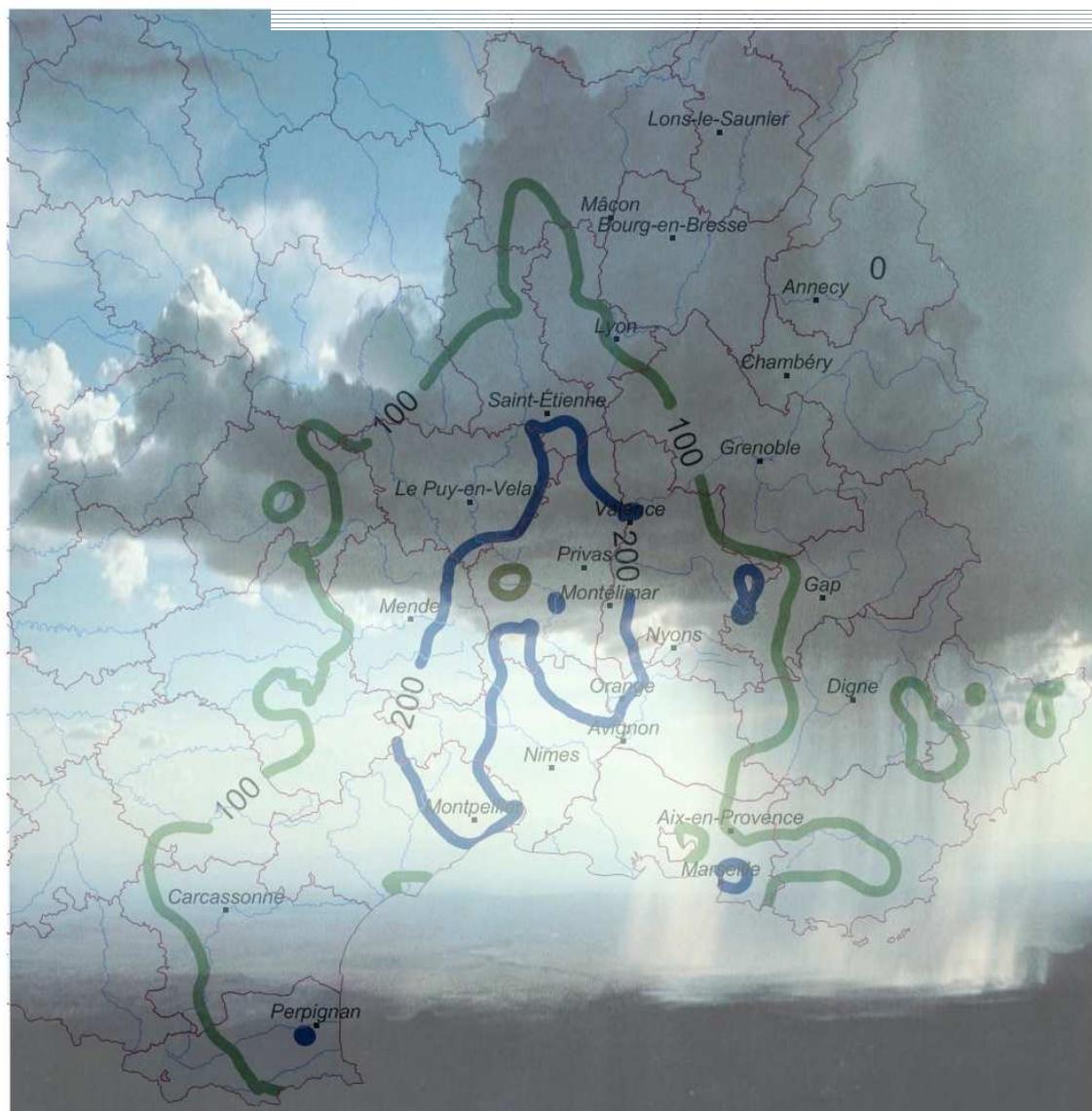


Fortes précipitations de décembre 2003 dans le bassin du Rhône

Synthèse météorologique



Ressources, territoires et habitats
Énergie et climat
Prévention des risques
Développement durable
Infrastructures, transports et mer

Présent
pour
l'avenir

SEPTEMBRE 2009

Fortes précipitations de décembre 2003 dans le bassin du Rhône

Synthèse météorologique

Document réalisé à la demande de la Direction Régionale de
l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) Rhône-Alpes par:



Division Développements-Etudes-Climatologie
Direction InterRégionale Centre-Est

Sommaire

INTRODUCTION.....	3
Généralités sur les crues _____	3
DONNEES UTILISEES.....	5
CONTEXTE ANTERIEUR ET ETAT DES SOLS.....	6
DYNAMIQUE ET DESCRIPTION METEOROLOGIQUE DES EVENEMENTS....	9
Dynamique météorologique _____	9
Bilan pluviométrique général de l'épisode de fortes pluies _____	11
CHRONOLOGIE DES PLUIES PAR BASSINS VERSANTS	12
Les bassins de la rive gauche du Rhône _____	12
Les bassins de la rive droite du Rhône _____	15
Le bassin du Gard _____	15
Le bassin de l'Ardèche _____	16
Le bassin de l'Eyrieux _____	17
Le bassin du Doux _____	18
Le bassin du Gier _____	19
ESTIMATION DES DUREES DE RETOUR DE CES PRECIPITATIONS.....	20
COMPARAISON A D'AUTRES SITUATIONS AYANT CONDUIT A DES CRUES HISTORIQUES DU RHONE	23
Novembre 1996 : _____	23
Janvier 1994 _____	24
Novembre 2008 _____	24
LES PREVISIONS METEOROLOGIQUES	26
La vigilance _____	26
Estimation des lames d'eau _____	27
Amélioration des prévisions depuis 2003 _____	27
CONCLUSION.....	30

Introduction

Mars 2001, septembre 2002, novembre 2002, **décembre 2003** et depuis, mais dans une moindre mesure, novembre 2008: la longue liste des crues du Rhône ne cesse de s'allonger, à un rythme très soutenu ces dernières années. En 2003, les conséquences ont été particulièrement sévères, notamment dans la zone d'Arles où des ruptures de digues ont entraîné des inondations dramatiques et durables.

Nous allons d'abord chercher ici à décrire et à analyser les événements météorologiques qui ont conduit à cette crue majeure du Rhône,

Outre l'analyse classique de ce type d'événement pluviométrique (contexte antérieur, genèse météorologique, chronologie des précipitations, estimation des durées de retour ponctuelles) nous tenterons également de fournir des pistes d'explication sur ces événements atmosphériques naturels tardifs dans la saison, qui ont conduit à une crue majeure, marquée par une montée des eaux extrêmement rapide et des débits très importants observés sur le Rhône aval.

Généralités sur les crues

L'hydrologue Maurice Pardé a été le premier à établir une classification des crues du Rhône. Elle aboutit à un découpage en quatre classes qui prend en compte à la fois l'origine des pluies et leur extension spatiale:

- Les crues océaniques
Elles se produisent majoritairement entre octobre et mars. Elles sont provoquées par une succession d'épisodes pluvieux apportés par des dépressions océaniques. Elles affectent principalement les bassins de la Saône, du Rhône alpestre, du Rhône supérieur et dans une moindre mesure, de l'Isère.
- Les crues cévenoles
Elles se forment presque exclusivement sur les bassins du rebord oriental du Massif central, lors d'épisodes pluvieux très violents. Elles ont généralement lieu de septembre à novembre.
- Les crues méditerranéennes extensives
Ces crues sont générées par des pluies réparties assez uniformément sur toute la partie aval du bassin versant. Cependant, leur caractère extensif peut se faire ressentir bien au-delà, sur le bassin de la Saône. Elles arrivent, en principe, plus tardivement que les crues cévenoles, généralement en novembre ou décembre.
- Les crues généralisées
Elles affectent la globalité du bassin versant du Rhône et sont issues de la succession d'épisodes pluvieux océaniques sur le bassin supérieur et méditerranéens sur le bassin inférieur.

Les crues océaniques exceptées, les crues du Rhône sont donc liées à des phénomènes météorologiques d'origine méditerranéenne dont la période de prédilection est l'automne.

Quelle est l'influence de la Méditerranée?

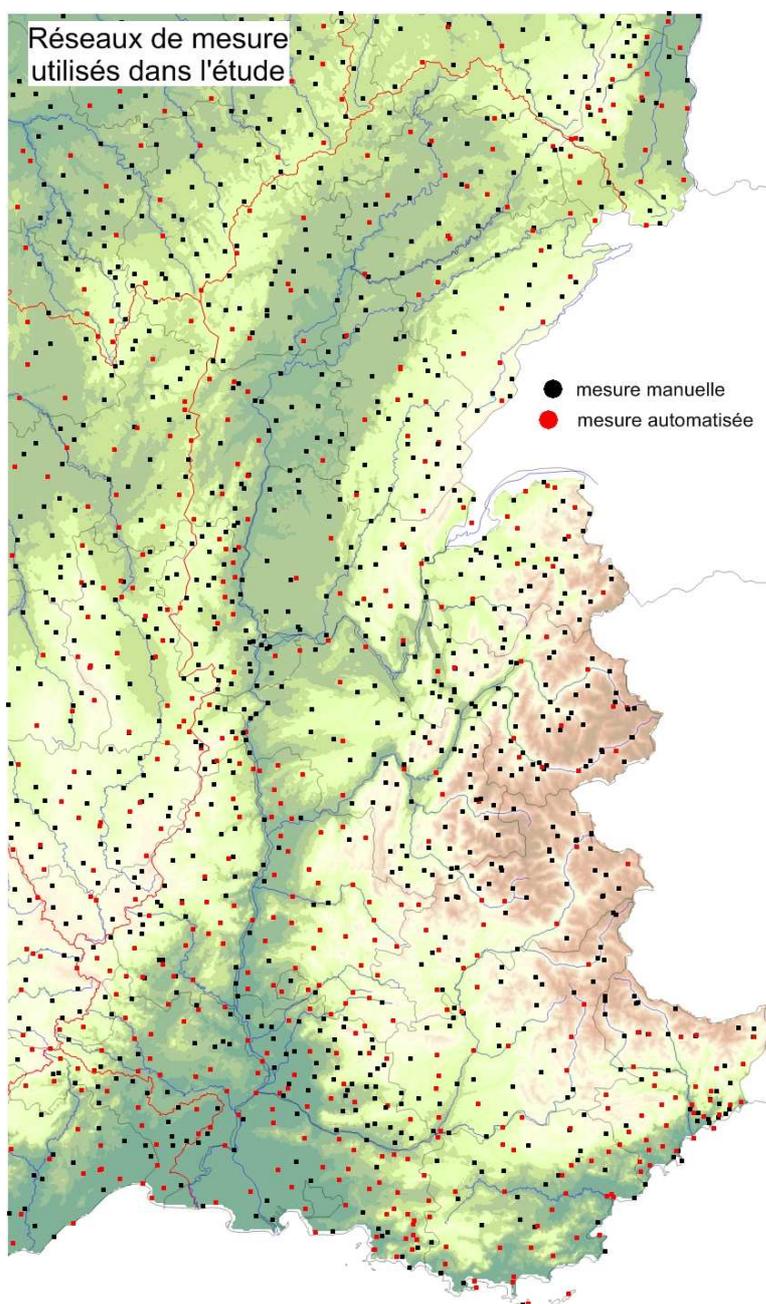
Située à des latitudes où le rayonnement solaire est conséquent, la Méditerranée constitue une réserve d'énergie une grande partie de l'année, particulièrement en été et en automne. Elle est également une source inépuisable d'humidité.

Énergie et humidité sont communiquées aux basses couches des masses d'air qui y séjournent ou qui la traversent. Ces bas niveaux acquièrent ainsi un profil vertical favorable à de violents mouvements ascendants générateurs de processus de condensation (en effet, l'air chaud en montant voit sa pression et sa température baisser : il se condense).

Pourquoi l'automne?

L'automne est une période critique pendant laquelle les premières descentes d'air froid d'altitude d'origine arctique atteignent les latitudes méditerranéennes, alors que la mer et la terre sont chaudes. Cet air froid d'altitude vient en surplomb des flux atmosphériques de basses couches qui dirigent vers les régions méridionales l'air chaud et humide méditerranéen : cela accentue encore le contraste thermique vertical favorable aux évolutions orageuses.

Données utilisées



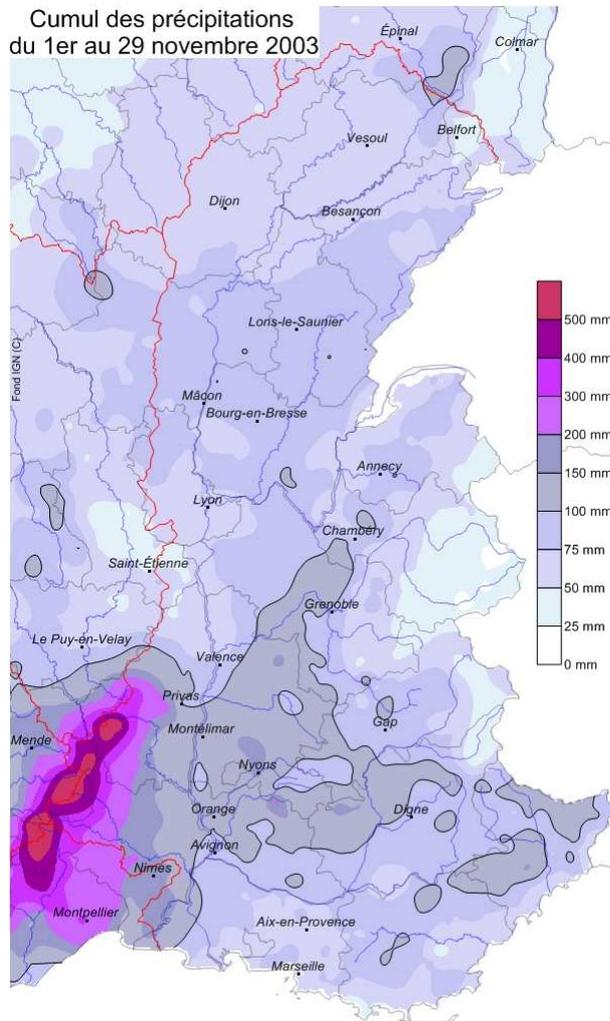
*Densité du réseau de stations utilisées dans l'étude :
un total de 2476 points de mesures, manuelles ou automatisées,
sur le bassin versant du Rhône*

La carte ci-contre présente l'ensemble des points de mesures de précipitation disponibles dans la base de données climatiques de Météo-France. On distingue les mesures manuelles et les mesures automatisées.

Les premières sont réalisées au pas de temps quotidien, c'est à dire qu'elles représentent le cumul, fonte de neige compris, recueilli au pluviomètre sur une période de 24 heures démarrant à 7 heures le matin. Elles sont principalement issues de relevés effectués par nos correspondants bénévoles qu'il convient ici de remercier pour leur dévouement.

Ces mesures manuelles sont complétées par des mesures automatisées, de pas de temps 6 minutes. Nous avons utilisé ici ces données pour retracer plus précisément l'intensité et la chronologie des précipitations, en particulier dans neuf des bassins versants les plus touchés par les fortes pluies.

Contexte antérieur et état des sols



Cumul des précipitations en novembre 2003 avant le début de l'épisode étudié : déjà beaucoup de pluie tombée

Sur la rive droite du Rhône, de l'Ardèche jusqu'au Petit Rhône, la pluviométrie de novembre, sans compter le dernier jour, est deux à trois fois supérieure à celle d'un mois de novembre normal.

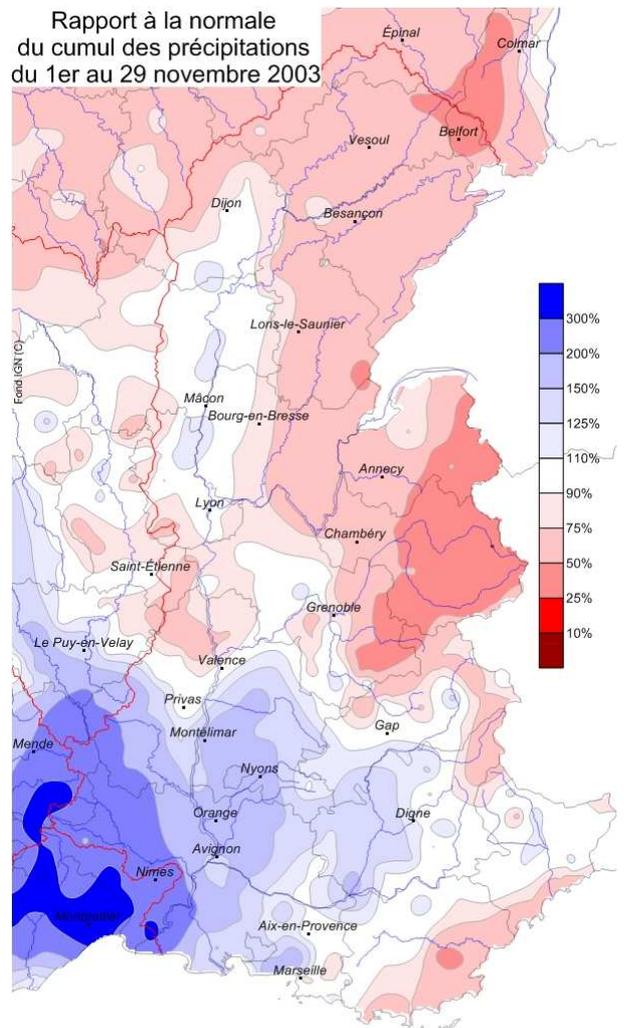
Sur sa rive gauche, les bassins sud, depuis celui de la Drôme, montrent une pluviométrie d'une fois et demie à deux fois la normale.

Conformes aux normales pour le reste des affluents français du Rhône, les pluies de novembre ne sont faibles pour la saison que dans les Alpes (Arc, Isère et Durance amont).

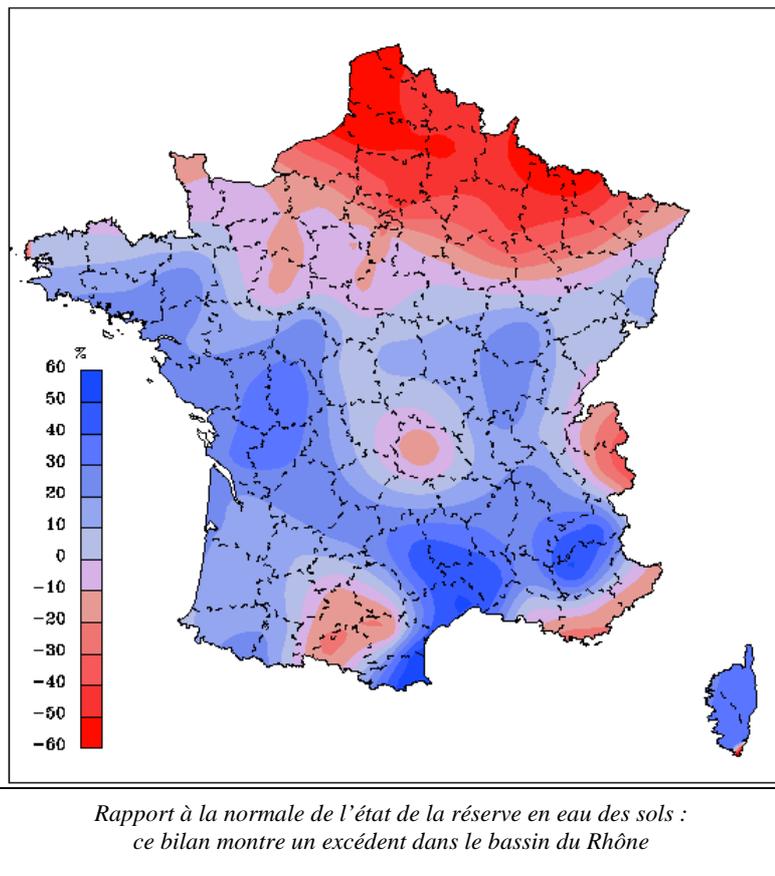
La carte ci-contre présente le cumul des précipitations depuis le 1er novembre 2003 jusqu'au début de l'épisode qui a provoqué les inondations de décembre.

Le mois qui a précédé ces inondations est donc un mois globalement pluvieux sur les bassins du Rhône. Les précipitations sont très fortes sur les hauts bassins cévenols : Gard, Cèze et Ardèche qui reçoivent localement plus de 500 mm.

Elles sont également élevées sur toute la partie sud du Rhône, l'Isère aval, la Drôme, le Roubion, le Lez, l'Aigues et l'Ouvèze avec des valeurs de 100 à 150 mm.



Bilan des précipitations en novembre 2003 avant le début de l'épisode étudié : le sud du bassin est déjà fortement excédentaire



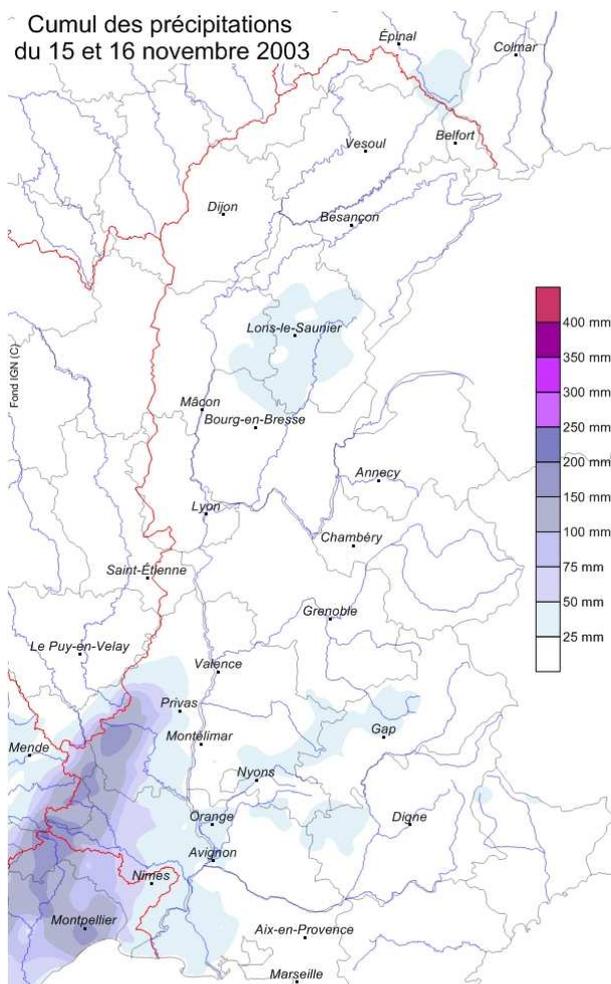
La carte ci-dessus représente le suivi fin novembre de l'état des réserves en eau du sol, comparé à la valeur normale de cette réserve à cette saison. Les couleurs bleues signifient des sols plus saturés en eau que la norme de saison.

Cet indicateur élaboré de l'état des sols permet très clairement d'affirmer que les sols de la majorité des sous bassins du Rhône sont plus saturés que la normale fin novembre 2003, juste avant que ne survienne l'épisode des plus fortes précipitations. La saturation des sols est ainsi maximale au niveau des affluents cévenols et des Alpes du sud ; elle n'est inférieure à la normale que sur les départements de Savoie.

En résumé, il est très clair qu'avant l'arrivée des fortes précipitations du 30 novembre au 3 décembre 2003, le mois de novembre avait été copieusement arrosé, rendant les sols fortement saturés pour la saison, tout particulièrement au niveau des affluents les plus méridionaux du Rhône.

En étudiant plus précisément la chronologie des précipitations abondantes de novembre 2003, on se rend compte que 2 épisodes de précipitations de type cévenol se sont succédés avant le début de l'épisode majeur du 30 novembre au 3 décembre.

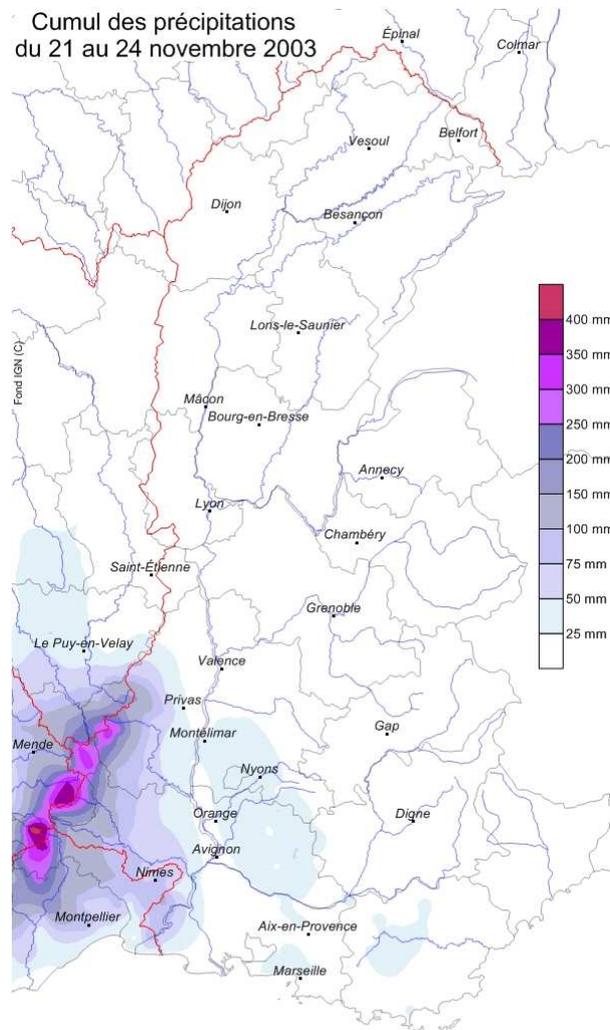
Cumul des précipitations
du 15 et 16 novembre 2003



Episode pluvieux des 15 et 16 novembre 2003

Sur les hauts bassins cévenols, un premier épisode amène 100 à 200 mm les 15 et 16 novembre

Cumul des précipitations
du 21 au 24 novembre 2003



Episode pluvieux du 21 au 24 novembre 2003

Une semaine plus tard, du 21 au 24, ce sont bien plus de 200 mm qui s'abattent de nouveau sur ces mêmes bassins.

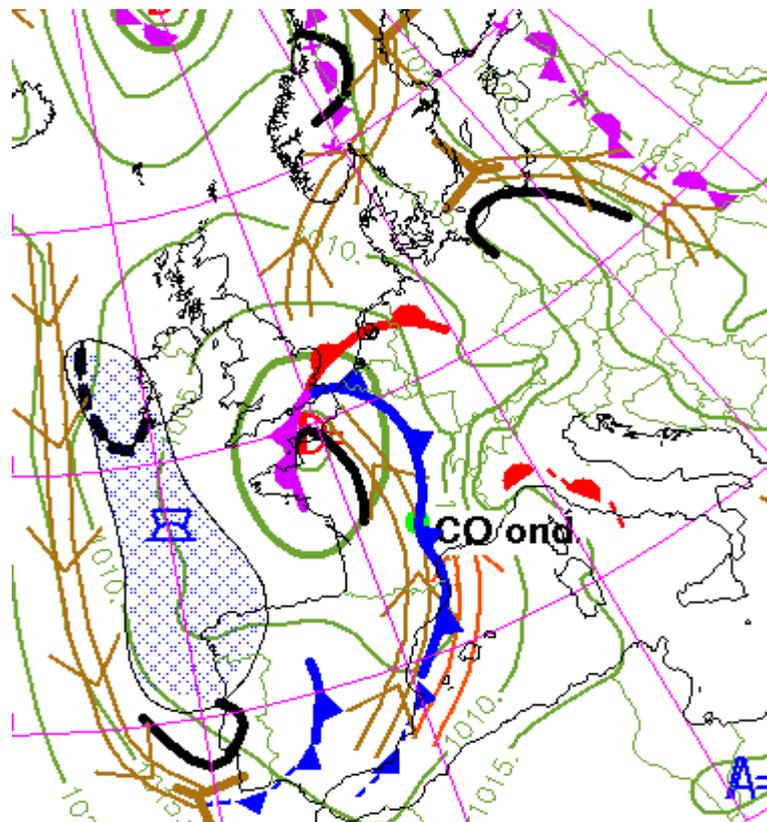
Ces pluies antérieures, qui se terminent à peine 6 jours avant l'arrivée de celles de début décembre, expliquent en grande partie l'extrême rapidité de réaction des affluents cévenols déjà fortement alimentés en eau à cette occasion.

Enfin, on note des pluies entre la soirée du 26 et la matinée du 28. Sans être très conséquentes au voisinage de la Méditerranée, elles concernent surtout les affluents plus au nord. La lame d'eau par bassin peut dépasser 40 mm, au niveau de la Drôme par exemple, et contribue donc à soutenir les débits du Rhône à partir de ces affluents plus au nord.

Dynamique et description météorologique des événements

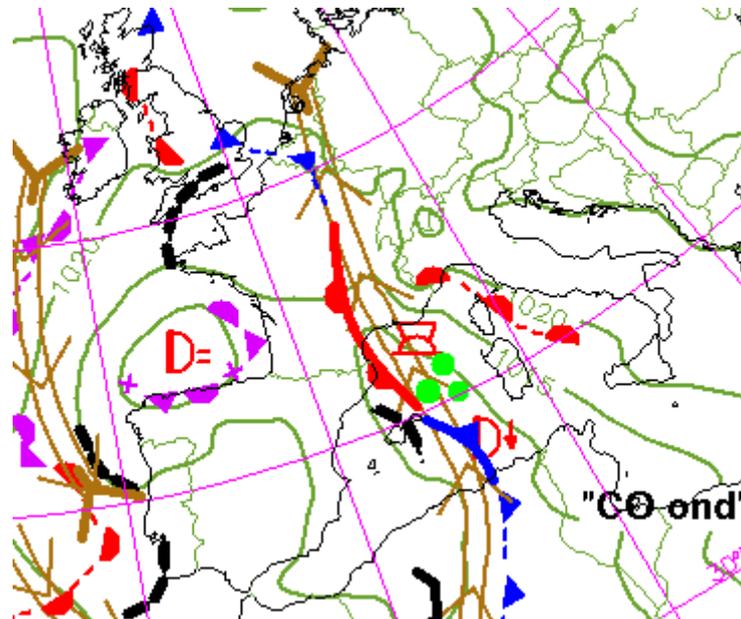
Dynamique météorologique

Ce paragraphe est illustré à l'aide de cartes ANASYG. Elles permettent aux prévisionnistes de formaliser, à l'aide d'objets graphiques, leur expertise de la situation synoptique en spécifiant clairement les éléments cruciaux de la dynamique d'altitude ainsi que les systèmes perturbés de surface et leur activité.



Dans la soirée du 1^{er} décembre, l'écoulement des eaux vers la mer étant contrarié par le violent vent de sud-est, les pluies abondantes et stationnaires provoquent des inondations à Marseille.

Cette situation stationnaire avec un front entretenu par un flux d'air chaud et humide va subsister toute la journée du 2 décembre engendrant de forts cumuls de pluie.



Analyse de la situation le 1er décembre à 6h UTC

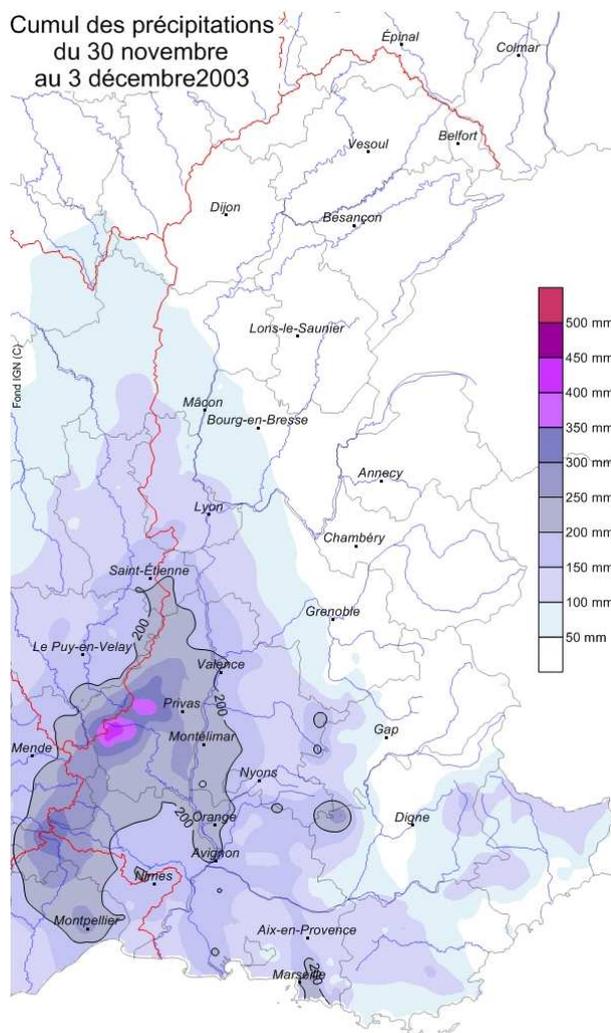
A partir du 3 décembre, la dépression va se déplacer vers le sud-ouest de la France entraînant une bascule du creux barométrique qui oriente le flux de basses couches au sud-est puis à l'est.

La zone pluvieuse pivote vers le sud-ouest en se renforçant en début de matinée sur le Languedoc.

La fin de l'épisode pluvieux ne survient réellement que dans la matinée du 4 décembre.

En résumé, le positionnement des centres d'action qui induit un flux de sud perturbé sur la vallée du Rhône donne à cette situation météorologique un caractère différent d'un épisode cévenol « classique » et les fortes précipitations associées concernent une vaste région s'étendant de la vallée du Rhône jusqu'à la Bourgogne.

Bilan pluviométrique général de l'épisode de fortes pluies



Les précipitations de l'épisode de décembre 2003 - un phénomène méditerranéen extensif : une large extension au nord et de part et d'autre du Rhône

La carte ci-contre représente les cumuls de pluies enregistrés par le réseau de Météo-France pour les 4 journées comprises entre le 30 novembre et le 3 décembre 2003.

Les plus fortes hauteurs de précipitations sont relevées sur les têtes des bassins cévenols (Gard et Ardèche) avec plus de 300 mm, mais la zone concernée ne se limite pas à ces bassins comme dans un épisode cévenol « classique ».

En effet, l'orientation au sud du flux de basses couches (voir paragraphe précédent) fait que la zone des précipitations importantes s'étend plus au nord jusqu'au bassin de la Saône Intermédiaire avec une limite nord de l'isohyète 200 mm située vers le bassin du Gier.

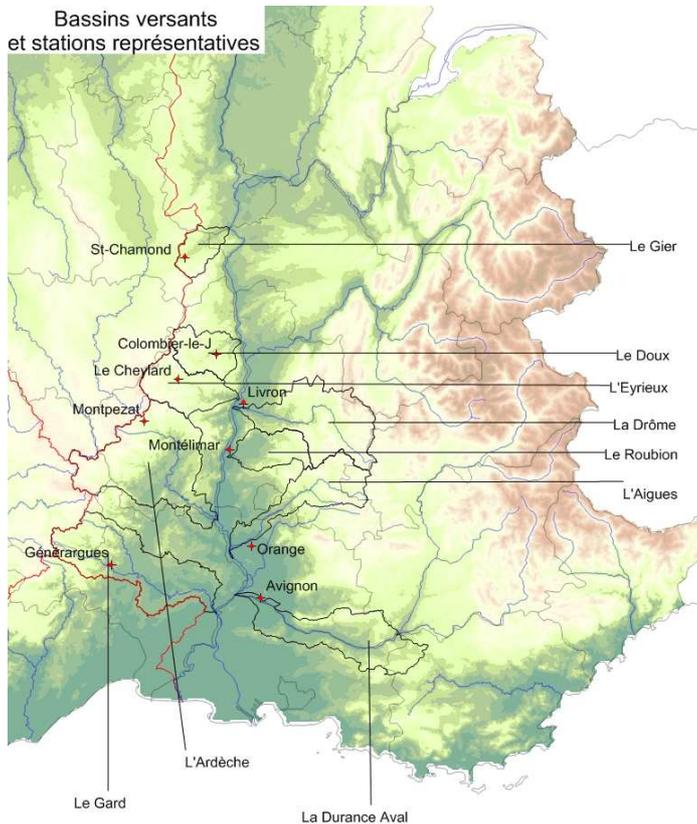
Cette extension vers le nord est très caractéristique des crues à caractère méditerranéen extensif.

Par opposition, l'extension de la zone des fortes précipitations vers les Alpes est extrêmement limitée : le bassin de la Durance n'est concerné que dans sa partie aval et une majorité des bassins des Alpes restent à l'écart des pluies. On relève toutefois quelques zones avec 200 mm en tête des bassins de la Drôme, du Verdon, ainsi qu'à l'intersection des bassins de l'Ouvèze Rive Gauche, du Coulon et de la Durance Intermédiaire

L'analyse de la situation météorologique et de cette carte du total pluviométrique permet de classer la crue de décembre 2003 dans la catégorie des événements méditerranéens extensifs.

Chronologie des pluies par bassins versants

Maintenant, nous allons étudier, plus en détail, neuf sous bassins particulièrement concernés par les très fortes précipitations.



Pour ce faire, nous avons choisi neuf stations automatisées susceptibles de représenter correctement la chronologie et l'intensité des précipitations sur ces bassins, qui sont les principaux contributeurs de la crue majeure à l'aval du Rhône.

Localisation des 9 bassins versants étudiés en détail

Les bassins de la rive gauche du Rhône

Du fait de leur ressemblance, nous avons regroupé dans ce paragraphe les histogrammes décrivant la chronologie des précipitations pour les stations représentatives des bassins versants situés sur la rive gauche du Rhône.

Les 4 stations choisies pour représenter respectivement du sud au nord, la Durance Aval, l'Aigues, le Roubion et la Drôme sont toutes situées dans la partie aval des bassins versants, à proximité du Rhône.

Les quantités d'eau présentées dans cette chronologie sont donc disponibles presque immédiatement pour alimenter le Rhône.

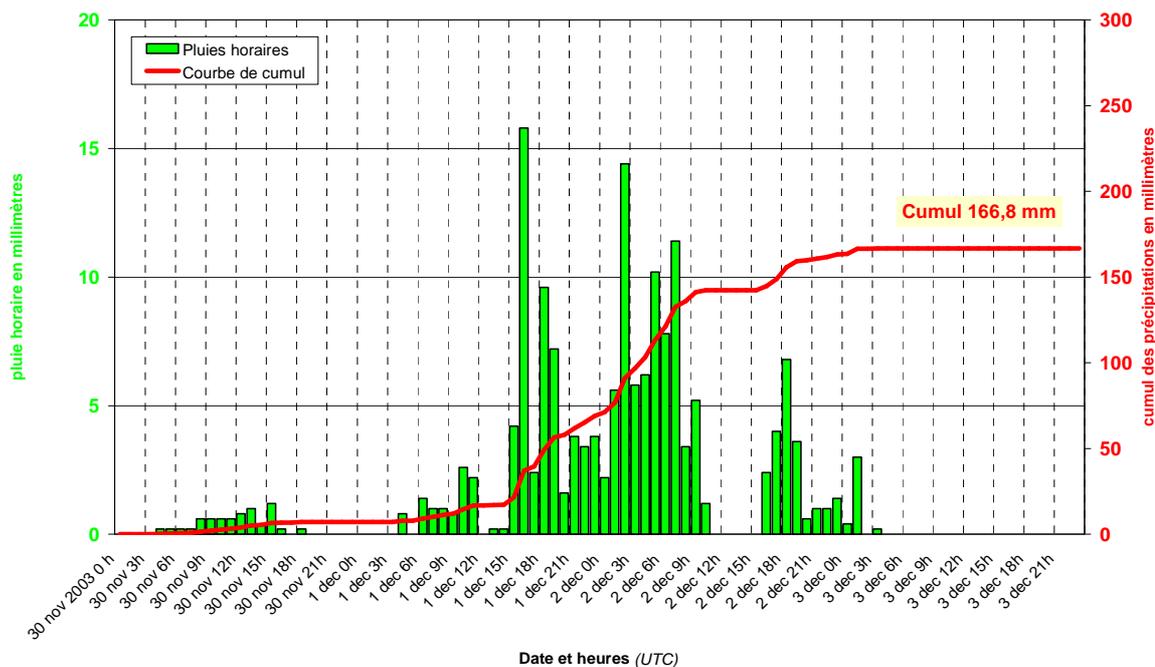
Pour ces 4 postes, la phase la plus intense des précipitations débute le 1^{er} décembre entre 14h et 15h UTC et se poursuit jusqu'à la mi-journée du lendemain avec des intensités fluctuantes. Puis, après un arrêt ou un ralentissement selon les postes, les pluies repartent dans la nuit du 2 au 3 mais avec des intensités faibles. Les intensités horaires les

plus fortes sont relevées entre 16 et 17h UTC le 1^{er} décembre : elles sont inférieures à 20 mm, sauf à Orange où on enregistre 30 mm d'eau.

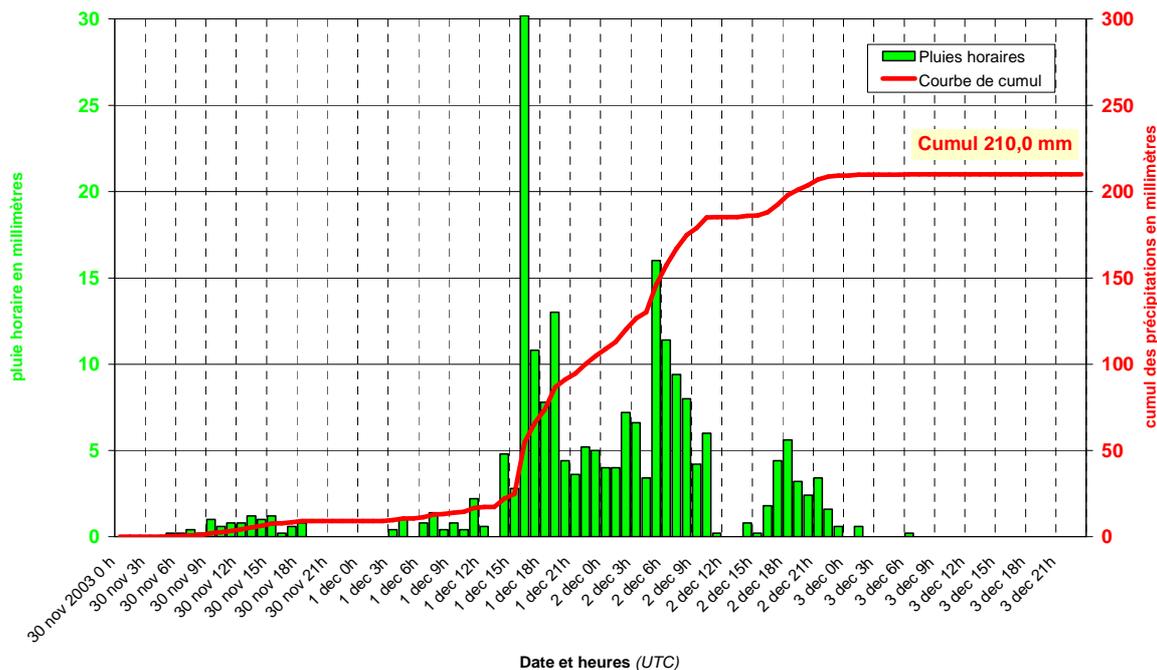
L'histogramme de la station d'Avignon aéroport diffère des autres par un cumul plus faible : 167 mm contre 210 mm à Orange et une valeur maximale de 227 mm pour la station de Livron-sur-Drôme, poste le plus au nord sur la rive gauche du Rhône.



Précipitations à Avignon aéroport (alt: 37 m, Bassin de la Durance aval)
du 30/11/2003 à 0h (UTC) au 3/12/2003 à 23h (UTC)



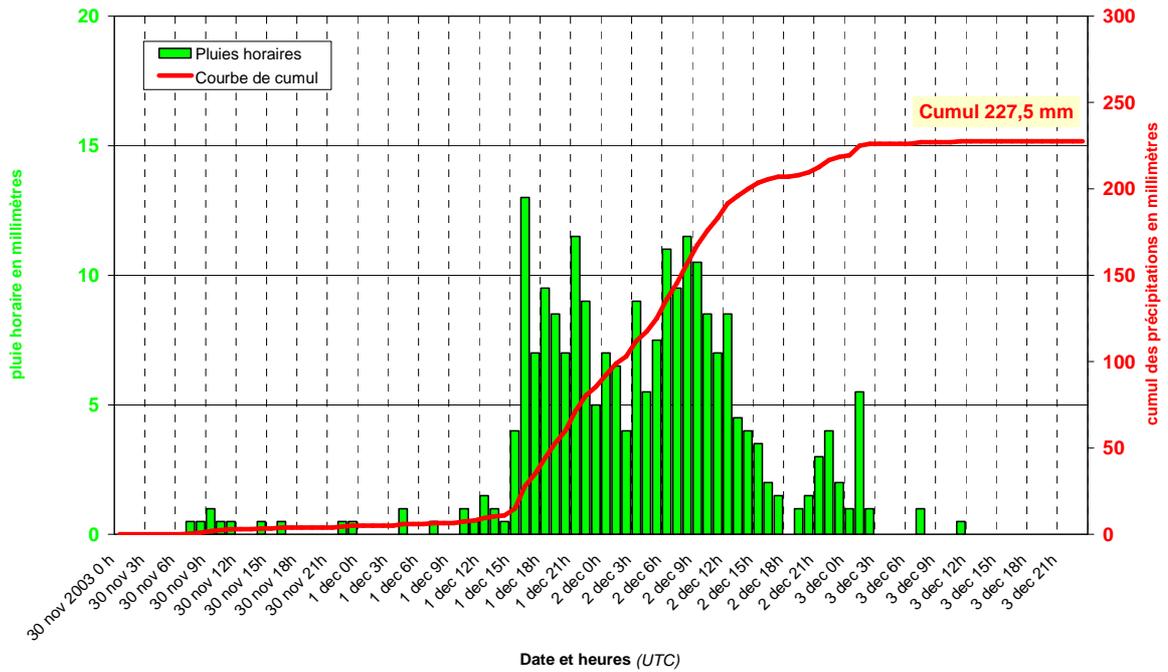
Précipitations à Orange (alt: 53 m, Bassin de l' Aigues)
du 30/11/2003 à 0h (UTC) au 3/12/2003 à 23h (UTC)



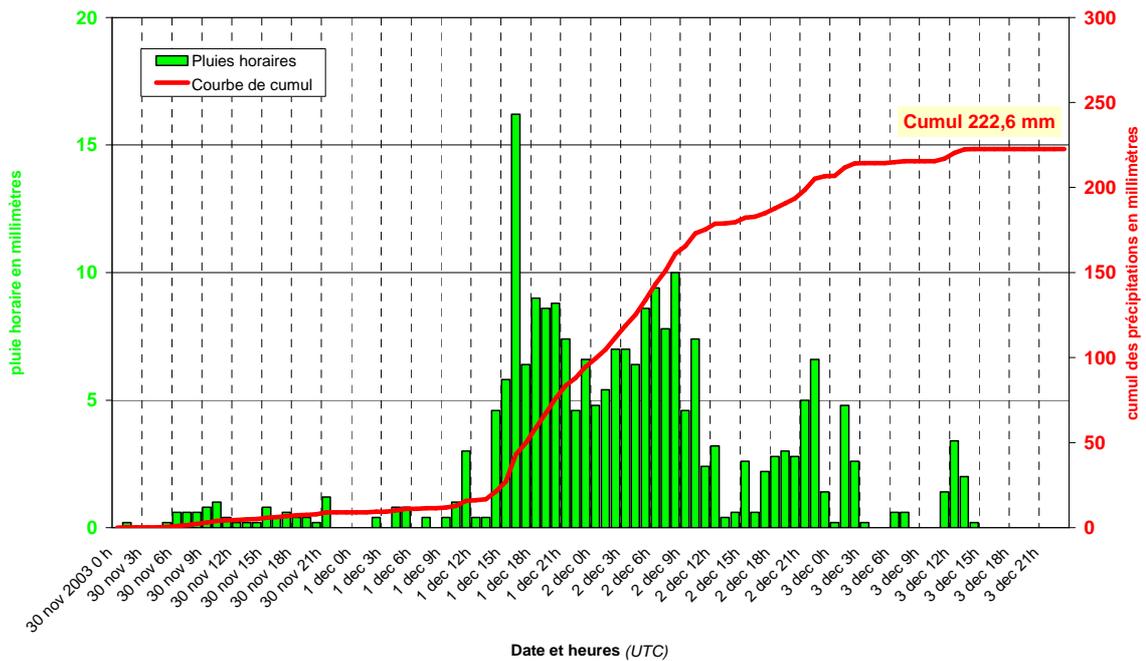
Les histogrammes des 2 stations les plus au nord (Montélimar et Livron-sur-Drôme) se distinguent par la continuité des précipitations durant l'après-midi du 2 décembre : les pluies diminuent d'intensité sans toutefois disparaître.



Précipitations à Livron-sur-Drôme (alt: 98 m, Bassin de la Drôme)
du 30/11/2003 à 0h (UTC) au 3/12/2003 à 23h (UTC)



Précipitations à Montélimar (alt: 73 m, Bassin du Roubion)
du 30/11/2003 à 0h (UTC) au 3/12/2003 à 23h (UTC)



Les bassins de la rive droite du Rhône

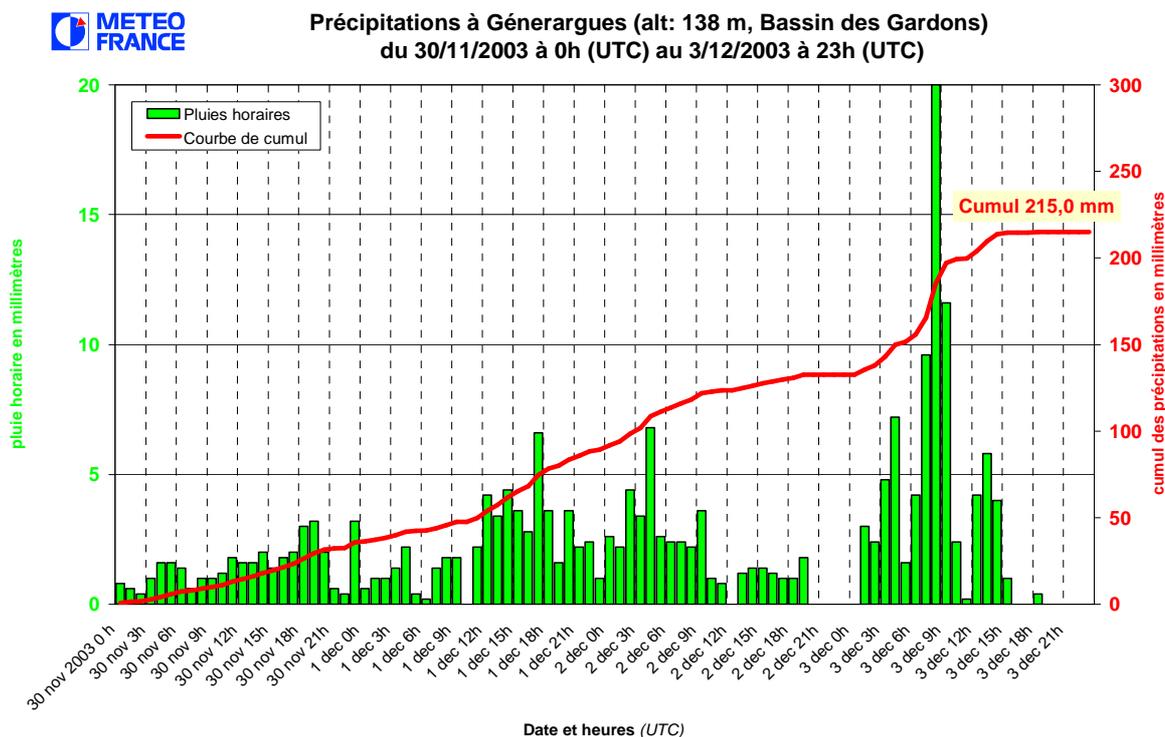
Nous allons maintenant tracer et commenter les histogrammes relatifs aux bassins versants de la rive droite du Rhône en les considérant successivement du sud au nord.

Le bassin du Gard

La station de Générargues, représentative du milieu du bassin du Gard, présente une chronologie des précipitations très différente des 4 bassins étudiés précédemment qui étaient représentatifs de la proche rive gauche du Rhône.

L'histogramme qui suit montre que les précipitations ont déjà commencé le 30 novembre au matin avec des intensités faibles (moins de 5 mm/h). Bien qu'une accentuation se produise dans l'après-midi du 1^{er} décembre, les intensités restent néanmoins plus faibles qu'en rive gauche (à peine plus de 5 mm/h). Une accalmie a également lieu en première partie de la nuit du 2 au 3 décembre, mais elle est plus tardive qu'en rive gauche où les précipitations ont déjà recommencé.

Les pluies repartent à Générargues vers 1h UTC le 3 décembre avec des intensités plus fortes que dans la phase précédente, atteignant un maximum de 20 mm entre 8 et 9h UTC. Elles se prolongent jusque dans l'après-midi alors qu'il ne se passe plus rien depuis le milieu de la nuit sur les bassins de la rive gauche.



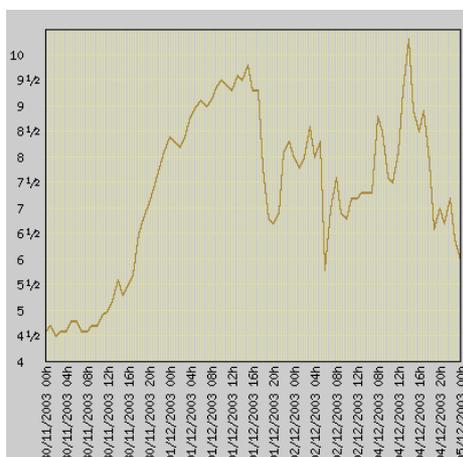
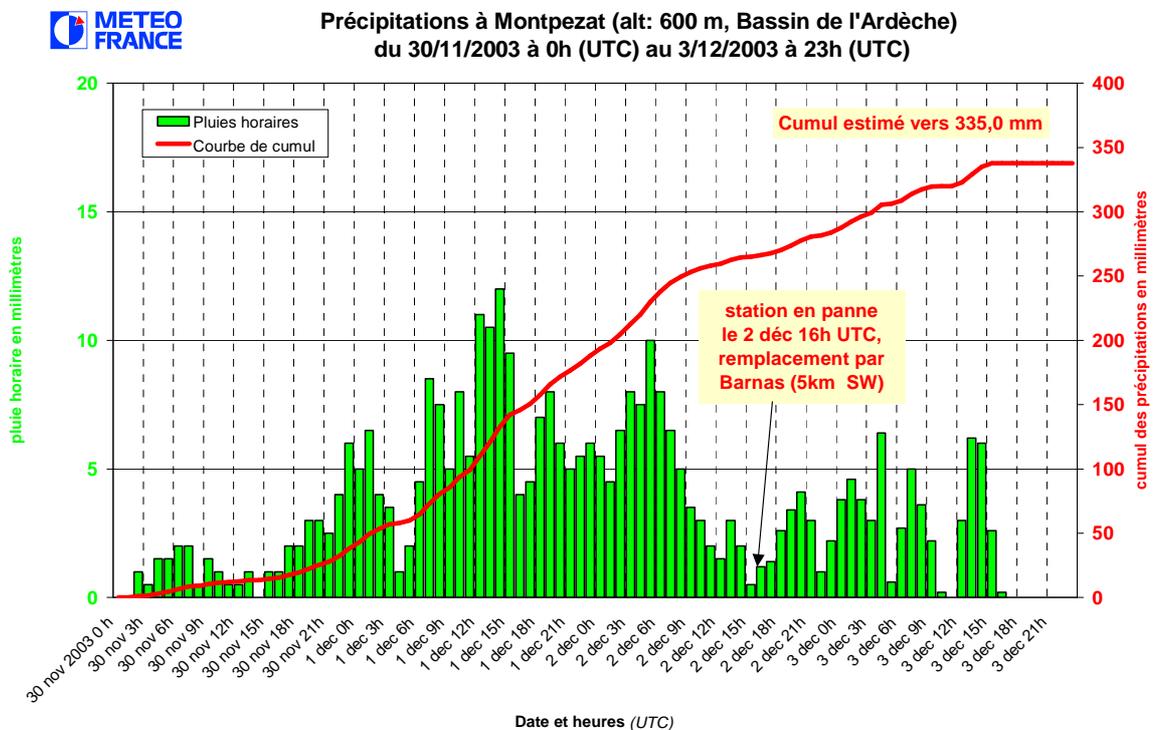
Bien que les intensités soient faibles, à l'exception du 3 décembre, les pluies continues durant la période du 30 novembre au 3 décembre finissent par atteindre une valeur cumulée de 215 mm comparable à celles relevées sur la rive gauche du Rhône. Ce total est inférieur aux valeurs maximales atteintes en tête du bassin du Gard où les 300 mm ont été dépassés (voir carte du paragraphe bilan pluviométrique).

Le bassin de l'Ardèche

La station de Montpezat située en haut du bassin de l'Ardèche, a été choisie pour étudier la chronologie des précipitations sur ce bassin. Toutefois, cette station étant tombée en panne à partir de 16h UTC le 2 décembre, nous avons complété notre graphique avec les données de la station de Barnas située à 5 km au sud-ouest et 120 m plus bas que Montpezat.

Comme à Générargues les précipitations démarrent dès la nuit du 30 novembre, mais les intensités sont rapidement plus élevées. Les pluies se poursuivent avec peu de répit jusque dans la matinée du 2 décembre, les intensités restant comprises entre 5 et 10 mm/h. Les intensités deviennent plus variables jusque dans l'après-midi du 3 décembre et restent moins importantes que sur le Gard dans la matinée.

Le cumul total estimé sur la période d'étude dépasse la valeur des 300 mm d'eau représentative des zones les plus arrosées de la haute Ardèche.

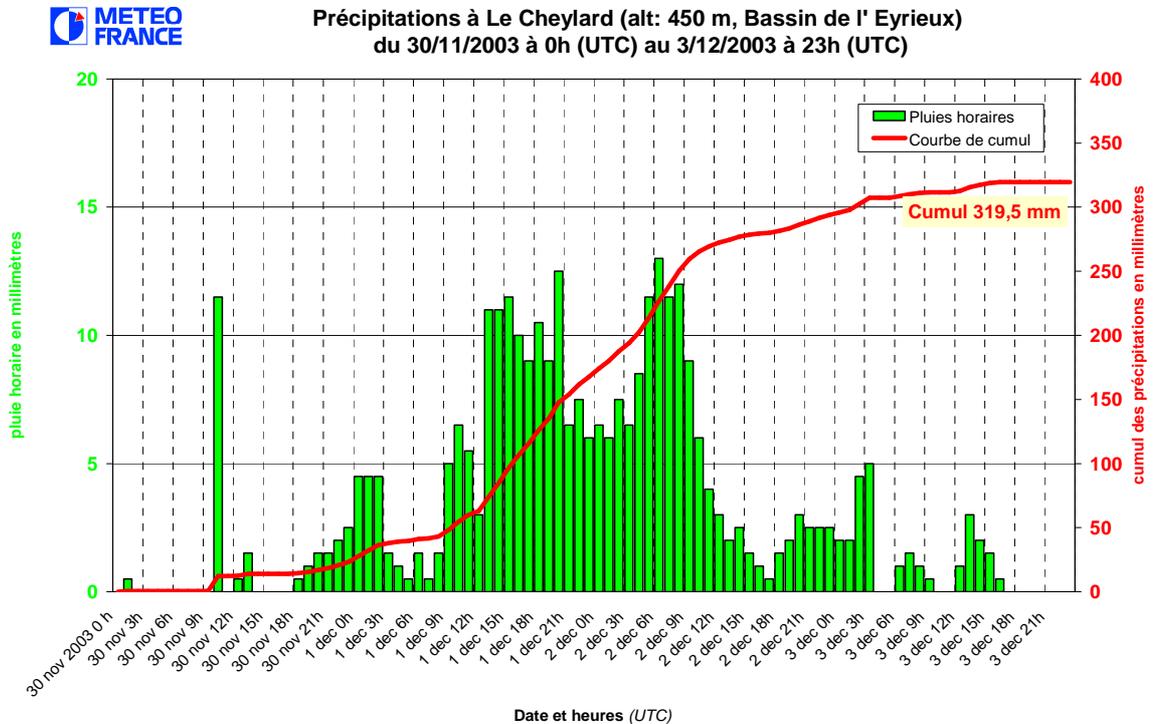


L'observation du graphe des températures ci-contre montre qu'à Montpezat (altitude 600 m), la température sous abri est supérieure à 4°C la nuit du 30 novembre. L'arrivée des fortes pluies s'accompagnent d'un net réchauffement car les températures restent supérieures à 6°C jusqu'à la fin de l'épisode.

Ce graphe montre que le stockage sous forme de neige est négligeable. En effet, si la présence de neige n'est pas impossible à des altitudes supérieures à 1000 m, ces régions correspondent à une très faible surface du bassin de l'Ardèche.

Le bassin de l'Eyrieux

La station du Cheylard, choisie pour représenter le bassin de l'Eyrieux, est située dans la zone ayant enregistré plus de 300 mm d'eau durant cet épisode (cumul total de 320 mm).



L'observation du graphe ci-dessus montre une ressemblance avec la haute Ardèche et la station de Montpezat, les précipitations débutant plus tardivement dans la matinée du 30 novembre et ne devenant continues qu'en fin de journée. Les intensités sont alors moins élevées que sur l'Ardèche mais à partir de 13 h UTC le 1^{er} décembre elles deviennent plus importantes et restent pendant presque 24 heures comprises entre 6 et 13 mm/h. Les pluies subsistent ensuite jusque dans la soirée du 3 décembre mais de manière moins continue et moins soutenue que sur le bassin de l'Ardèche.

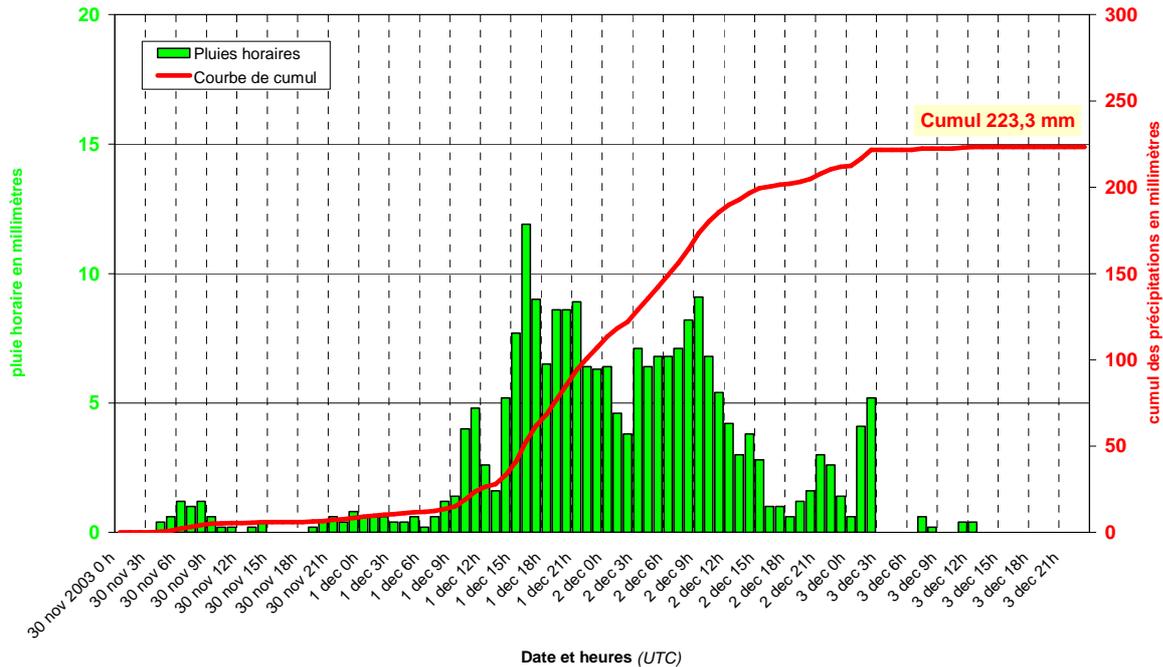
Le bassin du Doux

En remontant vers le nord, le bassin du Doux représenté par la station de Colombier-le-Jeune, montre une chronologie assez proche de celle observée pour l'Eyrieux, mais avec des intensités toujours moins fortes. Toutefois, les intensités horaires sont comprises entre 4 et 12 mm (1 seule heure supérieure à 10 mm) durant la période où les précipitations sont maximales (du 1^{er} décembre 14h UTC au 2 décembre 12h UTC).

En conséquence, Le bilan sur l'épisode est élevé avec des pluies cumulées de 223 mm sur les 4 jours.

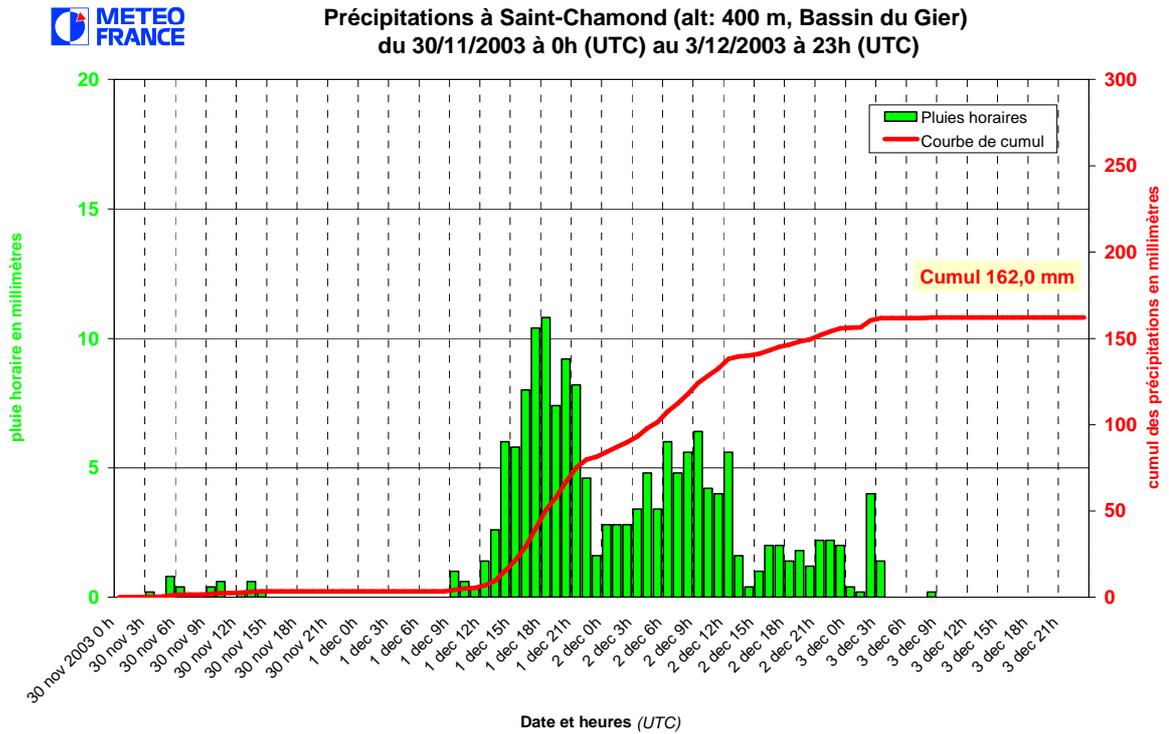


Précipitations à Colombier-le-Jeune (alt: 566 m, Bassin du Doux)
du 30/11/2003 à 0h (UTC) au 3/12/2003 à 23h (UTC)

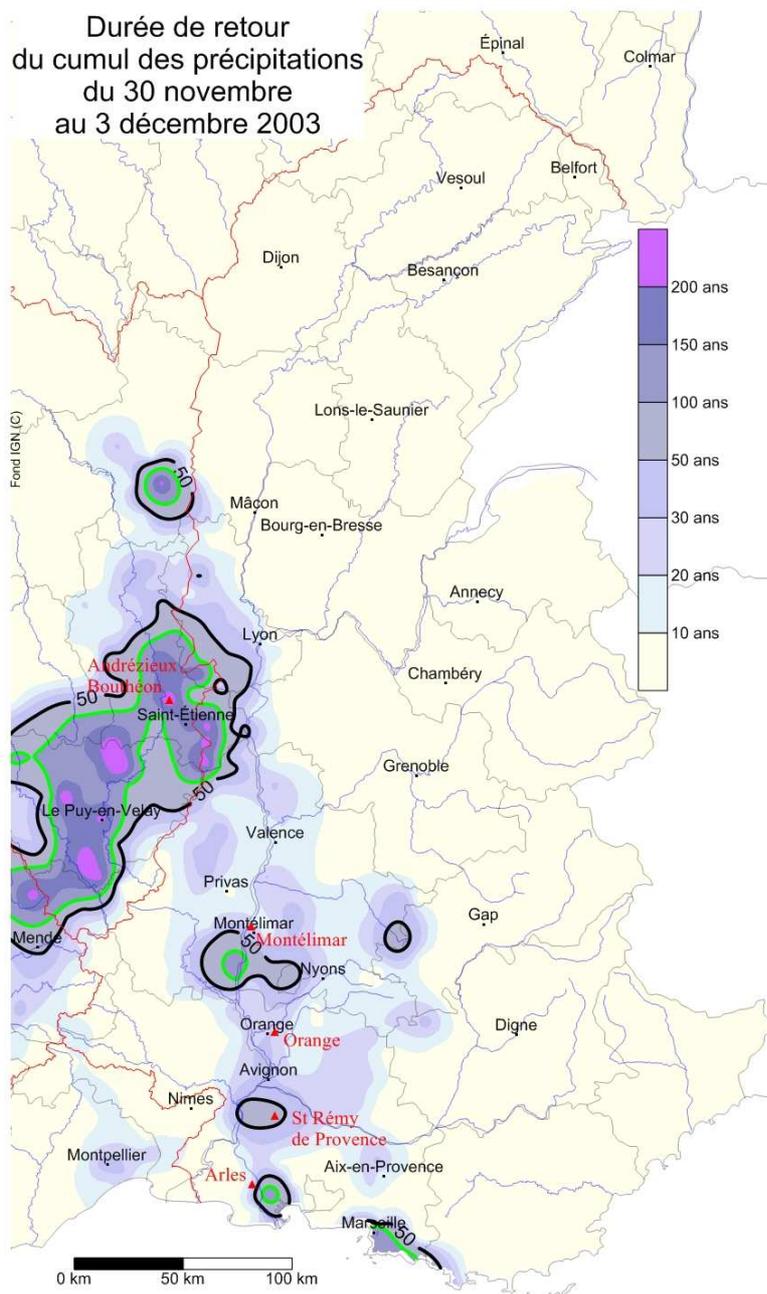


Le bassin du Gier

A Saint-Chamond, les précipitations causées par la situation de blocage (qui se traduit au sol par un front ondulant) ne démarrent que le 1^{er} décembre à 9h UTC et vont en s'amplifiant durant cette journée avec des intensités comprises entre 5 et 11 mm/h. Après un ralentissement durant la nuit du 1 au 2 décembre, les précipitations se poursuivent durant la journée du 2 décembre puis baissent d'intensité jusqu'à 4h UTC le 3 décembre. Le cumul de 162 mm pour la totalité de l'épisode s'avère moins important que ceux des bassins étudiés sur la rive droite. Les précipitations sont cependant élevées du fait qu'elles tombent en moins de 2 jours sur un bassin situé très au nord et donc soumis théoriquement à un climat moins méditerranéen.



Estimation des durées de retour de ces précipitations



Les durées de retour des précipitations du 30 novembre au 3 décembre dépassent les 10 ans dans toute la vallée du Rhône

droite de la Saône. Par contre, il demeure incontestablement commun sur les bassins cévenols traditionnellement touchés par ces pluies méditerranéennes très intenses (Gardons, Cèze, Ardèche), y compris au voisinage de la tête du bassin de l'Ardèche qui présente pourtant un cumul de plus de 400 mm.

Si on s'intéresse aux durées de retour cinquantennales ou centennales, mises en évidence sur la carte par des isolignes respectivement noires et vertes, les zones concer-

Chaque fois qu'apparaît une situation météorologique peu fréquente qui génère des événements hydrauliques inhabituels, la même question se pose : la cause (l'importance des précipitations) est-elle aussi exceptionnelle que ses conséquences (les débits records du Rhône observés à Beaucaire). Une première réponse peut-être apportée par l'étude des durées de retour des précipitations.

En s'appuyant sur les chroniques passées de tous les postes pluviométriques possédant plus de 25 ans de données, nous avons établi la carte, ci-contre, des durées de retour de la lame d'eau cumulée sur la durée totale de l'épisode pluvieux, soit 4 jours. L'estimation de ces durées de retour repose ici sur un ajustement statistique des maxima annuels des cumuls de précipitations quotidiennes par la loi généralisée des valeurs extrêmes (loi GEV). Cette loi est particulièrement adaptée à l'étude des phénomènes des précipitations extrêmes cumulées sur quelques jours.

Sur cette carte, seules les durées de retour supérieures à 10 ans sont mises en évidence. Cette valeur de 10 ans correspond au seuil à partir duquel Météo France qualifie un événement d'exceptionnel. Du point de vue de ce critère, l'événement pluviométrique de ce début décembre 2003 est exceptionnel dans toute la vallée du Rhône depuis son delta jusqu'à Lyon, et plus au-delà au Nord sur la rive

nées sont beaucoup plus restreintes. Dans l'axe du Rhône, on relève ainsi des durées de retour supérieures à 50 ans sur la rive gauche, dans la région de Fos-sur-Mer et celle de Tarascon. Un peu plus au Nord, les précipitations ont également eu un caractère rare dans le tiers central du Rhône, l'extrême Est du bassin de l'Ardèche et celui du Lez. Cependant, c'est encore plus au Nord, sur la rive droite, dans le bassin versant du Cance, du Gier et dans le sud du bassin Rhône amont, que les durées de retour prennent leurs valeurs les plus fortes, atteignant localement les 200 ans. On notera que les précipitations les plus exceptionnelles ne concernent pas le bassin du Rhône mais plus de 10000 km² dans le Sud-Est du bassin de la Loire.

Le tableau suivant contient les durées de retour calculées sur des pas de temps s'étalant d'une heure à quatre jours pour chacun des postes repérés en rouge sur la carte précédente. Ces postes, représentatifs des zones où le cumul pluviométrique sur l'épisode a une durée de retour particulièrement élevée, ont été sélectionnés d'une part pour leur échantillonnage spatial (Arles pour le Delta du Rhône, St Rémy de Provence et Orange pour la Basse vallée du Rhône, Montélimar pour le tiers central du Rhône et Andrézieux-Bouthéon plus spécifiquement pour le bassin du Gier) mais aussi parce qu'ils disposaient d'un historique de mesures suffisant pour une estimation fiable des durées de retour. L'estimation des durées de retour utilise la méthode du renouvellement pour les pas de temps inférieurs à 24 heures et la méthode GEV pour les pas de temps supérieurs ou égal à 24 heures. La méthode du renouvellement, utilisée à l'origine par les hydrologues pour l'estimation de valeurs extrêmes de crues, permet d'évaluer les événements exceptionnels pour des séries disposant d'au moins 10 ans de données. On sélectionne tous les événements supérieurs à un seuil, ce qui permet en général de conserver plus d'un événement par an, alors qu'un ajustement par une loi GEV ne s'applique qu'à des maxima annuels, soit une valeur par an.

	1 heure	2 heures	3 heures	6 heures	12 heures	24 heures	48 heures	72 heures	96 heures
Arles	24,9 < 1 an	44,7 < 2 ans	59 5 ans	80,3 8 ans	91,7 8 ans	125,9 29 ans	164,3 29 ans	165,1 17 ans	167,9 15 ans
St Rémy de Provence	32,6 <5 ans	48,6 6 ans	60,8 8 ans	82,8 8 ans	97,6 8 ans	163,2 65 ans	198,2 81 ans	204 66 ans	204,8 60 ans
Orange	30,2 < 2 ans	41 < 2 ans	48,8 < 2 ans	69,8 < 5 ans	101,8 7 ans	170,6 31 ans	200,6 25 ans	209,8 33 ans	210 30 ans
Montélimar	16,2 < 1 an	22,6 < 1 an	31,6 < 1 an	56,4 < 2 ans	91,8 < 5 ans	162,4 18 ans	205,8 32 ans	217,6 34 ans	222,6 26 ans
Andrézieux Bouthéon	9,2 < 1 an	18 < 1 an	25,4 < 1 an	45,6 6 ans	71,8 11ans	126,6 > 200 ans	158,8 >> 200 ans	163,6 > 200 ans	165,4 > 200 ans

Valeurs maximales relevées (en mm) par pas de temps et durées de retour associées

Du précédent tableau, il ressort qu'aucune intensité de précipitation en moins de 6 heures n'est exceptionnelle. En effet, pour ces pas de temps, les durées de retour n'excèdent pas 8 ans, les estimations les plus fortes étant obtenues pour les postes les plus Sud (Arles et St Rémy de Provence).

Au-delà, les précipitations sur 12 heures sont déjà peu communes dans le bassin du Gier, mais ce sont les cumuls de précipitation sur une journée et plus qui dénotent le caractère exceptionnel de cet épisode pluvieux. Toutes les durées de retour estimées pour les cumuls supérieurs à 24 heures dépassent 15 ans au moins.

Orange faisant légèrement exception, c'est le cumul sur 2 jours qui est le plus exceptionnel, avec une durée de retour au moins égale à 25 – 30 ans.

Enfin, les valeurs d'Andrézieux-Bouthéon révèlent le caractère particulièrement rare de cet événement pluviométrique sur les zones plus septentrionales. Fort d'un panel de données de plus de 50 ans permettant un calcul assez fiable de valeurs de durées de retour de 200 ans, les valeurs obtenues début décembre 2003 dépassent alors de loin tous les records connus sur ces zones (Ay, Cance, Gier, Monts du Lyonnais, etc.).

En conclusion sur les durées de retour, force est de reconnaître que les événements pluviométriques du 30 novembre au 3 décembre 2003 bien qu'importants, sont assez loin du caractère tout à fait exceptionnel présenté par leur impact au niveau des débits mesurés en aval du Rhône.

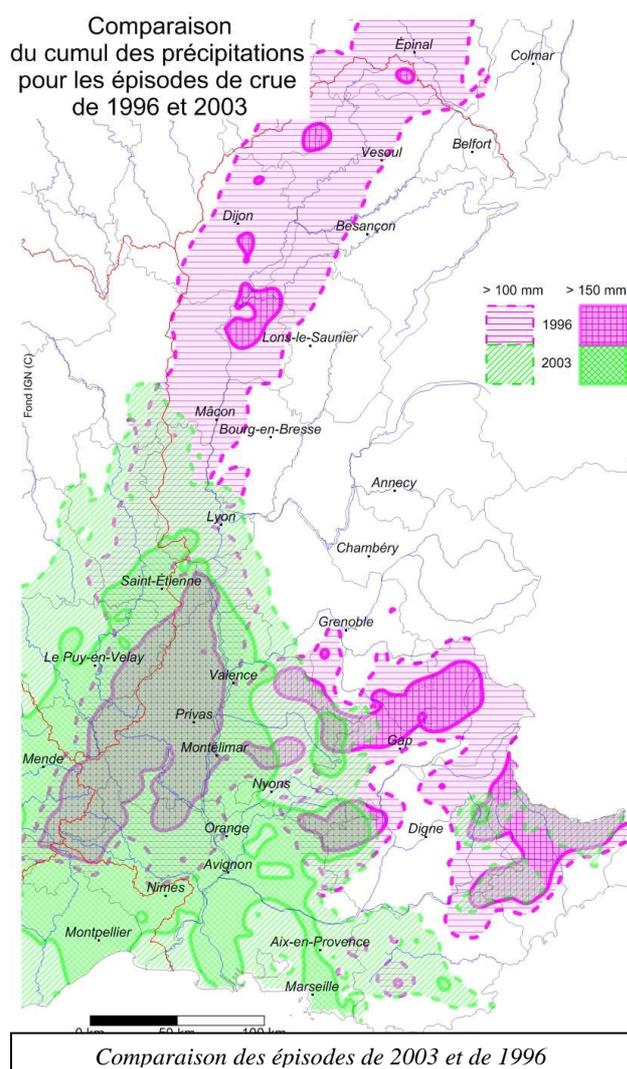
Ainsi, du point de vue climatique, les pluies recueillies sur les bassins cévenols sont assez courantes ; elles sont déjà bien plus rares sur le tiers central du Rhône et ses affluents de rive gauche. En fait, elles ne sont extrêmement remarquables que par leur extension au nord jusqu'au massif du Pilat et aux monts du Lyonnais.

Il semble donc qu'il faille chercher des explications complémentaires à l'ampleur des valeurs maximales des crues observées : la simultanéité des pluies sur les zones très étendues touchées par les pluies abondantes, ainsi que le contexte antérieur à ces précipitations de décembre 2003 (l'épisode de pluies cévenoles du 21 au 24 novembre, présenté précédemment, ayant déjà fortement amplifié les débits) sont vraisemblablement les 2 facteurs principaux des conséquences hydrauliques observées sur le Rhône aval.

Comparaison à d'autres situations ayant conduit à des crues historiques du Rhône

Novembre 1996 :

Novembre 1996 a été un mois très perturbé, qui a connu un épisode de crues remarquables du 10 au 13 novembre.



Bien que classé de type cévenol, l'extension vers le bassin de la Saône de l'épisode de novembre 1996 rend sa comparaison pertinente avec celui de début décembre 2003, de type méditerranéen extensif. La carte ci-contre présente les zones affectées par les cumuls de précipitation supérieurs à 100 et 150 mm sur les 4 jours de chaque épisode.

Nous remarquons essentiellement :

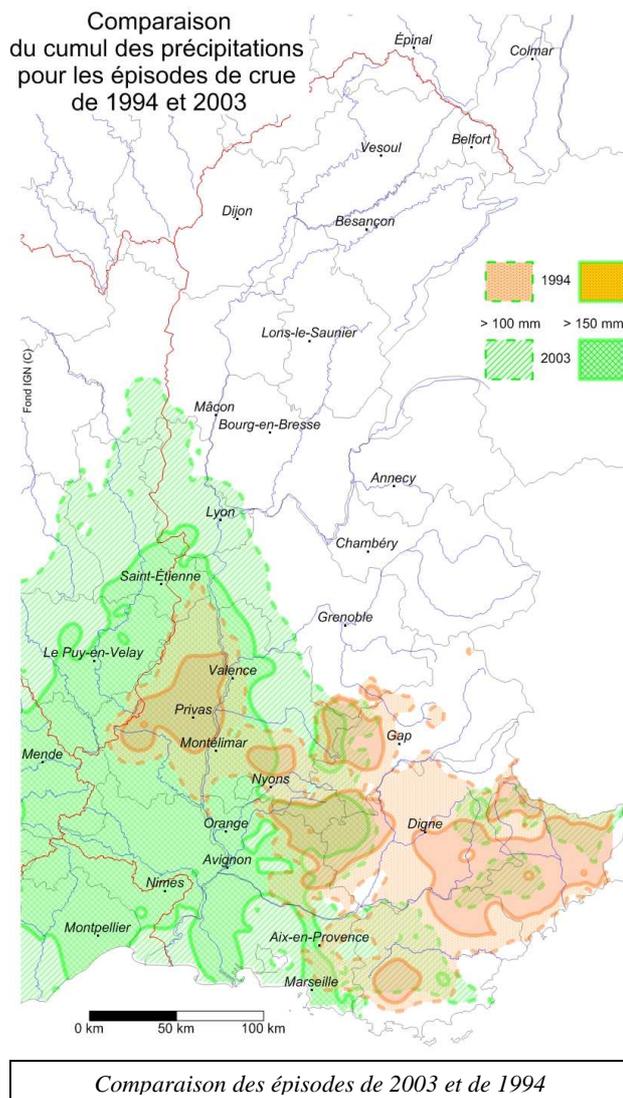
- Non pointées sur la carte, les valeurs extrêmes nettement plus fortes en novembre 1996 qu'en décembre 2003 (plus de 600 mm sur la haute Ardèche en 1996 contre 400 mm en 2003)
- Un caractère plus largement extensif des précipitations vers le nord en 1996, avec une très large zone à plus de 100 mm sur le bassin de la Saône
- Dans la partie sud du Rhône par contre, la zone touchée par une lame d'eau de plus de 150 mm est très nettement moins étendue en 1996 qu'elle ne l'a été en décembre 2003, où ces zones de fortes précipitations débordent bien plus largement sur la vallée du Rhône.
- En 1996, les Alpes du sud ont également subi de fortes précipitations, en particulier dans le bassin du Drac et à l'est du bassin de la Durance. Ces bassins ont été épargnés en décembre 2003.

En résumé, bien que les valeurs maximales cévenoles soient plus faibles et que l'extension au nord des précipitations soit moindre, l'épisode de fortes précipitations de décembre 2003 est d'une ampleur bien supérieure à celui de novembre 1996 sur la partie aval du Rhône.

Cette différence se situe essentiellement au niveau des surfaces touchées par des pluies de plus de 150 mm en moins de 4 jours : elles sont bien plus importantes en 2003, s'étendant en particulier sur la totalité de la vallée du Rhône au sud de Givors et sur une surface plus large de la partie aval des affluents de la rive gauche.

Janvier 1994

La comparaison des causes météorologiques de la crue de 2003 avec les crues historiques de novembre 1840, mai 1856, octobre 1993 ou novembre 2002 n'est pas possible, car il s'agit dans ces 4 cas de type de crues généralisées, c'est à dire dont les causes météorologiques tiennent en une succession de situations très différentes sur des périodes qui durent plusieurs semaines, donc absolument pas comparables à celle de novembre 1996 ou décembre 2003.



Par contre, une autre situation peut être comparée : celle de début janvier 1994, où les débits de pointe ont été également bien supérieurs à 10000 m³/s à Beaucaire.

Dans ce cas, ce sont des pluies cumulées en 3 jours, du 5 au 7 janvier 1994, qui sont la cause principale des réactions du Rhône, tout en partant également de sols d'hiver très saturés.

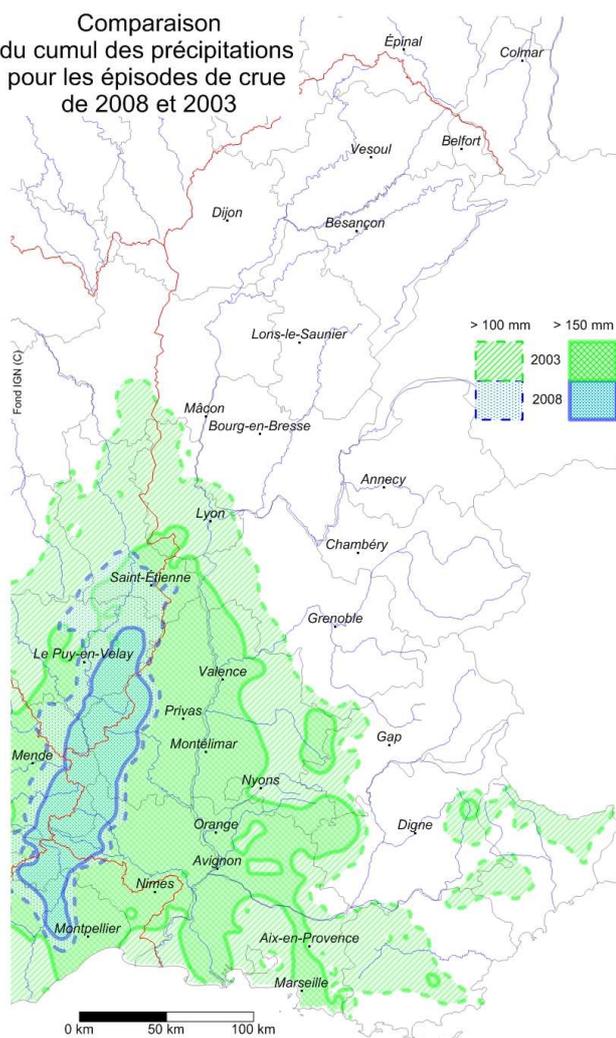
Les bassins touchés en 1994 sont toutefois différents. En rive droite, les valeurs relevées sont un peu plus faibles et moins étendues qu'en décembre 2003 (avec le haut bassin du Gard presque épargné), mais également de fortes précipitations sur la vallée de Valence à Montélimar. Par contre, en rive gauche, certains bassins ont été bien plus exposés aux fortes pluies en 1994, comme l'Aigues, le Roubion, l'Ouvèze, la Haute Durance et le Verdon.

Au total, lors des événements de janvier 1994, l'étendue géographique des zones touchées par des précipitations de plus de 150 mm semble assez proche ou légèrement inférieure à celle de décembre 2003. Mais ces zones sont beaucoup moins homogènes, dispersées entre les bassins de l'Ardèche et de l'Eyrieux, de l'Aigues et de l'Ouvèze, du Verdon et de la Durance.

Novembre 2008

Les crues de novembre 2008 sont les dernières de grandes ampleurs en date de ce jour. La comparaison avec 2003 est cependant délicate : l'épisode pluvieux de 2008 est de type cévenol avec des précipitations fortes mais qui ne durent qu'une quinzaine d'heures à cheval sur 2 jours.

Comparaison
du cumul des précipitations
pour les épisodes de crue
de 2008 et 2003



L'étendue spatiale des précipitations de 2008 est limitée aux sommets des Cévennes et constitue de ce fait une bande d'une soixantaine de kilomètres de large, à cheval sur les bassins versants de la Loire, du Rhône et de la Garonne, qui ne remonte pas au-delà de Saint-Etienne au nord. Cette étendue est donc sans rapport avec celle, massive, des précipitations de 2003 qui s'étalent sur les bassins versants des deux rives de la Loire, de son embouchure jusqu'à Lyon.

Les crues de 2008 ont eu pour déclencheur les précipitations cartographiées ci-contre. Par contre, elles ne se sont produites que parce que ces précipitations sont arrivées sur des sols hyper saturés par un épisode pluvieux d'ampleur comparable ayant eu lieu 6 jours avant. Cet épisode précédent n'avait causé aucun débordement.

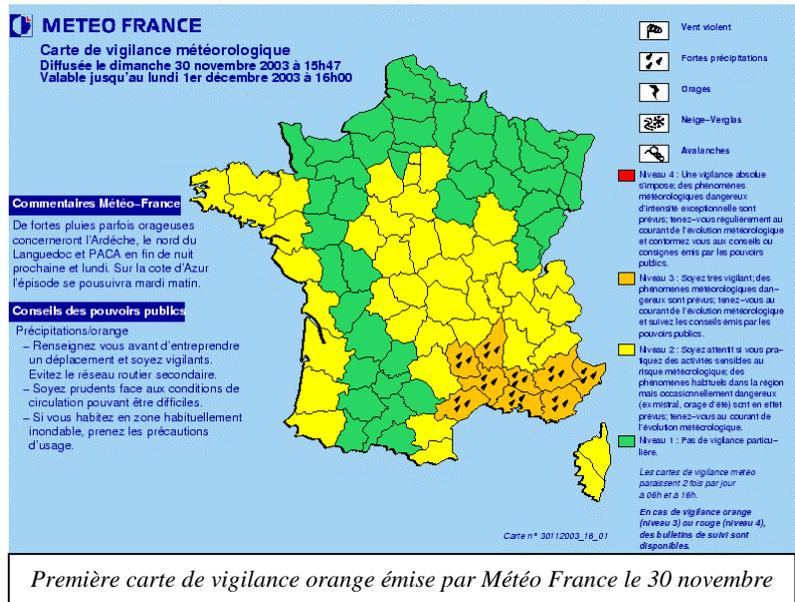
Comparaison des épisodes de 2003 et de 2008

Ainsi, ces autres comparaisons nous paraissent bien confirmer que le caractère très spécifique des précipitations de début décembre 2003 réside dans le caractère continu de la zone des plus fortes précipitations, qui ont ainsi touché simultanément un grand nombre de sous bassins du Rhône voisins, entraînant une vraisemblable conjonction des situations de crue en aval. Les crues de 2008 nous montrent l'effet amplificateur lié à la saturation des sols.

Les Prévisions météorologiques

La vigilance

L'anticipation du phénomène est de l'ordre de 12 heures puisque la production de la première carte de vigilance plaçant les premiers départements en vigilance orange fortes précipitations est diffusée le 30 novembre vers 16 heures. Le bulletin de suivi associé fixe le début de l'événement au lundi 1er décembre vers 4 heures et sa fin le mardi 2 décembre vers 12 heures. Les quantités de précipitations prévues pour ce laps de temps sont conformes à ce qui va se passer pour le Gard, la Lozère et l'Ardèche. Elles sont surestimées pour l'Hérault, le Var et les Alpes Maritimes, très surestimées pour les Alpes de Haute Provence. Par contre, les précipitations qui sont tombées dans la vallée du Rhône sont clairement sous-estimées puisque les 80 à 100 mm voire localement 150 mm annoncés pour les Bouches du Rhône et le Vaucluse vont être largement dépassés sur une large zone : 193 mm à Marseille, 183 mm à Châteauneuf-du-Pape, 176 mm à St Rémy de Provence et Orange... Des quantités équivalentes sont également tombées dans les plaines de la Drôme, département qui ne sera placé en vigilance orange que le 1er décembre à 6 heures.



La persistance de l'épisode au-delà de sa date de fin initiale est envisagée dans le bulletin de suivi du 1er décembre à 10 heures et clairement affichée dans celui de 15 heures. L'extension de la vigilance au Nord, sur les départements de la Haute-Loire, de la Loire et du Rhône est effective dans le bulletin du 2 décembre à 6 heures alors que la lame d'eau sur ces départements atteint déjà localement 90 mm. Les quantités annoncées jusqu'à la fin de l'épisode sont correctement prévues.

La fin de l'épisode avec l'arrivée de fortes pluies orageuses sur le Languedoc est correctement annoncée. La lame d'eau envisagée, 200 à 400 mm en 24 heures sur l'Hérault, qui entraîne une vigilance rouge sur ce département, ne sera cependant pas atteinte dans la réalité. Seule la moitié des précipitations attendues sera effective.

La fin de l'épisode avec l'arrivée de fortes pluies orageuses sur le Languedoc est correctement annoncée. La lame d'eau envisagée, 200 à 400 mm en 24 heures sur l'Hérault, qui entraîne une vigilance rouge sur ce département, ne sera cependant pas atteinte dans la réalité. Seule la moitié des précipitations attendues sera effective.

En conclusion, au départ : bonne prévision du phénomène cévenol, mais sous estimation de sa durée et de son caractère extensif au nord et surestimation des pluies côté alpin. Suivi de l'événement : très correct à la fois dans son timing et dans les quantités de précipitations estimées. A la fin : surestimation de l'épisode orageux qui a touché le Languedoc Roussillon.

Au total, la vigilance orange a été activée sur 23 départements, du Gers au Var, des Pyrénées orientales à la Saône et Loire. Une vigilance rouge a été mise en place sur le département de l'Hérault.

Estimation des lames d'eau

Pour les besoins de la CNR (Compagnie Nationale du Rhône), une prévision de lame d'eau par bassin versant est effectuée quotidiennement pour le lendemain et le surlendemain. Une étude interne sur la qualité de ces prévisions pendant l'épisode pluvieux de décembre a été effectuée pour 9 bassins versants. En voici brièvement les conclusions :

- Une erreur de prévision a été faite le 1er décembre pour la journée du 3 décembre. Le modèle n'a pas anticipé à cette date, la bascule du flux de basses couches vers le sud-est qui va déclencher la vigilance rouge sur le département de l'Hérault.
- La comparaison entre les prévisions faites à J-2 et celles de J-1 montre une très nette amélioration de la prévision au fur et à mesure que l'on se rapproche des échéances concernant les fortes précipitations. Cela dénote les difficultés des modèles de prévision alors utilisés à bien appréhender les situations hors normes dues à des phénomènes de blocage du flux de basses couches comme celle de décembre 2003.
- La comparaison des lames d'eau prévues la veille avec les lames d'eau calculées a posteriori montre une grande variabilité temporelle et spatiale de la qualité des prévisions. On observe de bonnes prévisions pour le 1^{er} décembre sur les bassins de la Durance Aval, de l'Aigues, de la Drôme et du Rhône Tiers Amont (soit 3 bassins en rive gauche à l'exception du Roubion), les erreurs relatives étant de l'ordre de 40% sur les 5 autres bassins considérés. La prévision pour le lendemain 2 décembre, est bonne sur les bassins du Gard, de l'Ardèche et de l'Eyrieux (soit les 3 bassins rive droite les plus au sud) mais moins bonne plus au nord et pour les bassins versants de la rive gauche avec une surestimation pour le bassin de la Durance Aval.

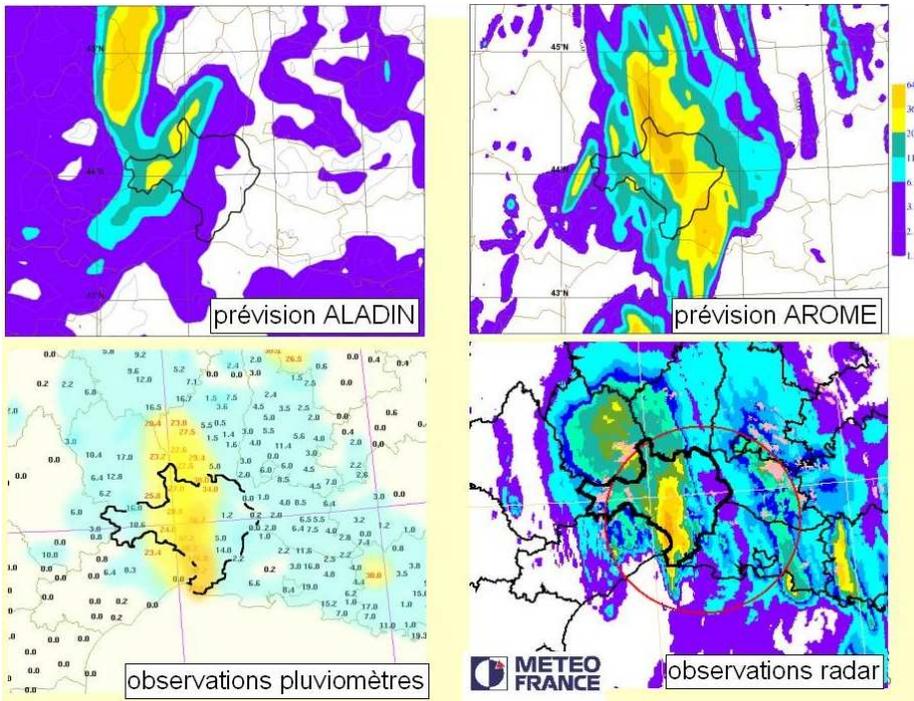
Amélioration des prévisions depuis 2003

Ce sont bientôt six années qui se sont écoulées depuis la crue de décembre 2003. Depuis cette date, on note plusieurs évolutions qui améliorent la prévision et la connaissance des phénomènes pluviométriques intenses et de leur impact sur les cours d'eau. La plus importante est sans nul doute l'avènement à l'automne 2008 du nouveau modèle de prévision numérique Arome. Le risque pluviométrique est ou sera prochainement mieux appréhendé grâce à un outil, Cariplu, en cours de test dans le sud-ouest ainsi que par un produit récent, le SWI, dont l'intérêt a été mis en évidence lors de la crue de novembre 2008.

Arome

C'est le nom d'un modèle supplémentaire disponible pour les prévisionnistes de Météo-France depuis fin décembre 2008. Ce modèle, géographiquement limité à la France, a une maille de 2.5 km et est Non-Hydrostatique. Sa physique est beaucoup plus élaborée que dans le modèle Aladin et des cycles d'assimilation toutes les 3 heures (contre 6 pour les autres modèles) permettent d'utiliser plus d'observations et de rafraîchir plus fréquemment l'analyse.

Tout concourt à améliorer la finesse de la prévision immédiate comme le montre l'image ci-dessous.



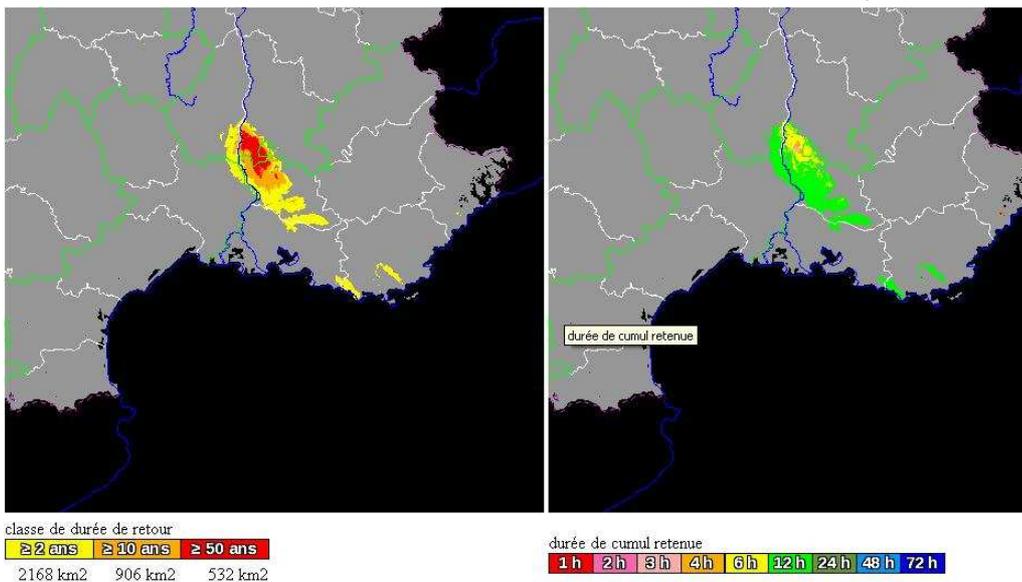
Cette étude de cas d'un épisode méditerranéen intense montre que la prévision Arome, sans être parfaite, est incontestablement meilleure que la prévision Aladin, à la fois dans la localisation spatiale du phénomène que dans son intensité.

Ceci a été confirmé lors de l'épisode de novembre 2008 : les prévisions du modèle Arome, alors en phase pré-opérationnelle, ont été meilleures que celles du modèle Aladin. Elles ont cependant sous-estimé les précipitations sur une large zone.

Comparaison des prévisions Aladin et Arome - épisode cévenol extrême du 06/09/2005

Cariplu

Un système de génération de cartes de risque pluviométrique (CARIPLU) à partir des observations radar est actuellement en test dans l'inter région Sud-Ouest.



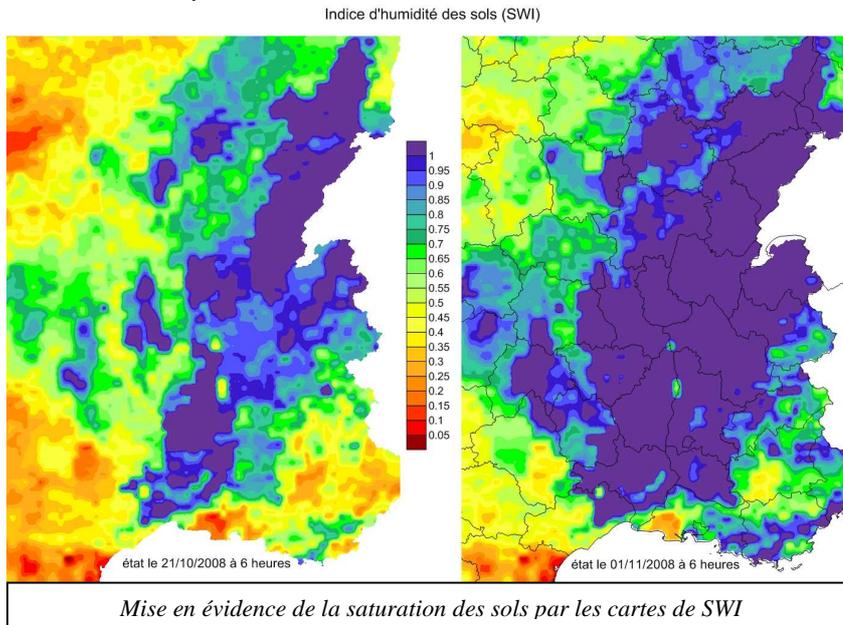
Ces cartes de risque pluviométrique, destinées aux prévisionnistes, donnent en temps quasi-réel les durées de retour des pluies en cours, pour différentes durées de cumul allant de 1 à 72 heures. Le cumul de pluie est estimé par traitement des lames d'eau Panthère issues de nos radars météorologiques. Les quantiles des durées de retour qui servent

Les cartes de risque pluviométrique : un nouvel outil en test à Météo France

de référence sont ceux calculés par le Cemagref (données SHYREG).

Swi

Le SWI, Soil Wetness Index, est un indice d'humidité des sols, exprimé en %. Lorsqu'il est voisin de 1, voire supérieur à 1, le sol est humide, tend vers la saturation. S'il tend vers 0, voire passe en dessous de 0, le sol est en état de stress hydrique, voire très sec.



L'intérêt de cet indice a été mis en évidence lors des 2 épisodes cévenols qui se sont succédés le 20 octobre puis le 1^{er} novembre 2008. Les quantités de pluies en cause dans les 2 épisodes sont très proches. Par contre, comme on le constate sur les cartes ci-contre, le SWI est complètement différent sur les 2 épisodes. Les pluies du second épisode arrivent sur des sols saturés par le premier. Les effets de ces 2 épisodes n'ont

rien de comparable puisque le premier est quasiment passé inaperçu alors que le second a causé des millions d'euros de dégâts. Une des pistes d'amélioration émises lors du retour d'expérience de novembre 2008 est la modification des seuils de vigilance en fonction du SWI.

Conclusion

Les précipitations abondantes de début décembre 2003 ont conduit au quatrième épisode de crue importante du Rhône du tout jeune 21^{ème} siècle, après mars 2001 (crues océaniques), septembre 2002 (type cévenol atypique, qualifié d' « hors normes ») et novembre 2002 (type généralisé).

L'étude de la situation météorologique et des cumuls de pluies recueillis prouve que l'épisode de décembre 2003 est un épisode de type méditerranéen extensif. Il survient en un peu plus de 3 jours, à partir d'une situation cévenole quasi-classique les 30 et 1^{er}, qui s'étend ensuite à la fois loin au nord et sur la partie basse de la vallée du Rhône, touchant donc également la vallée et une bonne partie des bassins de la rive gauche.

L'analyse des précipitations horaires de 9 stations automatisées représentatives des bassins versants les plus touchés montre globalement qu'il y a peu de différence de chronologie des pluies, à l'exception des celles tombées sur le bassin des Gardons, qui démarrent un peu plus tôt le 30 novembre et s'atténuent le 2 avant de reprendre plus intensément le 3 décembre.

Analysées en termes de durées de retour ponctuelles, les valeurs relevées sur ces stations représentatives n'ont rien de franchement exceptionnel sur les affluents cévenols. Elles sont par contre nettement plus rares au niveau du tiers central du Rhône et de ses affluents de rive gauche, ainsi que sur les bassins les plus au Nord comme celui du Gier.

Finalement, pour tenter d'expliquer les crues exceptionnelles observées sur le Rhône aval, les meilleures pistes semblent donc être celles de la très grande étendue géographique des plus fortes précipitations (bien supérieure à celle de novembre 1996 par exemple), tombées quasi simultanément sur une zone compacte de part et d'autre de la vallée et sur des sols déjà très fortement saturés par des pluies abondantes en novembre, suite notamment à un épisode cévenol du 21 au 24 novembre.