ailleurs, elle s'impose pour une annonce-prévision de crue à Montpellier.

A plus court terme, certains experts préconisent une approche déterministe plus simple basée sur la pluie et les volumes qu'elle peut générer.

Pour aller plus loin dans l'analyse, les experts recommandent de prendre en compte également l'information sur les crues anciennes dans le cadre d'études complémentaires nécessaires pour mieux préciser et traiter ces informations historiques (utilisation des cotes d'événements très anciens, au pont Juvénal par exemple).

### Sur les apports urbains au Lez :

Pour affiner l'estimation des apports urbains, les experts soulignent le besoin d'informations complémentaires sur les écoulements des eaux de pluie, notamment à travers le schéma directeur pluvial sur Montpellier.

Outre les incertitudes à mieux cerner sur les courbes de tarage aux stations de Garigliano et Moulin l'Evêque, les experts recommandent l'examen des rapports événementiels pour **identifier les principales zones inondées lors des événements récents et évaluer les volumes en cause**.

Sur le bassin du Verdanson en particulier, ils conseillent une actualisation de l'étude Sup-Agro de modélisation du Verdanson aval prenant en compte les modifications topographiques récentes du secteur suite aux travaux du tramway de façon à conclure sur la cote de débordement.

A plus long terme, les experts attirent l'attention sur les probables aménagements à venir pour améliorer l'écoulement des eaux pluviales dans la zone urbaine (réduisant ainsi les stockages «sauvages») qui conduiraient à une augmentation du débit de pointe (à corrélérer toutefois à l'effet des bassins d'orage inévitablement réalisés).



## 4.5 Annexe 5 : Contributions des experts

- M. DESBORDES pour POLYTECH' Montpellier, Université Montpellier 2 :  
« Q100 du Lez à Montpellier. Réponses aux "sous-questions CETE" des 3 points posés à la conférence scientifique ». 24 avril 2007.  
.....p.110
- M. DESBORDES pour POLYTECH' Montpellier, Université Montpellier 2 (assisté par L. NEPPEL) : « Étude statistique des débits du Lez à la station de Lavalette. 1975-2005. Données DIREN Languedoc-Roussillon ». 27 avril 2007.  
.....p.114
- P. LACHASSAGNE pour le BRGM :  
« Système karstique du Lez. État des connaissances ». Avril 2007.  
.....p.116  
« Éléments sur le système karstique. Note d'avancement au 22/05/2007 ». Mai 2007.  
.....p.128
- M. LANG pour le CEMAGREF Lyon :  
« Application rapide de la méthode du Gradex. Estimation de la crue du Lez à Lavalette ». 22 mai 2007.  
.....p.144
- J. LAVABRE pour le CEMAGREF Aix-en-Provence :  
« Éléments d'expertise de la crue du Lez ». 7 juin 2007.  
.....p.147
- P. BOIS pour l'INPG Grenoble :  
« Le Lez à Lavalette. Examen des documents et analyse concernant la courbe de tarage ». 12 juin 2007.  
.....p.168
- M. BASSO pour le MEDAD :  
« Commission Q100 Lez. Apports BV aval ». 18 juin 2007.  
.....p.172
- R. GARÇON pour EDF/DTG :  
« Essai sur les incertitudes dans un contexte "gradexo-bayésien" ». 22 juin 2007.  
.....p.174
- M. LANG pour le CEMAGREF Lyon,  
avec la collaboration de P. BOIS, R. GARÇON et J. LAVABRE :  
« Etude de sensibilité sur l'application du Gradex ». 22 juin 2007.  
.....p.183

#### 4.5.1 M. DESBORDES : Réponses aux « sous-questions » des 3 points posés à la conférence

##### **Réponses aux « sous-questions » des 3 points posés à la conférence scientifique (formulées dans le document CETE préparatoire à la réunion de la conférence du 27/03/2007<sup>22</sup>)**

Michel Desbordes  
Professeur à Polytech' Montpellier  
Expert pour le SAGE Lez-Mosson-Etangs palavasiens  
24/04/2007

a) estimation de la crue centennale de la DIREN à 650 m<sup>3</sup>/s : le terme « appropriée » ne l'est pas... Au regard des données actuellement disponibles à la station de Lavalette, le traitement de ces données par les techniques de la statistique descriptive est hautement incertain. Pour les débits supérieurs à 100 m<sup>3</sup>/s, il apparaît deux sous populations (< 150 m<sup>3</sup>/s et > 200 m<sup>3</sup>/s) laissant à penser à un fonctionnement différencié du bassin tirant peut être son origine du karst. La valeur de 650 m<sup>3</sup>/s est certes dans la fourchette des intervalles de confiance à 95 %, mais les fonctions de distribution usuelles donnent 530 < Q100 < 640. 650 est donc une estimation « haute ». La distribution GEV semble donner le « meilleur » ajustement avec 600 m<sup>3</sup>/s.

b) les apports de la zone urbaine de Montpellier ne peuvent être atteints qu'en procédant à une modélisation des fonctionnements hydrologiques et hydrauliques des diverses unités de la zone. Une approche hydrologique global par « sous bassins versants urbanisés », à l'aide d'un modèle hydrologique classique ( « réservoir » linéaire par exemple), fondé sur l'évaluation de paramètres globaux comme la surface, l'imperméabilisation, la « pente moyenne », etc.. conduirait à une surestimation des apports « rares ». La raison principale en est que les systèmes d'évacuation ont été essentiellement définis pour des périodes de retour usuelles, généralement 10 ans, sur des bases d'imperméabilisation qui ont pu être fortement modifiées aujourd'hui, et ceci dans le sens général d'une augmentation, avec le temps, de cette imperméabilisation. Les capacités des exutoires sont donc limitées, les « transparences hydrauliques » n'ayant été, par ailleurs, pratiquement jamais prises en compte au stade des projet d'aménagement, faute d'outils pour étudier les « chemins de l'eau » en surface lorsque les ouvrages souterrains sont saturés, et faute d'une culture technique d'analyse du risque pluvial urbain, apparue finalement assez récemment. Les bassins versants urbanisés, sous l'effet d'événements pluvieux rares, opèrent ainsi des laminages importants des crues par stockages transitoires (ou définitifs..) des ruissellements sur les voiries, les parkings souterrains ou non, les dépressions topographiques etc.. A titre d'exemple, lors du dévoiement du Chambéry, affluent du Verdanson, les apports « hydrologiques » de la pluie du 9 octobre 2001, d'occurrence de 20 à 30 ans, ont été évalués à 42,4 m<sup>3</sup>/s alors que la capacité d'évacuation de l'ouvrage principal n'est que de 8,4... Si l'on estime (à vérifier cependant) que le secteur urbain de Montpellier se déversant dans le Lez est de l'ordre de 20 km<sup>2</sup>, le débit potentiel « rare » devrait être de l'ordre de 400 m<sup>3</sup>/s alors qu'il est probablement 3 à 4 fois plus faible en raison des laminages, soit de 100 à 150 m<sup>3</sup>/s, c'est-à-dire beaucoup moins que la proposition de 250 m<sup>3</sup>/s du rapport Quévremont, dont on ne sait d'ailleurs pas sur quelles hypothèses elle a été estimée...

c) l'estimation de la concomitance des crues du Lez et de ses affluents urbains n'est pas possible, du point de vue empirique, faute de données suffisantes. On peut tout au plus se livrer à un examen des crues ayant dépassées 200 m<sup>3</sup>/s à la station de Lavalette, soit 7 crues depuis 1975, et juger de la distribution spatiale des pluies ayant conduit à ces crues. Cette concomitance ne peut pas non plus être analysée du point de vue théorique en raison de notre méconnaissance actuelle des mécanismes générateurs des champs précipitants. On peut par contre, comme je l'ai déjà proposé, se livrer à des simulations à l'aide de modèles hydrologiques simples pour déterminer les lames d'eau nécessaires pour de telles concomitances, en se plaçant dans des hypothèses maximisant la « production » des bassins, et juger des probabilités d'apparition des pluies ainsi déterminées. La première difficulté réside dans l'évaluation des temps de formation des pointes de crue des deux ensembles hydrologiques que sont le Lez d'une part, et le secteur du Verdanson d'autre part. Le modèle utilisable peut être la formule rationnelle qui donnera un majorant du débit d'une part en raison de ses fondements mécanistes, l'onde cinématique, qui suppose des propagations sans amortissement, d'autre part en raison des épandages dans le lit majeur du Lez d'une part et des stockages superficiels dans le bassin du Verdanson d'autre part. On peut retenir, en première approximation des coefficients de ruissellement, pour les deux unités, compris entre 0,8 et 1 (attention cependant au rôle du karst sur le Lez). Des premiers calculs, effectués rapidement dans le cadre des commentaires du rapport Quévremont, avaient conclu à une probabilité faible d'un débit de 900 m<sup>3</sup>/s à l'amont du pont de la A9 qui ne pouvait être obtenu que pour des pluies pluricentennales au regard de la station de Montpellier-Bel-Air, en supposant un coefficient de ruissellement global de 0,8 et des temps de concentration de 9 à 11 h au droit de ce point de calcul.

On peut reprendre ces calculs pour diverses hypothèses de temps de concentration :

<sup>22</sup>Ce document du CETE figure en annexe 3 p.82 (il précède le compte rendu de la réunion de la conférence du 27/03/2007)

$Q = C i(tc) A$  avec  $C = 0,8$ ,  $A = 179 \text{ km}^2$ ,  $Q = 900 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $L$  environ  $25000 \text{ m}$

$Q = 2,78 \cdot 10^{-3} \cdot C \cdot i \cdot A = 39,81 i \text{ mm/h} = 900$  soit  $i = \mathbf{22,6 \text{ mm/h}}$

$V = 1 \text{ m/s}$	$tc = 6,9 \text{ h}$	$H = 156 \text{ mm}$	$T = 80 \text{ ans}$
$V = 0,5 \text{ m/s}$	$tc = 13,9 \text{ h}$	$H = 314 \text{ mm}$	$T = 1000 \text{ ans}$
$V = 2 \text{ m/s}$	$tc = 3,5 \text{ h}$	$H = 79,1 \text{ mm}$	$T = 15 \text{ ans}$
	$tc = 8 \text{ h}$	$H = 181 \text{ mm}$	$T = 120 \text{ ans}$
	$tc = 9 \text{ h}$	$H = 203 \text{ mm}$	$T = 130 \text{ ans}$
	$tc = 10 \text{ h}$	$H = 226 \text{ mm}$	$T = 250 \text{ ans}$
	$tc = 11 \text{ h}$	$H = 248 \text{ mm}$	$T = 400 \text{ ans}$
	$tc = 12 \text{ h}$	$H = 271 \text{ mm}$	$T = 550 \text{ ans}$

Des vitesses moyennes de transfert de l'eau supérieures à  $1 \text{ m/s}$  dans le bassin du Lez semblent peu probables. Pour  $tc = 10 \text{ h}$  la vitesse moyenne serait de  $0,7 \text{ m/s}$ . **Il ne s'agit bien évidemment pas de la vitesse d'écoulement dans le lit mineur pour le débit de pointe.**

On peut se livrer au même type de calcul à la station de Lavalette et un débit de  $650 \text{ m}^3/\text{s}$ , pour une surface  $A$  de  $115 \text{ km}^2$ . On obtient  $i = 25,4 \text{ mm/h}$  soit

$tc = 3 \text{ h}$	$H = 76,2 \text{ mm}$	$T = 13 \text{ ans}$
$tc = 4 \text{ h}$	$H = 101,6 \text{ mm}$	$T = 25 \text{ ans}$
$tc = 5 \text{ h}$	$H = 127 \text{ mm}$	$T = 50 \text{ ans}$
$tc = 6 \text{ h}$	$H = 152,4 \text{ mm}$	$T = 80 \text{ ans}$
$tc = 7 \text{ h}$	$H = 178 \text{ mm}$	$T = 150 \text{ ans}$
$tc = 8 \text{ h}$	$H = 203 \text{ mm}$	$T = 200 \text{ ans}$

On voit donc que pour obtenir un débit centennal de  $650 \text{ m}^3/\text{s}$ , dans les hypothèses de production retenues, il faudrait un temps de concentration de  $6$  à  $7 \text{ h}$  à la station de Lavalette et donc de  $8$  à  $10$ , voire plus, à la confluence du Verdanson et au-delà. Si l'on retient des hypothèses de production moindre, par exemple  $0,7$  les pluies nécessaires seraient encore plus rares.

Conclusions : un débit de  $900 \text{ m}^3/\text{s}$  apparaît comme présentant une période de retour supérieure à  $100$  ans. La concomitance d'une crue sur le Lez et sur la ville est équivalente à la prise en compte d'une lame d'eau sur des durées de  $8$  à  $10 \text{ h}$  de périodes de retour supérieures à  $100$  ans.

## 1 sous-question 1

1.1 Le caractère karstique du bassin du Lez joue dans les deux sens : amortissement des crues éclair si le karst est déprimé, ce qui est le cas à la fin de l'été en raison de son exploitation par la ville de Montpellier. La capacité de stockage peut sans doute atteindre la dizaine de millions de  $\text{m}^3$ . Apports supplémentaires d'un bassin souterrain supérieur au bassin superficiel lorsque le karst est à sa capacité maximale et débit par ses sorties superficielles dans le bassin du Lez notamment ses affluents comme le Lirou et le Terrieu. Les coefficients de ruissellement rapportés au bassin hydrologique superficiel deviennent alors très élevés et voisins ou supérieurs à  $1$ .

1.2 La surface souterraine d'alimentation du bassin versant superficiel du Lez doit varier avec le niveau de remplissage du karst et donc l'alimentation de ses sorties en surface. Pour les événements rares il est clair qu'il conviendrait de considérer la totalité des zones d'apport et donc la distribution des pluies sur ces zones. La difficulté est de connaître l'étendue de la partie souterraine contributive sans dispositif approprié de mesures piézométriques, à l'amont comme à l'aval de la source.

1.3 La Mosson est contrôlée par le karst d'Aumelas, dont la capacité de stockage est également très élevée. S'il existe des liens entre les karsts des deux fleuves les exutoires sont sans doute assez indépendants.

1.4 Il y a forcément une limite au débit sortant de la source du Lez, limite imposée par la mise en charge maximale au dessus de l'orifice de sortie, le débit variant comme la racine carrée de cette charge, le coefficient de débit pouvant être considéré comme constant. Il circule des valeurs de l'ordre de  $30 \text{ m}^3/\text{s}$ . Il conviendrait sans doute d'examiner les chroniques de débit à la source pour se faire une opinion plus précise. La ville de Montpellier devrait disposer d'informations à ce sujet à la suite des études réalisées dans les années 70 en vue de l'exploitation de la source (thèse d'université d'Alain Guilbot par exemple).

1.5 Il existe deux séries longues de mesure des précipitations pour Montpellier : Aéroport de Fréjorgues 1957 à nos jours ( $50$  ans) et Montpellier Bel-Air de 1920 à 1971 ( $51$  ans). Les valeurs rares issues de ces deux séries sont sensiblement différentes et conduisent par exemple à des estimations des pluies centennales journalières respectivement de  $200$  et  $260 \text{ mm}$ . Les stations

n'ont cependant que 15 années concomitantes. Au demeurant, un « sentiment » voudrait que l'on ait observé, sur la ville, plus de pluies « importantes » depuis 1970 (par exemple 1979, 1991 ou encore 2003). Retenir la station de Bel reviendrait donc à sous estimer les pluies potentielles. Si tel était le cas, cela signifierait, puisque la station de Fréjorgues a couvert ces périodes, qu'il existerait un gradient pluviométrique, au moins de la mer à Montpellier. Pourquoi, dans ces conditions, ce gradient ne se poursuivrait-il pas plus au nord justifiant ainsi que la ville n'a pas encore connu certains « monstres » tombés dans son voisinage climatique ?

Dans ces conditions, il nous semble que l'usage d'une valeur « régionale » telle qu'issue des simulations d'une méthode comme SHYREG, peut constituer un majorant pour Montpellier. Rappelons que la valeur « régionale » journalière centennale, issue de la méthode ci-dessus est de l'ordre de 300 mm.

Par ailleurs, pour un bassin de 180 km<sup>2</sup>, l'usage d'un « coefficient » d'abattement spatial des pluies nous semble un raffinement « superfétatoire » au regard de nos connaissances sur le sujet...

1.6 N'ayant pas d'informations précises sur ces événements, je ne suis pas en mesure de les commenter quant à leurs probabilités d'occurrence. Le plus intense me semble cependant être celui du 22 septembre 2003 pour lequel on aurait observé en 10h 250 mm à Montpellier –Cemagref et 270 mm à Agro Montpellier. Ces deux valeurs sont très élevées et, au regard de la série de Bel-Air, présentent des périodes de retour de l'ordre de 500 ans. La pluie était, ce jour là, localisée sur la ville puisque le débit à Lavalette n'a atteint que 94 m<sup>3</sup>/s vers 20h et qu'à Garigliano ce débit a atteint 203 m<sup>3</sup>/s vers 18h. Pour cette pluie rare pour Montpellier, on voit que le débit en provenance de la ville pouvait être de l'ordre de 100 à 150 m<sup>3</sup>/s compte tenu des apports entre Lavalette et Garigliano.

1.7 Une pluie « exceptionnelle » sur le système du Lez pourrait être une lame de 250 à 300 mm en 10 à 12 h comparable à celle du 22 09 2003, mais touchant l'ensemble du bassin. Appliquer une lame plus élevée, du type de celles observées dans l'Aude en 1999 ou dans le Gard en 2002, est toujours possible mais sans possibilité d'en évaluer le risque d'occurrence qui devrait être de toute façon beaucoup plus faible que dans les secteurs géographiques où ces pluies ont été observées. L'analyse régionale des précipitations et crues anciennes en Languedoc-Roussillon, réalisée dans le cadre du programme de recherche InondHis-LR (programme RDT n° CV 04000067) et telle que figurant dans le rapport de fin de contrat rédigé par Luc Neppel (Hydrosciences Montpellier), indique que les bassins du Lez et de la Mosson ont 1% de chance d'être concernés par les plus fort cumuls régionaux (contre 19% pour l'Ardèche, 11% pour l'Hérault et 10 % pour le Gard )(p. 76 du rapport)

1.8, 1.9, 1.10 je n'ai pas d'opinion tranchée sur la question. Cependant, la visite de la station de Lavalette et la présence d'un coude à 90 degré à une centaine de mètres de cette station laisse à penser que cette singularité influence les hauteurs d'eau à la station pour les débits des fortes crues.

1.11 L'étude des débits au-dessus d'un seuil peut présenter de l'intérêt ne serait-ce que pour juger des problèmes de concomitance des débits avec les apports de la ville.

1.12 En apparence pas trop... La GEV par la méthode des moments semble être celle qui conduit au meilleur ajustement.

1.13. Cela semble difficile. Tout d'abord au regard de la distribution des débits maximaux qui laisse apparaître deux populations ensuite au regard des temps de concentration très inférieurs à 24 h.

1.14 L'intervalle de confiance à 95% est l'usage dans ce genre de problème...

1.15 Je n'en pense rien... je voudrais simplement savoir comment elle a été obtenue sachant que personnellement je penche plutôt pour 600 et que 650 me semble être une borne supérieure ...

1.16 Tout dépend du MNT utilisé et de sa précision....

2.1 Voir avec le service assainissement de la municipalité. De nombreuses simulations ont été réalisées depuis le milieu des années 70...

2.2 Sans doute. Voir 2.1

2.3 En dehors du Verdanson, je ne connais pas les autres exutoires instrumentés. Les critiques des sections de mesure du Verdanson ont été effectuées par des étudiants de Sup Agro.

2.4 Si les limites de INT 77284 sont de 200ha pour des bassins « homogènes », les dernières réflexions réalisées dans le cadre d'un groupe de travail piloté par le CERTU proposent de limiter l'usage du modèle de Caquot à quelques hectares. La solution

est donc d'utiliser une simulation utilisant des modèles hydrologiques urbains type réservoir linéaire par exemple, et qui figurent dans tous les « progiciels » du commerce : MOUSE, HYDROWORKS, CANOE, etc..

2.5 C'est une estimation grossière qui ne peut donner qu'un ordre de grandeur sachant que Q répond plutôt à  $Q = a + b \log T$  qu'à  $Q = a \log T$ .

2.6 Oui, c'est même dans ce genre de milieu qu'elle en a le plus....

2.7 Voir le point c) ci-dessus.

3.1 Certains doivent les avoir. Et notamment ceux qui font de la surveillance pour les collectivités comme HYDROLOGIK pour la ville de Lattes. (Marc Montgaillard)

3.2 Il faudrait disposer d'un modèle hydrologique du bassin du Lez et de ces affluents de la zone urbaine et étudier la dynamique de formation des crues sur ces deux entités en utilisant des pluies d'ores et déjà observées sur les bassins ou ailleurs.

#### 4.5.2 M. DESBORDES : Étude statistique des débits du Lez à la station de Lavalette. 1975-2005. Données DIREN Languedoc Roussillon

Dans une note du 9 juin 2006, intitulée « *Prise en compte des crues récentes dans l'analyse statistique des crues du Lez* », à laquelle s'est référée la mission Quévremont, la DIREN Languedoc-Roussillon s'est livrée à l'analyse des débits de pointe de crues observés à la station de Lavalette, sur la période 1975-2005, soit 31 années d'observation. Cette note met bien en évidence les difficultés d'un traitement statistique classique des débits en raison de la structure de l'échantillon qui laisse apparaître des groupements délimités par un seuil se situant entre 150 et 200 m<sup>3</sup>/s.

Au demeurant, la faiblesse des tailles des divers groupements (seules 7 crues ont dépassé la valeur de 200 m<sup>3</sup>/s qui présente donc une fréquence empirique de l'ordre de 4 ans) ne permet pas de test d'hypothèse significatif visant à déterminer l'appartenance éventuelle à des populations différentes, qui pourraient tirer leur origine, par exemple, de fonctionnements différenciés du bassin versant, et, notamment, en raison de la présence d'un karst influencé par des activités de pompage.

La note de la DIREN est cependant très claire et montre bien les écarts auxquels on aboutit, dans l'estimation de la crue centennale, suivant les traitements que l'on fait subir à la série : prise en compte de l'année civile ou de l'année « hydro », échantillon constitué par le maximum annuel ou par les valeurs ayant atteint ou dépassé un seuil donné. Selon la DIREN L-R, ces traitements aboutissent à des estimations relativement variables de la crue centennale se situant dans la fourchette 320 < Q100 < 650 m<sup>3</sup>/s. **La mission a retenu l'estimation haute soit 650 m<sup>3</sup>/s.**

N'ayant, quant à nous, estimé cette crue « qu'à » 600 m<sup>3</sup>/s, en procédant à divers ajustements de fonctions de distribution classiques à l'échantillon des débits de crue, nous avons donc repris le traitement de cet échantillon à l'aide de l'ajustement réalisé par la DIREN L-R à savoir l'emploi de la loi de Gumbel par la méthode des moments à l'échantillon des 20 valeurs de débits supérieurs à 100 m<sup>3</sup>/s.

Les résultats sont les suivants :

n = 20 Q100 = 604 m<sup>3</sup>/s    n = 21 en incorporant la crue du 19/01/2001 à 97 m<sup>3</sup>/s    Q100 = 604 m<sup>3</sup>/s

D'où vient cet écart entre l'estimation de la DIREN et la notre ? Nous penchons pour une erreur de lecture d'un graphique issu d'un logiciel ne corrigeant pas nécessairement l'axe des fréquences pour tenir compte de la taille de l'échantillon en fonction de la durée des observations. En effet, la relation entre la fréquence de non dépassement F et la période de retour T est donnée par :

$F = 1 - (N/nT)$  dans laquelle N est le nombre d'années d'observation et n le nombre de crues observées. **Pour 20 crues observées en 31 années, la fréquence centennale correspond donc à 0,985** et 0,986 pour 21 valeurs. Cette fréquence ne serait de **0,99**, généralement indiquée sur les sorties graphiques des logiciels « ordinaires », que si l'échantillon était constitué de 31 valeurs...

Comme le montrent les deux graphiques ci-après d'un logiciel sans correction automatique de l'axe des fréquences, pour des effectifs de 20 ou 21 valeurs, F = 0,99 conduit à Q = 650 m<sup>3</sup>/s **mais correspond en fait à une période de retour de 155 ans pour n = 20 et 148 ans pour n = 21.**

Certes il ne s'agit là que d'une estimation et, compte tenu de la nature de l'échantillon, l'intervalle de confiance à 95% est important puisque l'estimation de la crue centennale se situe dans l'intervalle 400 à 800 m<sup>3</sup>/s. Il n'en reste pas moins vrai que la valeur retenue par la mission est supérieure de 8,3% à celle obtenue par un traitement statistique « exact » (dans les hypothèses de la DIREN-LR), se traduisant par une augmentation de la période de retour de 50 %...

A titre indicatif, si l'on ajuste, à l'échantillon des 20 ou 21 valeurs, une loi de Gumbel **par la méthode du maximum de vraisemblance**, on obtient les résultats suivants :

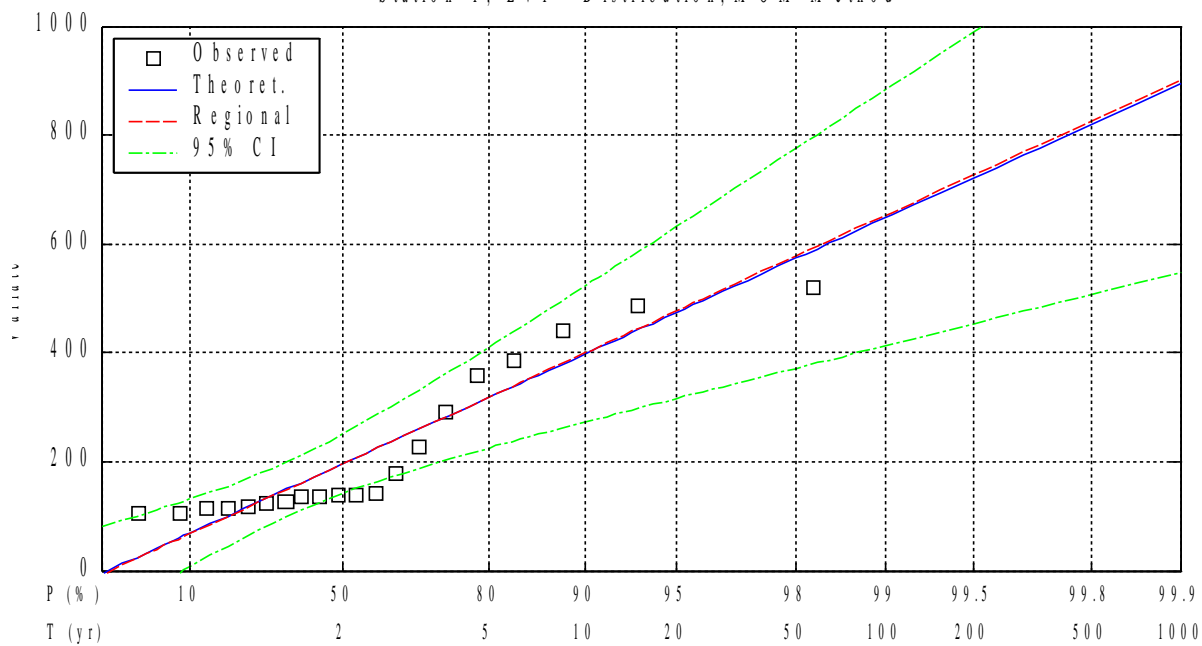
n = 20 Q100 = 522 m<sup>3</sup>/s    n = 21 Q100 = 515 m<sup>3</sup>/s

On peut certes avancer la question de l'irrégularité du climat et la succession récente de crues fortes, on peut avancer le rôle de changements climatiques à venir, on peut même s'appuyer sur le principe de « précaution » au regard des incertitudes statistiques. On peut aussi s'appuyer sur d'autres observations régionales de débits observés lors de phénomènes particulièrement intenses pour juger du réalisme de certaines valeurs avancées pour un bassin comme celui de Lez. Ainsi, lors des crues de septembre 2002, dans le Gard, le bassin du Gardon de Mialet d'une superficie de 237 km<sup>2</sup> a produit un débit de 865 m<sup>3</sup>/s sous une lame d'eau de 300 à 400 mm. Toute proportion gardée, en supposant un débit proportionnel à S<sup>0,75</sup>, le bassin du Lez à Lavalette aurait donné un débit de **503 m<sup>3</sup>/s**.

**Conclusion :** Sauf à imaginer qu'un autre traitement statistique (par exemple du type « gradex ») infirme notre première estimation nous maintenons notre proposition de crues centennale du Lez à 600 m<sup>3</sup>/s à la station de Lavalette.

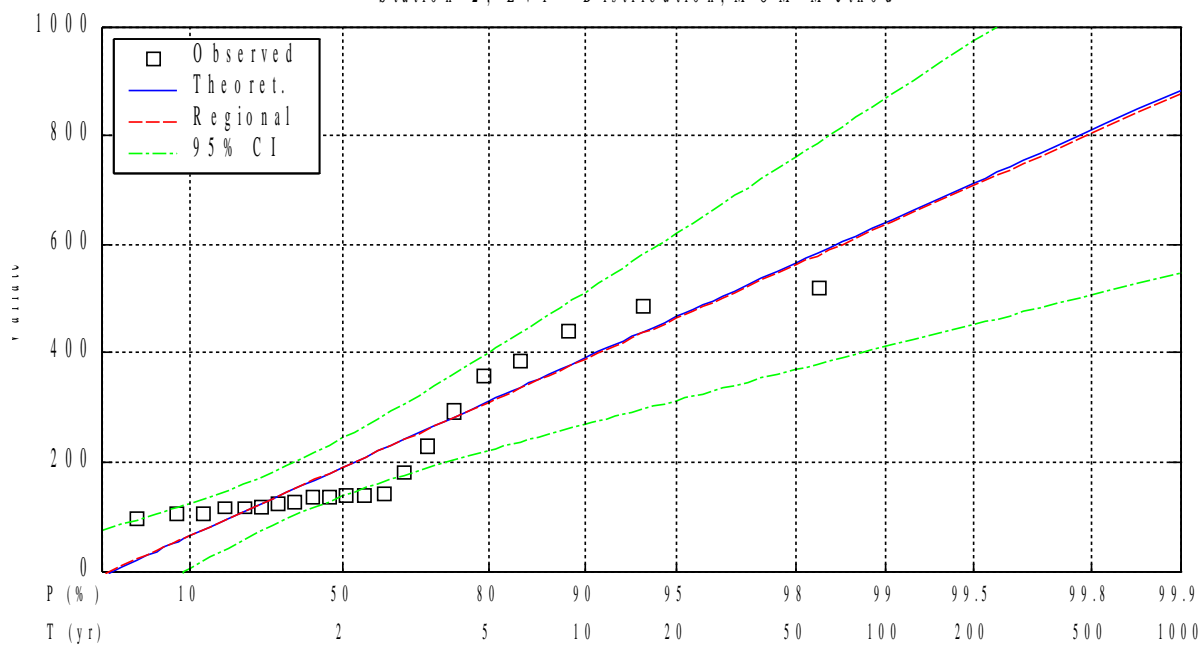
Montpellier 27 avril 2006  
M. Desbordes (assisté par Luc Neppel)

Station 1, EVI Distribution, M O M Method



Effectif = 20

Station 2, EVI Distribution, M O M Method



Effectif = 21

## Système karstique du Lez

- > **Etat des connaissances concernant le système karstique à l'amont de son exutoire – la source du Lez**
  - Organisation des écoulements souterrains – bassin d'alimentation, limites
  - Organisation des écoulements de surface, débordement du karst avec la source du Lirou, mais également des pertes, du drainage en dehors du bassin d'alimentation
  
- > **Modèle de transfert et de type VENSIM sur le débit de la source avec prise en compte du fonctionnement du karst, de l'effet des pompages**



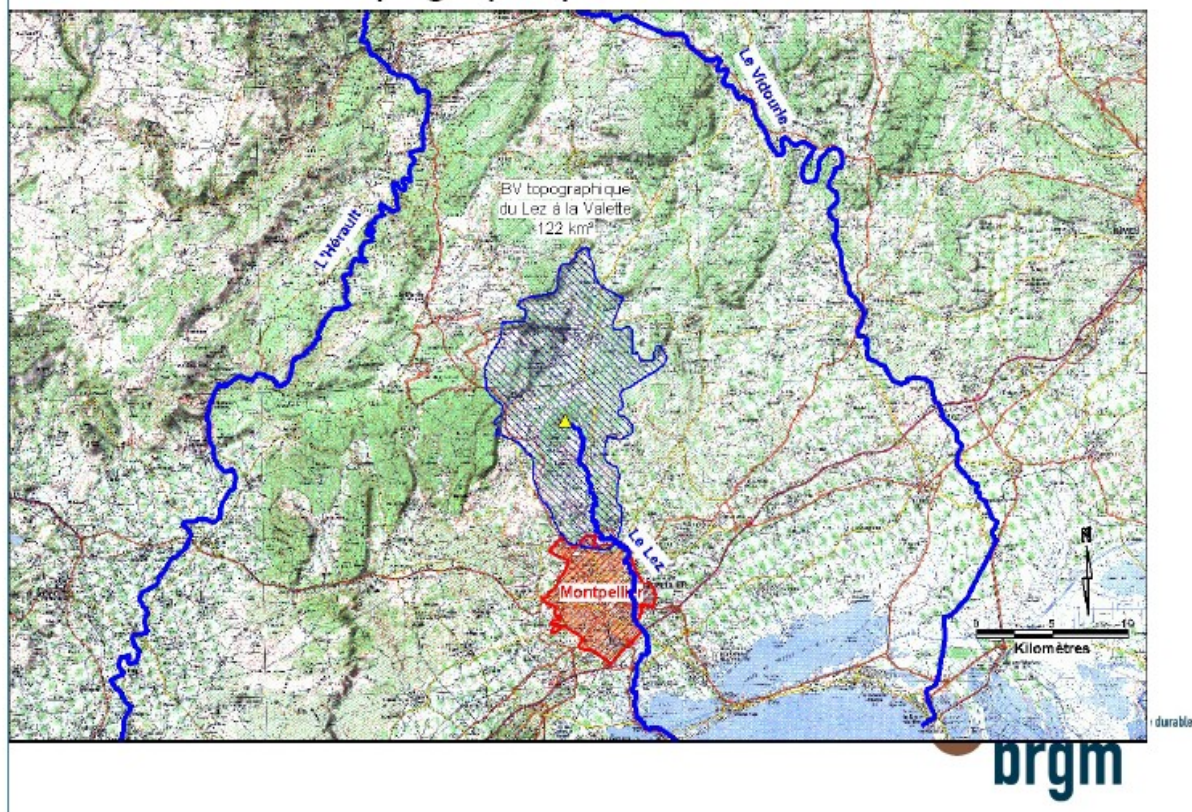
SGR LRO

Juin 2004

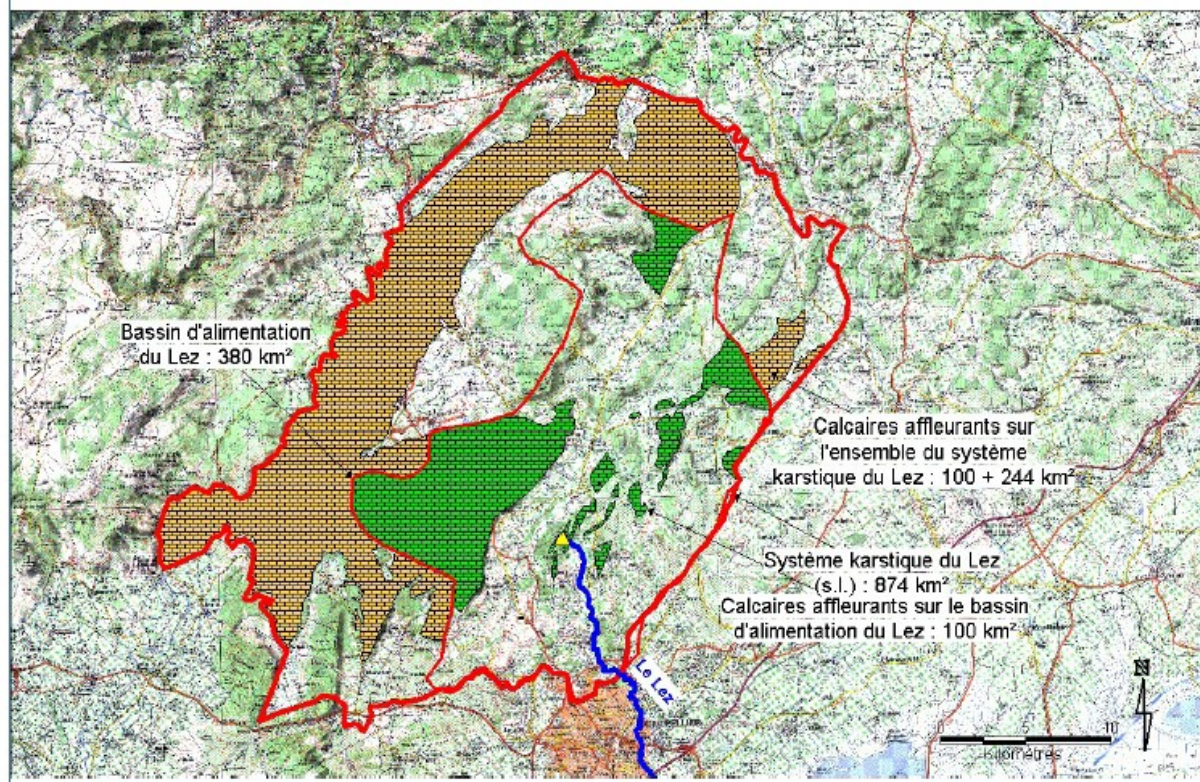
> 2



## Bassin versant topographique du Lez à la Valette

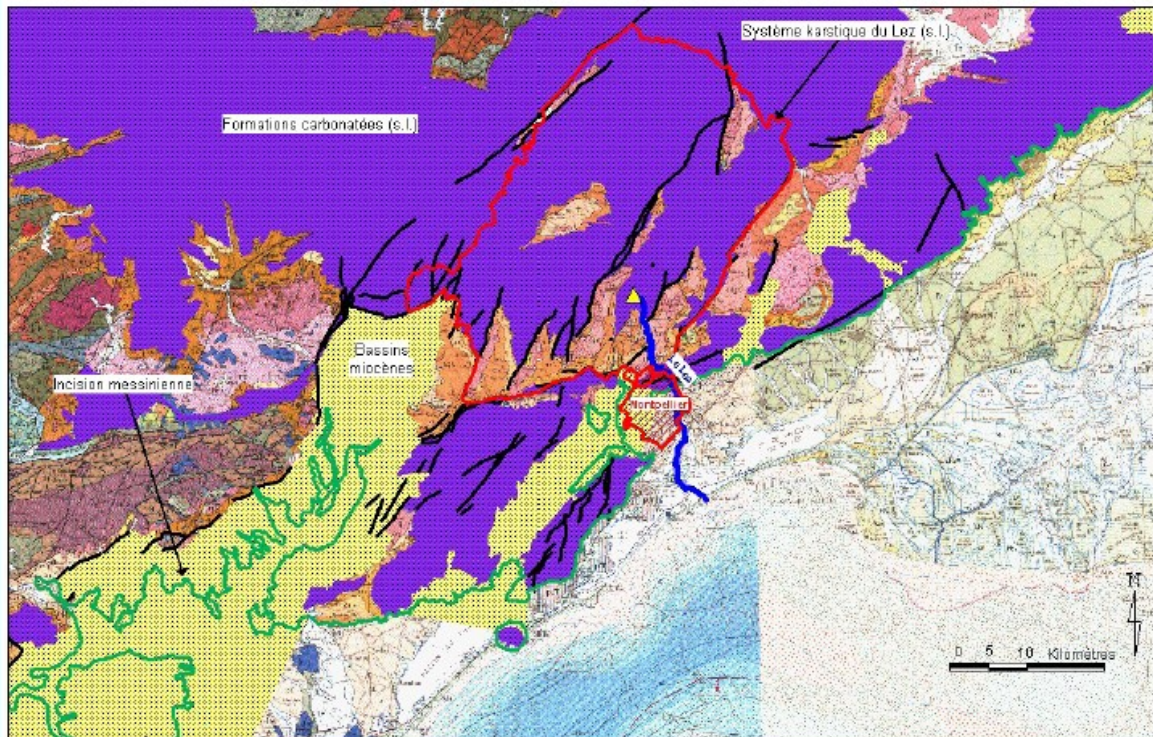


## Affleurements des calcaires dans l'unité du système karstique du Lez et au sein du bassin d'alimentation de la source

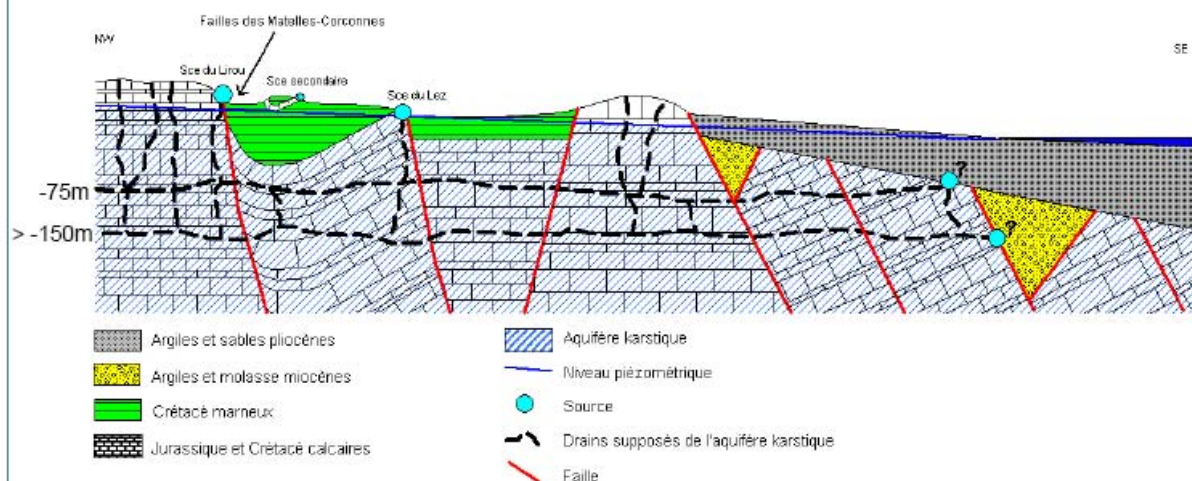




## Calcaires et bassins sédimentaires – frein à la karstification, aux écoulements => source de débordement

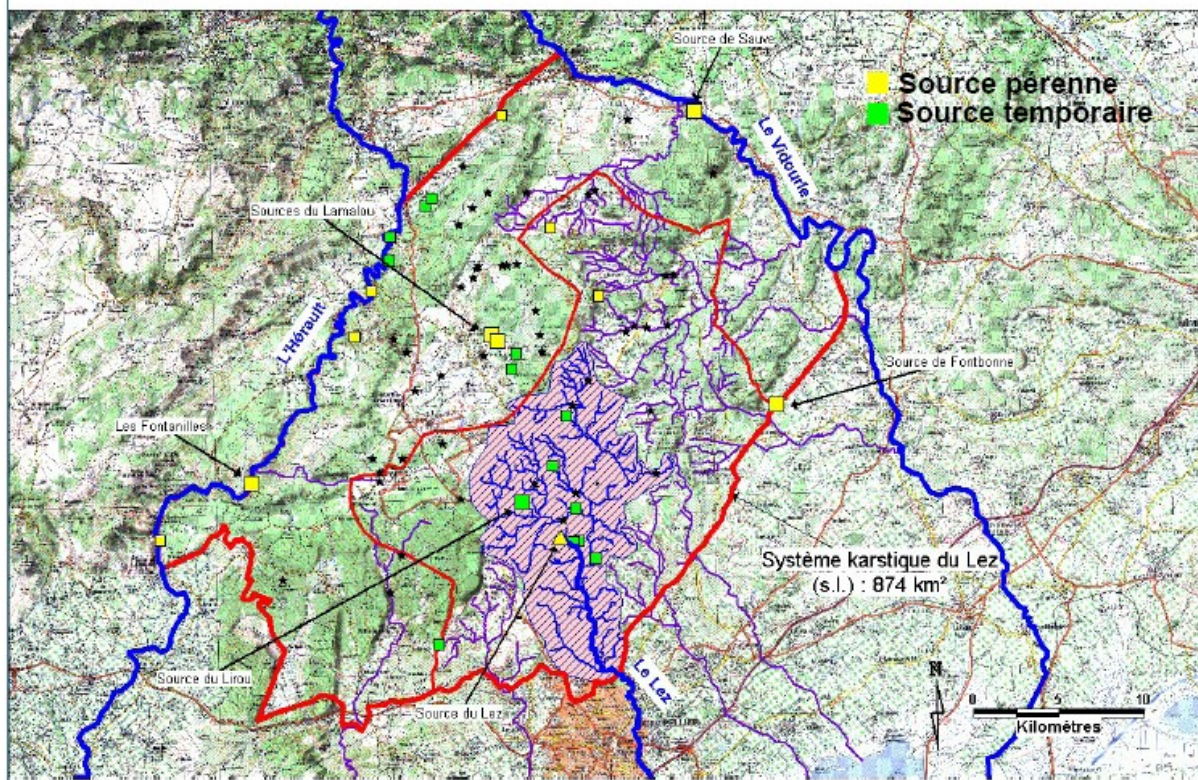


## Coupe hydrogéologique schématique NW-SE du système karstique du Lez

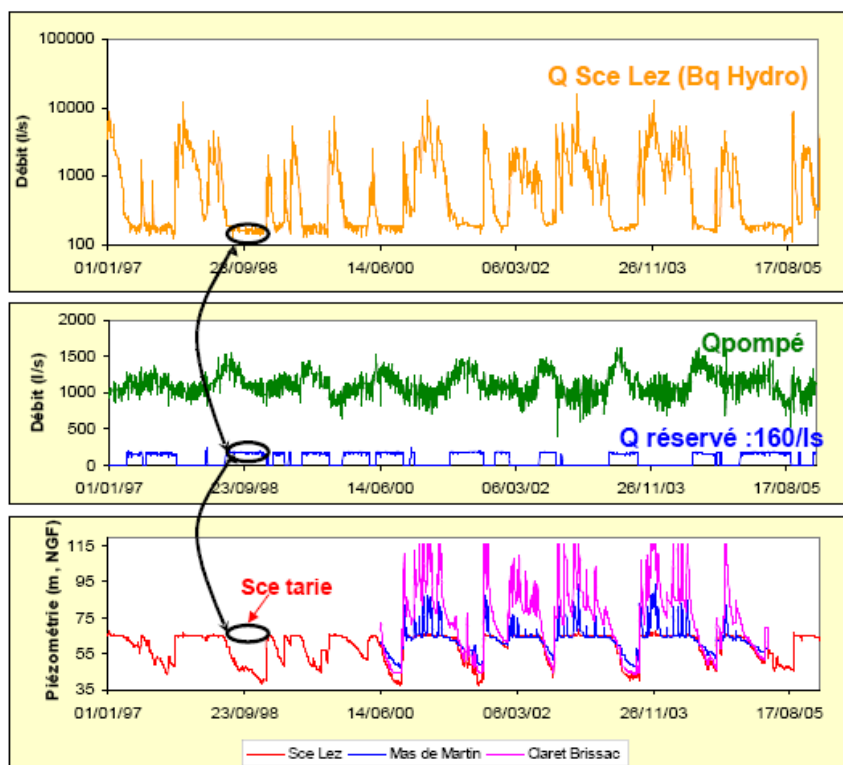




# Unité hydrogéologique Système karstique et unité source Lez Drainage de surface



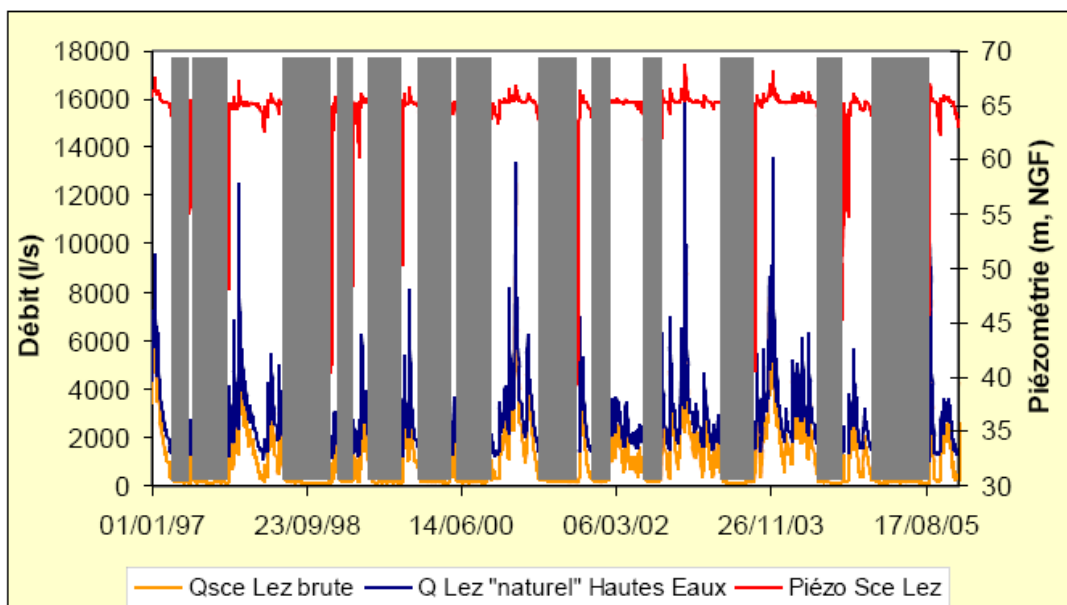
## Source du Lez: données disponible et analyse qualitative



Hypothèse :

En dehors des périodes d'assèchement de la source

$Q_{\text{Lez}} \llcorner \text{naturel}} = Q_{\text{Lez}} (\text{Bq Hydro} + Q_{\text{pompe}})$

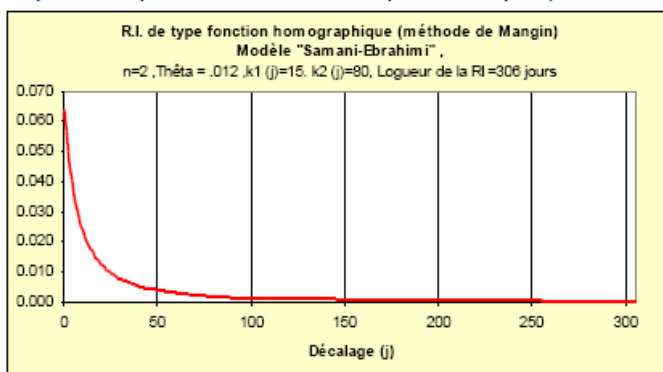


Reconstitution du débit du Lez en période de Hautes eaux



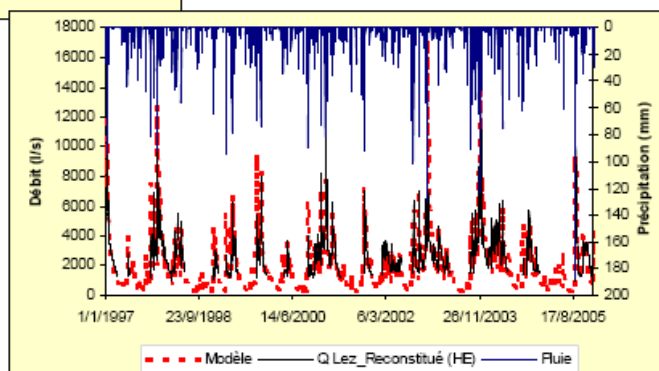
### Caractérisation du fonctionnement à l'aide d'un modèle de transfert (période hautes eaux)

Réponse impulsionnelle : modèle paramétrique (fonction homographique)



Utilisation du modèle de transfert pour reconstituer le débit « naturel » de la Sce du Lez en période de basses eaux

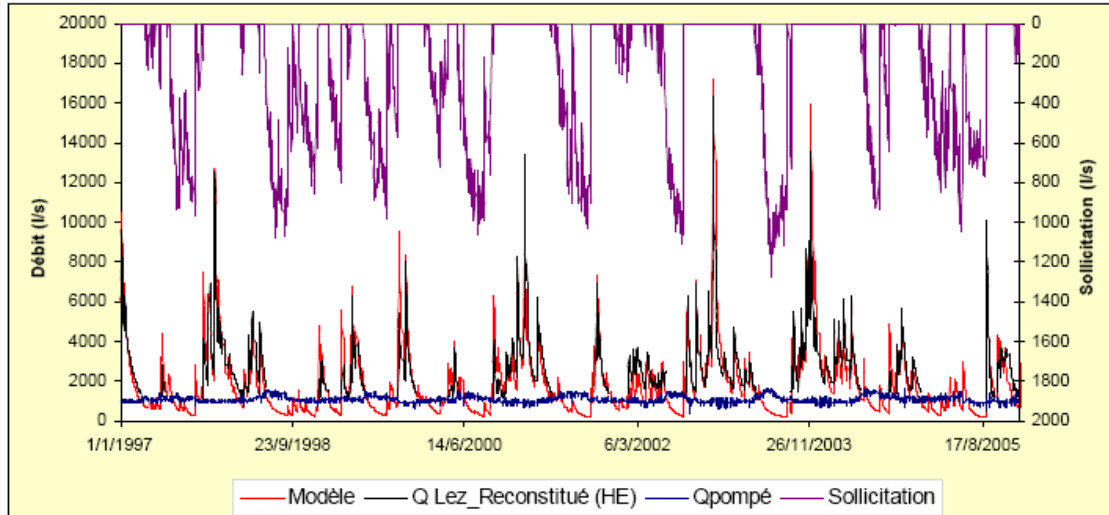
Paramètre du modèle  
 $S = 259 \text{ km}^2$ ,  
 Contribution moyenne de la pluie à la pluie efficace = 25 %



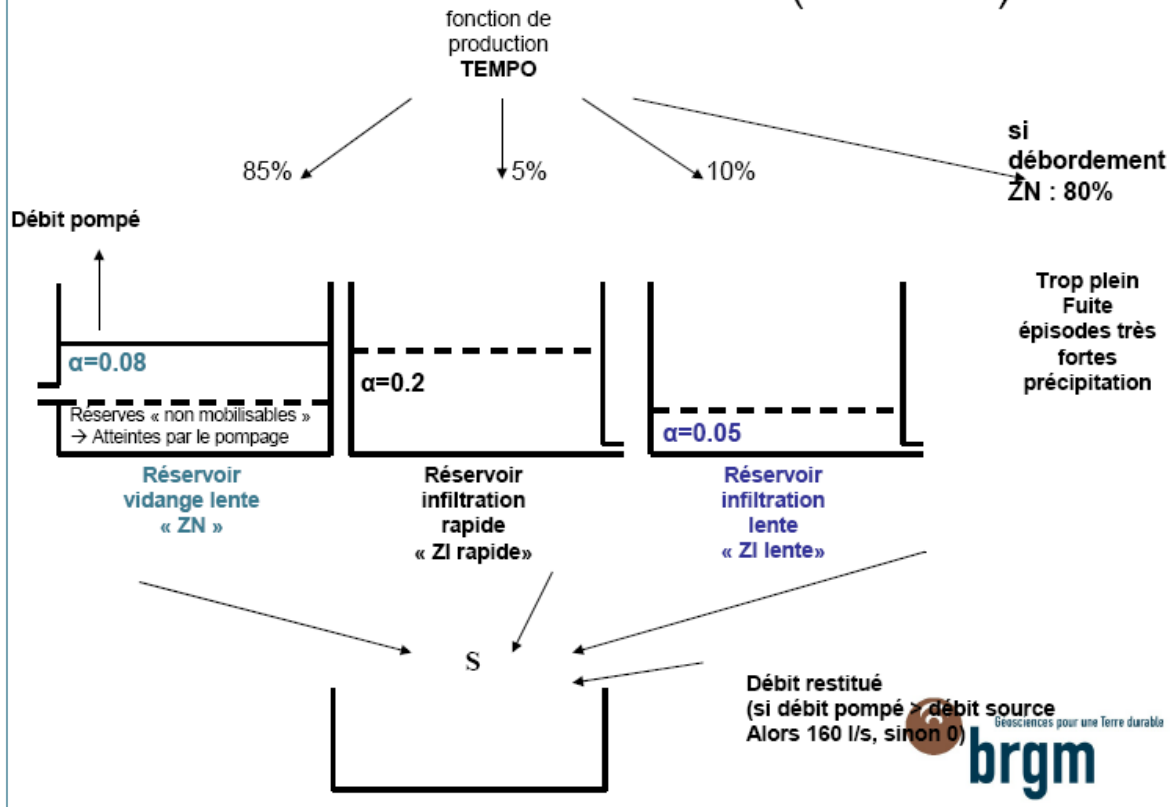
Hypothèse :

On sollicite les réserves du karst lorsque  $Q_{\text{pompe}} \geq Q$  « naturel »  
 En dehors de ces périodes la sollicitation est nulle.

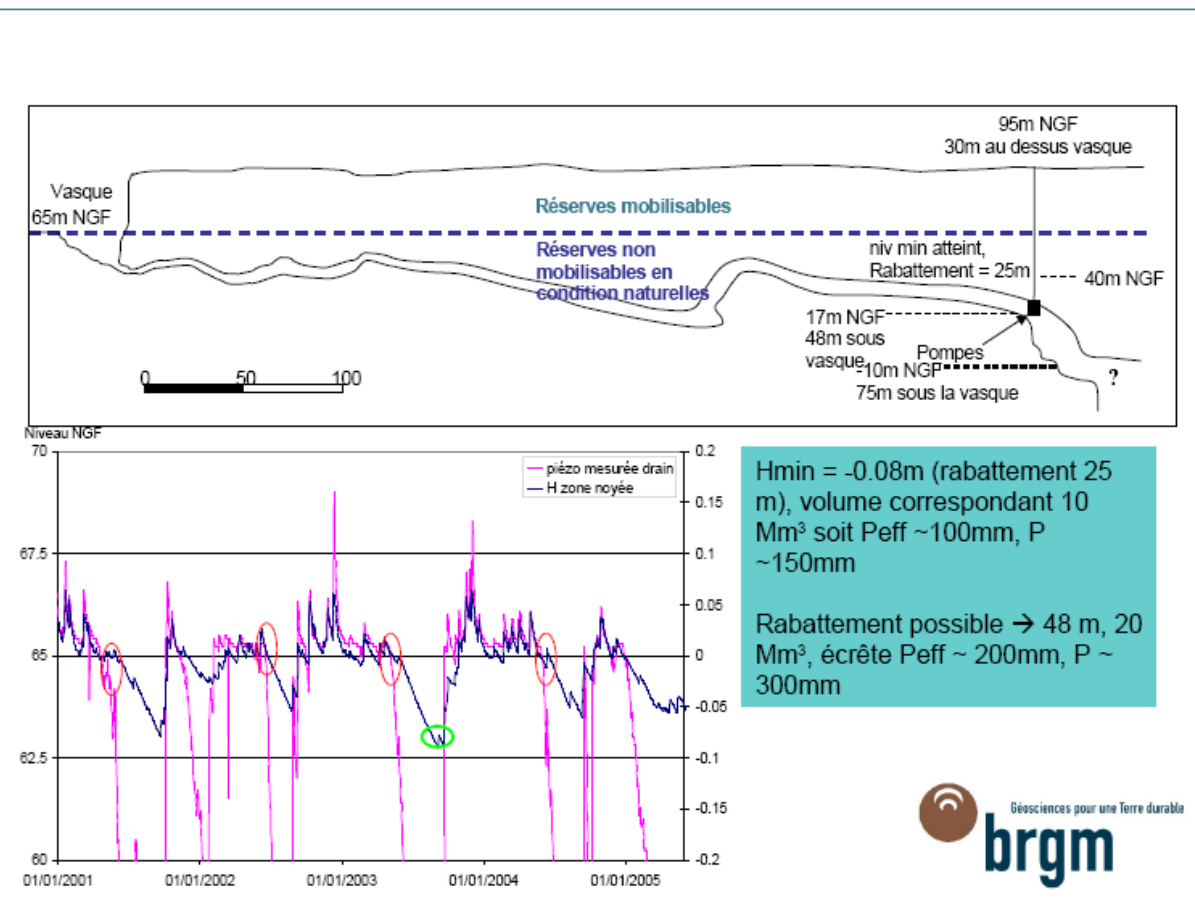
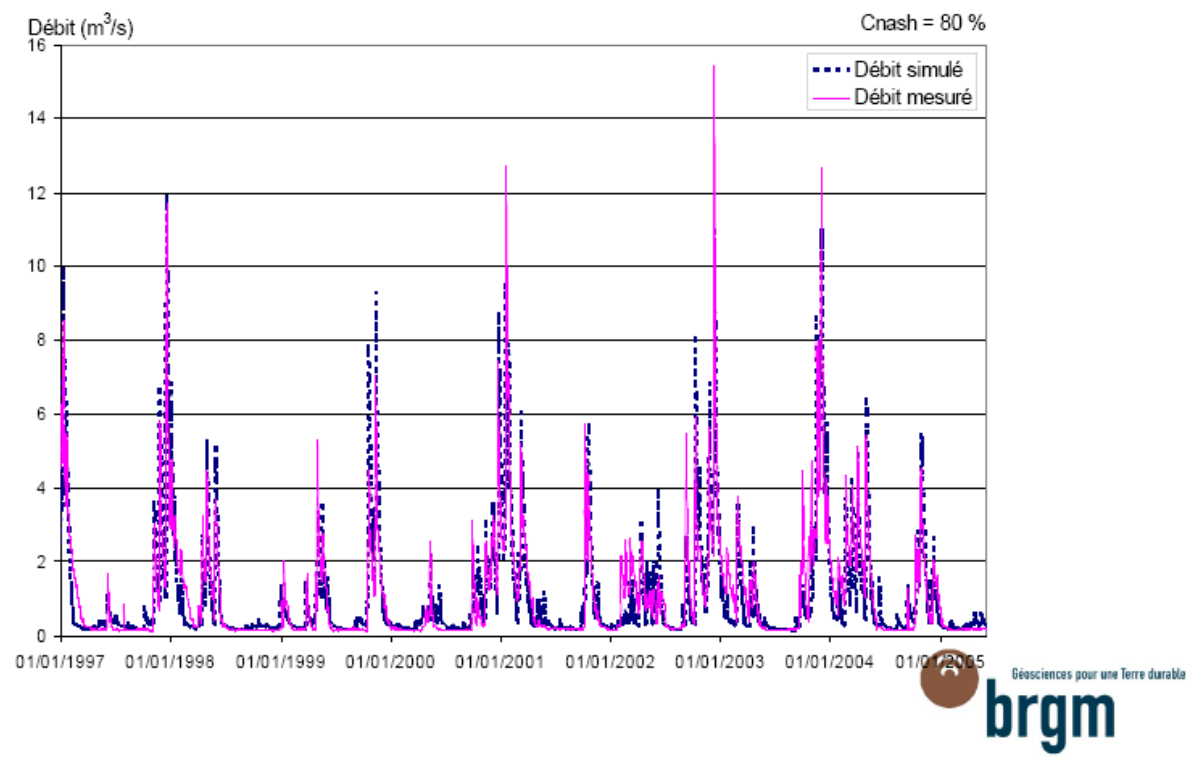
Sollicitation =  $Q_{\text{pompe}} - Q$  «Lez naturel»; (= 0, si  $Q_{\text{Lez}} > Q_{\text{pompe}}$ )



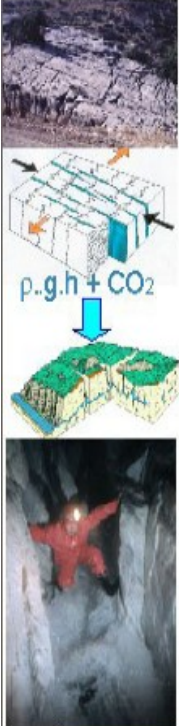
### Schéma du modèle source du Lez (VENSIM)



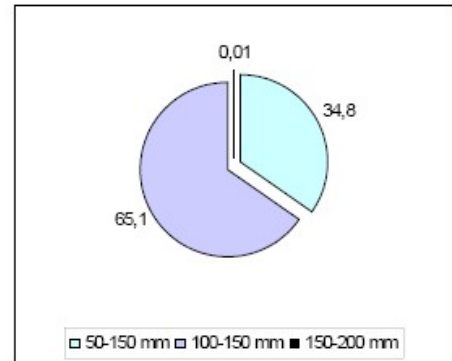
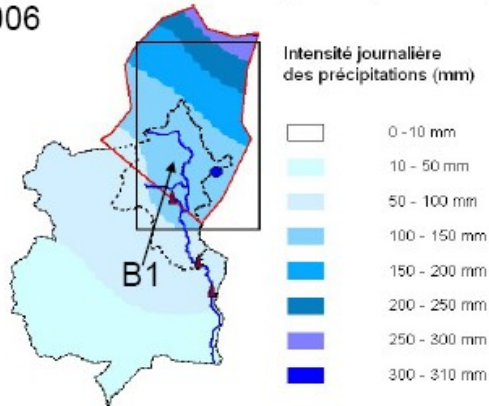
# Débit simulé sous VENSIM (3 réservoirs)







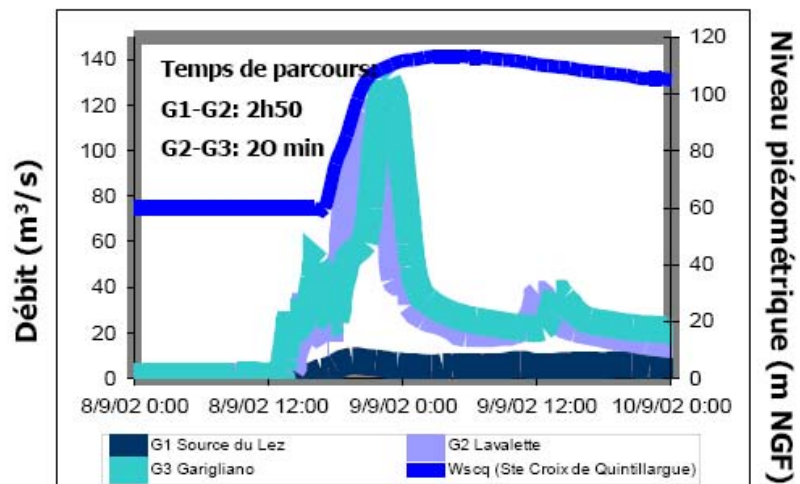
## Analyse de trois événements sur le Lez... projet Lez –IFR ILEE (HSM, BRGM, G-EAU, Engref) –Jourde H. et al. 2006



- Épisode localisé au Nord-Est du site d'étude
- Intensité journalière des précipitations entre 14 et 310mm
- Intensité journalière des précipitations entre 14 et 200mm sur B1
- Intensité journalière des précipitations entre 100 et 150mm sur 65% du bassin hydrologique B1

## Évènement du 08 septembre 02

Jourde H. et al. 2006

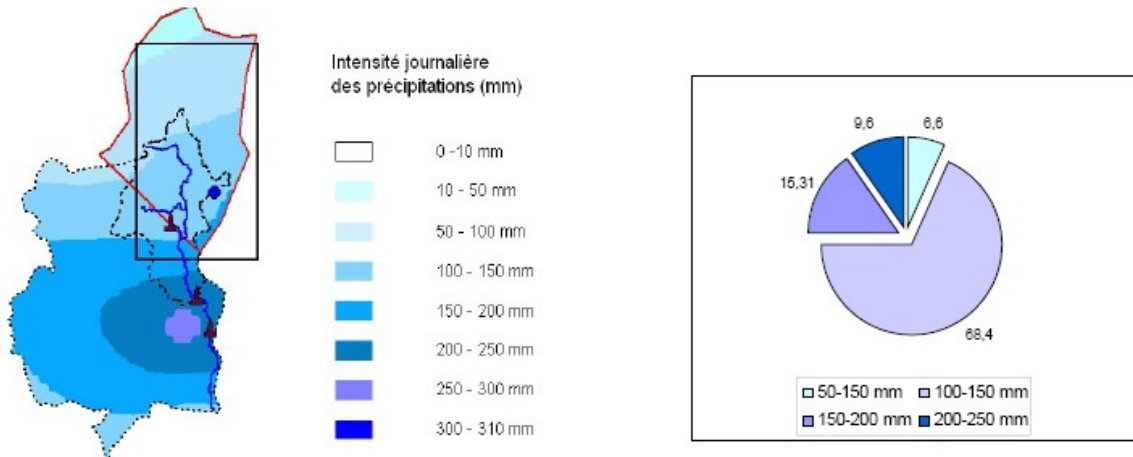


Le débit de pointe à la source est faible (8 m<sup>3</sup>/s)

Les débits de pointe sur les deux stations en aval sont proches (120 et 130 m<sup>3</sup>/s) et peu déphasés

# Évènement du 22 septembre 03

Jourde H. et al. 2006

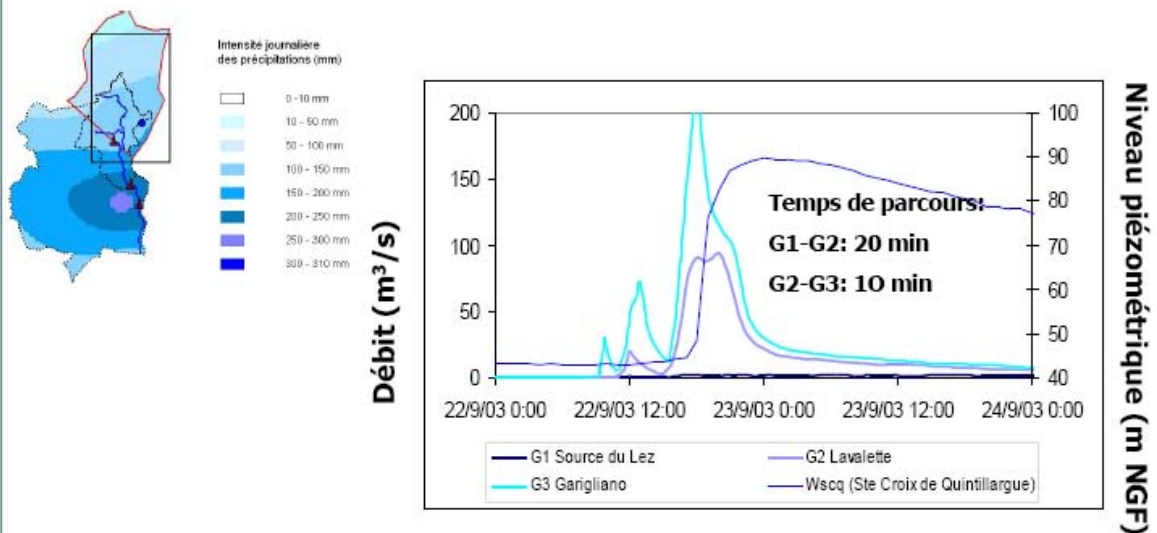


- Épisode localisé au sud : noyau sur la ville de Montpellier
- Intensité journalière des précipitations entre 10 et 300mm
- Intensité journalière des précipitations entre 40 et 265mm sur B1
- Intensité journalière des précipitations entre 100 et 150mm sur 68% du bassin hydrologique B1 => surface identique / à l'épisode précédent



# Évènement du 22 septembre 03

Jourde H. et al. 2006



Le débit à la source est négligeable (1m<sup>3</sup>/s) / débit en G2 (95m<sup>3</sup>/s)  
Le débits en G3 (215m<sup>3</sup>/s) résulte de la localisation de la pluie sur la partie urbanisée du bassin hydrologique (Ville de Montpellier)



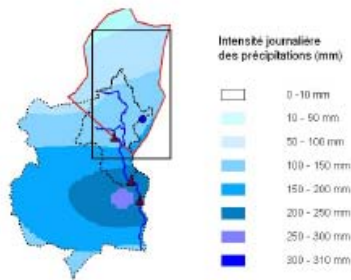


# Évènement du 22 septembre 03

Jourde H. et al. 2006

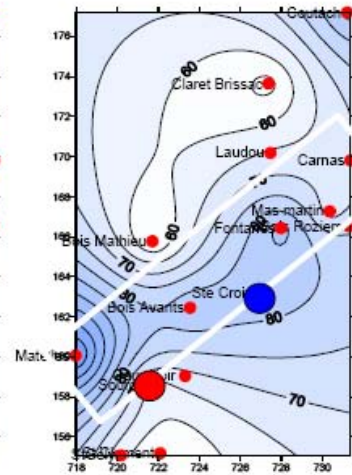
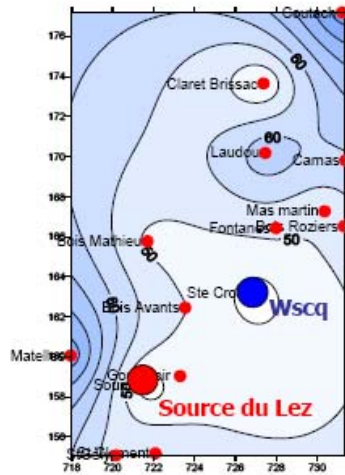
22/9/03 00:00

22/9/03 20:00



Avant la crue

Pic de crue



• Aquifère fortement déprimé: sécheresse importante et pompage sur la Source du Lez (Gestion active de l'aquifère karstique)

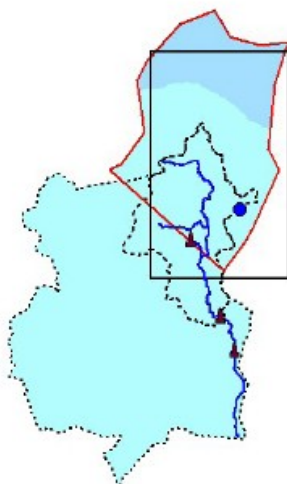
• Mise en charge localisée sur la partie centrale (Zone de faille) mais très retardée par rapport au pic de crue ➡ rôle négligeable du karst ?



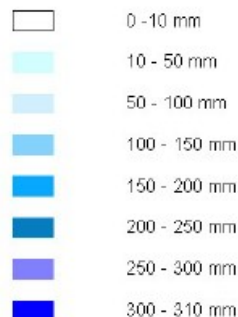
# Évènement du 1<sup>er</sup>, 2, et 3 décembre 03

Jourde H. et al. 2006

Données radar du 1/12/03



Intensité journalière des précipitations (mm)



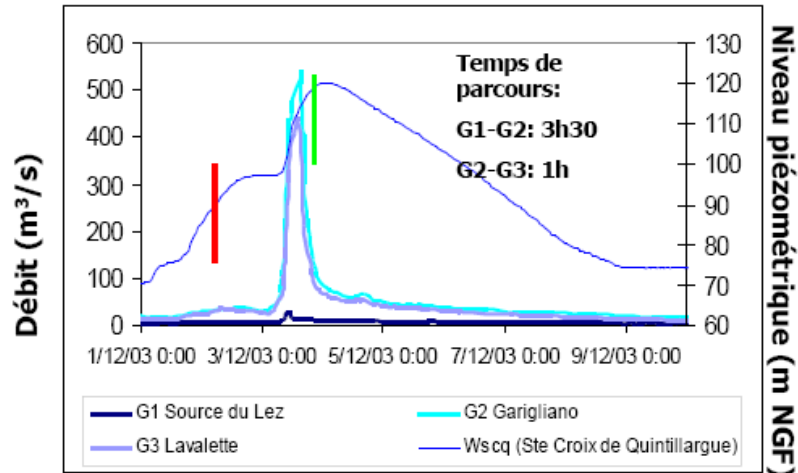
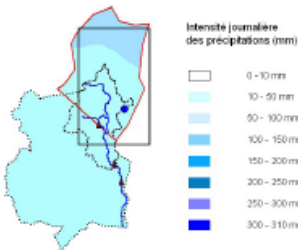
144 mm de pluie cumulée sur l'amont du bassin hydrogéologique

Évènement assez homogène dans le temps et dans l'espace avec une intensité journalière plus importante sur l'amont du bassin hydrogéologique (Bh)



# Évènement du 1<sup>er</sup>, 2, et 3 décembre 03

Jourde H. et al. 2006



Le débit de pointe à la source du Lez (28 m<sup>3</sup>/s) est beaucoup plus important que pour les épisodes précédents (« débordement » du karst) mais faible par rapport aux débits en aval (450 et 550 m<sup>3</sup>/s)

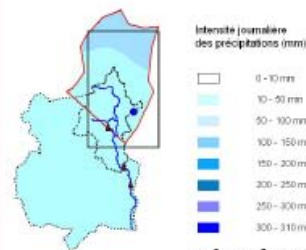
Mise en charge importante du karst dès le début de l'évènement

Augmentation plus importante de la piézométrie lors de la pluie du 2/12/03 (40mm) que pour la pluie du 3/12/03 (80mm)



# Évènement du 1<sup>er</sup>, 2, et 3 décembre 03

Jourde H. et al. 2006



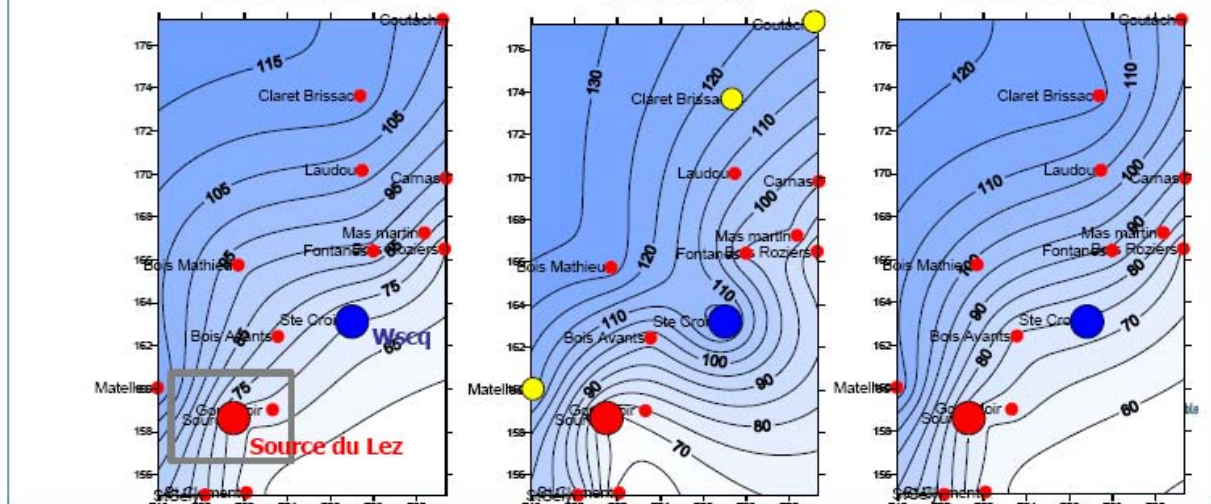
- Aquifère saturé avant l'épisode pluvieux
- Effet du pompage sur la source du Lez peu visible
- Forte mise en charge et artésianisme

concomitant avec le triplement du débit ?

1/12/03 00:00  
Avant la crue

3/12/03 00:00  
Pic de crue

9/12/03 00:00  
Après la crue



## Relation contribution « karst » et hydrologie du BV du Lez

- > **Le débit du Lez à La Valette est fonction**
  - État de saturation du karst
  - Localisation des précipitations sur le bassin versant
  - Contribution de la source du Lirou non négligeable en plus du ruissellement (données en cours d'acquisition (projet IFR ILEE))
- > **Débit de la source en période de Hautes eaux simulé**
- > **Scénarios possibles pour différentes intensités de précipitations**
- > **Répartition Karst/Ruissellement envisageable à l'aval de la source**
- > **Modèle de transfert avec prise en compte du comportement du karst (calage sur piézomètre) – artésianisme – débordement => contribution au ruissellement => à caractériser**

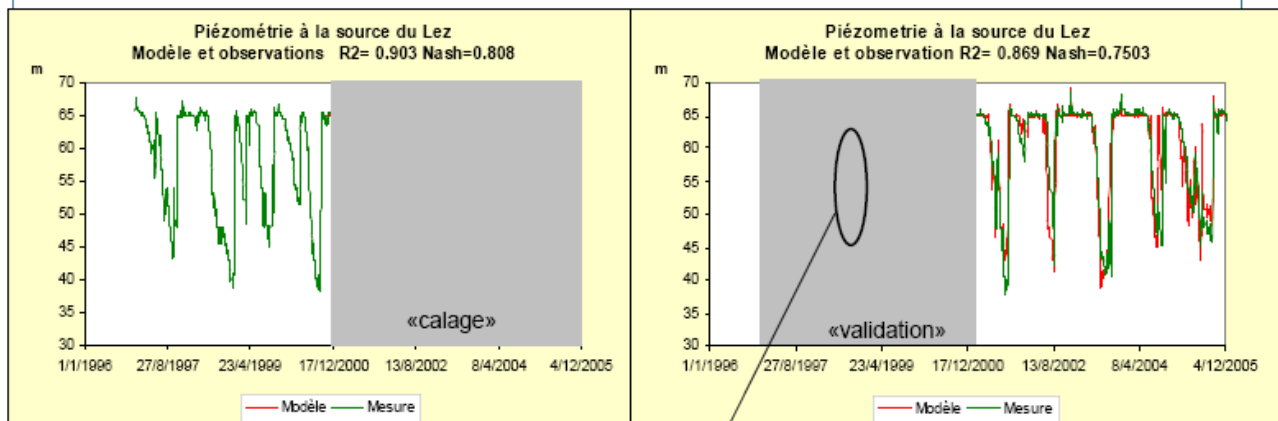


## Simulation de la piézométrie dans le karst à l'aide d'un modèle de transfert

### Exemple de la piézométrie dans le drain au Lez (Exutoire)

Entrée 1 : (pluie, ETP) => Pluie efficace

Entrée 2 : Fonction de sollicitation.



Divergence liée aux incertitudes sur QLez « naturel »



4.5.4 P. LACHASSAGNE : *Éléments sur le système karstique. Note d'avancement au 22/05/2007*



Document confidentiel



P. Lachassagne  
avec la collaboration de Y. Conroux, N. Dörfliger, P. Fleury, B. Ladouche



Centre scientifique et technique  
3, avenue Claude-Guillemain  
BP 6009  
45060 – Orléans Cedex 2 – France  
Tél. : 02 38 64 34 34

Service géologique régional "Languedoc-Roussillon"  
et Service EAU/RMD  
1039, rue de Pinville  
34000 – Montpellier - France  
Tél. : 04 67 15 79 80

## Sommaire

<b>1. Introduction - Objectifs</b> .....	<b>7</b>
<b>2. Cotes piézométriques de la source</b> .....	<b>8</b>
<b>3. Eléments sur la structure et le fonctionnement du système aquifère karstique du Lez</b> .....	<b>9</b>
3.1. LA SOURCE DU LEZ.....	9
3.2. L'AQUIFERE DU LEZ.....	9
3.3. BASSINS VERSANTS DE SURFACE ET SOUTERRAINS – FONCTIONNEMENT DU SYSTEME KARSTIQUE .....	10
3.4. EXPLOITATION DE LA RESSOURCE EN EAU DU SYSTEME KARSTIQUE	13
<b>4. Présentation synthétique des modèles BRGM de simulation du système karstique du Lez</b> .....	<b>14</b>
<b>5. Références bibliographiques</b> .....	<b>23</b>

## Liste des illustrations

Figure 1. Réseau karstique de la source du Lez en amont immédiat du point d'émergence et dispositif de captage (d'après Paloc, 1979).....	9
Figure 2. Aire d'affleurement des calcaires constitutifs de l'aquifère karstique au sein du bassin d'alimentation de la source du Lez.....	10
Figure 3. Réseau hydrographique de surface du système du Lez .....	11
Figure 4 - Résultat de la simulation des niveaux piézométriques à la source du Lez (modèle TEMPO).....	15
Figure 5 : Structure du modèle Vensim à deux réservoirs de routage .....	18
Figure 6 : Résultat de la simulation des débits de la source du Lez (modèle VENSIM à deux réservoirs de routage) .....	19
Figure 7 : Résultats de la simulation de piézométrie dans le drain (modèle VENSIM à deux réservoirs de routage) .....	19
Figure 8 : Structure du modèle VENSIM à trois réservoirs de routages.....	20
Figure 9 : Résultat de la simulation des débits (modèle VENSIM à trois réservoirs de routage).....	20



## 1. Introduction - Objectifs

Dans le cadre de la conférence scientifique sur les crues du Lez, lors de la réunion du 25 avril 2007, il a été demandé au BRGM l'« établissement d'une note destinée à renseigner les points suivants » (cf. relevé de décisions de la réunion) :

- « sur les modèles conceptuels BRGM de reconstitution du débit du Lez en hautes eaux : les hypothèses prises en considération seront explicitées ;
- sur la réaction du karst et ses contributions sur les événements majeurs récents : les cotes piézométriques de la source seront données (au pas de temps journalier de 2001 à 2005) ;
- sur l'étendue du bassin souterrain à Lavalette (100 km<sup>2</sup>, 259 km<sup>2</sup>, 380 km<sup>2</sup> ?) à rendre en complément du bassin versant topographique du Lez. »

La présente note, qui sera présentée à la conférence lors de la réunion du 22 mai 2007, a pour objectif de donner de premiers éléments de réponse à cette demande.

## 2. Cotes piézométriques de la source

Le fichier MS-Excel joint comprend :

- au pas de temps journalier,
- pour la période 1/01/97 – 1/01/06,
- les niveaux piézométriques mesurés à la source du Lez (mesure effectuée dans le drain karstique, au droit de la station de pompage), exprimés en m NGF.  
Trois informations différentes sont fournies :
  - du 1/01/97 au 31/12/01 : niveau piézométrique moyen journalier,
  - du 1/01/02 au 20/10/02 : niveau piézométrique minimal journalier,
  - du 21/10/02 au 1/01/06 : niveaux piézométriques moyen, maximal et minimal ;
- des informations sur les débits :
  - « débit gravitaire prélevé » : débit prélevé de manière gravitaire pour l'Alimentation en Eau Potable (lorsque le niveau piézométrique est suffisamment haut pour le permettre),
  - « débit pompé » : débit prélevé par pompage,
  - « débit total pompé » : débit total prélevé, correspondant à la somme des deux variables ci-dessus,
  - « débit restitué » : débit restitué au Lez pour satisfaire aux conditions réglementaire de débit réservé.

Ces données ont été recueillies par Véolia EAU (CGE).

### 3. Eléments sur la structure et le fonctionnement du système aquifère karstique du Lez

#### 3.1. LA SOURCE DU LEZ

Le système ou aquifère karstique du Lez comporte un exutoire principal pérenne, la source du Lez et plusieurs sources de trop plein (temporaires), dont les plus importantes sont les sources du Lirou (la plus importante d'entre elles), de la Fleurette, de Restinclières, des Pouzets et du Gour Noir.

La source du Lez est de type Vaclusien, l'eau émerge d'une vasque, dont la cote se trouve à une altitude de +65 m NGF environ et alimente la rivière Lez (Figure 1 et Figure 2).

Ce système karstique est exploité par pompage pour l'alimentation en eau potable de la ville de Montpellier. Le pompage est effectué au sein du drain karstique situé en amont immédiat de la source (Figure 1).

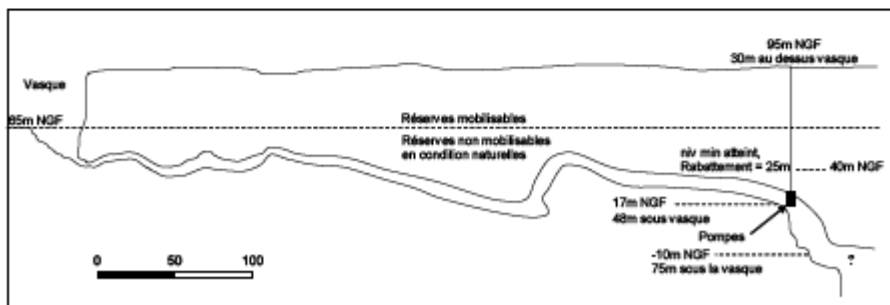


Figure 1. Réseau karstique de la source du Lez en amont immédiat du point d'émergence et dispositif de captage (d'après Paloc, 1979)

#### 3.2. L'AQUIFERE DU LEZ

D'un point de vue lithologique, la karstification se développe principalement au sein des calcaires massifs du Jurassique supérieur (Argovien à Kimméridgien) et de la base du Crétacé inférieur (Bérriasien). Les marnes et marno-calcaires du Jurassique moyen (Oxfordien) et la série marneuse et marno-calcaire du Crétacé inférieur (Albien) sont considérés comme constituant respectivement le mur et le toit des formations carbonatées karstifiées.

Ces formations carbonatées constituent un ensemble karstique qui s'étend sur une superficie totale d'environ 850 km<sup>2</sup> (Thiery et Bérard, 1984), du bassin de Thau au

Sud-Ouest jusqu'aux formations situées en rive gauche du Vidourle au Nord-Est. Cet ensemble comprend un total de 9 sous-unités hydrogéologiques aux fonctionnements a priori indépendants les uns des autres.

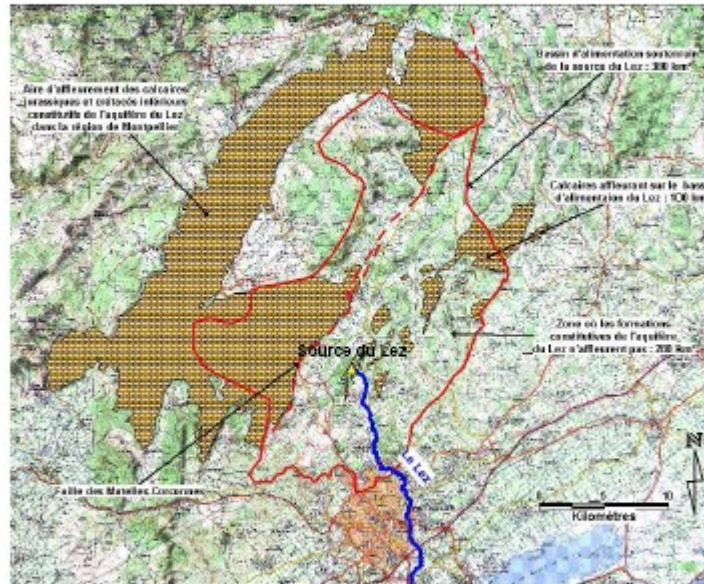


Figure 2. Aire d'affleurement des calcaires constitutifs de l'aquifère karstique au sein du bassin d'alimentation de la source du Lez

Le système karstique du Lez constitue la principale de ces sous-unités hydrogéologiques en terme de superficie de son bassin versant d'alimentation. Elle est séparée physiquement des autres sous-unités (principalement par des failles) et semble avoir à l'heure actuelle (notamment dans les conditions qui prévalent avec les niveaux marins contemporains) un fonctionnement hydrodynamique indépendant des autres sous-unités. Les autres sous-systèmes karstiques donnent eux aussi naissance à des sources karstiques : source des Fontanilles, de Sauve, de Fontbonne, etc. (Figure 3).

### 3.3. BASSINS VERSANTS DE SURFACE ET SOUTERRAINS – FONCTIONNEMENT DU SYSTEME KARSTIQUE

Les limites du bassin versant souterrain du système karstique du Lez (Figure 2 et Figure 3) ont été établies principalement à partir de traçages artificiels, sur la base d'interprétations géologiques et structurales (identification des limites structurales imperméables notamment) et de données piézométriques. Sa superficie est de l'ordre de 380 km<sup>2</sup>.



Il s'agit d'un système karstique unaire, c'est-à-dire qu'il ne reçoit pas de pertes de cours d'eau de surface issus d'autres bassins versants.

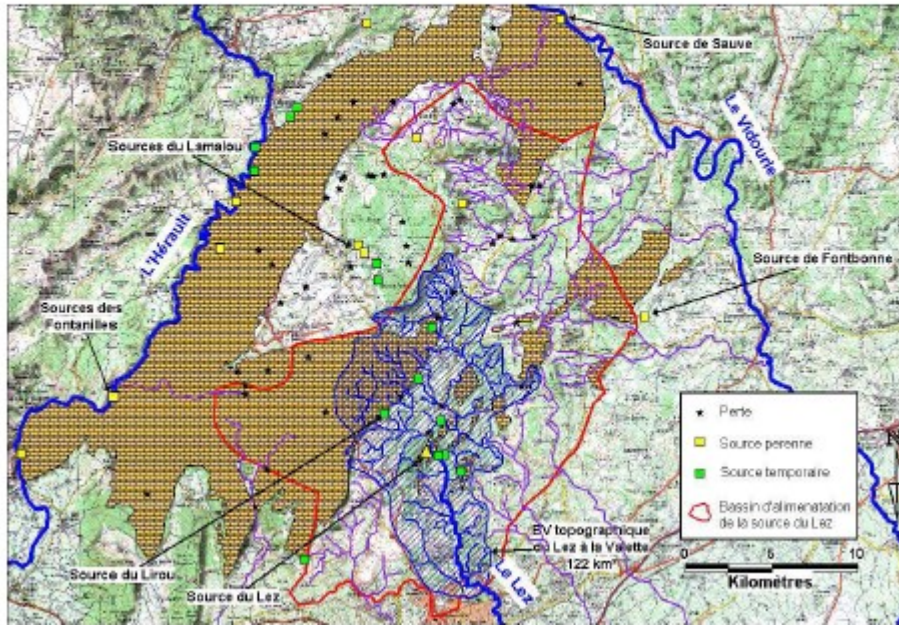


Figure 3. Réseau hydrographique de surface du système du Lez

Plusieurs domaines peuvent être identifiés au sein de ce bassin versant, notamment en fonction de leur comportement vis-à-vis des processus d'alimentation de l'aquifère karstique :

- les secteurs correspondant aux **affleurements des calcaires constitutifs de l'aquifère karstique** représentent, au droit du bassin versant souterrain de l'aquifère, une superficie d'environ 100 km<sup>2</sup>, soit environ 26% de la superficie de son bassin d'alimentation souterrain (Figure 2). Ces domaines présentent en général un réseau hydrographique de surface peu développé et on peut considérer, en première approximation, que **l'essentiel des pluies efficace y alimente l'aquifère du Lez**, soit de manière directe, soit de manière plus différée via l'épikarst,
- les secteurs correspondant aux **affleurements des formations présentes au toit de l'aquifère** (marnes et marno-calcaires crétacés, formations éocènes, oligocènes et quaternaires principalement). Ces formations sont soit peu perméables, soit nettement moins karstifiées que celles

constitutives de l'aquifère. Elles comprennent par conséquent un réseau hydrographique de surface mieux organisé (Figure 3) dont une partie constitue le **bassin versant topographique du Lez à la Valette (120 km<sup>2</sup> environ)** qui est totalement inclus dans le bassin d'alimentation souterrain de la source du Lez. L'autre partie (260 km<sup>2</sup> environ) s'écoule vers d'autres bassins versants de surface : bassins versants de la Mosson et du Coulazou à l'Ouest, du Salaison et des autres affluents de l'étang de l'Or (Cadoule notamment) au Sud-est et surtout bassin versant du Vidourle à l'Est. Ces secteurs constitutifs du bassin versant souterrain présentent un fonctionnement singulier :

- les formations non carbonatées (argiles oligocènes principalement) sont peu perméables et ne présentent pas de pertes des eaux de surface. Elles sont constituées de formations peu aquifères et les cours d'eau qui en sont issus montrent un faible débit de base et tarissent quelques semaines ou quelques mois tout au plus après des épisodes de précipitations importants,
- les formations calcaires (calcaires éocènes, parties les plus carbonatées des formations marno-calcaires secondaires) renferment des aquifères karstiques perchés, d'extensions variées (de quelques hectares à une à deux dizaines de kilomètres carrés), dont la plupart sont indépendants de l'aquifère karstique du Lez. Ils donnent lieu à des sources pour la plupart temporaires (« bouillous ») ou au débit très modeste en basses eaux, la plupart des sources pérennes étant issues de l'aquifère des calcaires éocènes et de l'aquifère crétacé du causse de l'Horthus (source de Lauret, source de la Fousse située en amont de Pompignan),
- les formations marneuses et marno-calcaires comportent localement, au droit du réseau hydrographique de surface qui les sillonne, des zones de pertes (cf. Figure 3 ; la représentation des zones de pertes n'y étant pas exhaustive) dont la grande majorité alimente l'aquifère karstique du Lez (les autres pertes alimentant des aquifères karstiques locaux). La plupart de ces zones de pertes se localisent en effet à proximité de la faille des Matelles ou de ses satellites.

Ce fonctionnement peut donc être résumé comme suit :

- en période de basses et moyennes eaux : la quasi intégralité des écoulements de surface se produisant au sein des portions des cours d'eau de surface du bassin versant souterrain du Lez qui montrent des écoulements (à l'exception du Lez en aval de la source) se perdent et alimentent l'aquifère du Lez,

- en période de hautes eaux : les débits de ces cours d'eau de surface (alimentés par du « ruissellement » ou par des aquifères karstiques perchés) présentent des valeurs plus élevées que la capacité d'absorption des pertes (NB : des travaux menés sur d'autres systèmes karstiques ont montré que cette capacité d'absorption est variable dans le temps en fonction des conditions hydrogéologiques de l'aquifère) et, par conséquent, une partie des écoulements sont exportés vers d'autres bassins versants (Vidourle, Mosson, etc.).

La géométrie des drains karstiques n'est pas connue avec précision. L'aquifère comporte très vraisemblablement deux axes de drainage principaux, l'un, relativement bien connu, orienté Nord-Est – Sud-Ouest, parallèle à la faille des Matelles-Corconne, d'une quinzaine de kilomètres d'extension au moins, l'autre de direction Nord-Ouest – Sud-Est, au droit duquel se trouvent la source du Lirou et la source du Lez.

#### 3.4. EXPLOITATION DE LA RESSOURCE EN EAU DU SYSTEME KARSTIQUE

Une des particularités du système karstique du Lez réside dans la gestion active de la ressource en eau qui y est pratiquée. Cette gestion consiste à prélever l'eau directement dans le drain qui débouche à la source, par pompage. Ce captage s'effectue plus de 400 m en amont dans le massif calcaire. Le pompage à lieu 48 m sous le niveau de la vasque, à la cote +17 m NGF (Figure 1). Ce captage, situé à un niveau inférieur à celui de la vasque, permet de prélever l'eau des réserves initialement (en conditions d'écoulement naturelles) « non mobilisables » du système karstique. Il fait l'objet d'un suivi avec notamment la mesure des débits pompés et celle du niveau dans le drain principal (voir chroniques des niveaux d'eau dans le drain de 1997 à 2005 ; cf. § 2.). Le débit moyen pompé est de 1.1 m<sup>3</sup>/s.

En période de hautes eaux, le niveau dans le drain est supérieur à la cote de débordement de la vasque, le pompage prélève alors de l'eau des réserves dites « mobilisables ». En période d'étiage, l'eau prélevée provient des réserves « non mobilisables », le niveau dans le drain est inférieur à celui de la vasque. Ainsi, en étiage le pompage prélève l'eau des réserves « non mobilisables ». Celles-ci sont reconstituées au cours de la recharge associée aux pluies automnales et hivernales (le niveau dans le drain redevient alors supérieur au niveau de la vasque).

Les débits de la source du Lez sont ainsi influencés par le pompage. Lorsque le débit de la rivière est inférieur au débit pompé, une partie du flux pompé est restitué à la rivière. Ce débit de restitution est de 160 l/s (débit fixé par la Déclaration d'Utilité Publique du 05 juin 1981) ; il correspond au débit réservé imposé.

## 4. Présentation synthétique des modèles BRGM de simulation du système karstique du Lez

Dans le cadre de travaux de recherche en cours, menés notamment en partenariat avec les UMR Hydrosociétés Montpellier (HSM) et G-EAU, le BRGM est en train de réaliser des travaux de modélisation du fonctionnement du système karstique du Lez.

Trois types de modèles sont en cours de calibration. Ces modèles sont tous mis en œuvre au pas de temps journalier. Les premiers résultats obtenus avec le modèle VENSIM (les autres approches ne sont pas encore assez avancées) sont principalement présentés ci-dessous, de manière synthétique :

- un modèle global de type « fonction de transfert » (modèle Tempo, développé par le BRGM et d'ores et déjà appliqué de nombreuses fois pour la modélisation de systèmes karstiques ; Voir par exemple : Pinault et al., 2001, 2004).  
Les pluies efficaces sont calculées grâce aux données journalières de précipitations et d'ETP. Les données utilisées sont les précipitations journalières aux stations de Prades-le-Lez, St Martin de Londres et Valfaunes et l'ETP à la station de Mauguio. La pluie moyenne pondérée déduite de l'analyse menée à partir du logiciel Tempo, sur les dix années de chroniques de débit et de précipitations, donne la répartition suivante :
- Prades-de-Lez 19%,
  - St Martin 39%,
  - Valfaunès 43%.

En milieu karstique, l'expérience acquise (karsts des Cent Fonts, des Corbières, de Nîmes, du bassin de Thau, etc., sur lesquels il a été démontré que les processus de ruissellement sont négligeables) montre que la contribution moyenne de la pluie à la recharge de l'aquifère (via l'épikarst) est d'environ 50% de la pluviométrie, avec une relative faible variabilité autour de cette valeur moyenne d'un système à l'autre (en d'autres termes les pluies efficaces sont égales à 50% environ de la pluviométrie totale et la quasi-totalité des pluies efficaces recharge l'aquifère)<sup>1</sup>. Faut de connaître avec précision la superficie du bassin versant d'alimentation du Lez, ce ratio a été appliqué à la pluviométrie pondérée présentée ci-dessus. Le calage (Figure 4) de la fonction de

---

<sup>1</sup> Le calcul de pluie efficace est réalisé avec Tempo au moyen d'une fonction de production variable dans le temps établie sur la base des chroniques d'ETP, de pluie et de débit.

transfert donne une superficie d'impluvium de 110 km<sup>2</sup> environ. Dans la mesure où le calage ne prend pas en compte les débits de débordement de l'aquifère aux autres sources que celle du Lez, il s'agit d'une estimation par défaut. L'aire ainsi définie est néanmoins très comparable à celle des affleurements des calcaires jurassiques constitutifs de l'aquifère (100 km<sup>2</sup> environ). Cela suggère qu'en basses et moyennes eaux (lorsque les sources de débordement ne sont pas actives), la contribution des pertes des cours d'eau de surface est minimale. Par contre, leur contribution en hautes eaux ne peut être négligée ; il conviendrait de disposer de mesures des débits de débordement (Lirou notamment) pour la quantifier. Une première approche pour tenter de préciser cette contribution est en cours, en utilisant notamment les données du réseau piézométrique de suivi de l'aquifère ;

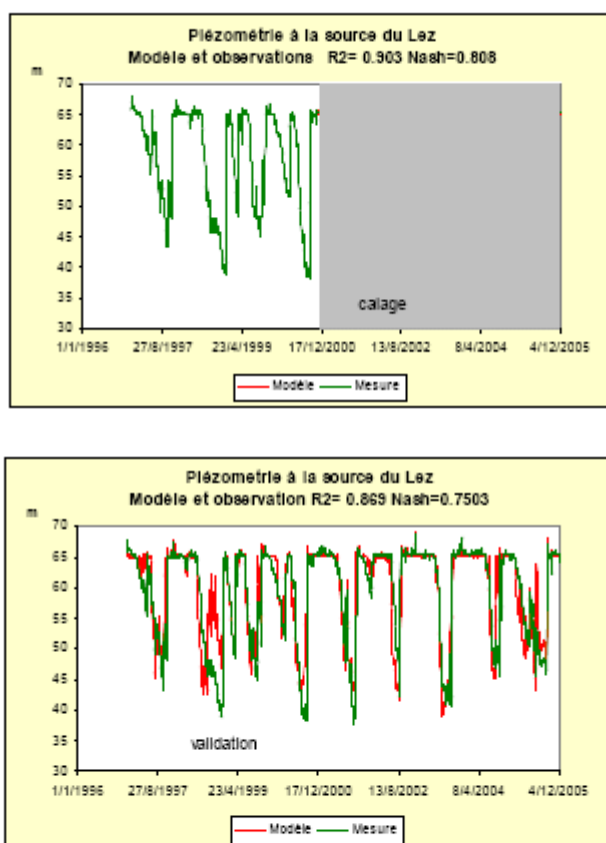


Figure 4 - Résultat de la simulation des niveaux piézométriques à la source du Lez (modèle TEMPO)

- un modèle à réservoirs développé avec le code VENSIM, ce type d'approche ayant déjà été mis en œuvre sur d'autres systèmes karstiques (Fleury, 2005 ; Fleury et al, 2007). Le modèle est constitué de réservoirs assimilés à différentes parties de l'aquifère (Figure 5).  
Le modèle le plus simple est constitué de deux réservoirs de routage, le premier représentant la zone noyée et le second la zone d'infiltration. Les réservoirs de routage sont alimentés par l'infiltration produite à partir de la fonction de transfert calculée par le modèle Tempo (cf. ci-dessus). Chacun des réservoirs Vidange lente ou Zone Noyée (réservoir 1) et Vidange rapide ou Zone d'Infiltration (réservoir 2) possède son coefficient de vidange, respectivement  $\alpha_1$  et  $\alpha_2$  (loi de Maillet). Le débit total simulé correspond à la somme des débits issus des deux réservoirs.  
Le module « débit pompé » affecte le réservoir « Zone Noyée ». Le module « débit restitué » est directement ajouté au débit calculé à la source. Il est défini tel que : si Débit pompé > Débit de la source, alors Débit restitué = 160 l/s, sinon débit restitué = 0 l/s.  
A cause du pompage, le niveau d'eau dans le réservoir 1 est négatif en étiage, il n'y a alors plus d'écoulement à la source. Conceptuellement cela revient à considérer une dessaturation de la zone noyée et un prélèvement au sein des réserves non mobilisables naturellement.  
Les débits simulés en périodes de fortes précipitations sont largement supérieurs aux débits mesurés à la source. Ceci est lié à la mise en fonctionnement de trop pleins du système. Pour s'affranchir de ce déficit d'eau à la source, un seuil dans le réservoir 1 est ajouté. Ainsi lorsque la hauteur d'eau dans le réservoir 1 est supérieure au seuil, alors une part de l'eau (X3) est évacuée du système et ne regagne pas le réservoir 1.  
Les premiers résultats des simulations sont encourageants (Figure 6). Les débits de crue et d'étiage sont relativement bien représentés. Le critère de Nash est égal à 83 %.  
Le modèle comprend un module destiné à simuler la piézométrie mesurée dans le drain. A cet effet, les niveaux d'eau dans le réservoir 1 (Zone Noyée) sont multipliés par un nouveau paramètre calé, assimilé dans le modèle conceptuel à la porosité efficace. Il est nécessaire d'utiliser une porosité différente selon que le système est saturé (niveau d'eau dans le réservoir Zone Noyée positif) ou dessaturé (niveau d'eau dans le réservoir Zone Noyée négatif). Après calage, la porosité associée au réservoir saturé est de 2 %, elle n'est que de 0.3 % en condition dessaturée. Les résultats sont présentés sur la Figure 7, ils semblent en première approche représenter de façon convenable les variations de la piézométrie dans le drain. Toutefois, il existe un décalage d'une vingtaine de jours au moment de la chute de la piézométrie ; la piézométrie simulée étant retardée par rapport aux observations.  
A cet effet, un modèle à 3 réservoirs a été développé (Figure 8) qui comprend aussi un réservoir représentant l'infiltration lente (provenant de l'épikarst et des pertes des cours d'eau en étiage). Les premiers résultats en terme de simulation des débits à la source sont satisfaisants (Figure 9). Le critère de Nash est égal à 80 %. La simulation de la piézométrie est acceptable en utilisant une double porosité, de 2 % en situation d'aquifère

rechargé et 0.3 % en situation d'aquifère dessaturé (Figure 10). Grâce à l'utilisation de ce nouveau modèle, les rabattements simulés et mesurés sont synchrones. Dans l'ensemble, le comportement de la zone noyée est bien rendu, à l'exception de la période de décembre 1998 à mars 1999, où les rabattements simulés sont beaucoup plus forts que ceux observés.

L'impact des précipitations sur le système du Lez est fonction de l'état de saturation du karst (Roesch et Jourde, 2007). Ainsi deux événements pluvieux comparables n'ont pas la même implication selon que l'aquifère soit saturé ou dessaturé (niveaux piézométriques bas dus à l'exploitation par pompage). En fin d'étiage lorsque le niveau est minimum les premières crues automnales n'ont quasiment pas d'impact en terme de ruissellement sur le bassin versant karstique du Lez ; l'eau des précipitations s'infiltré et recharge l'aquifère. Par contre une fois que le système est rechargé, seule une fraction des précipitations s'infiltré, le reste ruisselle ; l'ensemble du système karstique est alors caractérisé par des débordements alimentant le ruissellement de surface. Roexch et Jourde montrent ainsi que les débits pour des événements climatiques comparables peuvent passer, selon les conditions de saturation de la zone noyée, d'un débit à la station de la Valette de 100 à 400 m<sup>3</sup>/s. A partir du modèle il est possible d'approcher le volume d'eau nécessaire pour « recharger » l'aquifère et ainsi prédire à partir de quelle hauteur de précipitation le système réagira fortement à de nouvelles précipitations. Ainsi, sur la période d'étude les niveaux minimums correspondaient à un rabattement de 25 m, ce qui représente, intégré sur le bassin versant souterrain, un volume de 10 millions de m<sup>3</sup>, soit une pluie efficace (ou infiltration) d'environ 100 mm et une pluie d'environ 150 mm. En fin d'étiage, le système, grâce aux pompages, permet d'écrêter les premières précipitations à la hauteur de 150 mm. Compte tenu de la position des pompes (48 m sous la vasque), le rabattement maximal jusqu'à la profondeur des pompes conduirait à écrêter jusqu'à 300 mm de précipitations.

La reconstitution de cette vidange de la zone noyée entre deux épisodes pluvieux requiert de pomper plus d'eau que le débit de la source, ce que ne permet pas l'équipement actuel de pompage, dimensionné pour l'alimentation en eau potable et non à cet effet ;

- un modèle combinant la représentation d'une part des capacités de stockage au sein du réseau de drainage et d'autre part, au moyen d'une solution analytique, les modalités d'échange (écoulements, déstockage) entre le réseau de drainage et les réserves de l'aquifère (matrice poreuse et/ou fissurée, systèmes annexes au drainage). Ce modèle est développé sous Mathlab-Simulink à partir du modèle mis au point pour l'aquifère karstique des Cent Fonts (Maréchal et al., 2007) en utilisant comme donnée d'entrée les « débits naturels » reconstitués au moyen de Tempo et/ou Vensim. Il permet de représenter de manière relativement fidèle les caractéristiques et le fonctionnement des différents compartiments constitutifs de l'aquifère. Les premières estimations donnent ainsi, pour une extension de l'aquifère de 110 km<sup>2</sup>, des paramètres hydrodynamiques

similaires à ceux utilisés pour l'aquifère des Cent Fonts (Transmissivité :  $4.10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s, coefficient d'emmagasinement : 1%) et une capacité de stockage au sein du réseau de drainage de 1.650.000 m<sup>3</sup> par mètre de rabattement.

Ces différents modèles permettent notamment de simuler les débits qui seraient observés à la source en l'absence de pompage et, par conséquent, de caractériser les propriétés d'écrêtement dues à l'exploitation par pompage et donc les non linéarités dues au karst (fonctionnement naturel et effets liés au pompage). Cette approche (ainsi que l'analyse des courbes de tarissement de la source avant et après mise en exploitation) montre très nettement les effets liés à cette mise en exploitation.

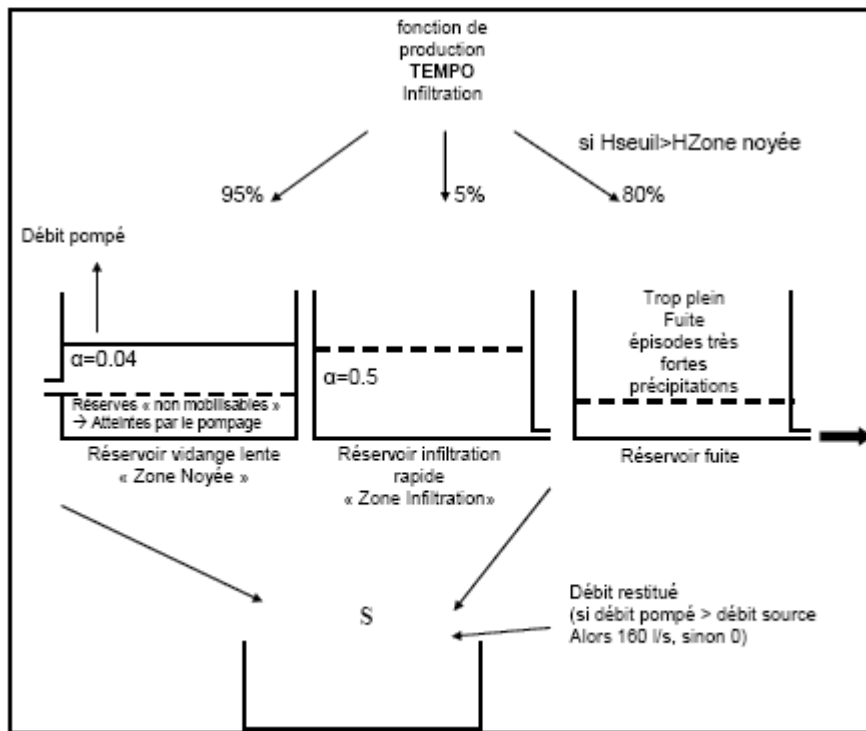


Figure 5 : Structure du modèle Vensim à deux réservoirs de routage



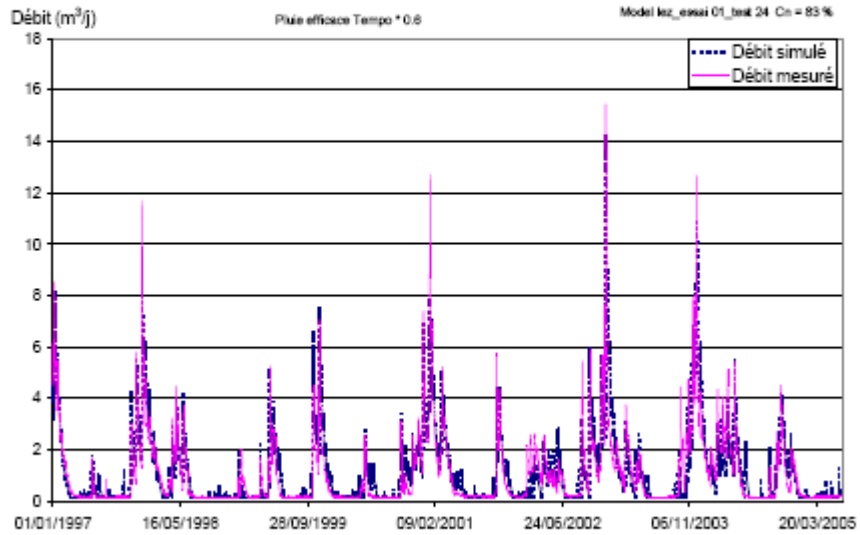


Figure 6 : Résultat de la simulation des débits de la source du Lez (modèle VENSIM à deux réservoirs de routage)

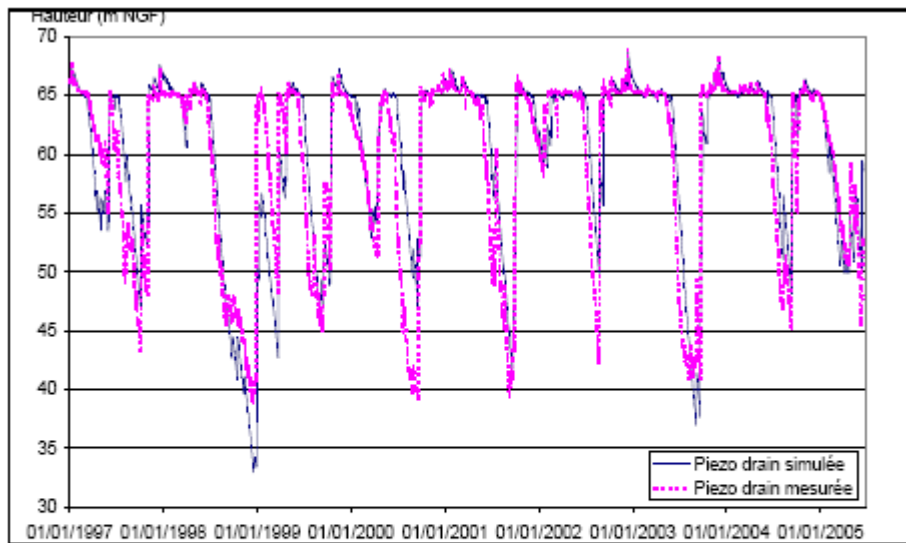


Figure 7 : Résultats de la simulation de piézométrie dans le drain (modèle VENSIM à deux réservoirs de routage)

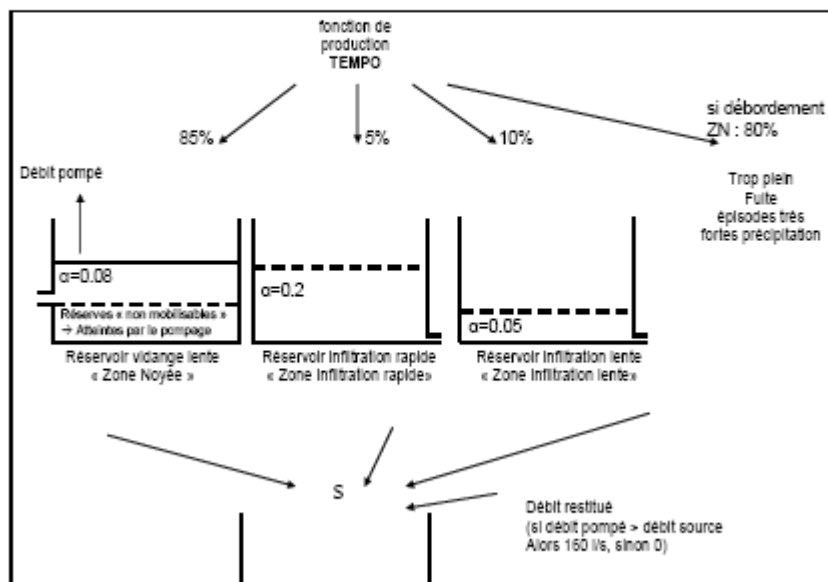


Figure 8 : Structure du modèle VENSIM à trois réservoirs de routages

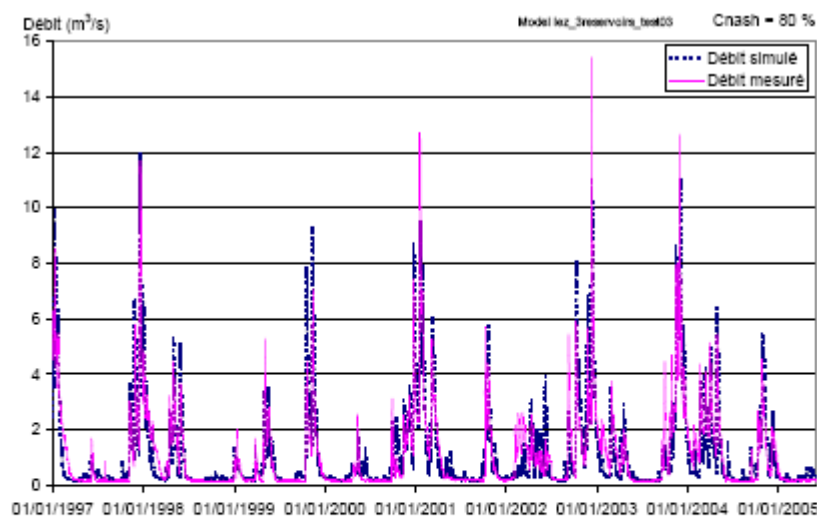


Figure 9 : Résultat de la simulation des débits (modèle VENSIM à trois réservoirs de routage)

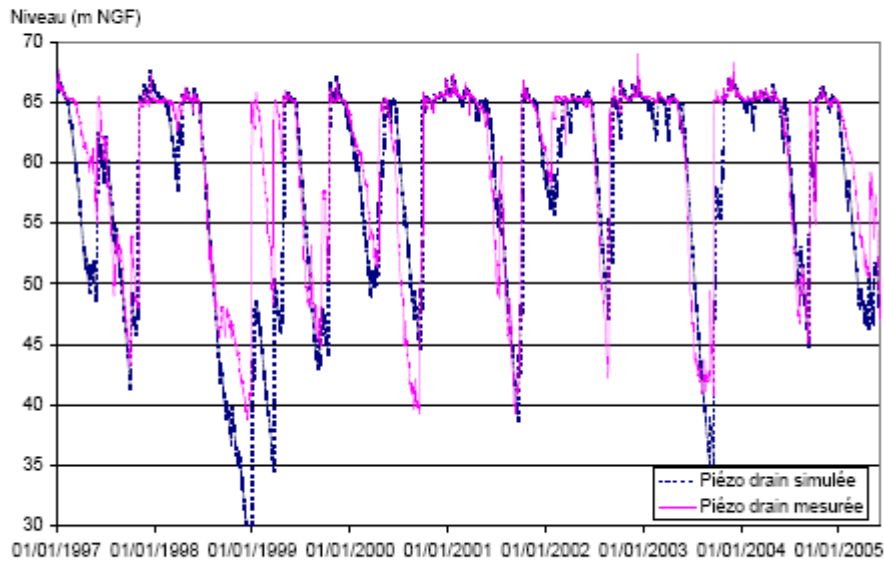


Figure 10 : Résultats de la simulation de piézométrie dans le drain (modèle VENSIM à trois réservoirs de routage)

## 5. Références bibliographiques

Fleury, P. (2005).- Sources sous-marines et aquifères karstiques côtiers méditerranéens. Fonctionnement et caractérisation. Thèse de Doctorat, Université Paris VI, 286 p.

Fleury, P., Plagnes, V., Bakalowicz, M. (2007).- Modelling of the functioning of karst aquifers with a reservoir model: application to Fontaine de Vaucluse (South of France).- *Journal of hydrology*, *accepté*.

Maréchal J.C., Dörfliger N., Lachassagne P., Ladouche B. (2007).- A method for the interpretation of long-duration pumping tests in the drain of a mixed flow karst system.- *Water Resources Research (soumis)*.

Paloc H. (1979).- Alimentation en eau de la ville de Montpellier – Localisation d'un emplacement de captage dans le réseau souterrain de la source du Lez – Détermination de ses principales caractéristiques en préalable à l'exécution des travaux.- Rapport BRGM 79 SGN 654 LRO.

Pinault J.L., Doerfliger N., Ladouche B., Bakalowicz M. (2004).- Characterizing a coastal karst aquifer using an inverse modeling approach : The saline springs of Thau, southern France, *Water Resources Research*, 40 W08501

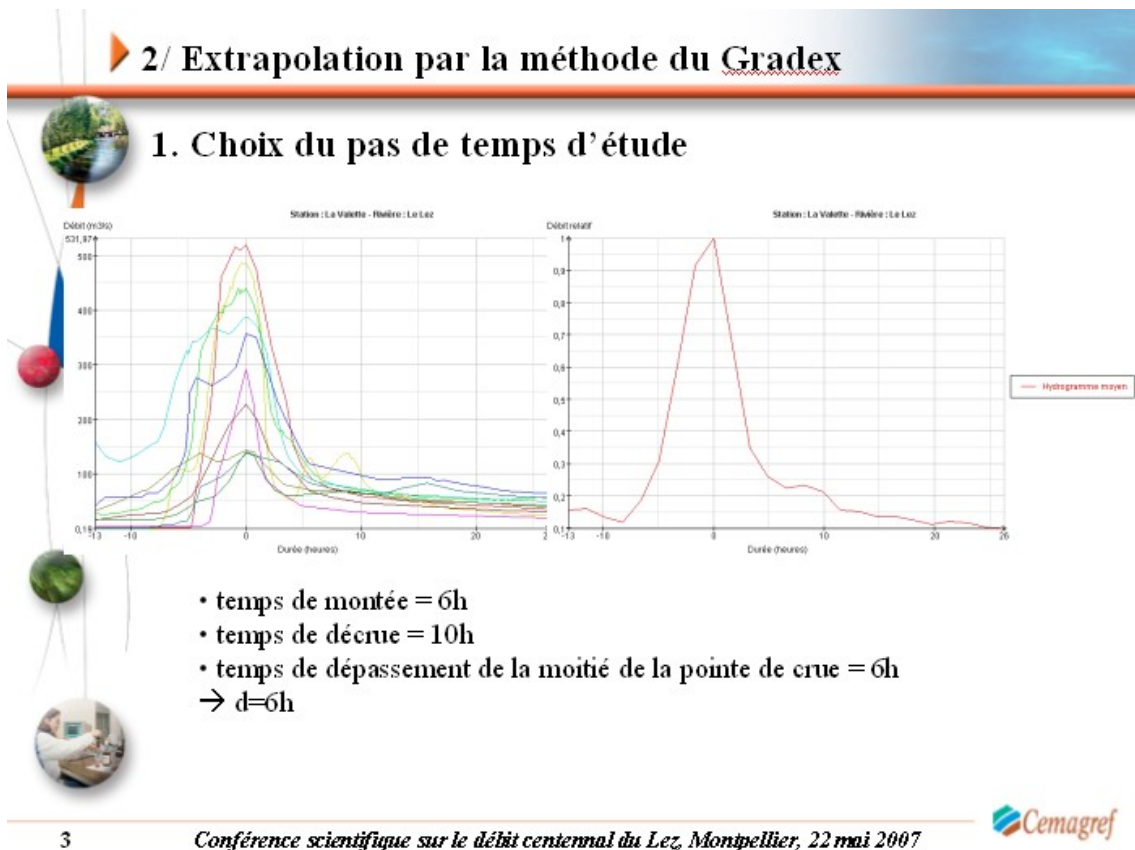
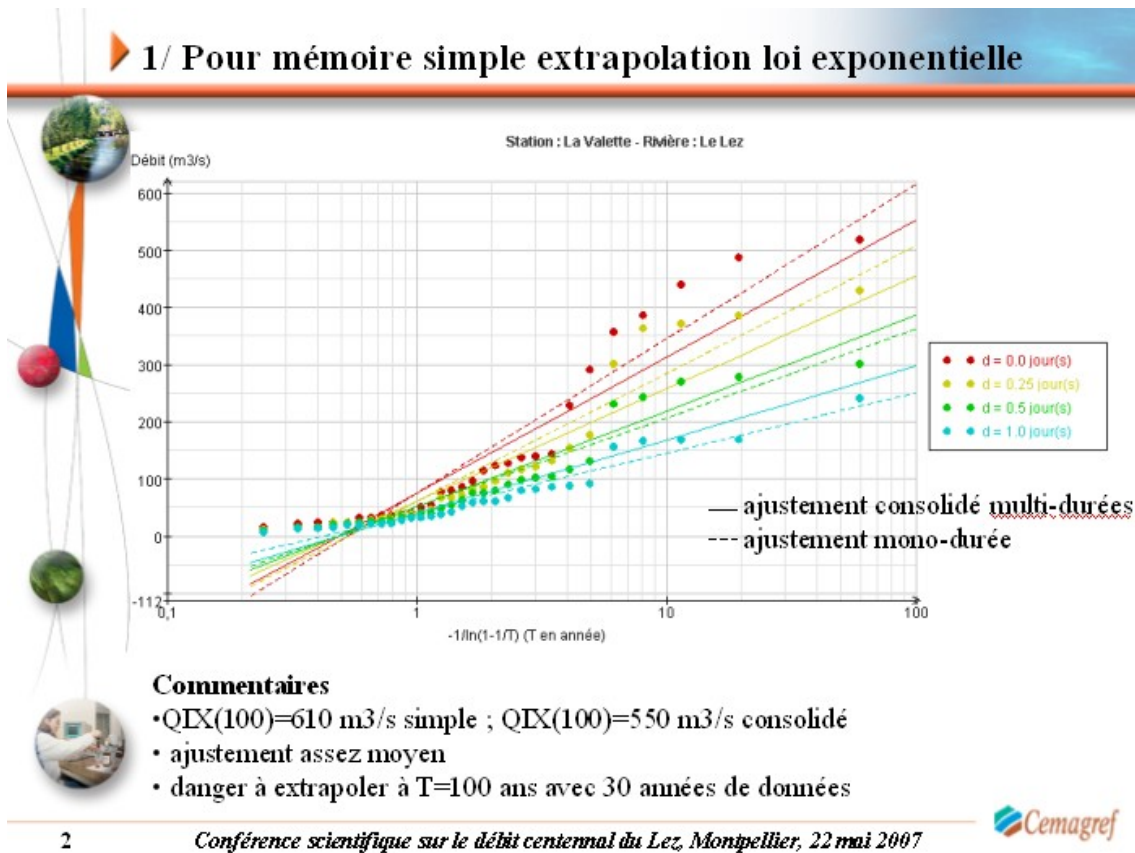
Pinault J.L., Plagnes.V., Aquilina.L., Bakalowicz.M. (2001).- Inverse modeling of the hydrological and the hydrochemical behavior of hydrosystems - Characterization of karst system functioning., *Water Resources Research*, Vol. 37, n° 8, p. 2191-2204

Thierry D., Bérard P. (1984).- Alimentation en eau de la ville de Montpellier - Captage de la source du lez - Etudes des relations entre la source et son réservoir aquifère. Rapport n°3.- Rapport BRGM 84 AGI171 LRO/EAU.

Roesch, A., Jourde, H. (2007).- Incidence d'une gestion active de la ressource en eau en milieu karstique sur le risque hydrologique. Exemple du Fleuve Lez (Montpellier, France).- Article scientifique en cours de rédaction.

#### 4.5.5 M. LANG : Application rapide de la méthode du Gradex. Estimation de la crue centennale du Lez à Lavalette

M. Lang pour le Cemagref Lyon, 22 mai 2007



## 2/ Extrapolation par la méthode du Gradex

### 2. Application « standard »

Gradex des pluies de 6h : atlas Cévennes-Vivarais  
→  $ap(6h)=22$  mm, soit  $ap(6h)=22[115\text{km}^2/(3.6*6h)]=117\text{m}^3/\text{s}$

Courbes QdF consolidées  
→  $QX6h(10)=260\text{m}^3/\text{s}$  ;  $QIX(10)=320\text{m}^3/\text{s}$   
→ Rapport de pointe  $RX6h=320/260=1.23$

Extrapolation par le gradex des pluies au-delà de  $Tg=10$  ans  
→  $QIX(100)=1.23[260+117*\text{Ln}(100/10)]=650\text{ m}^3/\text{s}$

#### Commentaires

- estimation du gradex des pluies : prise en compte lame spatiale ?
- superficie réelle du bassin ?
- fonctionnement à seuil du bassin ? (remplissage du karst)

4

Conférence scientifique sur le débit centennal du Lez, Montpellier, 22 mai 2007



## 2/ Extrapolation par la méthode du Gradex

### 3. Variantes

→ Analogie avec les pluies journalières  
Atlas Cévennes-Vivarais :  $ap(24h)=35\text{mm}$   
Infos Luc Neppel (HydroSciences Montpellier) :  $ap(1J)=27\text{mm}$  (lames spatiales BV Lez-Palavas)  
Abattement spatial gradex journalier 27/35

→ Superficie réelle du bassin versant  
 $S=200\text{ km}^2$  au lieu de  $115\text{ km}^2$

#### Gradex modifié des pluies de 6h :

→  $ap'(6h)=(27/35)*22=17\text{mm}$ , soit  $ap'(6h)=(200/115)*90.5=156\text{ m}^3/\text{s}$

Extrapolation par le gradex des pluies au-delà de  $Tg=10$  ans  
→  $QIX(100)=1.23[260+156*\text{Ln}(100/10)]=760\text{ m}^3/\text{s}$

Extrapolation par le gradex des pluies au-delà de  $Tg=50$  ans  
 $QX6h(50)=330\text{m}^3/\text{s}$   
→  $QIX(100)=1.23[330+156*\text{Ln}(50/10)]=540\text{ m}^3/\text{s}$

#### Commentaires

- fourchette :  $540-760\text{ m}^3/\text{s}$
- valeur initiale :  $650\text{ m}^3/\text{s}$

5

Conférence scientifique sur le débit centennal du Lez, Montpellier, 22 mai 2007



### 3/ Discussion



#### 1/ Ajustement sur les débits

- distribution empirique assez difficile à ajuster (même avec une loi à 3 paramètres)
- prise en compte de l'information sur les crues anciennes ?

#### 2/ Extrapolation par la méthode du Gradex

- bassin versant karstique difficile à modéliser simplement (hypothèse sur le remplissage du karst, superficie réelle du bassin ?)
- prise en compte de l'information pluviométrique spatiale au pas de temps horaire ?

#### 3/ Comparaison avec la méthode Shyreg

- information sur la distribution des pluies
- estimation débit centennal
- limites de la méthode sur le bassin du Lez ?





### **Éléments d'expertise de la crue du Lez**

- Les 5 crues remarquables du Lez depuis 2000
- Examen des jaugeages
- Éléments d'analyse des pluies et des débits

Version du 07 juin 2007

J. Lavabre avec la collaboration de C Fouchier et N Folton



## Les 5 crues remarquables du Lez depuis 2000 :

Date	Q max, Lavalette, m3/s	Qmax, Garigliano, m3/s
09/10/2001	292	314
12/12/2002	387	443
22/09/2003	94	203
03/12/2003	440	539
06/09/2005	487	516

Tab 1. Les 5 crues remarquables du Lez depuis 2000

### Remarques générales:

- Logiquement les débits de pointe à l'aval (Pont Garigliano, superficie de 147 km<sup>2</sup>) sont supérieurs aux débits estimés à la station de Lavalette (superficie de 115 km<sup>2</sup>).
- Mais les différences sont faibles si on considère que la zone aval entre les 2 stations est urbanisée (partie nord-est de Montpellier et Castelnau le Lez).
- Les débits spécifiques de pointe de crue, calculés d'après les surfaces des bassins versants topographiques, sont plus forts à Lavalette qu'à Garigliano, ce qui pourrait apparaître surprenant.
- Par contre, le même calcul effectué avec les superficies du bassin hydrogéologique (soit 380 km<sup>2</sup> pour le Lez à Lavalette et 412 km<sup>2</sup> à Garigliano) fait apparaître des ratios tout à fait comparables.
- Ce qui tendrait à démontrer la réalité des surfaces hydrogéologiques proposées par le BRGM mais toujours une faible production en crue de la partie urbaine à l'amont de la station du Pont Garigliano.
- La crue du 22/09/2003 montre un comportement particulier, le débit à Garigliano étant le double de celui à Lavalette.

### Examen des crues :

L'enregistrement des hauteurs et les hydrogrammes de crue font l'objet des figures 1 et 2. Les pluies qui ont occasionné ces crues sont reportées figure 3 (cartographie des pluies journalières à partir du réseau au sol de Météo France) et figures 4 à 6 (hyétogrammes horaires à partir de l'imagerie radar). Remarque : Nous n'avons pas contrôlé la concordance des pluies radar avec les observations au sol.

- **crue du 9 octobre 2001** : les débits de pointe sont du même ordre de grandeur. En début de crue l'hydrogramme à Lavalette est en avance d'environ ½ heure sur celui de Garigliano. Ce dernier croit ensuite brusquement, à partir de 18 heures. Effet du bassin intermédiaire ? On note un décalage de 45 minutes lors de la décrue entre la station amont et la station aval.

- **crue du 12 décembre 2002** : les hydrogrammes sont comparables et pratiquement synchronisés. On note, à 16 heures une brusque variation de l'hydrogramme à Garigliano. Cette brusque variation n'ait apparemment pas imputable à la pluie, la dernière averse intense ayant été enregistrée à 11h TU (figure 4). Ceci n'est pas gênant en soi, mais pose problème pour interpréter le jaugeage effectué entre 14 et 15 heures, si on considère difficilement admissible que le débit à Garigliano soit inférieur à celui de Lavalette entre 13 et 16 heures. Noter, figures 2 et 4 :

- le décalage temporel entre les averses de pluie et les pics de crue qui sont de l'ordre de 5 heures et la réaction plutôt molle du bassin : la crue est étale pendant 5 à 6 heures alors que l'averse n'a duré que 2 heures,
- le dernier pic de crue a été provoqué par une averse « anodine », de l'ordre de 10 mm en 1 heure. La réponse à la forte averse de la nuit du 11 (40 mm en 2 heures) avait été plus faible.

Il y a certainement quelque chose à faire en modélisation de la pluie en débit pour la prévision des crues à Montpellier, préférentiellement à du transfert d'information débit entre l'amont et l'aval !

- **crue du 22/09/2003** : la crue à Garigliano est nettement plus forte qu'à Lavalette. Le débit à Garigliano atteint 203 m<sup>3</sup>/s, soit pratiquement le double de l'amont. En considérant un retard de 1 heure entre Lavalette et Garigliano, le bassin intermédiaire aurait généré un débit de pointe de 125 m<sup>3</sup>/s ; soit un débit pseudo-spécifique de l'ordre de 8 m<sup>3</sup>/s/km<sup>1.6</sup>.

Le tableau 2 et la figure 3 mettent bien en évidence que ceci est le fait de la répartition spatiale des pluies, qui ont particulièrement affectées le bassin versant intermédiaire.

Bassin	Pluie journ. moyenne	Pluie jour. maximale
Lavalette ( surface 115 km <sup>2</sup> )	125 mm	223 mm
Garigliano (surface 147 km <sup>2</sup> )	141 mm	242 mm
Bassin intermédiaire( 32 km <sup>2</sup> )	212 mm	242 mm

Tab 2. Pluies journalières sur les bassins du Lez lors de l'événement du 22/09/2003.

Le bassin intermédiaire a été affecté par un cumul journalier important dont la moyenne spatiale est supérieure à 200 mm sur 32 km<sup>2</sup>, avec un pixel maximum de 242 mm. Nous disposons aussi pour cet événement de pluies radar HYDRAM au pas de 15

minutes (fig. 6). Il semblerait, au regard de la comparaison du cumul de l'événement avec les pluies au sol, que les pluies radar soient sensiblement sous estimées (de l'ordre de 30%). Il reste cependant intéressant de remarquer :

- le hyétogramme présente 3 corps d'averse,
- les plus fortes intensités en 15 minutes ont été observées sur le bassin intermédiaire,
- alors que les 3 pics sont en première approximation comparables, les 3 réponses du Lez à Garigliano sont très différentes avec une augmentation avec le temps,
- les temps de réponses sont nettement réduits par rapport à l'épisode du 12/12/2002, en raison du positionnement aval de la cellule orageuse ( pour le dernier corps d'averse la pluie se termine à 16h30 et la pointe de crue est observée à 18 heures. Noter que l'origine des temps entre les pluies (TU ?) et les débits (heure hiver ?) est certainement différente, ce qui réduirait de 1 heure le temps de réponse.

- **crue du 3 décembre 2003** : la crue à Garigliano est en avance par rapport à Lavalette. Le débit de pointe est assez largement supérieur à la station à l'aval (+ 20 %), sans que cela ne puisse être objectivement attribué à la zone urbaine car on n'observe pas de pic rapide que devrait engendrer la zone urbaine.

- **crue du 6 septembre 2005** : la crue à Garigliano est propagée de Lavalette avec un retard d'environ 30 minutes et des débits de pointe sont du même ordre de grandeur. On note en début et fin de crue des pointes plus marquées à Garigliano qui pourraient correspondre à des écoulements de la zone urbaine. C'est a priori le cas de la pointe de crue (216 m<sup>3</sup>/s) observée à Garigliano à 19h30 ( 130 m<sup>3</sup>/s une heure avant à Lavalette) qui correspond à une averse dont l'intensité horaire moyenne sur la partie du bassin à l'aval de Lavalette a atteint 33 mm (d'après pluie radar de Météo France)

*L'examen des 4 crues majeures (octobre 2001, décembre 2002, décembre 2003 et septembre 2005) met en évidence des débits de pointe de crue comparables (tout au moins dans un ratio voisin de celui des surfaces) entre Lavalette et Garigliano. Difficile de mettre en évidence un quelconque impact des écoulements de la zone urbaine, lors de ces 4 crues.*

*Le décalage des crues entre l'amont et l'aval est très faible et pas exploitable en prévision des crues. A l'inverse, au regard des délais de réponse du bassin versant (environ 4 à 5 heures), une modélisation de la pluie en débit, devrait générer une anticipation exploitable en prévision.*

*Bien que sensiblement plus faible en débit la crue du 22/09/2003 est d'un grand intérêt car elle permet d'estimer un ordre de grandeur des crues de la zone intermédiaire (Lirou et zone urbaine de Montpellier et de Castelnaud). Lors de cette crue, les apports intermédiaires sont de l'ordre de 125 m<sup>3</sup>/s. Il serait d'un intérêt évident d'essayer de récupérer des informations sur le Verdanson lors de cet événement, ce qui permettrait d'avancer un ordre de grandeur des débits de crue à l'aval de la station de Lavalette !*

*L'examen de cette crue confirme ce qui est aussi visible sur la pointe de crue secondaire de l'événement de septembre 2005. Des débits non négligeables, supérieurs à la centaine de m<sup>3</sup>/s peuvent être générés par les zones urbaines non comprises dans le bassin du Verdanson.*

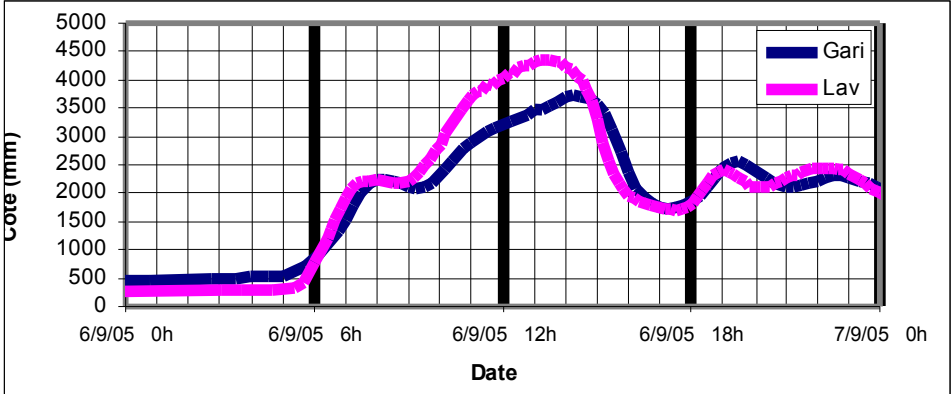
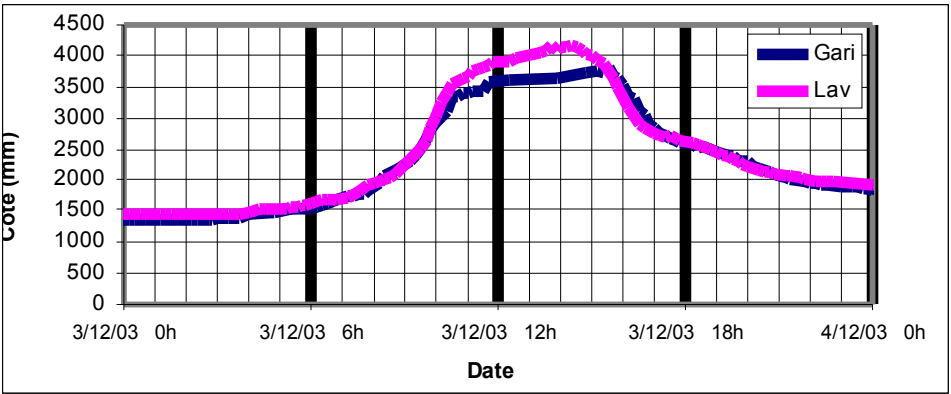
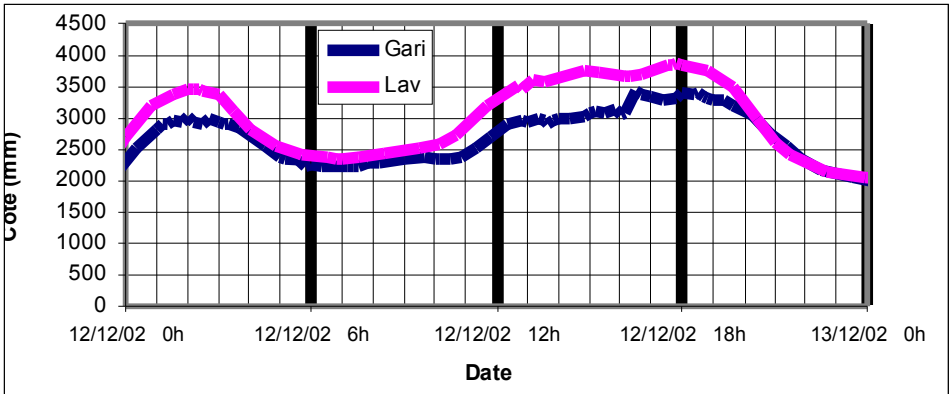
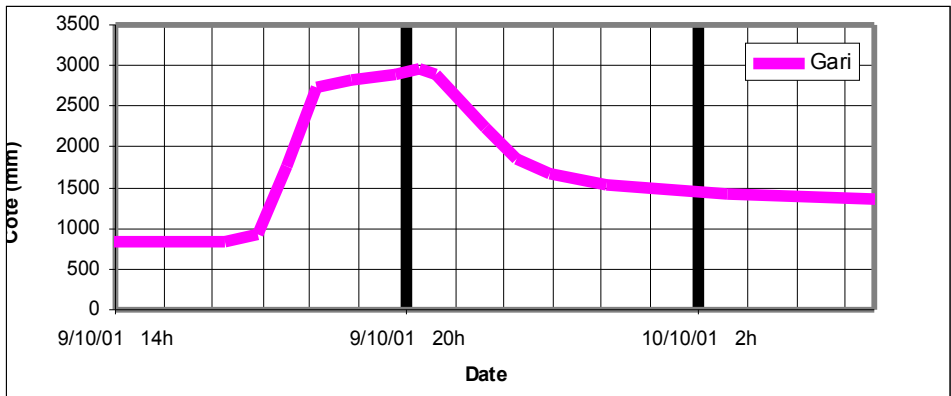


Figure 1 – Cotes du Lez aux deux stations

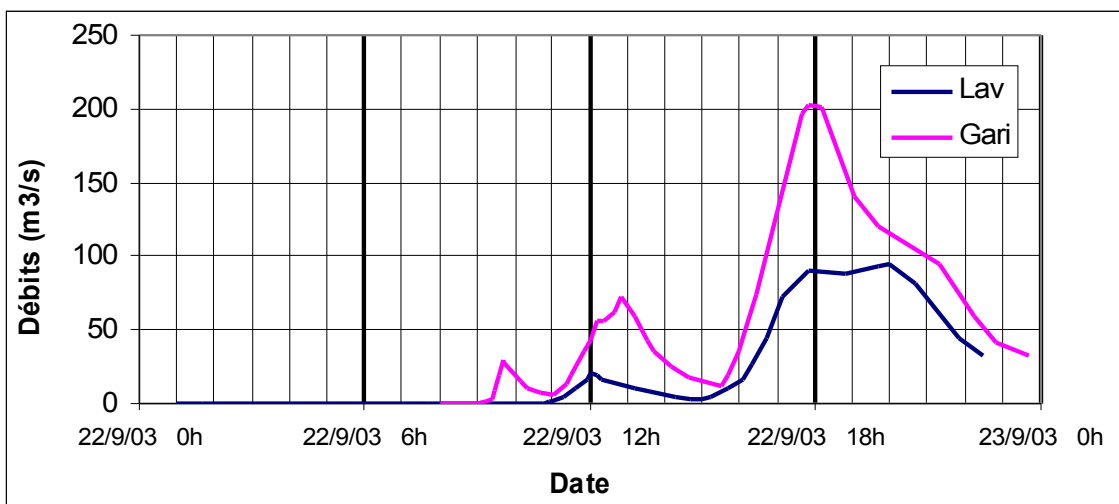
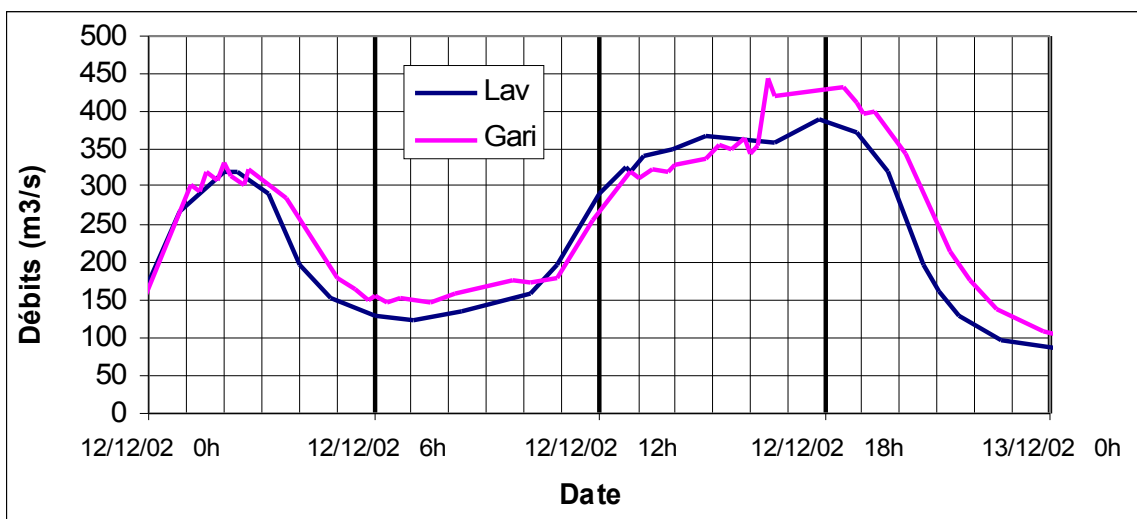
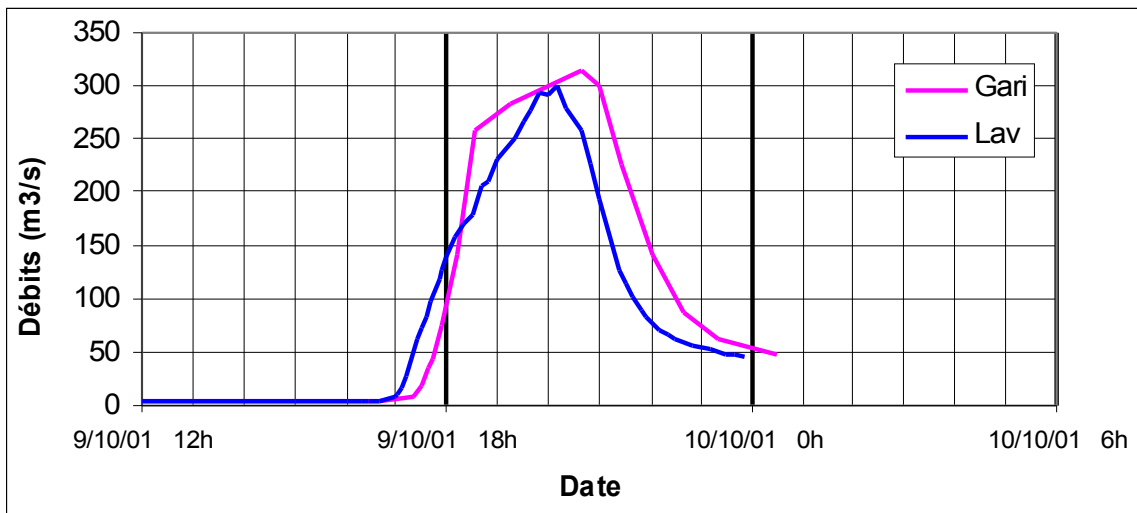


Figure 2 – Débits de crue du Lez aux deux stations

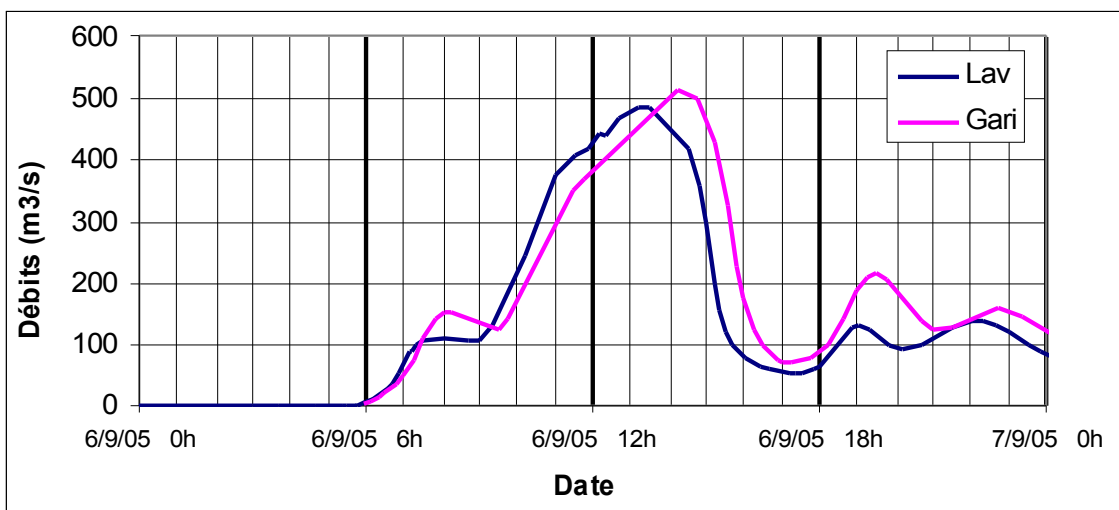
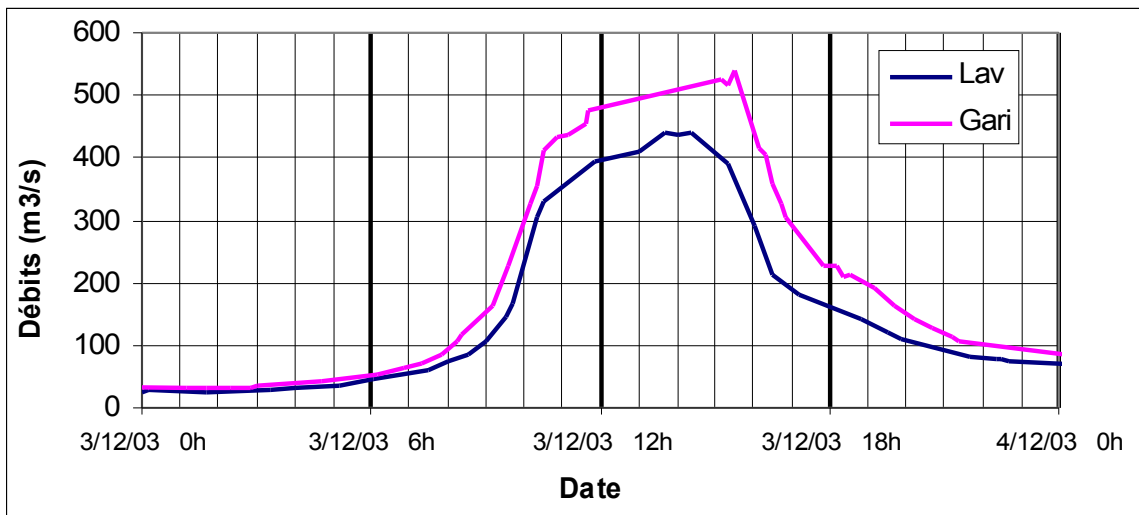
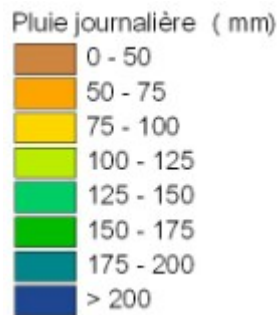
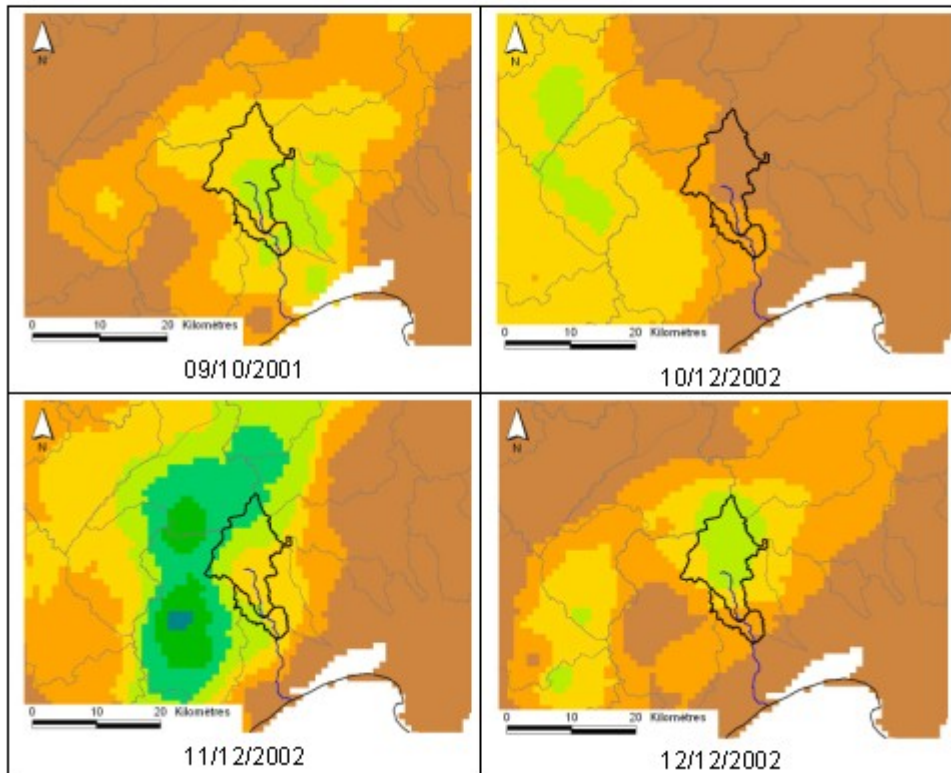


Figure 2 suite – Débits de crue du Lez aux deux stations



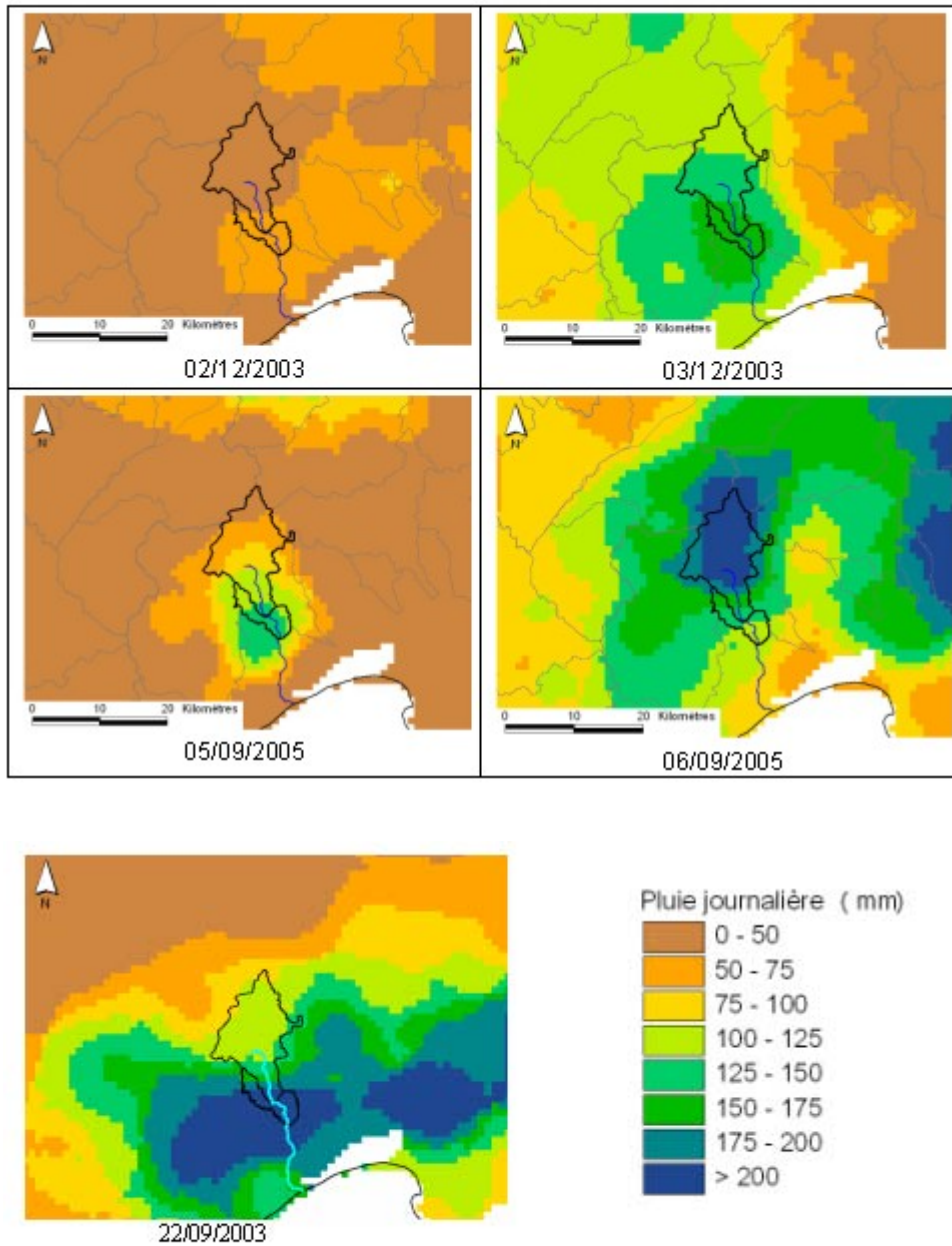


Figure 3 – Cartographique des pluies journalières, d'après le réseau de pluviomètres (source Météo France)



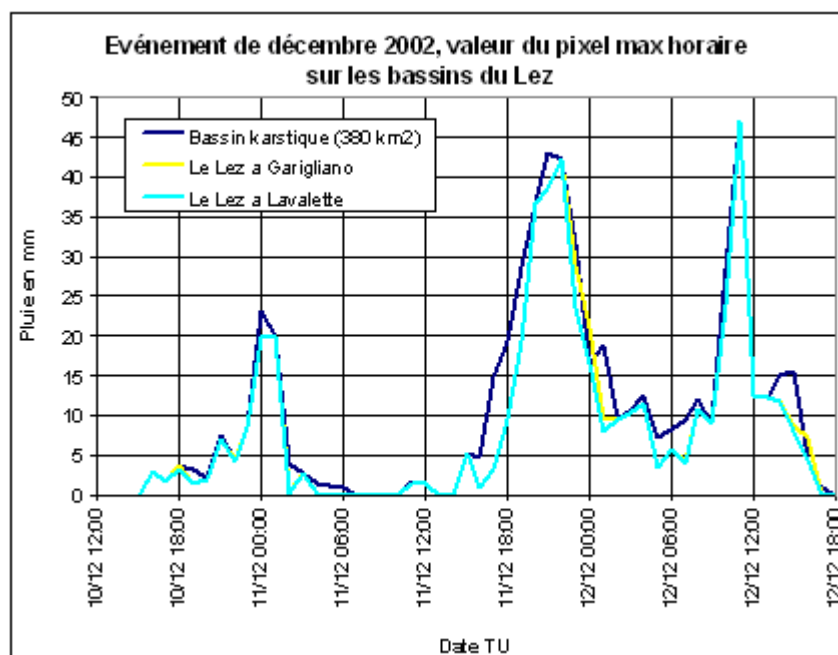
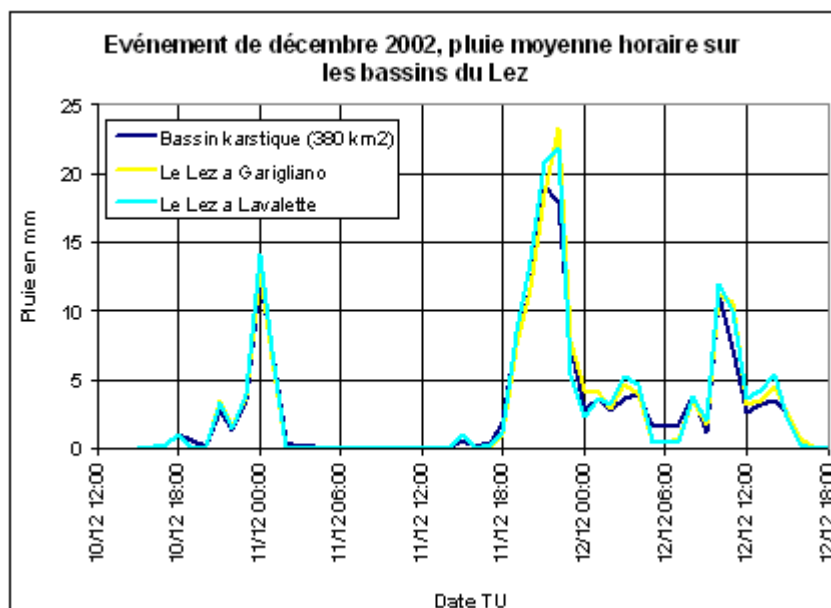


Figure 4 – Pluies horaires lors de l'événement de décembre 2002 (d'après imagerie radar HYDRAM – Source Météo France)

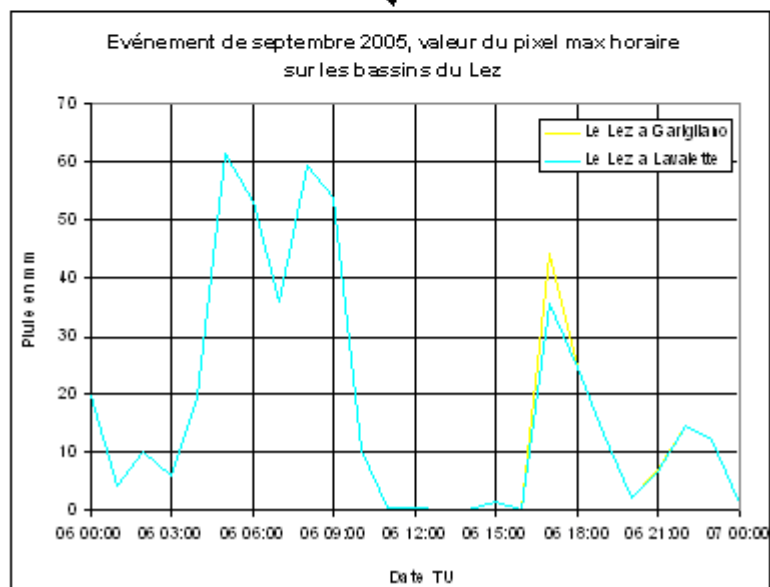
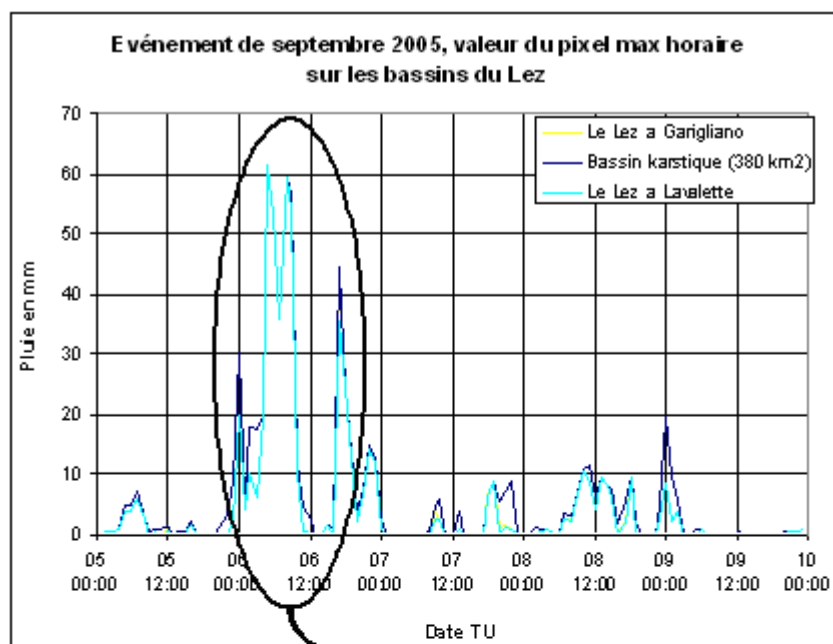


Figure 5 – Pluies horaires maximales lors de l'événement de septembre 2005 (d'après imagerie radar HYDRAM – Source Météo France)

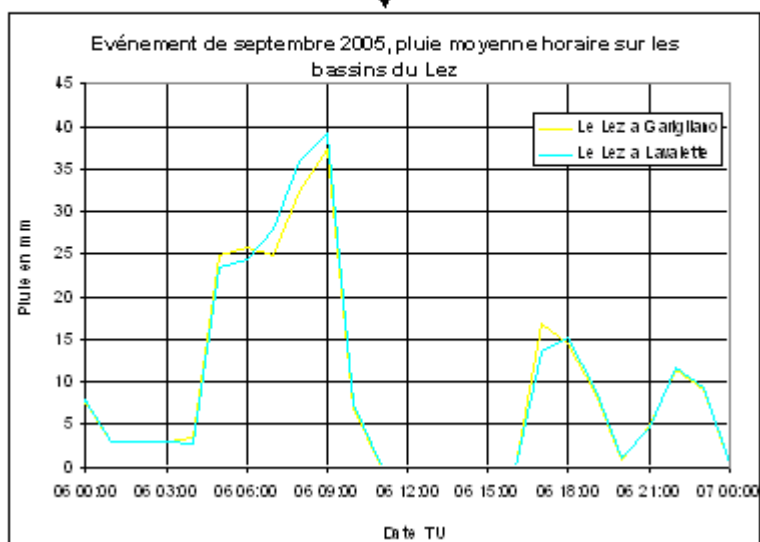
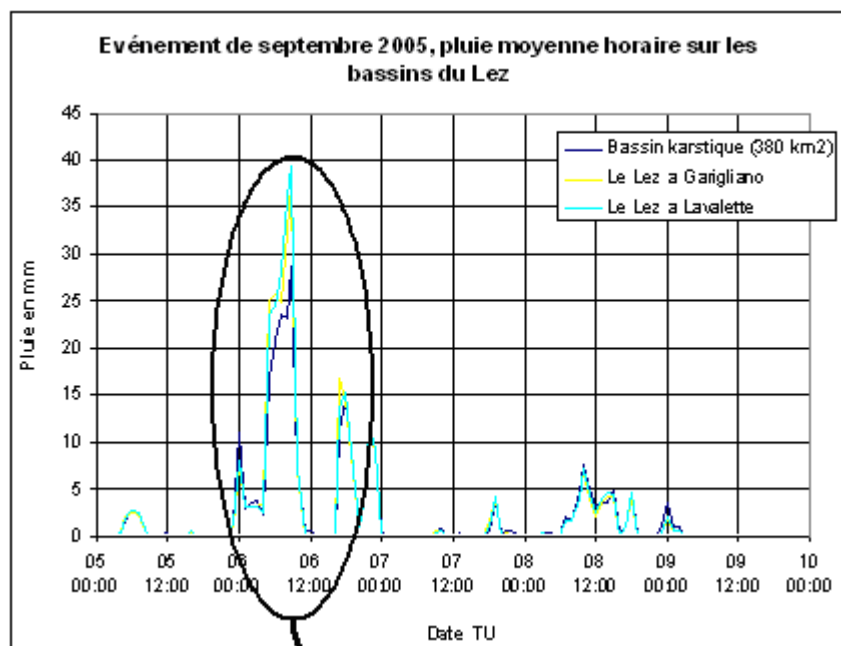


Figure 5 suite – Pluies horaires moyennes lors de l'événement de septembre 2005 (d'après imagerie radar HYDRAM – Source Météo France)

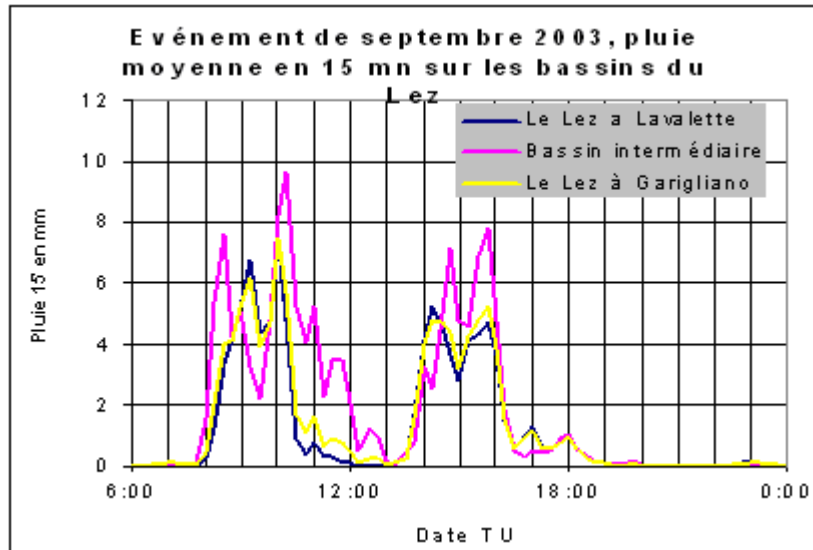
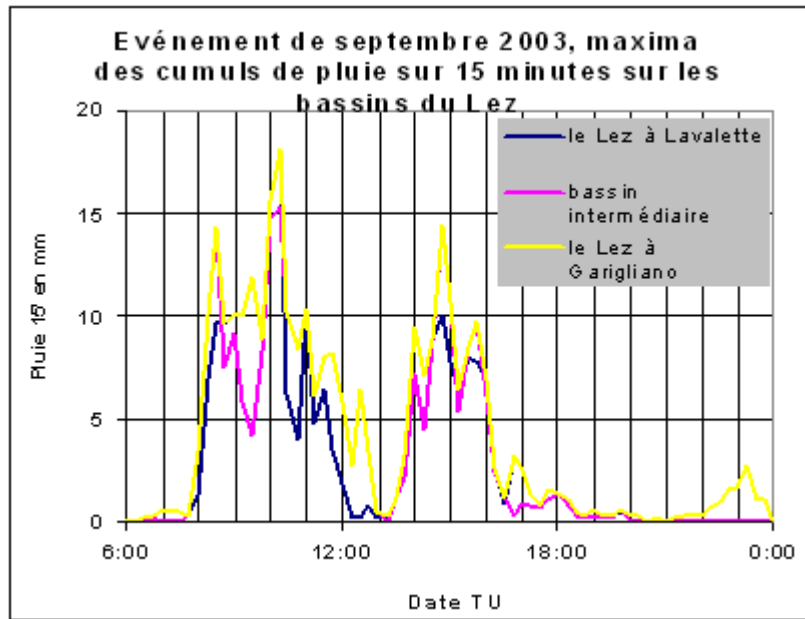


Figure 6 – Pluies de 15 minutes lors de l'événement de septembre 2003 (d'après imagerie radar HYDRAM – Source Météo France)

## Examen des jaugeages

### Le Lez au pont Garigliano

8 jaugeages, dont 2 élevés effectués le 12 décembre 2002 (181 m<sup>3</sup>/s, cote 240 ; 330 m<sup>3</sup>/s, cote 300)

	Sm	Pm	L	Vm	Vmax	Q	H échelle
5	19,74	23,06	22,7	0,83	3,22*	16,4	110
6	31,1	24,8	23,6	1,39	2,2	43,3	150
7	75,6	32,9	31,0	2,39	3,71	184,0	240
8 Zucarelli	198,0	71,4	62,0	1,75	2,35	330 (347)	300

Tab 2 : caractéristiques hydrauliques des jaugeages

Les jaugeages 6 et 7 ont été effectués depuis le pont Garigliano, respectivement les 11 et 12 décembre 2002. Le jaugeage 8 a été effectué au pont Zuccarelli, ce qui pose le problème de la connaissance simultanée de la cote au pont Garigliano et de la méconnaissance des apports intermédiaires par le Verdanson.

En faisant des hypothèses sur la pente de la ligne d'eau, on aboutit à des valeurs de Strickler admissibles (de l'ordre de 20, tableau 3)

Jaugeages	Pente	K	Pente	K	Pente	K
6	5 ‰	17	3 ‰	22		
7	5 ‰	19	3 ‰	25		
8			3 ‰	15	2 ‰	19

Tab 3 : Vérification « hydraulique » des jaugeages

### Les cotes échelle lors des jaugeages

L'échelle de la station est très courte et illisible en crue. Nous devons nous fier à l'enregistrement du capteur de hauteur.

*Nous préconisons la mise en place d'une échelle lisible sur la totalité des niveaux possibles car cela permettrait, à minima de récupérer la plus haute cote atteinte en cas de dysfonctionnement de l'enregistrement et permettrait calage et vérification du capteur de niveau lors des visites de la station, notamment en période de crue.*

	Date	Horaire et cote lors du jaugeage	Cote retenue	Q
6	11/12/2002	9h15 à 10h24 1520 - 1475	1500	43,3
7	12/12/2002	10h30 à 11h10 2357 - 2464	2400	181
8 Zucarelli	12/12/2002	14h03 à 15h05 ? - ?	3000	330

Tab 4 : Cotes enregistrées lors des jaugeages

Lors du jaugeage 7, le débit croit de 174 m<sup>3</sup>/s en début à environ 200 m<sup>3</sup>/s en fin de jaugeage. Correct d'attribuer un débit 180 m<sup>3</sup>/s à la cote 2400 mm.

Lors du jaugeage 8, les cotes, enregistrées à Garigliano sont les suivantes (tableau 5) :

12/12/02 10:31	2360
12/12/02 10:51	2370
12/12/02 11:21	2530
12/12/02 11:51	2720
12/12/02 12:21	2870
12/12/02 12:51	2980
12/12/02 13:01	2950
12/12/02 13:21	2990
12/12/02 13:31	2970
12/12/02 13:41	2920
12/12/02 13:51	2970
12/12/02 14:01	3010

12/12/02 14:21	2990
12/12/02 14:51	3030
12/12/02 15:01	3090
12/12/02 15:11	3120
12/12/02 15:31	3100
12/12/02 15:51	3150
12/12/02 16:01	3060
12/12/02 16:11	3100
12/12/02 16:31	3450
12/12/02 16:41	3370

Tab. 5 Horaires et cotes au Pont Garigliano lors du jaugeage 8

Sans tenir compte d'un décalage temporel entre le pont Garigliano et le pont Zuccarelli, les cotes à Garigliano pendant le jaugeage sont comprises entre 3010 et 3100. La DIREN retient la cote 3000 pour ce jaugeage dont le débit est estimé à 330 m<sup>3</sup>/s. Ce qui nous apparaît correct si l'on considère un décalage de 15 à 30 minutes entre les 2 ponts.

Par contre 2 points attirent notre attention :

- les apports intermédiaires de la zone urbaine via le Verdanson sont négligés,
- la brusque variation de cote au pont Garigliano entre 16h11 et 16h31, qui induirait une variation de débit de 91m<sup>3</sup>/s en 20 minutes, nous apparaît suspecte. En faisant l'hypothèse, d'un fonctionnement défectueux de l'enregistreur entre 12 et 16 heures, la cote échelle à affecter au jaugeage serait plus forte, de l'ordre de 3150-3200 mm. Cela entraîne une incertitude non négligeable de la courbe de tarage de l'ordre de 15 % sur sa partie haute (au-delà de 200 m<sup>3</sup>/s).

Autres points à remarquer :

- 1) La prise de pression, qui se situe au droit de l'échelle, est implantée trop près du seuil. Ce qui implique, en période de crue, que la cote enregistrée est dans la courbe de remous du seuil. Ceci entraîne une imprécision de lecture de cote et une indétermination pour utiliser les formulations hydrauliques de déversement au dessus d'un seuil. La figure 8 met bien en évidence cela : la droite théorique en retenant 3/2 de la hauteur est assez proche des jaugeages alors que la formulation avec la hauteur enregistrée se situe nettement en dessous. Noter aussi, que la courbe théorique en 3/2 de la hauteur se situe au dessous de la courbe de tarage en vigueur.
- 2) un levé de la section en travers du seuil de contrôle de la station a été effectué. Le seuil mesure 24 m (cote 13.5 m) et s'élargit en trapèze jusqu'à la cote 16.26 pour atteindre une largeur d'environ 30 m. Au-delà la section s'élargie indéfiniment en rive droite. La formule de déversement conduit, au-delà de la cote échelle 336 cm (= zéro échelle 60 - 1350 + 1626), soit un débit de l'ordre de 400 m<sup>3</sup>/s, à une sous estimation des débits.

Conclusion :

*Une incertitude non négligeable affecte la partie haute de la courbe de tarage de la station du pont Garigliano. Le levé topographique du seuil ne permet pas de préciser l'allure de la partie haute de la courbe de tarage. Outre, autres jaugeages à venir, une modélisation hydraulique fine du seuil, notamment du profil en long afin de vérifier les conditions de dénoisement du seuil permettrait de mieux cerner les débits de hautes eaux.*

## Le Lez au pont de Lavalette

Selon les informations fournies par la DIREN, les principaux jaugeages datent de la fin des années 1970. Notons, tab 6, que les 3 jaugeages > 50 m<sup>3</sup>/s, ont été effectués à cette période.

Excepté un jaugeage à 21.7 m<sup>3</sup>/s, effectué le 5 février 1987, nous ne disposons pas d'autre information pour contrôler la courbe de tarage au-delà de 5 m<sup>3</sup>/s.

Nous n'avons pas non plus d'information sur le jaugeage maximum qui nous permette de le valider, ni d'information topographique sur la section de contrôle.

No jaugeage	Débit m <sup>3</sup> /s	Cote cm	Date
46	37	152	30/10/1977
47	63,8	178	30/10/1978
51	292	325	30/11/1979
50	58	178	30/10/1979

Tab 6. Principaux jaugeages de la station de Lavalette

Essai de validation par les jaugeages de décembre 2002.

Le jaugeage 7 (débit de 181 m<sup>3</sup>/s) a été effectué entre 10h30 et 11h10, au pont Garigliano. Une heure avant, vers 9 heures, la cote à Lavalette atteignait 250 cm environ (Fig1 et Tab 7). Pour le jaugeage 8 (débit de 330 m<sup>3</sup>/s), nous pouvons lui affecter une cote à Lavalette, autour de 350 cm ( tab 7).

*Ces 2 points collent relativement bien sur la courbe de tarage de la station (figure 9). Nous concluons que les 2 jaugeages de décembre 2002 confortent globalement la partie haute de la courbe de tarage de Lavalette, mais avec une surestimation difficilement chiffrable car nous négligeons les apports intermédiaires entre Lavalette et Garigliano pour le jaugeage 7 et entre Lavalette et le pont Zuccarelli pour le jaugeage 8 (330 m<sup>3</sup>/s)*

Lavalette			Garigliano		
12/12/2002	Débit, m <sup>3</sup> /s	Hauteur, cm	12/12/2002	Débit, m <sup>3</sup> /s	Hauteur, cm
8h21	135	244	8h11	160	229
10h11	159	258	9h41	177	237
10h51	198	274 (10h41)	10h11	174	236
12h01	291	321 (11h41)	10h51	178	237
12h41	327	352	11h51	255	272
12h51	319	348	12h51	321	298
13h11	342	361	13h01	313	295
13h57	350	360 (13h31)	13h21	324	299
14h51	367	375	13h51	319	297
16h41	360		14h01	328	301
17h51	387	387	14h51	334	303
			15h11	356	312
			15h31	351	310
			15h51	364	315

Tab 7. Cotes et débits à Lavalette et à Garigliano lors des jaugeages du 12 décembre 2002.



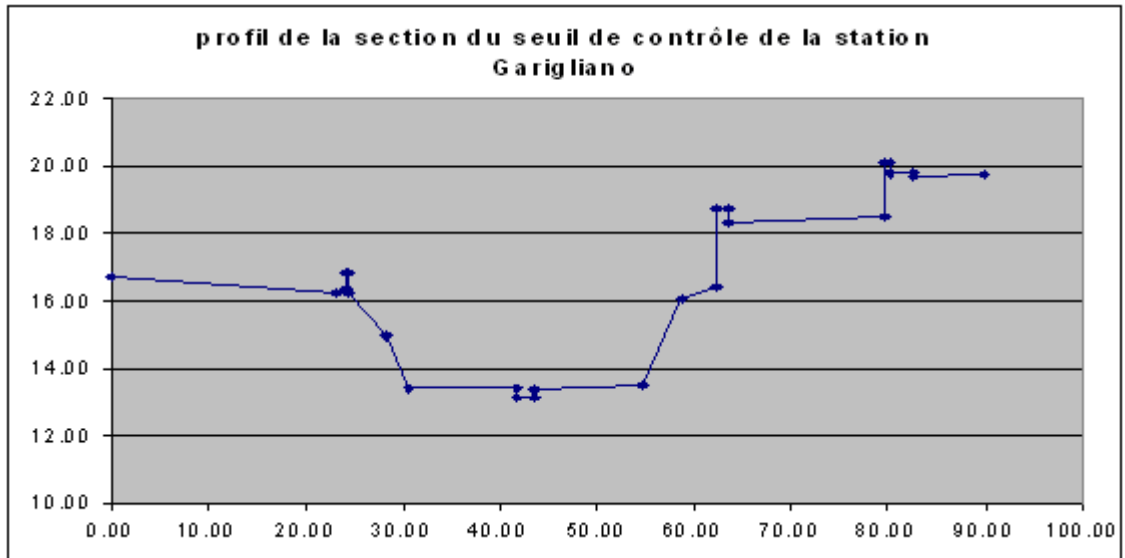


Figure 7 : section en travers de la station de contrôle du Lez à Garigliano.

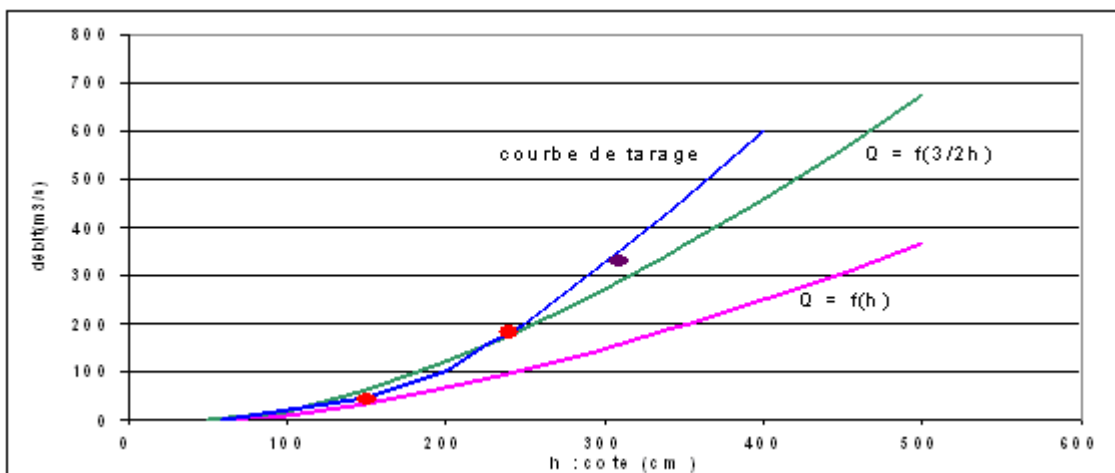


Figure 8 – Tarage de la station Garigliano

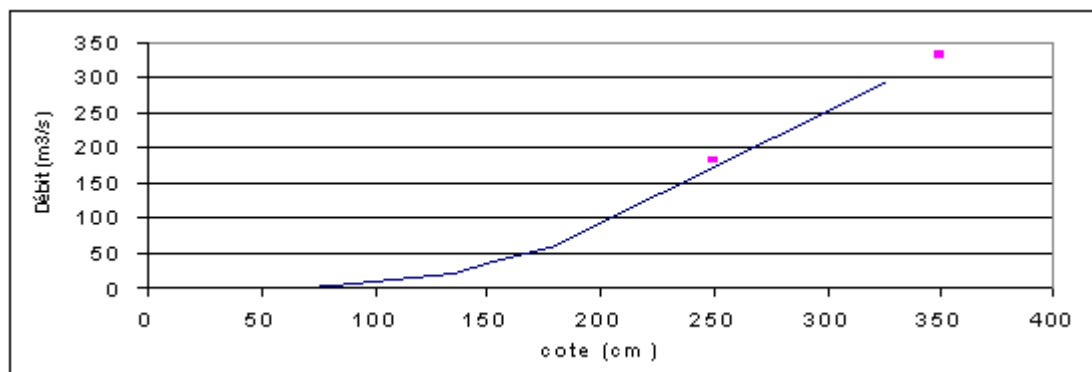


Figure 9 – Courbe de tarage de la station de Lavalette et report des deux jaugeages

# Eléments d'analyse des pluies et des débits

## Les pluies SHYREG

Les pluies de différentes durées et différentes périodes de retour du tableau 6 sont extraites de la base nationale élaborée selon la méthode SHYREG. Rappelons que la méthode a permis de générer une base de pluies à une maille kilométrique. Les pluies du tableau 8 sont celles d'un pixel de la partie centrale du bassin versant, sachant que l'on note un gradient pluviométrique entre l'aval et l'amont du bassin versant. Selon SHYREG, les quantiles décennaux des pluies de 24 heures ont une valeur moyenne de 181 mm, avec comme valeurs extrêmes 161 mm (-11%) et 209 mm (+15%). La dispersion serait légèrement moindre pour le quantile centennal qui varie entre -9% et + 11% autour d'une valeur moyenne de 319 mm.

	100 ans	50 ans	20 ans	10 ans	5 ans	2 ans
<b>P1HEURE</b>	86.9	75.5	61.9	52.2	43.2	32.9
<b>P2HEURES</b>	105.8	93.5	77.9	66.5	56.1	43.6
<b>P3HEURES</b>	123.8	110.7	93.4	80.7	68.3	53.8
<b>P4HEURES</b>	139.8	125.1	106.0	92.1	78.4	61.9
<b>P6HEURES</b>	170.7	150.3	126.1	108.6	92.3	73.5
<b>P12HEURES</b>	247.9	219.1	177.1	147.5	123.0	95.4
<b>P24HEURES</b>	327.5	286.0	229.9	188.6	152.2	114.2
<b>P48HEURES</b>	381.7	338.4	273.1	221.5	177.2	132.4
<b>P72HEURES</b>	402.5	357.3	289.4	234.4	188.8	142.6

Tab 8 : pluies SHYREG sur un pixel central du bassin versant du Lez

Notons que les gradex des pluies sont assez élevés, de l'ordre de 60 mm pour les pluies de 24 heures. La pluie de 24 heures de fréquence millénale serait de l'ordre de 450 mm, nettement plus faible que les totaux qui ont affectés la partie aval de la zone cévenole en septembre 2002 qui ont atteint des valeurs de l'ordre de 600 mm.

Remarque : les valeurs ci-dessus sont ponctuelles et un coefficient réducteur doit être appliqué pour estimer la pluie de bassin afin de prendre en compte la variabilité spatiale.

Nous reportons en annexe une note transmise par L Neppel. Il propose une estimation des pluies journalières (origine fixe) d'après l'approche régionale qu'il a développée. Les quantiles décennal et centennal moyens sur le bassin du Lez seraient respectivement de 135 mm et 229 mm, avec une variation sur le bassin de l'ordre de +/- 11%, tout à fait comparable à l'approche SHYREG. Par contre les quantiles moyens diffèrent quelque peu. Mais, après correction du rapport de centrage (+15% entre les pluies de 24 heures d'origine fixe et mobile), les écarts avec les pluies SHYREG (de l'ordre de 20%) restent dans des limites admissibles de l'incertitude qui entache ce genre d'estimation statistique.

Nous reportons, tableau 9, les pluies journalières observées lors des derniers événements. Ces pluies sont des pluies de bassin (intégration sur le bassin versant topographique du Lez à Lavalette) d'après une grille kilométrique fournie par Météo France et construite à partir du réseau au sol des observations journalières. Ce sont des pluies à origine fixe et moyennes sur le bassin, a priori sensiblement sous estimées par rapport à SHYREG.

date	Pluie journalière intégrée sur le bassin du Lez (mm)
<b>08/09/2002</b>	<b>110</b>
<b>11/12/2002</b>	<b>105</b>
<b>12/12/2002</b>	<b>102</b>
<b>22/09/2003</b>	<b>125</b>
<b>03/12/2003</b>	<b>136</b>
<b>06/09/2005</b>	<b>201</b>
<b>13/09/2006</b>	<b>129</b>

Tab 9 : pluies journalières sur le bassin du Lez, d'après les observations du réseau de pluviomètres.

La pluie décennale SHYREG (181 mm) a été dépassée le 06/09/2005 et les 11 et 12 /12/2002 en remarquant figure 3, que le total de ces 2 jours est tombé en moins de 24 heures.

Statistiquement cela n'est pas exceptionnel mais pourrait conforter quelque peu l'ordre de grandeur des estimations proposées par SHYREG.

## Le bassin versant du Lez

Les débits de crue, estimés à la station de jaugeage de Lavalette, sont importants. En 30 ans d'observation, on note :

- 6 crues dont le débit a dépassé 300 m<sup>3</sup>/s ; cette valeur serait donc empiriquement d'ordre quinquennal ;
- 3 crues supérieures à 440 m<sup>3</sup>/s (ordre décennal)
- une valeur maximale de 519 m<sup>3</sup>/s, en septembre 1976.

En, ne se référant qu'au bassin versant topographique qui est de **115 km<sup>2</sup>**, les débits de crue pseudo spécifique (m<sup>3</sup>/s/km<sup>1.6</sup>) atteindraient des valeurs de l'ordre de 10 m<sup>3</sup>/s/km<sup>1.6</sup> pour une fréquence d'ordre décennal. Ces valeurs excessives, au regard des pluies, tendent à indiquer que la zone d'alimentation karstique du réseau de drainage est active en crue et que le bassin hydro géologique déborde largement du bassin versant topographique. Le BRGM avance un bassin versant d'alimentation souterraine de **380 km<sup>2</sup>**, sachant que l'on observe sur ces limites géologiques des écoulements de surface qui échappent au bassin versant du Lez. On peut raisonnablement penser que l'ensemble du bassin hydro géologique contribue à la saturation du bassin versant du Lez, sans pour cela que la totalité soit productive en crue. Des questions restent posées :

- quel est l'ordre de grandeur des apports souterrains en crue ?
- quelle est la surface réellement contributive pour les écoulements rapides de crue ?

## Pluies et écoulements

Nous avons recensé, tableau 10 les pluies et les débits des événements d'automne depuis 2001. Cette période couvre 4 des événements les plus forts observés.

Le débit est celui observé à la station de Lavalette ; les pluies ont été intégrées sur le bassin versant hydro-géologique (380 km<sup>2</sup>), à partir des données journalières (6 heures TU) du réseau au sol ; les lames écoulées à la station de Lavalette ont été calculées sur une surface de 380 km<sup>2</sup> ; le déficit d'écoulement est calculé comme la différence entre les pluies et les lames écoulées.

date	Qp Lav m <sup>3</sup> /s	Pluie mm 380km <sup>2</sup>	Durée jours	Lame mm 380 km <sup>2</sup>	déficit mm
29/09/2001	3	51	1	0	51
07/10/2001	72	71	1	4	67
09/10/2001	292	85	1	17	68
08/09/2002	116	166	2	14	152
12/12/2002	387	272	4	78	194
22/09/2003	94	123	1	8	115
28/10/2003	53	44	1	7	37
16/11/2003	69	103	2	14	89
03/12/2003	440	212	3	47	165
11/09/2004	19	64	1	0	64
05/09/2005	487	238	2	48	190
13/09/2006	25	117	1	2	115
24/09/2006	24	67	1	4	63

Tab 10 Caractéristiques hydrologiques des crues d'automne depuis 2001

Remarques :

- Les 3 plus fortes crues (au sens du débit de pointe) sont générées par des cumuls de pluie importants sur plusieurs jours. S'il est hydrologiquement admissible (et heureusement) que les crues importantes sont observées lors de fortes pluies, il est intéressant de constater que le bassin du Lez est a priori fortement sensible à la saturation. Cette remarque va tout à fait dans le sens du fonctionnement karstique du bassin.

- Les 3 événements de crue de 2001 mettent bien en évidence le rôle de la saturation progressive du bassin, qui réagit fortement (292 m<sup>3</sup>/s) à une pluie journalière modeste (à voir cependant les intensités horaires de cette pluie) après une pluie 71 mm deux jours avant.

- Sur la figure 10, on constate qu'au-delà d'une pluviométrie cumulée supérieure à 150-200 mm, les lames écoulées croissent fortement. Et figure 11, la bonne concordance des débits de pointe de crue avec les lames écoulées.

- Les totaux de pluie qui ont provoqué les plus fortes crues (05/09/2005, 03/12/2003) ne sont pas exceptionnels. La fréquence ponctuelle de ces pluies serait, d'après SHYREG, d'ordre décennal à vingtenal. Certainement un peu plus élevée car nous comparons des pluies spatiales à des pluies ponctuelles, mais en restant d'une fréquence largement inférieure à la centennale.

- réciproque : le débit centennal du Lez à Lavalette est certainement largement supérieur aux débits observés ces dernières années

## **Quid de la formation des crues du Lez et de la concomitance des crues rurales et des crues urbaines**

Le bassin versant d'alimentation du Lez, à l'amont de Montpellier, déborde largement du bassin versant topographique. L'ordre de grandeur du bassin hydro géologique avancé par le BRGM est hydrologiquement admissible au regard des crues observées. Ceci est conforté par l'examen des lames écoulées calculées sur le bassin hydro géologique dont l'ordre de grandeur est acceptable au regard des cumuls de pluie. Ce qui n'est pas le cas lorsqu'on calcule les lames écoulées sur uniquement le bassin topographique, les écoulements pouvant être supérieurs aux pluies.

La question de la zone réelle d'alimentation en crue reste toutefois posée, le bassin versant hydrogéologique du Lez étant en surface partiellement drainé vers le Vidourle. De même, nous n'avons qu'une idée approximative des apports du karst en crue à travers les quelques résurgences connues (il semblerait que la résurgence de la source du Lez soit limitée à un débit de 30 m<sup>3</sup>/s).

Les hydrogrammes ruraux ne sont pas très pointus : le débit est pratiquement étale pendant plusieurs heures pour certaines crues (nous ne pensons pas que cela soit consécutif à des débordements). Ceci est une conséquence du mode de formation des crues avec prédominance d'écoulements souterrains. Cette forme est propice à une concomitance de la crue rurale avec les apports urbains. Cependant on peut opposer que les débits ruraux et urbains ne sont pas générés par le même type de pluie.

Cela semble le cas des 4 plus fortes crues observées pour lesquelles il n'est pas évident de mettre en évidence une augmentation significative des débits, imputables à la zone urbaine nord est de Montpellier et de Castelnau le Lez, entre les stations de Lavalette et Garigliano. D'autant que l'on se situe dans l'incertitude de la partie haute des courbes de tarage.

Par contre, pour la crue de septembre 2003, en grande partie générée par des pluies intenses sur la partie aval du bassin, un delta de débit de l'ordre de 125 m<sup>3</sup>/s est observable entre Lavalette et Garigliano. Un tel accroissement de débit est aussi visible (quoique plus faible) lors de la pointe secondaire de la crue de septembre 2005. Et rappelons que le Verdanson, qui draine la zone centrale de Montpellier, est susceptible de générer des pointes de crue de plusieurs dizaines de m<sup>3</sup>/s (la capacité maximale de l'aménagement est voisine de 80 m<sup>3</sup>/s).

Sur la base de ces constatations, dont les estimations doivent être confortées, un débit urbain de la zone drainée par le Lez de 200 m<sup>3</sup>/s est probable.

Mais la probabilité de concordance des pointes de crue rurale et urbaine m'échappe à ce niveau d'analyse !

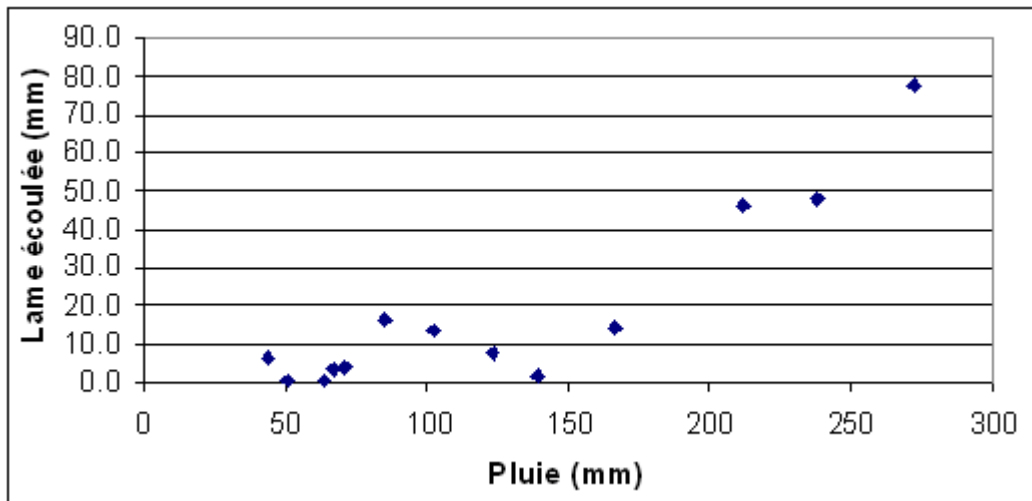


Figure 8 – Variation des lames écoulées du Lez à Lavalette en fonction de la pluie du bassin

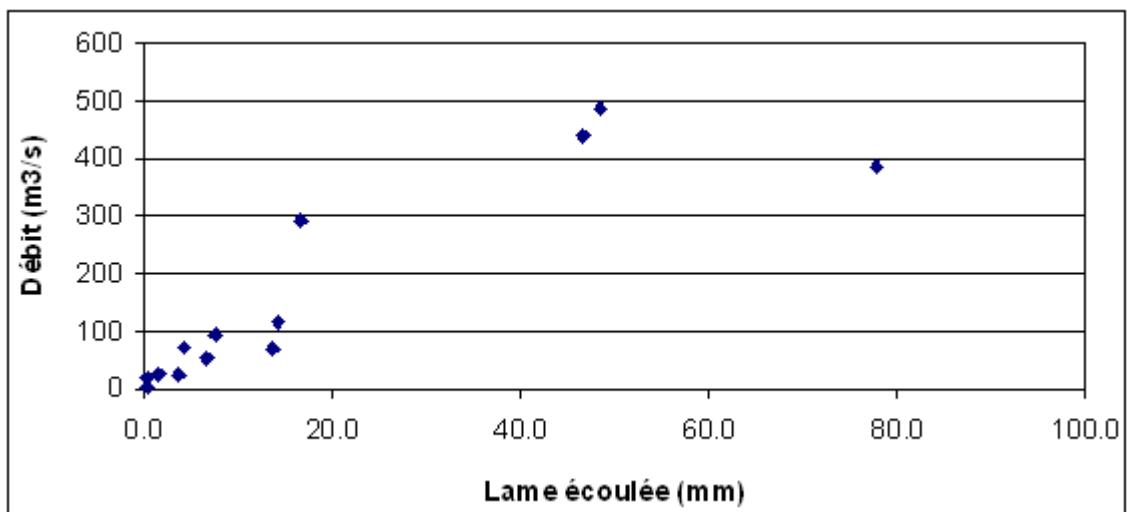


Figure 9 – Variation des débits de pointe de crue Lez à Lavalette en fonction des lames écoulées

**Document annexe transmis par L. Neppel (Hydro sciences Montpellier)**

## APPLICATION DE LA LOI REGIONALE DES PLUIES JOURNALIERES MAXIMALES ANNUELLES SUR LE BV TOPO DU LEZ.

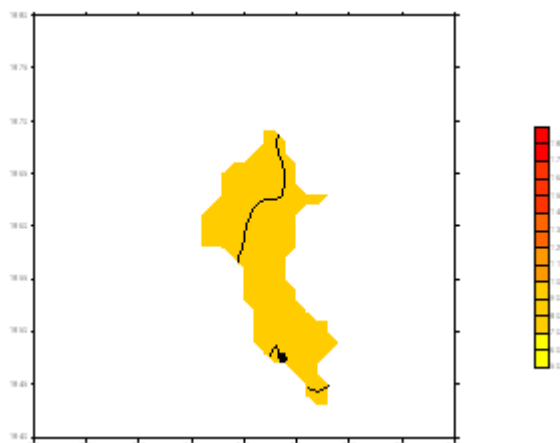
La loi régionale des pluies journalières maximales annuelles est donnée par :

$$(1) \quad y(T) = 2.231(-LN(1 - 1/T))^{-0.13} - 1.441$$

Où  $y(T)$  est le quantile réduit

En un point donné, un quantile de pluie journalière maximale annuelle se calcule en multipliant le quantile réduit issu de (1) par le paramètre « pluie journalière maximale annuelle moyenne » (PJM) calculé au point considéré. Sur le Lez la cartographie de PJM à partir des caractéristiques du relief et des valeurs de PJM calculées sur une centaine de stations journalières du Gard et de l'Hérault donne :

PJMmax (mm)	98
PJMmin (mm)	78
PJMmoyen (mm)	87.5
PJMmedian (mm)	86.7



Cartographie de PJM (mm) sur le BV topo du Lez.

Les quantiles réduits obtenus avec la loi régionale (1) sont 1.548 en décennal et 2.616 en centennal. Soit sur le BV du Lez :

	T=10 ans	T=100 ans
Min	120.7	203.9
Max	151.2	255.4
Moyen	135.4	228.9
Médian	134.3	226.9
Ecart type	7.7	20.1

Distribution des quantiles de pluie journalières maximales annuelles ponctuelles sur le Lez.

Ainsi on peut en déduire que la pluie maximale annuelle en 24h médiane sur le BV est de l'ordre de 155 mm en décennal et 260 mm en centennal, avec localement des maxima de 173 mm en décennal et 290 mm en centennal.

#### 4.5.7 P. BOIS : Le Lez à Lavalette. Examen des documents et analyse concernant la courbe de tarage

### Rapport provisoire du 12 juin 2007 Par Philippe Bois Professeur d'hydrologie à INPG Grenoble

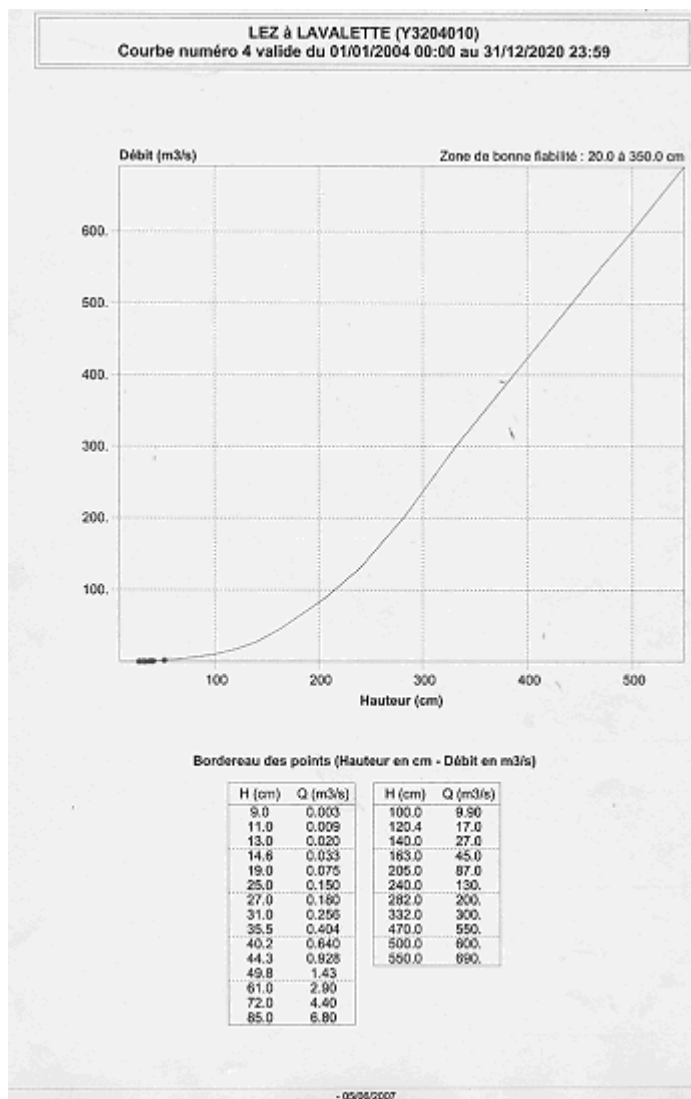
#### Préambule :

Nous nous sommes rendus à la DIREN Montpellier le 5 juin 2007 où nous avons été reçu par M. Braudeau.

Les dossiers étaient prêts ; malheureusement le dossier marqué Hérault Lavalette concernait une station plus élevée que Lavalette sur le Lez correspondant à une autre station. Nous n'avons pu trouver le dossier de Lavalette sur le Lez, si bien que nous avons travaillé essentiellement sur les documents fournis par la procédure BAREME.

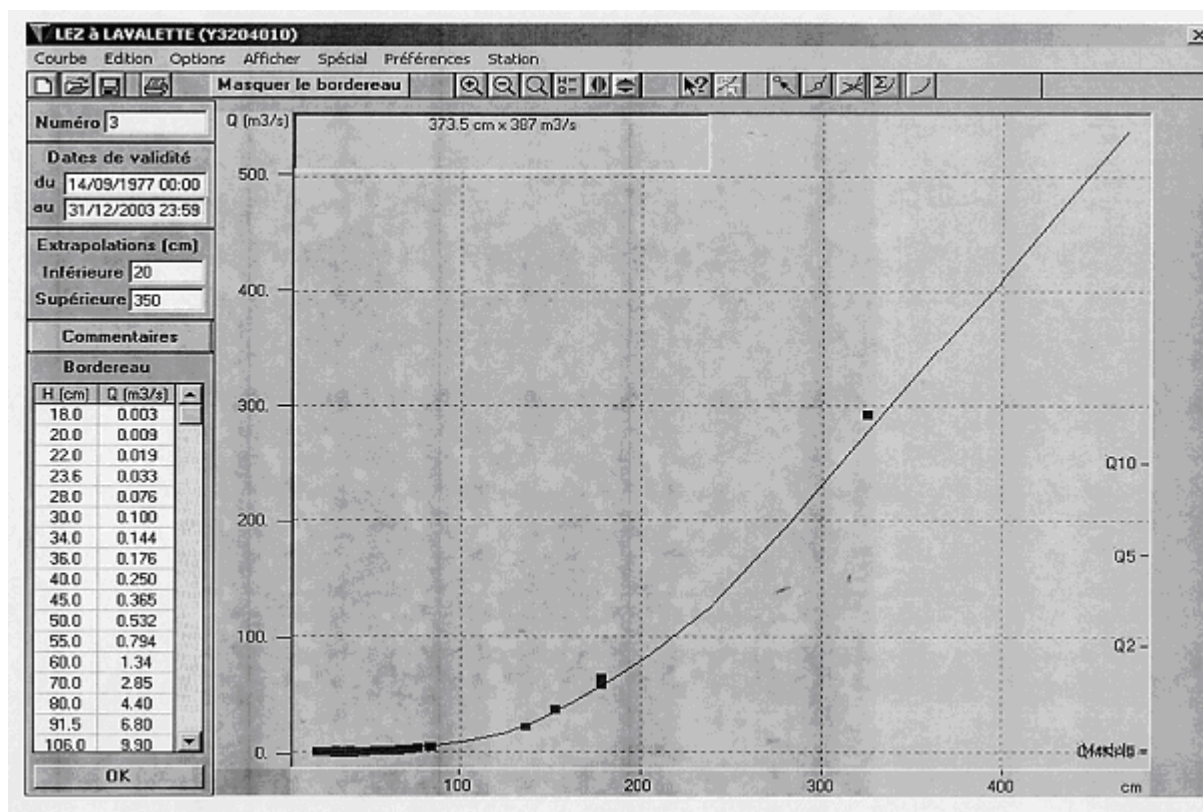
#### Documents extraits :

#### 1 Courbe de tarage et barème :





## 2 Courbe de tarage avec points jaugés :

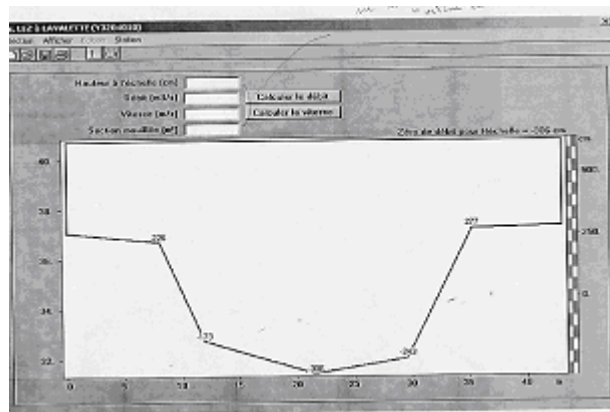


### Remarques :

La courbe de tarage dans sa partie au dessus de 100 m<sup>3</sup>/s semble fondée essentiellement sur le jaugeage à 300 m<sup>3</sup>/s dont on nous avait parlé lors d'une réunion. L'extrapolation semble tout à fait linéaire en débit-hauteur.

## 3 Section mouillée :

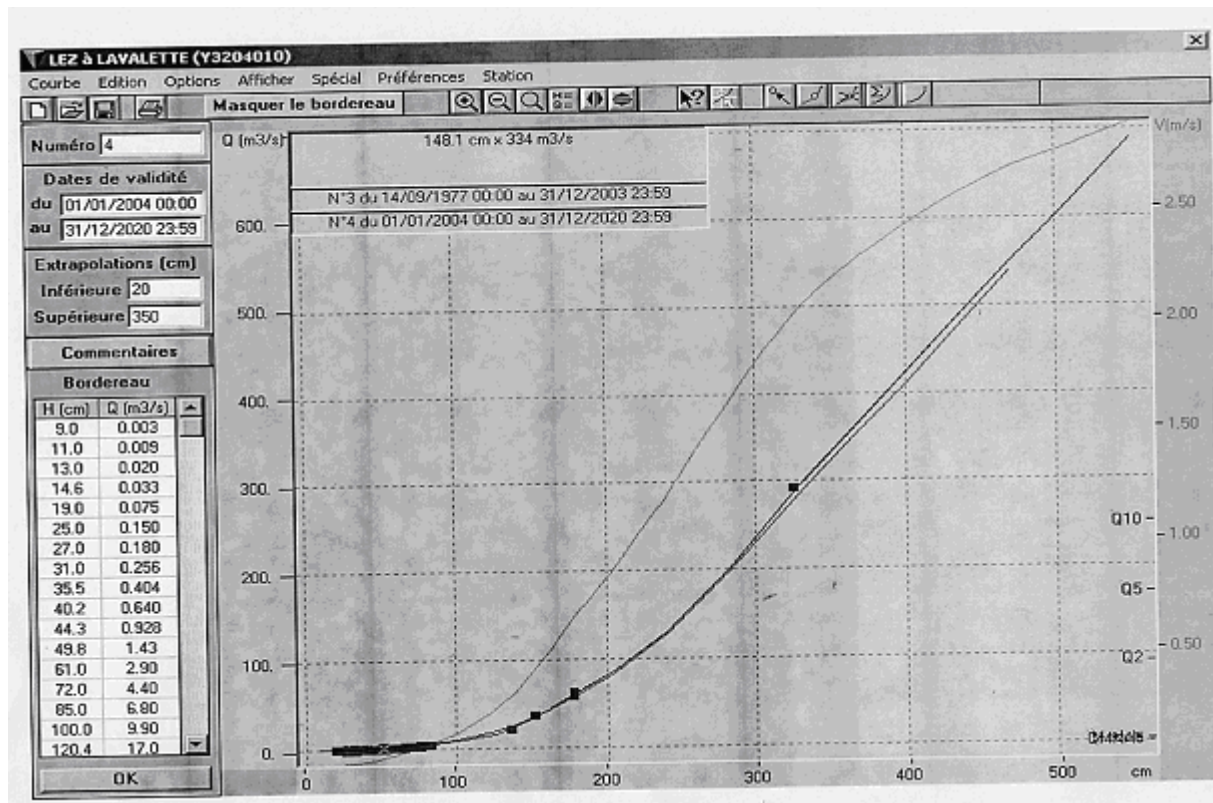
Ci-joint la section sortie de BAREME :



On y voit une échelle reportée à droite et des bords verticaux. BAREME ne précise pas de quelle section il s'agit ; sans doute sous le pont où on fait les jaugeages, mais alors quelle correspondance entre la hauteur à l'échelle ou au limnigraphe et celle sur l'échelle du croquis ?

## 4 Vitesse moyenne

BAREME fournit la courbe suivante (outre la courbe de tarage) donnant une vitesse moyenne en fonction de la hauteur. Sans doute cette vitesse moyenne a-t-elle été obtenue en divisant le débit (H) par la section donnée par le croquis précédent.

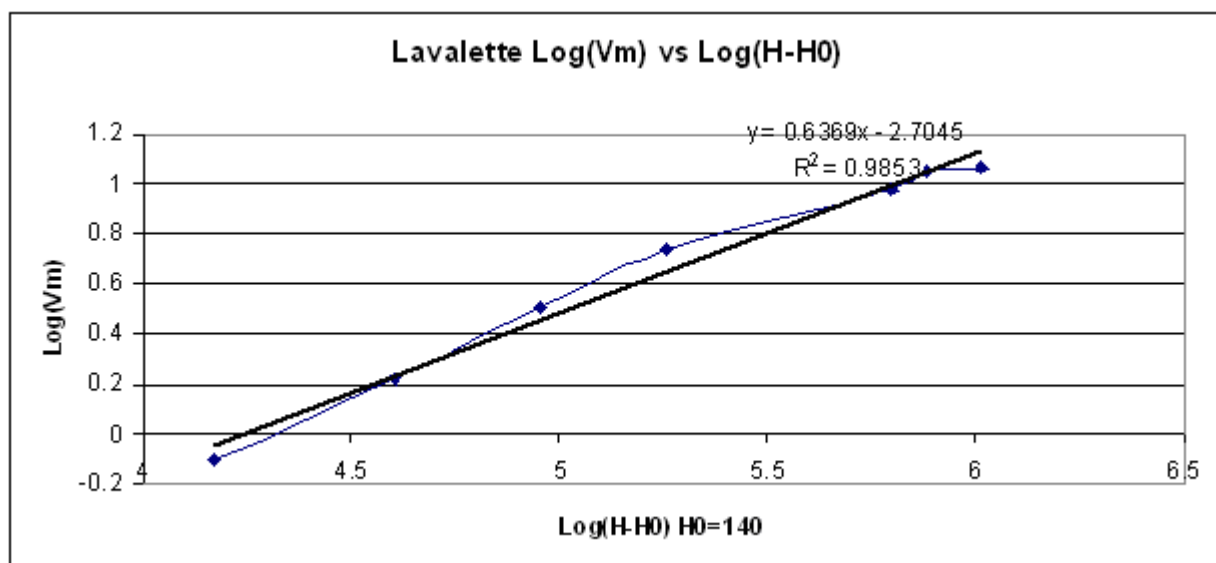


### Analyse de la vitesse moyenne en fonction de la hauteur recalée.

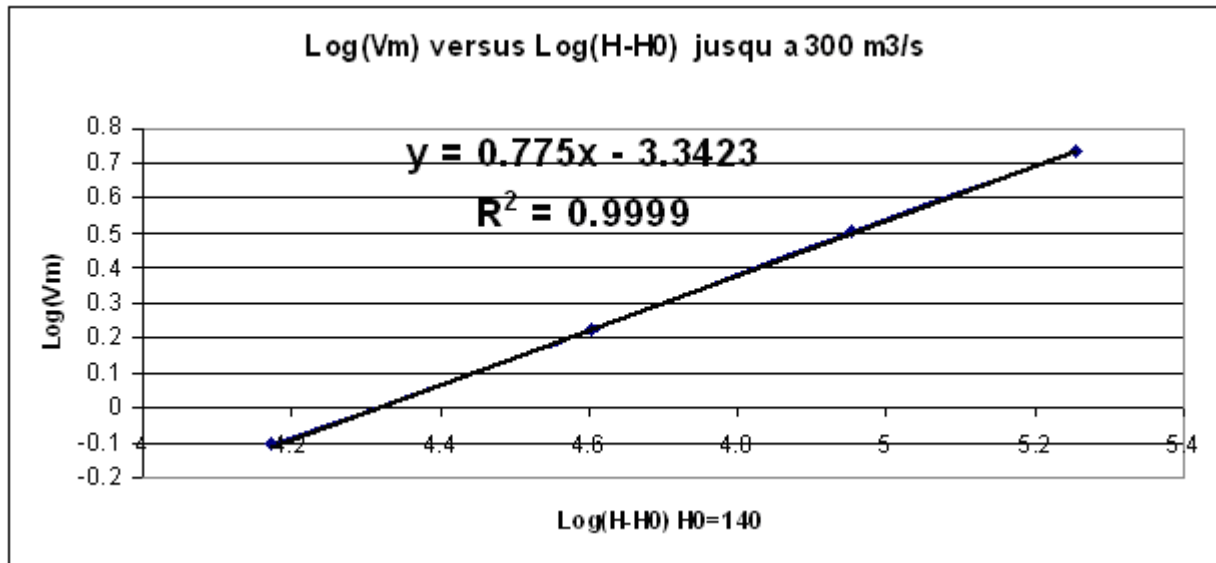
Les lois de l'Hydraulique à surface libre donne pour un écoulement contrôlé par la rugosité une vitesse moyenne proportionnelle au rayon hydraulique à une puissance voisine de 2/3. Nous avons donc cherché à voir si cela était à peu près respecté en décalant les valeurs de cote de H0 afin que ces dernières soient voisines du rayon hydraulique. Cette étude a été faite en Log pour retrouver la valeur de la puissance qui dans l'équation de régression (courbe de tendance sous Excel) est le coefficient multiplicatif de l'équation puisque l'on travaille en Log.

Sur la gamme de hauteur jusqu'à 550 m³/s :

(donc pour une section élargie dans la gamme haute)



Sur la gamme de hauteur jusqu'à 300 m3/s :



Les points sont strictement alignés. Peut être que la courbe de tarage a été ainsi établie.

On remarque que les résultats ne sont pas incohérents. Par expérience sur d'autres courbes, on ne retrouve rarement exactement la puissance de 2/3. Ici on n'en est pas loin, ce qui est plutôt réconfortant.

### Remarques générales :

La courbe de tarage, les sections mouillées et les vitesses moyennes sont cohérentes avec un schéma simple de l'Hydraulique. Rappelons que tout est basé fondamentalement sur un seul jaugeage (celui de 300 m3/s) et que toute erreur sur ce jaugeage se répercute d'emblée sur la loi de tarage.

### Propositions :

#### A court terme :

Retrouver le dossier du Lez à Lavalette.

Tenter de savoir comment a été établie la courbe de tarage.

Faire un relevé de la section à la hauteur de l'échelle et de la prise de pression du limnigraphe.

#### A moyen terme :

Placer des échelles permettant de vérifier le fonctionnement du limnigraphe pour toute hauteur et, si cela est impossible en crue, placez des échelles à maxima qui donnent le niveau max atteint par la crue (en vente chez OTT et d'autres).

### Remarques sur les services hydrométriques (remarque personnelle)

*Ayant commencé ma carrière il y a 40 ans, j'ai été formé à l'hydrométrie par MM. André et Audinet de EdF qui avaient un service hydrométrique remarquable avec un personnel compétent motivé et stable. Lors des vingt dernières années, j'ai organisé des cycles de formation en hydrométrie pour les services français et EdF, ce qui m'a permis de discuter avec les agents et d'écouter leurs revendications sur la formation, leurs moyens et leur stabilité dans l'emploi. Puis au cours des 5 dernières années, à l'occasion de la thèse de Benjamin Renard sur les extrêmes de débits de près de 200 rivières françaises, j'ai visité un grand nombre de services pour analyser la qualité des données (notamment jaugeages et courbes de tarage). La situation s'est détériorée en général (sauf peut être à la CNR et on voit une reprise à EdF :*

*Manque de moyens en personnel*

*Rotation rapide du personnel (d'où une perte de la mémoire des rivières) non compensée par les systèmes informatiques.*

*Quand on voit les enjeux (exemple le Lez), il serait urgent comme cela a été écrit par l'Inspection Générale de l'Environnement que l'on soit conscient de cette déficience que l'externalisation en confiant le travail à des bureaux privés ne pourra compenser.*

#### 4.5.8 M. BASSO : Le Lez aval Lavalette

### LEZ aval Lavalette par M. BASSO (IGC retraité du MEDAD) 18 juin 2007

#### Données topographiques (tirées étude BCEOM 1984 reprises dans rapport SIEE)

Lironde amont : 12,1 KM2

Verdanson : 14,5 KM2

Diffus : 23,4 KM2

#### Données théoriques de débit de référence

##### Rapport Quevremont :

Tout en visant une zone urbanisée de 40 KM2, mais en ne faisant référence explicitement par un calcul de formule rationnelle qu'au Verdanson, l'annexe estime entre 200 et 300 M3/S en concordance avec les recommandations de la référence (15). Le rapport proprement dit retiendra la valeur de 250 m3/S.

##### Rapport BCEOM 1988 :

Dans l'hypothèse d'une crue intéressant tout le BV, le BCEOM affiche avec des coefficients de ruissellement faibles, les valeurs suivantes de Q100 :

Lironde : 47,4 M3/S

Verdanson : 29,6 M3/S

Diffus 1 : 16,7 M3/S

Diffus 2 : 24,3 M3/S

Diffus 3 : 38 M3/S

En injectant ces apports dans son modèle à casiers, le BCEOM trouve pour un débit de pointe de 493 M3/S à la Valette, une pointe de 577 au pont Juvénal.

##### Rapport SIEE pour le SAGE :

Ce rapport déclare fortement sous-estimés par le BCEOM les apports des bassins aval. La note DIREN du 09 juin 2006 indique que ce rapport affiche un apport de la partie médiane de 300 à 400 M3/S.

##### Rapport CETE 1989 :

A partir de l'application d'un gradex de 25 mm ou 20 mm à une crue décennale de 250 m3/s au pont Juvénal estimée par Cruepédix, le CETE avance un débit centennal en ce point entre 680 et 790 M3/s. La valeur largement reprise ensuite de 755 M3/s résulterait de cette analyse. Si l'on conserve la valeur de 520 M3/s donnée alors pour le débit centennal à la Valette, ceci donne sans tenir compte des écrêtements intermédiaires et en raisonnant brutalement sur les pointes un apport du BV aval de plus de 200 M3/s.

### Rapport BRL (non daté) sur la faisabilité d'une prévision de crue :

Ce rapport compile les études antérieures. Il a le mérite d'avoir procédé à un large recueil de données pluviométriques et hydrométriques y compris auprès de la ville de Montpellier. Ceci lui permet d'afficher quelques rares valeurs pour les stations du Verdanson et du moulin de l'évêque sur le Lez. Ceci est résumé par un tableau 16 d'analyse de cohérence amont aval en terme de débit et par divers hydrogrammes. Il faut provisoirement en retenir, malgré des incohérences avec les analyses du Cemagref à La Valette et Garigliano, quelques valeurs de débit du Verdanson (à valider voir étude sup-agro sur les courbes de tarage) :

Septembre 03 : 65 M3/S avec semble t'il panne de limnigraphe à la troisième pointe. Aux approximations de lecture du limnigramme, celle-ci précède d'environ une heure la pointe à Garigliano.

Décembre 03 : 81,5 M3/S pas d'enregistrement de Garigliano fourni par BRL. D'après le rapport Cemagref, la pointe du Verdanson précède de 5 à 6 heures celle à Garigliano

Octobre 01 : 66 M3/S la pointe du Verdanson précède d'environ un heure celle du Lez à Garigliano

Septembre 05 : 67 M3/S pas de limnigramme pour le Verdanson

### Rapport TFE SupAgro :

Ce rapport analyse les données disponibles très partiellement aux trois stations limni de la ville sur le Verdanson. Il s'efforce d'établir des courbes de tarage et calcule des lignes d'eau de l'écoulement depuis la pépinière pour diverses valeurs de débit dans le Lez. Sous réserve des échanges à avoir avec M Belaud, il validerait semble t'il un débit capable du Verdanson de seulement 100 M3/S à son extrémité.

### Rapport Cemagref :

Il attire l'attention sur la crue du 25/09/03, pour laquelle en admettant un décalage de 1 H (avance entre Lavalette et Garigliano), le BV intermédiaire (amont Garigliano) aurait eu un débit de pointe de 125 M3/s. Le débit max du Verdanson lors de cet épisode était de 65 M3/S avec un décalage avance d'une heure sur Garigliano (ne pas oublier que le limnigramme du Verdanson est écrêté). Les apports du BV aval à la pointe se situeraient donc selon le limnigramme réel du Verdanson autour de 150 à 180 M3/S. Il est bien sûr fort regrettable de ne pas avoir retrouvé ne serait-ce que des enregistrements de hauteur partiels à l'aval au moulin de l'évêque.

### Premiers éléments de conclusion :

Les apports aval pour une pluie aval remarquable (période ponctuelle et surfacique à voir avec le Cemagref) celle du 25/09/03 ont donc sans doute atteint les 150 M3/s sur la pointe au droit d'A9 pour fixer une section. Il resterait à s'entendre sur quelle crue de l'aval combiner avec une crue centennale à Lavalette, pour obtenir une crue centennale au droit d'A9. A ce stade, malgré l'éclairage de la météo, il me semble excessif de raisonner sur une crue rare sur l'ensemble du BV, bien qu'il soit modeste. La combinaison de telles crues rares donnera plutôt lieu à une crue exceptionnelle. Pour combinaison avec une crue centennale à la Valette, un apport aval entre 150 et 250 M3/S me semble à ce stade plus crédible que la fourchette 200/300 et à fortiori 300/400 M3/s.

Pour avancer, il faudrait me semble t'il, sans classement hiérarchique :

1. Valider les BV : le petit BV rive droite aval Verdanson présenté par JC Hemain n'apparaît pas clairement dans la décomposition BCEOM
2. Avoir un ordre de grandeur des stockages en zone urbaine inondable pour des événements de type septembre 2003
3. Avoir des informations minimales sur les conditions de rejets pluviaux au Lez pour les BV diffus
4. Récupérer les quelques relevés existant à la station moulin de l'évêque pour les événements récents
5. S'entendre sur la composition à retenir des crues élémentaires pour arriver à une crue centennale du Lez au droit d'A9.

## 4.5.9 R. GARÇON : Essai sur les incertitudes dans un contexte « gradexo-bayésien »

R. Garçon pour EDF / DTG

22 juin 2007





CAPITALISER L'EXPÉRIENCE...  
A NOUS D'ENTREPRENDRE

**Conférence scientifique sur le débit  
centennal du LEZ**

***Essai sur les incertitudes dans un  
contexte « gradexo-bayésien »***

Division Production Ingénierie Hydraulique - DTG



**Cadre Général**


**Application de la méthode du gradex au  
bassin de Lavalette ( 115 km<sup>2</sup> )**

**Pas de temps de 6 heures**

**Durée de retour du point pivot : 7 ans**

**Incertitudes ?**

2 Division Production Ingénierie Hydraulique - DTG D4165/TRA/2007-00330-A 22 juin 2007







- **Méthode du gradex**
  - **Gradex de la pluie locale**
  - **Abattement spatial au pas de temps 6 h**
    - **Coefficient de forme**
    - **Contribution externe par le karst**
    - **Période de retour de la saturation**
      - **Q<sub>7ans</sub>**
  - **Hydrométrie**



- ❖ **Fait référence à la formule de Bayes  
(« probabilité des causes »)**
- ❖ **Confronte explicitement les hypothèses a priori  
aux observations**
- ❖ **Les hypothèses peuvent être subjectives mais  
cette subjectivité est tracée en toute transparence**



## Application bayésienne

DTG  
l'Unité de mesure et d'expertise



On traite explicitement :

- Débit moyen 6h de durée de retour 7 ans
- Gradex effectif en volume

On laisse de côté pour l'instant :

- La durée de retour du point pivot (influence modérée)
- Le coefficient de forme moyen (incertitude plus faible)
- Les incertitudes hydrométriques (problème complexe)

5 Division Production Ingénierie Hydraulique - DTG

D4165/TRA/2007-00330-A

22 juin 2007

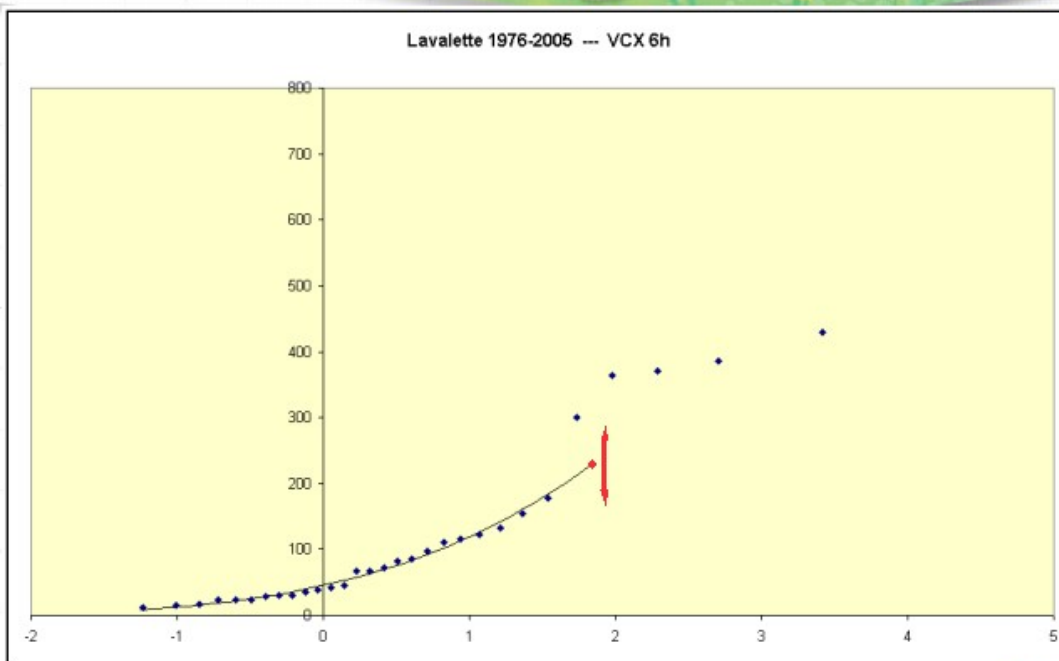


## $Q_{\text{moy}} 6h$ pour $T = 7$ ans ?

DTG  
l'Unité de mesure et d'expertise



Lavalette 1976-2005 --- VCX 6h



6 Division Production Ingénierie Hydraulique - DTG

D4165/TRA/2007-00330-A

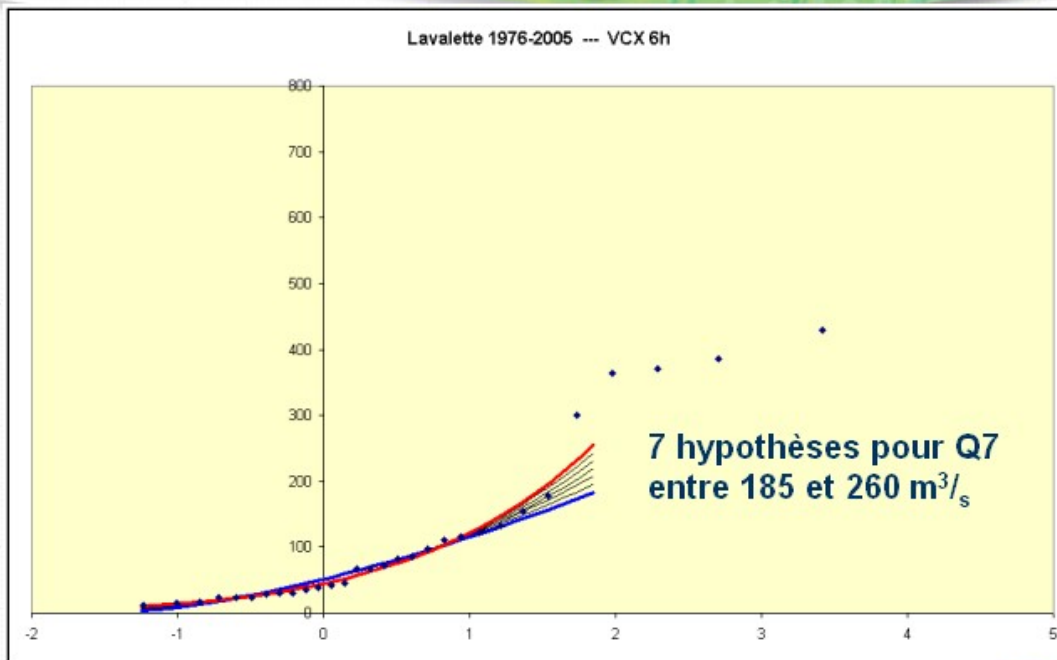
22 juin 2007



# Q<sub>moy</sub> 6h pour T = 7 ans ?



DTG  
l'Unité de mesure et d'expertise



7 Division Production Ingénierie Hydraulique - DTG

D4165/TRA/2007-00330-A

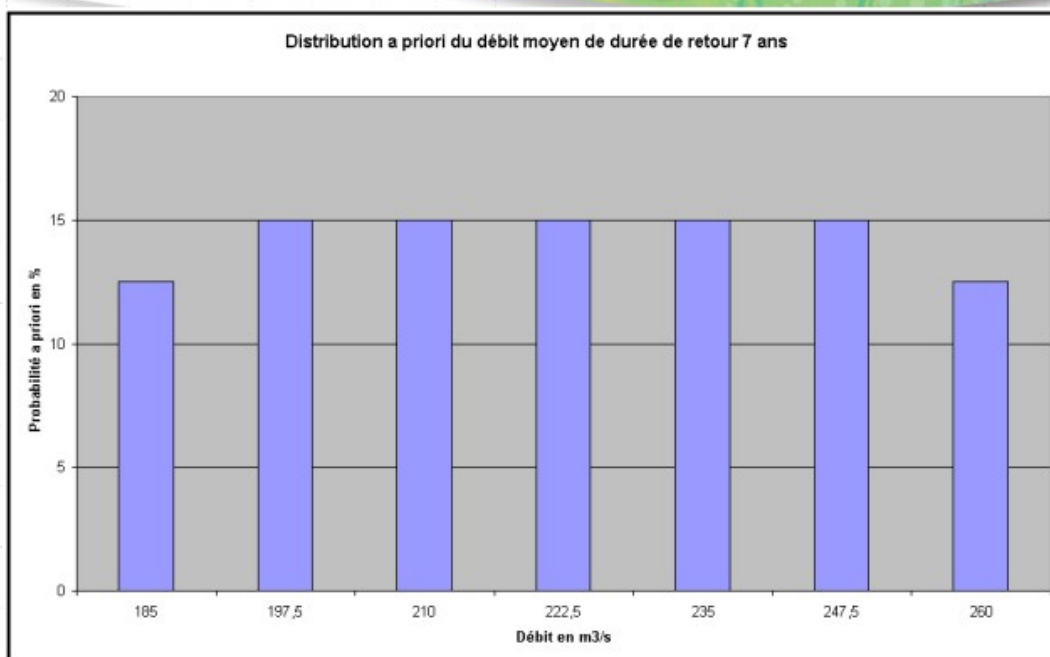
22 | 11 | 2007



# Q<sub>moy</sub> 6h pour T = 7 ans ?



DTG  
l'Unité de mesure et d'expertise



8 Division Production Ingénierie Hydraulique - DTG

D4165/TRA/2007-00330-A

22 | 11 | 2007



# Gradex à appliquer entre 7 et 100 ans ?



SHYREG : 27mm (local 6h)

Incertitude sur aléa local : 25-29

Abatement spatial (75 à 90%) : 19-26

Contribution à l'écoulement immédiat (65 à 95%) : 12-25 (incertitude méthodologique)

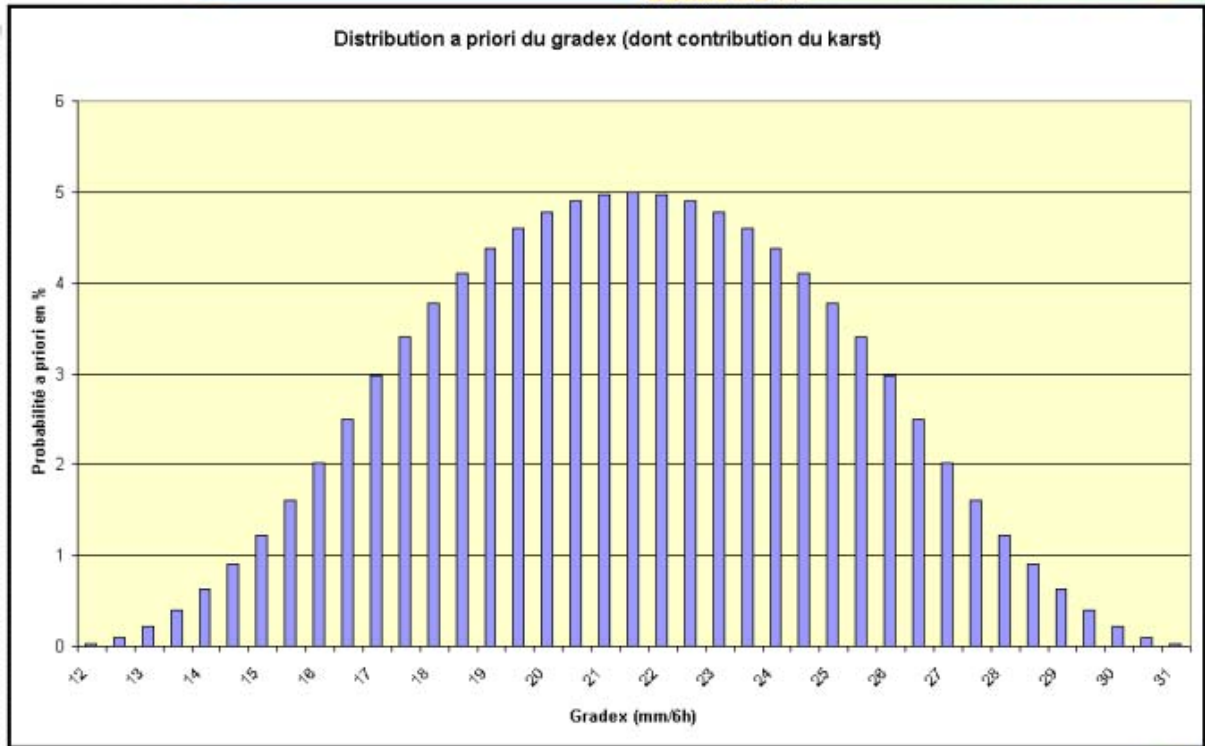
Contribution du karst à la différence Q100-Q7 :  
 0 à 100 m3/s en pointe soit  
 0 à 6mm de « gradex » 6h  
 → 12 à 31 en « gradex » global



# Gradex à appliquer entre 7 et 100 ans ?



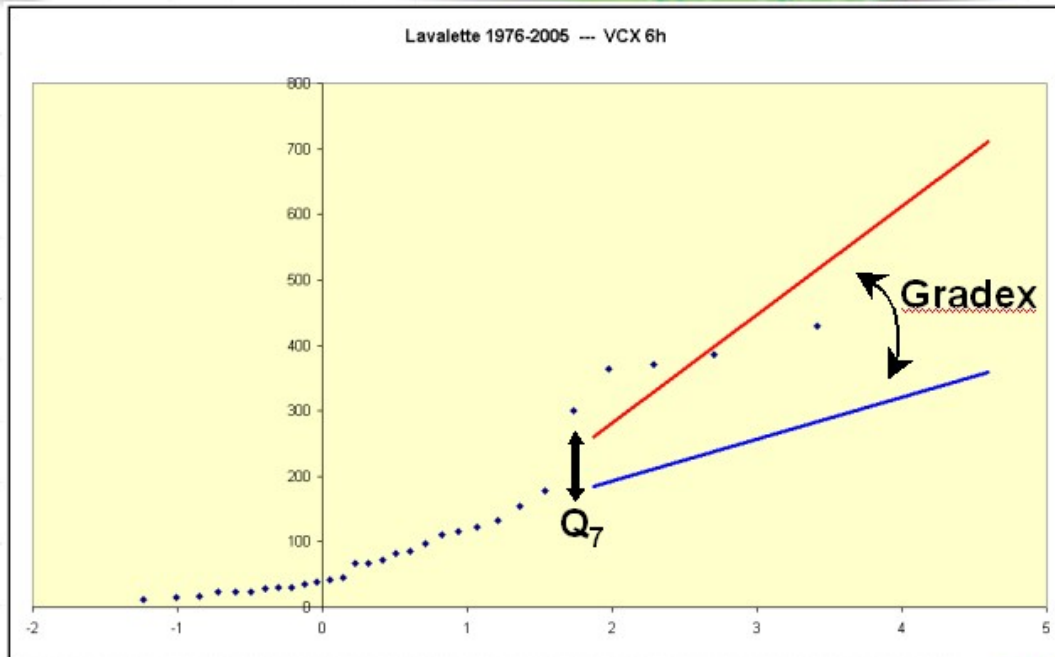
Distribution a priori du gradex (dont contribution du karst)



# A priori global



**DTG**  
l'Unité de mesure et d'expertise



11 Ditsika Production Ingénierie Hydraulique - DTG

D4165/TRA/2007-00330-A

22/11/2007

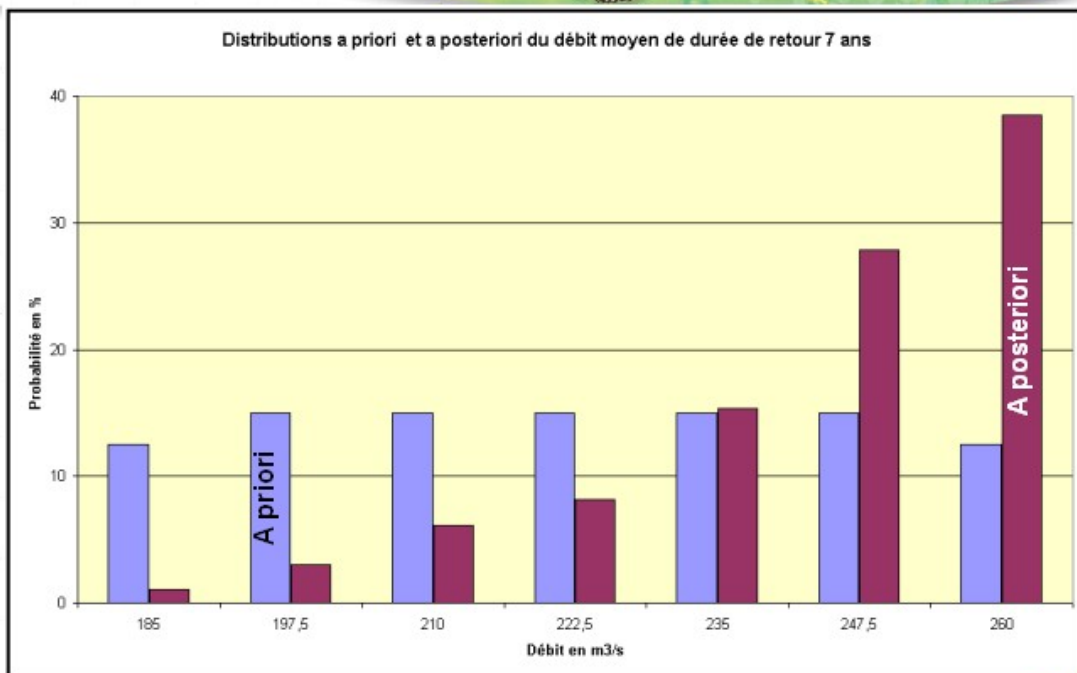
**EDF**

# Confrontation à l'échantillon

Q<sub>7</sub> ans



**DTG**  
l'Unité de mesure et d'expertise



12 Ditsika Production Ingénierie Hydraulique - DTG

D4165/TRA/2007-00330-A

22/11/2007

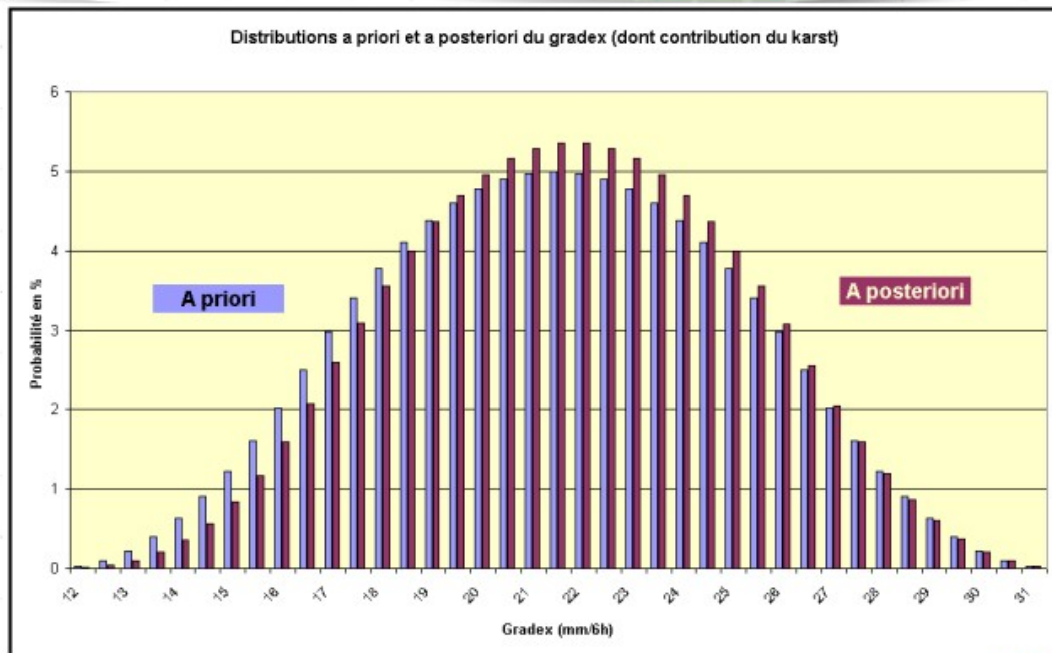
**EDF**



# Confrontation à l'échantillon « gradex » 6h



DTG  
l'Unité de mesure et d'expertise



13 Dikika Production Ingénierie Hydraulique - DTG

D416.5/TRA/2007-003.30-A

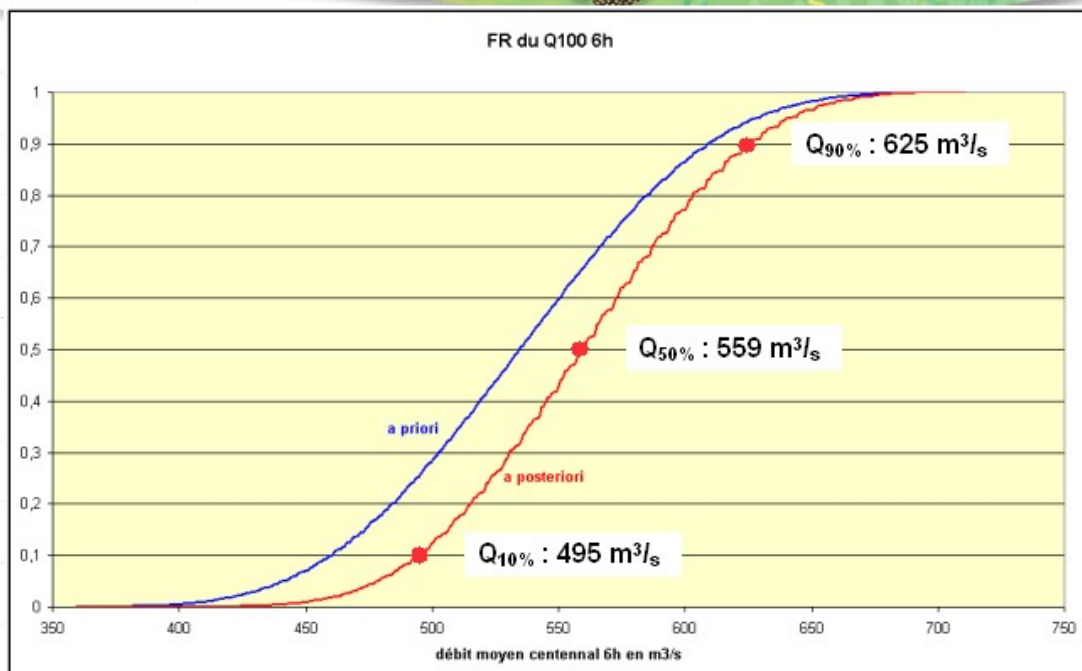
22 | th 2007

EDF

# Q<sub>100-6h</sub> bayésien



DTG  
l'Unité de mesure et d'expertise



14 Dikika Production Ingénierie Hydraulique - DTG

D416.5/TRA/2007-003.30-A

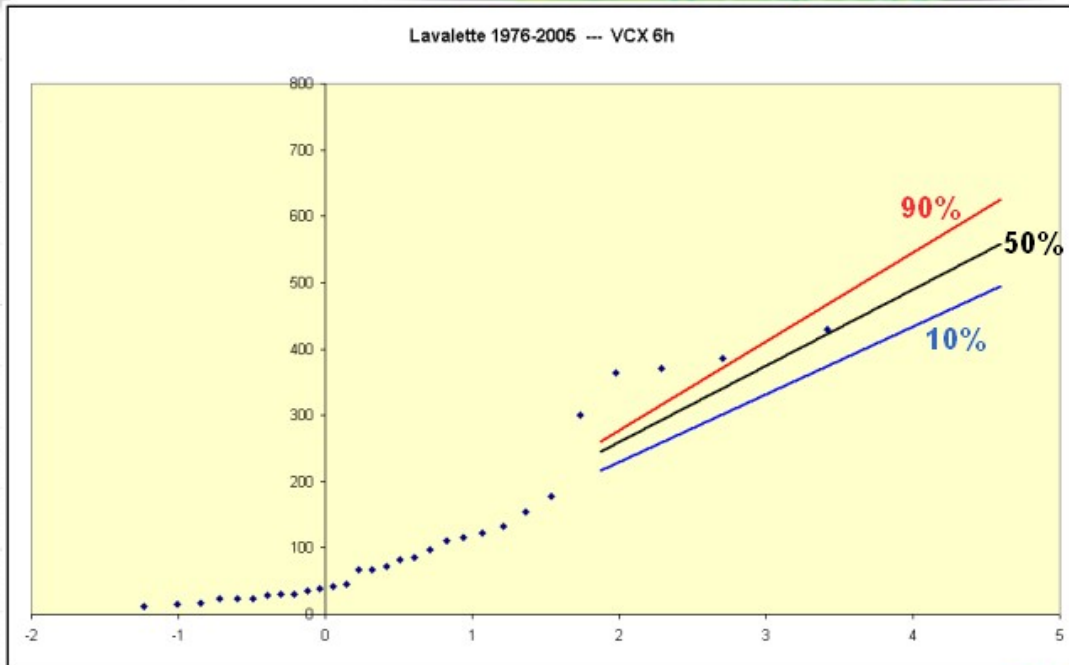
22 | th 2007

EDF

# Q<sub>100-6h</sub> bayésien



DTG  
l'Unité de mesure et d'expertise



15 Direction Production Ingénierie Hydraulique - DTG

D4165/TRA/2007-00330-A

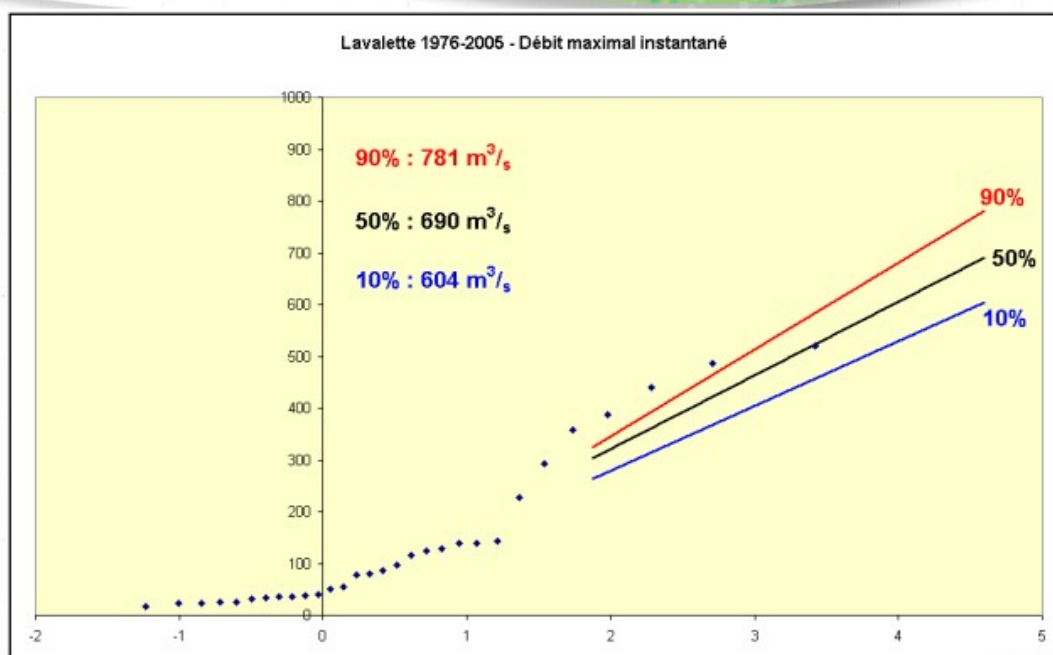
22/11/2007

EDF

# Q<sub>100-max</sub> « bayésien »



DTG  
l'Unité de mesure et d'expertise



16 Direction Production Ingénierie Hydraulique - DTG

D4165/TRA/2007-00330-A

22/11/2007

EDF

## Incertitudes complémentaires



DTG  
l'Unité de mesure et d'expertise

Point de départ de l'extrapolation par le gradex : 5, 7, 10 ans ?

→ écart-type assez faible ~ 15 à 20 m<sup>3</sup>/s

Hydrométrie - biais envisageable sur les hauts débits ?

→ écart-type de l'ordre de 10%

Pour la crue de durée de retour 7 ans, ce biais se répercute à 100%

Au delà, le biais influence fortement l'évaluation a posteriori

Si on retient totalement le biais, en 1<sup>ère</sup> approximation (simple ajout de variances), l'intervalle de crédibilité à 80% sur Q100max passe à [ 570 ; 820 ]

17 Division Production Ingénierie Hydraulique - DTG

D4165/TRA/2007-00330-A

22 juin 2007



## Bilan



DTG  
l'Unité de mesure et d'expertise

La démarche bayésienne laisse beaucoup de doutes :

les observations des plus hauts débits ne permettent pas de différencier suffisamment la crédibilité des hypothèses retenues

Les conjonctions *faibles gradex – faibles Q7* sont très peu crédibles, mais les hypothèses a priori les plus pessimistes gardent une très forte crédibilité (si on avait envisagé pire, le haut de la fourchette serait encore monté)

L'incertitude finale reste donc forte et l'estimation très sensible à l'a priori de l'expert, ce qui est finalement logique dans un tel cas, mais peu pratique pour la décision.

Résultat le plus valorisable : l'ordre de grandeur de l'amplitude de l'intervalle de crédibilité.

18 Division Production Ingénierie Hydraulique - DTG

D4165/TRA/2007-00330-A

22 juin 2007





#### 4.5.10 M. LANG : Étude de sensibilité sur l'application du Gradex

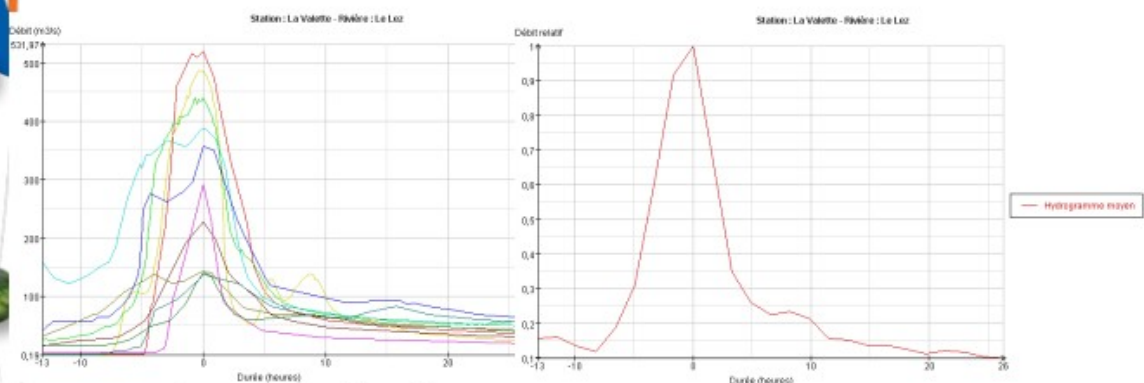
M. Lang pour le CEMAGREF Lyon,  
en collaboration avec P. Bois, R. Garçon et J. Lavabre  
22 juin 2007

Ph. Bois, R. Garçon, M. Lang, J. Lavabre

### Étude de sensibilité sur l'application du Gradex

Hypothèses de calcul (cf. réunion du 25 avril et 22 mai 2007)

- Pas de temps d'étude des pluies : 6h  
(cf. étude des hydrogrammes de crue)



- temps de montée = 6h
- temps de décrue = 10h
- temps de dépassement de la moitié de la pointe de crue = 6h
- d=6h

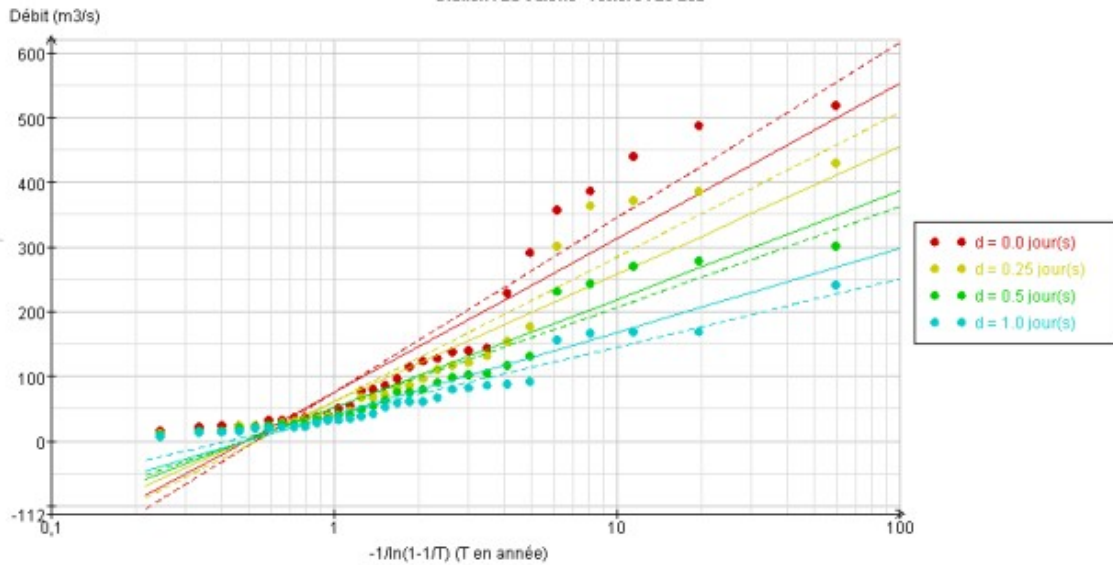
### Hypothèses de calcul

- Gradex des pluies de 6h : 22 mm (atlas Cévennes-Vivaraïs)  
27 mm (estimation Shyreg)
- Abattement spatial des pluies de 6h  
gradex ponctuel (24h)=35 mm (atlas Cévennes-Vivaraïs)  
gradex de bassin (1J)=27 mm (lame spatiale, HydroSciences)  
→ reprise du ratio sur pluies 1J :  $27/35=0.77$
- Effet du karst : superficie du bassin topo (120 km<sup>2</sup>)  
+ débit forfaitaire 100 m<sup>3</sup>/s  
→ la surface additionnelle contributive liée au karst  
(surface avec karst entre 200 et 380 km<sup>2</sup> au lieu de 120 km<sup>2</sup>) est supposée :  
1/ ne plus intervenir en ruissellement direct vers le bassin au-delà  
d'un seuil de saturation  
2/ contribuer à un renforcement du débit des sources  
(limité forfaitairement à 100 m<sup>3</sup>/s vu la débitance des sources)

## Hypothèses de calcul

### Seuil d'extrapolation par le gradex : 5 ans à 10 ans

Station : La Valette - Rivière : Le Lez



- $Q_{6h}(5\text{ans})=200 \text{ m}^3/\text{s}$  ou  $Q_{6h}(10\text{ans})=260 \text{ m}^3/\text{s}$
- Rapport de pointe de crue : 1.23 (cf. courbes QdF consolidées)
  - $Q_{6h}(10)=260 \text{ m}^3/\text{s}$  ;  $Q_{\text{pointe}}(10)=320 \text{ m}^3/\text{s}$

3

Conférence scientifique sur le débit centennial du Lez, Montpellier, 22 juin 2007



## Hypothèses de calcul

### Incertitude sur les débits $Q_{6h}(5\text{ans})$ ou $Q_{6h}(10\text{ans})$ :

- Métrologie à La Valette (cf. analyses de Ph. Bois et J. Lavabre)
- ✓ Cohérence acceptable des débits entre La Valette et Garigliano (115 et 147 km<sup>2</sup>)
- ✓ Forme de l'extrapolation de la courbe de tarage cohérente avec les lois de l'hydraulique fluviale
- ✓ Forte sensibilité de la partie haute de la courbe de tarage à un seul jaugeage (292 m<sup>3</sup>/s, 30/11/1979) et trois jaugeages vers 40-60 m<sup>3</sup>/s
- ✓ Contrôle difficile des cotes de crue, en l'absence d'échelle limniographique (au-delà de 1m)

→ erreur optimiste de 10% sur l'hydrométrie

- Ajustement fréquentiel

→ 10% échantillonnage

(cf. différences entre courbes QdF consolidées et ajustée durée par durée)

4

Conférence scientifique sur le débit centennial du Lez, Montpellier, 22 juin 2007



## Fourchette d'estimation Q100

### Formule de calcul par le Gradex

#### Valeur basse

$$Q_{IX}(100) = \text{Rapport de pointe} \cdot [0.8 \cdot Q_{6h}(10 \text{ ans}) + \text{Gradex}(\min) \cdot \text{Abattement spatial} \cdot [\text{conversion gradex en m}^3/\text{s}] \cdot [u(100) - u(10)]$$

$$Q_{IX}(100) = 1.23 [0.8 \cdot 260 \text{ m}^3/\text{s} + 22 \text{ mm} \cdot 0.77 \cdot [115 \text{ km}^2 / (3.6 \cdot 6 \text{ h})] \cdot [u(100) - u(10)]]$$
$$= 515 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{avec } u(100) = -\text{Ln}(-\text{Ln}(0.99)) = 4.60 ; u(10) = -\text{Ln}(-\text{Ln}(0.9)) = 2.25$$

#### Valeur haute

$$Q_{IX}(100) = 100 \text{ m}^3/\text{s} (\text{contribution du karst}) + \text{Rapport de pointe} \cdot [1.2 \cdot Q_{6h}(5 \text{ ans}) + \text{Gradex}(\max) \cdot \text{Abattement spatial} \cdot [\text{conversion gradex en m}^3/\text{s}] \cdot [u(100) - u(5)]]$$

$$Q_{IX}(100) = 100 \text{ m}^3/\text{s} + 1.23 [1.2 \cdot 200 \text{ m}^3/\text{s} + 27 \text{ mm} \cdot 0.77 \cdot [115 \text{ km}^2 / (3.6 \cdot 6 \text{ h})] \cdot [u(100) - u(5)]]$$
$$= 820 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{avec } u(5) = -\text{Ln}(-\text{Ln}(0.8)) = 1.50$$

→ Valeur centrale : 670 m<sup>3</sup>/s

5

Conférence scientifique sur le débit centennal du Lez, Montpellier, 22 juin 2007



## Quelques éléments de conclusion

### Estimation délicate de la crue centennale à La Valette

- Bassin complexe (effet du karst)
- Incertitude sur la reconstitution des débits (repose sur un seul jaugeage)
- Méthode d'estimation actuelle du Q100 déconseillée (basée uniquement sur un ajustement des débits avec 30 ans de données)

→ Préférence accordée aux méthodes basées sur l'exploitation de l'information pluviométrique

→ Valeur Q100 à revoir à la hausse : de l'ordre de 700 m<sup>3</sup>/s avec incertitude ± 150 m<sup>3</sup>/s

### Compte-tenu des enjeux et de la forte incertitude sur Q100 :

- Questionnement sur le choix de la crue centennale
- Envisager le scénario d'une crue supérieure et les actions adaptées
  - ✓ seuil de déversement et chenal d'écoulement
  - ✓ plan d'alerte et d'évacuation
  - ✓ contraintes constructives sur le site
- Renforcer le suivi hydro-météorologique du bassin