

EPISODE PLUVIO-ORAGEUX DU 15 JUIN 2010 SUR LE VAR

Retour d'expérience sur la prévision météorologique et hydrologique d'un épisode diluvien exceptionnel

Guillaume ARTIGUE¹, David DUMAS², Christophe MERTZ³, Emmanuel WESOLEK⁴

1 : hydrologue, pôle prévision, KERAUNOS (Observatoire) (g.artigue@keraunos.org)

2 : responsable pôle prévision, KERAUNOS (Observatoire) (d.dumas@keraunos.org)

3 : recensement des phénomènes convectifs, KERAUNOS (Observatoire) (c.mertz@keraunos.org)

4 : responsable pôle recherche, président de KERAUNOS (Observatoire) (e.wesolek@keraunos.org)

18 juin 2010

* * *

RESUME

Un épisode pluvio-orageux d'une intensité exceptionnelle a durement touché le département du Var le mardi 15 juin 2010. Après un résumé des grandes lignes de la situation météorologique associée à cet épisode, le bilan retrace les différentes étapes de sa prévision telle qu'elle a été réalisée par l'Observatoire, depuis le bulletin émis la veille jusqu'au suivi en temps réel et l'émission des Avis d'Orage Violent. Il en ressort que, si les grandes lignes de l'épisode ont bien été anticipées, la plus-value de la prévision immédiate est capitale lorsque la situation météorologique prend un caractère exceptionnel, notamment parce que ce type d'épisode est souvent sous-estimé en prévision classique.

► Introduction

Des lames d'eau diluviennes, les plus importantes depuis le début des relevés météorologiques sur la région Provence-Alpes-Côte-D'azur, ont été enregistrées sur le centre Var, entre Draguignan, Les Arcs et Le Luc, en Provence. Ce sont ainsi jusqu'à 310 mm en 12h et **400 mm en 24h** qui ont été relevés par les stations de Météo France, soit au moins l'équivalent de 6 mois de précipitations (Fig. 1). De tels cumuls sont rares et se situent au niveau R5- de l'échelle KERAUNOS des épisodes pluvieux convectifs (Fig. 2).

Les phénomènes de ruissellement, couplés à des crues d'une ampleur historique, ont causé en fin d'après-midi et soirée de ce 15 juin des inondations catastrophiques sur une partie significative du département et le décès de plus de vingt personnes à l'heure de la rédaction de ce bilan.

Episode méditerranéen du 15 juin 2010

Cumuls de précipitations totaux (mm)

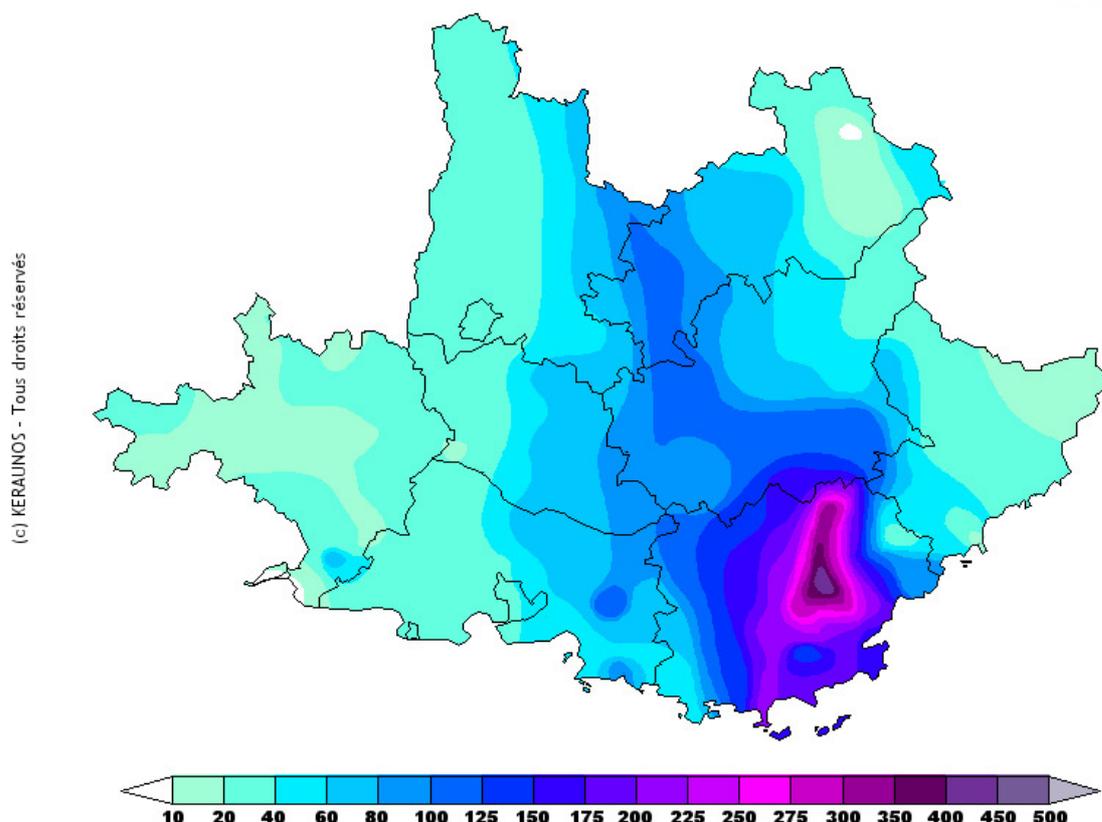


Fig. 1

Lames d'eau observées sur l'épisode (relevés pluviométriques communiqués par Météo-France sur son site Internet)

QUALIFICATION DES EPISODES PLUVIEUX CONVectifs REMARQUABLES

cumuls en 24h ▶ cumuls en 1h ▼	< 75 mm	75 - 99 mm	100 - 189 mm	190 - 249 mm	250 - 399 mm	>= 400 mm
< 75 mm	R0	R1-	R2-	R3-	R4-	R5-
75 à 99 mm		R1	R2	R3	R4	R5
100 à 129 mm			R2+	R3+	R4+	R5+
>= 130 mm			R2++	R3++	R4++	R5++

Fig. 2

*Echelle KERAUNOS des épisodes pluvieux convectifs, qui croise les cumuls en 24h avec le cumul horaire maximal
(E. WESOLEK – Observatoire Français des Tornades et des Orages Violents)*

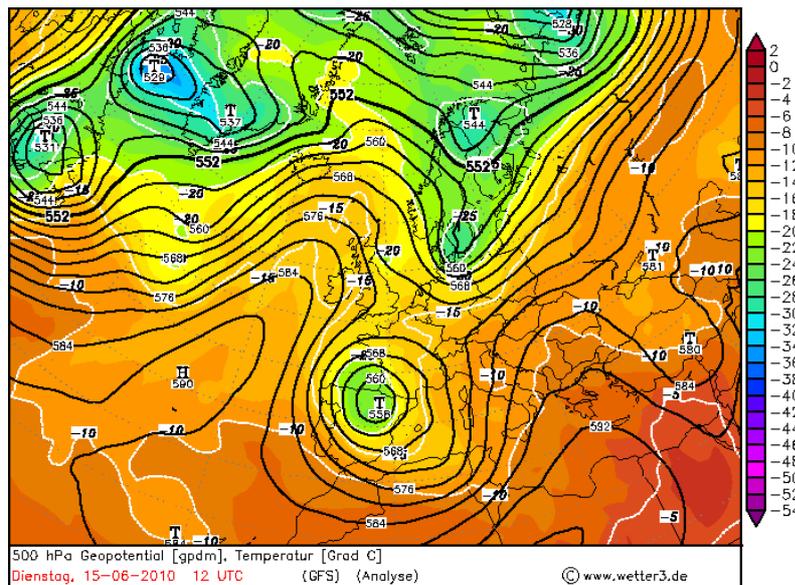
Dans le cadre des prévisions convectives réalisées quotidiennement par l’Observatoire Français des Tornades et des Orages Violents, cet événement a fait l’objet d’une **prévision convective** et **hydrologique**, puis d’un **suivi en temps réel** en raison du caractère sévère de l’épisode. Plusieurs **Avis d’Orage Violent** ont également été émis durant cette journée du 15 juin par l’Observatoire, et ce, dès le matin.

L’objet du présent bilan, qui a pour vocation première de servir de retour d’expérience pour le pôle Prévision de l’Observatoire, consiste d’une part à retracer synthétiquement la **chronologie** des événements, puis à dresser le bilan de la **prévision court terme** et de la **prévision immédiate** qui en a été faite. L’objectif ainsi recherché est notamment d’identifier le moment à partir duquel le caractère remarquable de l’épisode a été décelé par l’Observatoire et dès lors de tracer des pistes de réflexion afin de permettre à l’avenir d’anticiper encore davantage l’identification d’une situation convective critique en terme de précipitations.

1 - Situation météorologique et chronologie des événements

La configuration météorologique générale se caractérise, le 15 juin 2010, par le positionnement d'une **dépression d'altitude** migrant en cours de journée du Golfe de Gascogne vers les Pyrénées (Fig.3). Cette dépression redresse le flux au secteur Sud à Sud-Est en direction des régions méditerranéennes. A moyenne altitude (vers 5000 m), de l'air froid circule et contribue à **déstabiliser** nettement la masse d'air (Fig. 4).

Au sol, une **convergence** des vents (Fig. 5) se met en place sur le littoral du Var, y advectant une masse d'air chaud et humide, propice à des développements orageux organisés et très pluvieux.



← Fig. 3

Modèle global GFS pour le 15 juin 2010 à 14h locales (run du 15 juin 2010 initialisé à 02h locales)

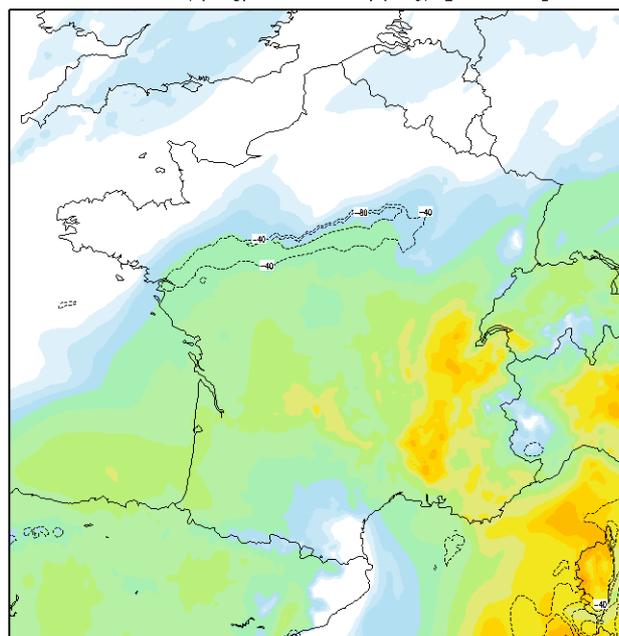
La dépression d'altitude avec goutte froide est clairement identifiable sur les Pyrénées. Elle pilote un flux de Sud chaud et humide à l'avant, sur tout le pourtour de la Méditerranée Occidentale.

Fig. 4 →

Modèle de mésoéchelle WRF-8km pour le 15 juin 2010 à 14h locales (run du 15 juin 2010 initialisé à 02h locales)

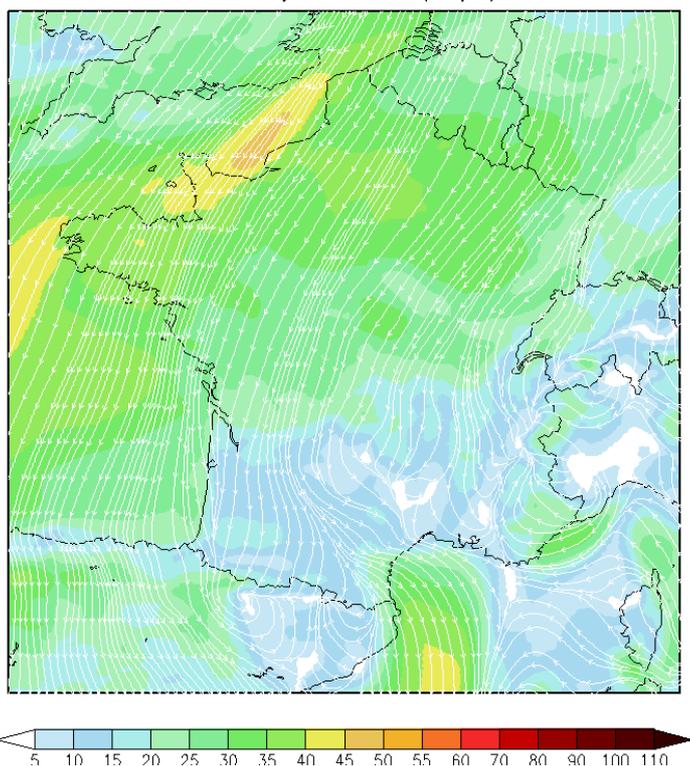
Ce zoom sur la France réalisé au moyen du modèle WRF en résolution 8 km présente l'instabilité atmosphérique (MUCAPE) et l'inhibition à la convection (MUCIN). On distingue une langue d'air instable et sans inhibition qui remonte depuis la Corse en direction du Var, puis qui remonte la vallée du Rhône jusqu'aux confins de la Bourgogne (MUCAPE > 750 J/kg).

WRF 8km Observatoire KERAUNOS 15Z 15 JUN 2010
 MUCAPE (J/Kg) & MUCIN (J/Kg) [contours]



© KERAUNOS

WRF 8km Observatoire KERAUNOS 12Z 15 JUN 2010
Vent moyen a 10m (km/h)

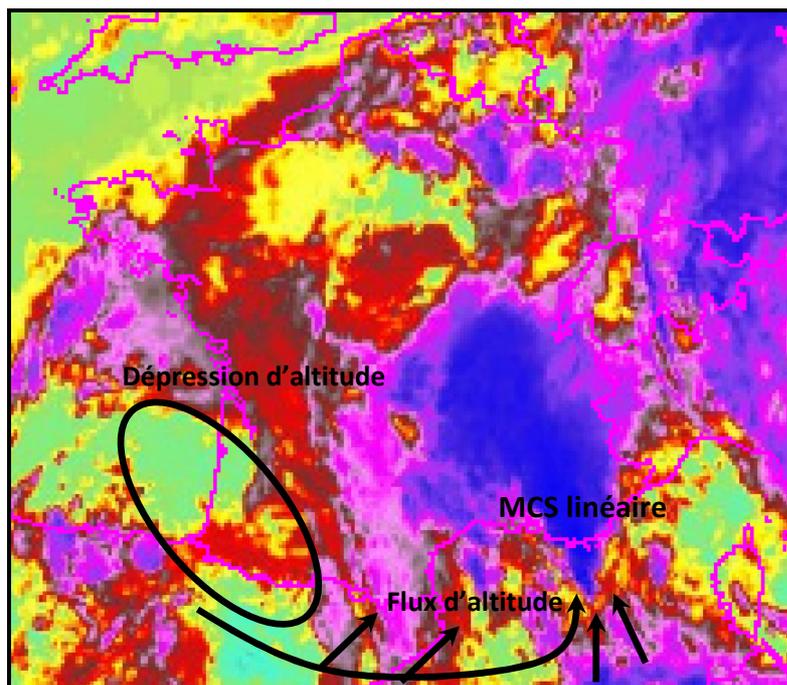


← Fig. 5

Modèle de mésoéchelle WRF-8km pour le 15 juin 2010 à 14h locales (run du 15 juin 2010 initialisé à 02h locales)

La convergence des vents d'est en direction du Var et sur le proche littoral est mise en évidence sur ce champ de vent à 10 m. Ce type de configuration tend à forcer les ascendances et donc à générer des précipitations convectives durables, intenses et peu mobiles.

Dès le matin du 15 juin, un **premier passage pluvio-orageux très actif**, se matérialisant sous la forme d'un système convectif de méso-échelle linéaire, affecte surtout un axe Hyères-Carnoules. La linéarité du système, pris dans un flux de Sud (Fig. 6), conduit au déversement constant d'abondantes précipitations (intensités horaires dépassant souvent 150 l/m² durant 3 heures).



← Fig. 6

Image satellite infra-rouge à 11h locales le 15 juin 2010

La trace du minimum d'altitude est désignée par le cerclage noir, tandis qu'à l'avant un système convectif de méso-échelle linéaire est bloqué par la convergence des vents.

Dès la mi-journée, les cumuls sont très importants sur le Var, avec des lames d'eau qui avoisinent déjà 200 mm localement. Les records de précipitations sont approchés, alors même que des pluies orageuses abondantes sont attendues jusqu'en fin de soirée. Une **évolution potentiellement critique** commence dès lors à être pressentie.

De fait, une deuxième advection de tourbillon d'altitude s'opère en soirée et remonte de Méditerranée vers les côtes de la Provence. Elle fait office de forçage dynamique et **réactive la convection profonde**. La convergence des vents se maintient au même endroit, et l'extrême faiblesse de la vitesse de déplacement des orages (*low storm motion*) joue en faveur de la conservation du **caractère stationnaire des orages** (Fig. 8). Les pluies, toujours intenses, avec des noyaux convectifs peu orageux mais très pluvieux, continuent dès lors de s'abattre sur l'axe de convergence principal, à savoir essentiellement sur le Var, y ajoutant aux lames d'eau du matin de nouvelles lames d'eau remarquables. **Les cumuls deviennent exceptionnels**.

La réaction des cours d'eau ne se fait alors plus attendre. On constate sur la figure 7 que la densité du réseau de drainage est élevée dans cette zone. Par ailleurs, sans comporter des altitudes très élevées, le relief se caractérise par des pentes importantes. Ces deux facteurs, additionnés à la pauvreté des sols méditerranéens, expliquent, au-delà des cumuls enregistrés, les réactions exceptionnelles des cours d'eau.

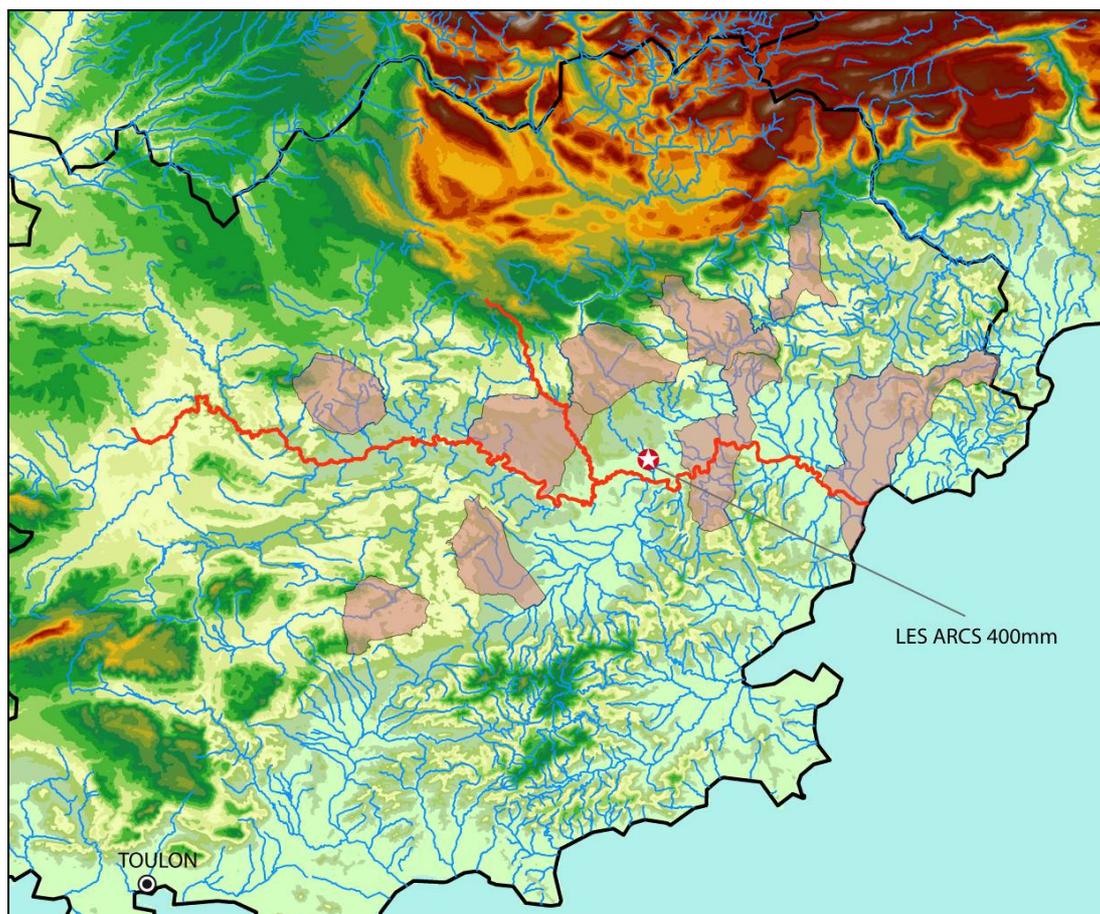


Fig. 7 : Carte hydrographique et morphologique de la zone touchée.

Les zones en rouge représentent les communes en état de catastrophe naturelle. Les deux cours d'eau en rouge représentent les drains qui ont concentré les plus crues les plus importantes.

Neuf communes ont été classées en état de catastrophe naturelle : il s'agit de **Draguignan, Callas, Fayence, Fréjus, Le Luc, Lorgues, Muy, Besse-sur-Issole et Cotignac**.

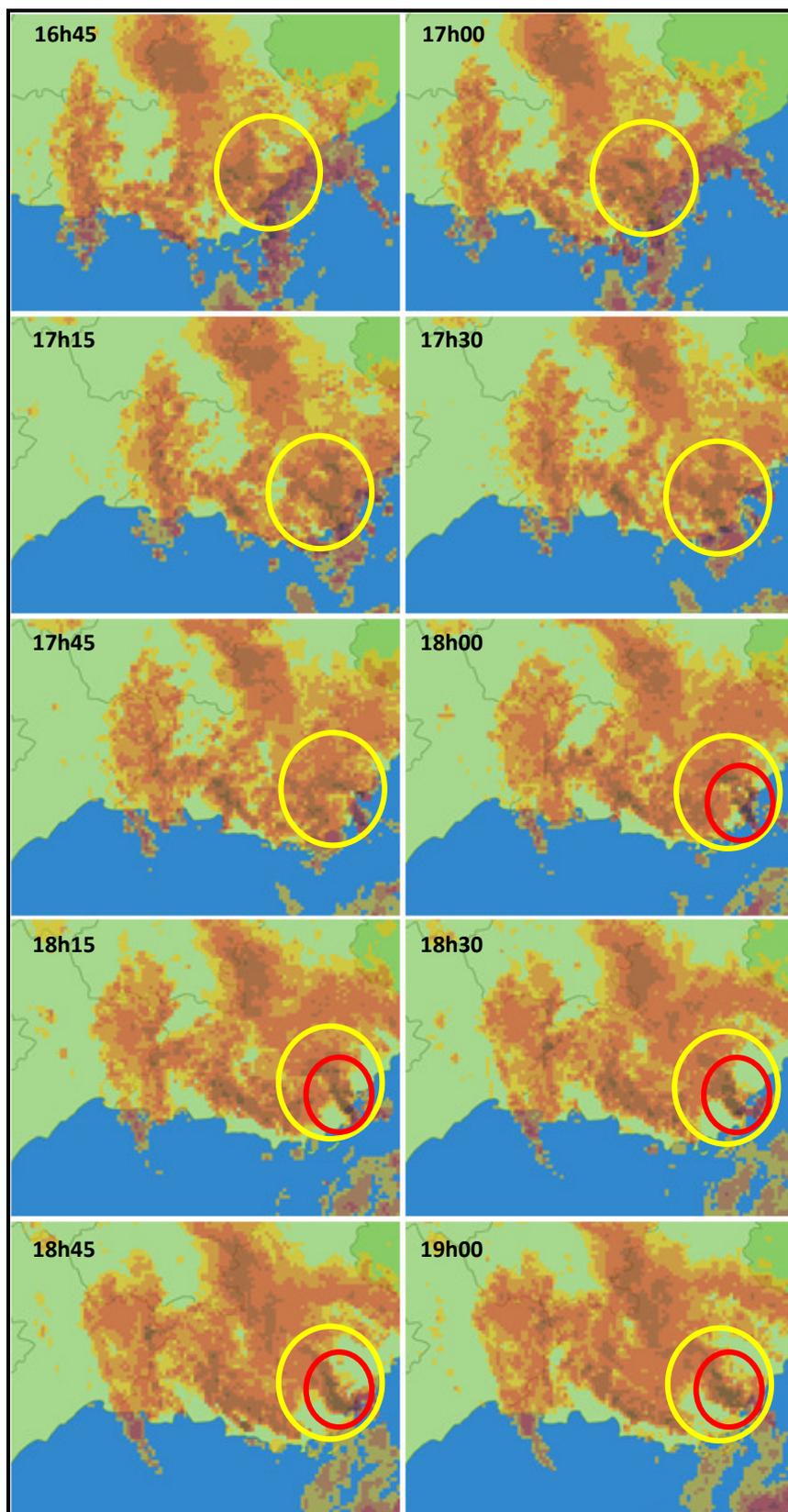
Plusieurs facteurs peuvent expliquer les conséquences catastrophiques de cet épisode, avec un bilan humain et matériel très lourd.

Le premier est l'**horaire de survenance**. C'est en fin d'après-midi que le trafic automobile est le plus dense et il faut savoir qu'un automobiliste est particulièrement vulnérable en cas d'inondation rapide, le véhicule donnant une sensation illusoire de sécurité. En réalité, une voiture est aisément emportée par un courant de vitesse forte, même dans quelques dizaines de centimètres d'eau.

Le second est le **caractère exceptionnel de l'épisode** qui ne permet pas de concevoir une politique d'urbanisation adaptée. Si la région avait connu, par le passé, d'autres phénomènes d'une telle ampleur, il y a fort à parier que les règles d'urbanisme auraient été plus strictes et que de nombreuses constructions n'auraient jamais existé.

Enfin, les effets de cette **urbanisation** dans les agglomérations sont redoutables lors de pluies aussi intenses. L'imperméabilisation des terrains par les constructions explique le ruissellement urbain qui a frappé en plusieurs lieux.

On peut en déduire que le Var a joué de malchance dans la mesure où toutes les conditions étaient réunies pour que le seuil de résilience maximale et la capacité de sauvegarde des populations soient largement dépassés : horaire de survenue, épisode sortant du cadre du risque prévisible, population dense et urbanisation en conséquence.



← Fig. 8

Images radar par pas de 15 minutes, entre 16h45 locales et 19h locales sur la Provence

*L'imagerie radar précipitations met en évidence la persistance de pluies orageuses intenses (cerclees en jaune) tout l'après-midi sur le centre du Var. Puis en fin d'après-midi et début de soirée, la constitution d'un nouveau système orageux stationnaire (noté d'un **cercle rouge**) particulièrement pluvieux s'effectue entre Fréjus et la région de Draguignan.*

Passé 19h00 locales, cette structure multicellulaire stationnaire gagne un peu en puissance, avant de s'affaïsser et de laisser place à des pluies toujours continues mais moins intenses.

Source : images radar Wetter24

2 - Prédiction de l'épisode par KERAUNOS et usage du modèle WRF 8km

KERAUNOS émet quotidiennement sur son site Internet (www.keraunos.org) des bulletins de prévision des phénomènes orageux, pour le jour en cours (prévision court terme) ainsi que pour les 3 jours à venir (prévision moyen terme).

Le **14 juin**, soit la veille des événements, l'Observatoire KERAUNOS fait état dans son bulletin à J+1 d'un risque d'orages forts à violents pour la journée du 15 juin, sur une zone s'étirant de la Provence à Rhône-Alpes. Un zonage du risque à échelle régionale est ainsi effectué dès la veille, sans qu'il soit alors pertinent de cibler plus précisément un département ou un autre, tant la prévision de ce type de situation nécessite des réglages fins qu'une prévision à plus de 24 heures d'échéance rend délicats. Néanmoins, le potentiel pour un épisode pluvieux méditerranéen significatif étant avéré, un **bulletin spécial de prévision de susceptibilité à des crues d'origine convective** est émis à la mi-journée sur le site Internet de l'Observatoire, soit environ 24 heures avant le début de l'épisode.

Un **point sur la prévision est effectué en interne le soir du 14 juin**, afin de dégager les grandes lignes de la prévision qui sera publiée durant la nuit et le lendemain matin sur le site Internet de l'Observatoire, à l'occasion de la mise à jour quotidienne des bulletins. Les modèles numériques analysés et confrontés relèvent autant de la catégorie des modèles globaux (modèle américain GFS, modèle du Centre Européen de Prévision,...) que de la catégorie des modèles de méso-échelle à haute résolution, comme le **modèle WRF-8km** (modèle non-hydrostatique de nouvelle génération) déployé par l'Observatoire avec la contribution de www.meteorologic.net, et utilisé de manière opérationnelle par le pôle Prévision de l'Observatoire depuis mai 2010.

L'analyse repose alors sur les initialisations du 14 juin à 12 heures TU. Il ressort de l'analyse qu'un **fort risque de pluies orageuses intenses se confirme pour le pourtour méditerranéen**, et notamment sur le Var et les Bouches-du-Rhône (Fig. 9). Des débordements d'orages très pluvieux de part et d'autre de cette zone sont discutés (en direction des Alpes-Maritimes, des Alpes-de-Haute-Provence, du Vaucluse et du Gard).

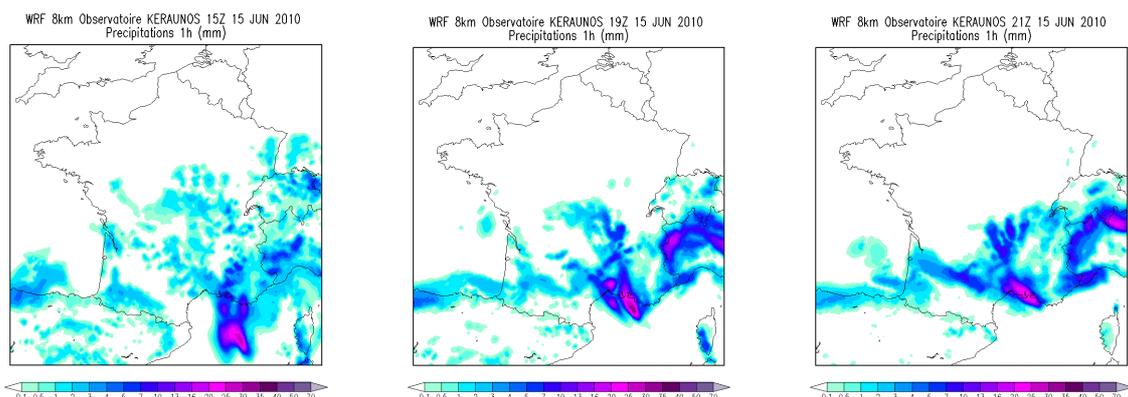


Fig. 9

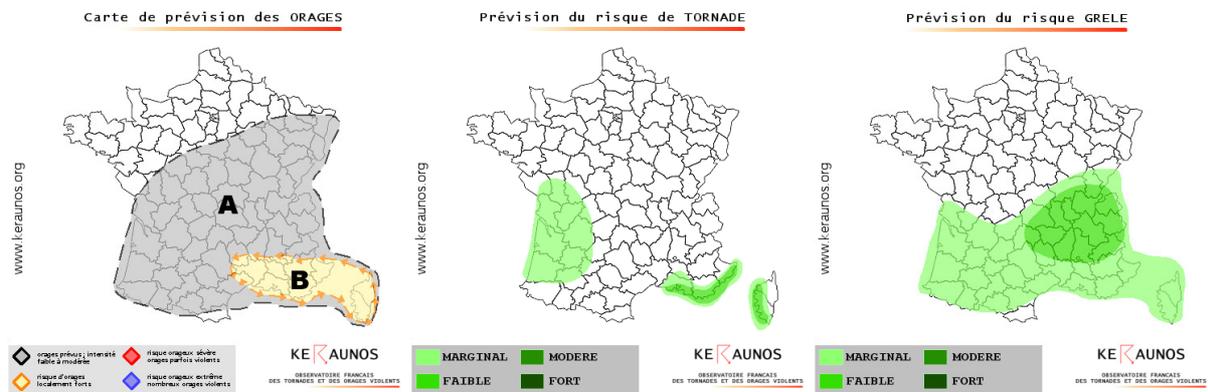
Prévision des précipitations en 1h (mm), par le modèle WRF 8km de l'Observatoire, dans son run du 14 juin 2010 à 12Z et valables pour le 15 juin à 15Z, 19Z et 21Z. On note que le modèle simule des noyaux de précipitations intenses sur le Var, les Bouches-du-Rhône et le Gard.

Compte tenu des éléments qui ressortent des modèles le soir du 14 juin, il est décidé de cibler pour le lendemain une zone relativement large en risque d'orages forts, étirée des Alpes-Maritimes jusqu'au pied des Cévennes et centrée sur le Var. Sauf évolution sensible des modèles durant la nuit, ce scénario sera privilégié pour la prévision du 15 juin.

De fait, le bulletin du 15 juin, émis à 08h locales après analyse des sorties des modèles initialisés à 18Z la veille et à 00Z le 15 juin, mentionne un **risque d'orages forts du Gard aux Alpes-Maritimes**, avec risque de fortes lames d'eau et de phénomènes tourbillonnaires :

BULLETIN QUOTIDIEN DE PREVISION CONVECTIVE

MARDI 15 JUIN 2010



ZONE A

RISQUE 1/4 (orages faibles à modérés)

STRUCTURES CONVECTIVES : MONOCELLULAIRES, MULTICELLULAIRES

La goutte froide responsable du temps agité qui prévaut sur une partie de la France depuis hier se décalera ce mardi en direction des Pyrénées puis de nord-est de l'Espagne. Elle assurera toute la journée le maintien de profils verticaux instables sur le littoral Atlantique, où des orages ponctuels se déclencheront en journée. Elle pilote par ailleurs un vaste système perturbé qui remonte de Méditerranée et assure des advections d'air tropical maritime instable jusqu'aux confins de l'Alsace et du Bassin Parisien. Ces régions de la zone visée A pourront subir des développements convectifs ponctuellement orageux durant l'après-midi ainsi que la nuit prochaine. Les départements qui s'étirent du Massif Central aux Alpes seront plus particulièrement exposés à un risque d'orages localement modérés, accompagnés de pluies abondantes et localement de grêle. Ce risque orageux se maintiendra durant la nuit de mardi à mercredi.

ZONE B

RISQUE 2/4 (orages localement forts)

STRUCTURES CONVECTIVES : MULTICELLULAIRES

La zone visée sera soumise conjointement à de puissants forçages d'altitude et à des advections continues et marquées d'air à θ élevées, tout au long de la journée et jusqu'en début de nuit prochaine. Ainsi exposés à une masse d'air instable (MUCAPE de 700 à 1000 J/kg, KO jusqu'à -7), les départements méditerranéens seront affectés par des pluies convectives abondantes et soutenues

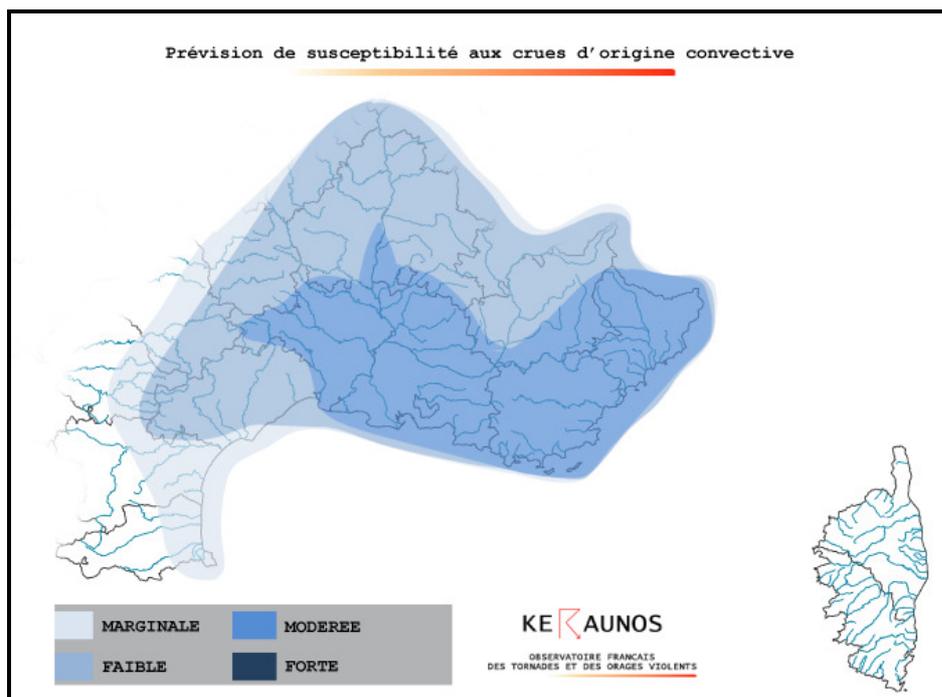
dès ce matin. Elles prendront ponctuellement un caractère orageux, avec circulation de cellules orageuses parfois fortes et très pluvieuses, notamment à proximité des littoraux et en basse vallée du Rhône (Bouches-du-Rhône et Vaucluse). En fin d'après-midi, soirée et début de nuit, un rabattement très prononcé de thalweg par le sud, avec constitution d'une violente divergence d'altitude sur la zone visée, produira une dynamique vigoureuse, propice à un renforcement du caractère convectif des précipitations. Des Cévennes aux Alpes-Maritimes, des amas pluvio-orageux très actifs pourront alors produire des lames d'eau supérieures à 70 ou 80 mm en quelques heures.

Ces orages pourront par ailleurs être associés à des rafales de vent comprises entre 60 et 80 km/h, ainsi qu'à un risque significatif de trombe marine pouvant évoluer en tornade, notamment sur le littoral des Bouches-du-Rhône, du Var, des Alpes-Maritimes ainsi que sur l'ouest de la Corse. Ce potentiel tourbillonnaire se traduit par des indices composites qui afficheront des valeurs élevées (EHI 0-1 km > 1, VGP > 0.25).

La situation deviendra graduellement moins sévère et moins orageuse en cours de nuit.

Ainsi, en ce début de matinée du 15 juin, les cumuls maximum pour la journée à venir sont estimés à 150 mm sur le Var, les Bouches-du-Rhône et le Gard. Dans la mesure où seul un paramètre météorologique est attendu en intensité forte (pluie), le seuil maximal de prévision est fixé 2/4, et ne peut être dépassé. Les critères de prévision de l'Observatoire exigent en effet, pour passer en niveau de risque 3/4 (rouge) ou 4/4 (violet), la présence simultanée de deux paramètres orageux en intensité forte (pluie intense avec inondations + grêlons > 2 cm par exemple), ce qui n'était pas le cas le 15 juin.

Pour sa part, le **bulletin Méditerranée**, qui vise à mettre en évidence les susceptibilités aux crues d'origine convective sur le bassin méditerranéen, est mis à jour également en ce début de journée. Il fait état d'un risque modéré de crue du Gard au Var et aux Alpes-Maritimes durant cette journée du 15 juin (Fig. 10). Le texte associé précise les lames d'eau attendues.



← Fig. 10

Carte de prévision de susceptibilité aux crues d'origine convective émise le 15 juin 2010 à 08h locales

COMMENTAIRES

+ CONTEXTE METEOROLOGIQUE ET PREVISIONS

Un profond thalweg d'altitude s'étire actuellement de l'Angleterre à l'Algérie. Il est piloté par un minimum qui s'est positionné hier lundi à proximité de Bordeaux avant de migrer ce mardi sur le nord de l'Espagne. Ce vaste système dépressionnaire d'altitude va générer un épisode méditerranéen d'une durée d'environ 36 heures, qui a débuté dans la nuit de lundi à mardi pour s'achever mercredi matin.

Cet épisode se déroulera en trois temps, chacun d'entre eux étant déterminé par de fortes advections de tourbillon dans le flux. Le premier forçage s'est présenté dans la nuit de lundi à mardi et a affecté la Corse et une partie de la Provence. Associé à un noyau d'anomalie basse de tropopause dynamique, il s'est mis en phase avec une advection de thétas élevés en basses couches.

Ce mardi, un second forçage d'altitude affectera en journée l'ensemble de l'arc méditerranéen, tandis qu'un creusement dépressionnaire de surface entre Baléares et Corse induira une rotation du vent à l'est sur les régions méditerranéennes et conséquemment une accentuation des advections chaudes et humides de basses couches sur ces mêmes régions. Dès lors, des pluies convectives se déclencheront sur l'ensemble des départements qui bordent la Méditerranée. Le Var et les Bouches-du-Rhône seront plus particulièrement concernés dès mardi matin, puis les orages se multiplieront en cours de journée et affecteront l'ensemble des départements qui s'étirent des Alpes-Maritimes au Vaucluse et au Gard au cours de l'après-midi. Les lames d'eau seront conséquentes et pourront atteindre 40 à 70 mm durant l'après-midi en basse vallée du Rhône, Var et plus localement sur les Alpes-Maritimes.

Enfin, mardi soir, un vigoureux axe de thalweg secondaire se rabattra sur les mêmes régions par le sud. Particulièrement dynamique et en phase avec une forte convergence en humidité dans les basses couches, il induira la formation d'orages très pluvieux du Var jusqu'aux Cévennes, avec des lames d'eau qui pourront excéder 70 mm en 3 heures. Dans le même temps, des pluies moins fortes mais continues persisteront sur les Alpes-Maritimes.

En cours de nuit suivante, les pluies se décaleront lentement vers l'ouest et produiront là encore de fortes lames d'eau, notamment sur la Lozère et l'Aveyron, qui pourront recevoir entre 40 et 60 mm de pluie en quelques heures.

Sur l'ensemble de l'épisode, l'évaluation des lames d'eau fait ressortir des cumuls pouvant atteindre localement 80 à 100 mm sur les Alpes-Maritimes, 110 à 150 mm sur le Var, la basse vallée du Rhône et l'axe cévenol, 60 à 80 mm sur la Lozère, l'Aveyron, le Lot et les Alpes du Sud.

+ HYDROLOGIE

- les bassins cévenols ont été soumis à des lames d'eau assez importantes ces dernières semaines. Les cumuls prévus sont de nature à faire réagir les têtes de bassins, de la Montagne Noire aux Cévennes et au Pilat. Des hausses marquées des débits, sur les cours d'eau très secondaires et secondaires sont à prévoir.

- sur les Hautes Alpes et Alpes de Haute Provence, les lames d'eau attendues, combinées à la fonte des neiges au-dessus de 3000 m d'altitude sur certains hauts massifs (Ecrins par exemple) pourront conduire à une élévation des débits sur les cours d'eau très secondaires et secondaires. Des inondations semblent possibles dans certaines vallées. On notera que l'épisode fortement pluvieux et orageux attendu en Haute Maurienne et Haute Tarentaise (Savoie) et sur le Queyras (Hautes Alpes) pourra conduire à des réactions significatives. (sur l'Arc, la Romanche par exemple).

- entre les plaines du Gard, la Camargue, l'agglomération Marseillaise et le littoral du Var, des effets de ruissellement, en zones urbaines risquent d'être constatées. Les lames d'eau attendues en 24h mais aussi sur un court laps de temps risquent d'entraîner à la hausse les débits des cours d'eau très secondaires jusqu'aux seuils de débordement. Par propagation, des hausses significatives des cours d'eau secondaires devraient se produire avec pourquoi pas des débordements localisés. Enfin, les cours d'eau principaux sur la zone placée en risque modéré pourront être soumis à une hausse non négligeable de leurs débits. Une réaction du Rhône surtout sur sa partie la plus en aval est à envisager.

- sur la Corse, les cumuls attendus, ne semblent pas suffisants pour observer une réaction hydrologique méritant d'être signalée mais des inondations locales ne sont pas exclues, notamment par ruissellement.

Texte associé au bulletin Méditerranée émis le 15 juin 2010 à 8h locales

Ce niveau de risque crue 3/4 (modéré), indique, selon la notice consultable sur le site de l'Observatoire, un **risque de réactions des cours d'eau non négligeable**.

On notera que les cours d'eau secondaires et très secondaires sont largement majoritaires dans le département du Var et des Alpes-Maritimes. Les cours d'eau principaux baignant prioritairement les Bouches-du-Rhône (le Rhône, la Durance, l'Huveaune), le Gard (Gardons, Vidourle, etc) ou les Alpes-Maritimes (le Var).

MODEREE

► Les cours d'eau très secondaires et secondaires peuvent réagir très rapidement et très fortement et déborder en de nombreux points de leur linéaire. Cette réaction se propage aux cours d'eau principaux qui peuvent localement déborder.

En somme, en ce **début de matinée du 15 juin**, les prévisions émises par l'Observatoire font état d'un risque **d'orages pouvant être rendus forts par d'intenses précipitations** sur plusieurs départements du sud-est du pays, avec possibilité de **réaction très rapide et très forte des cours d'eau très secondaires et secondaires** sur ces départements.

3 - Suivi en temps réel de l'épisode par KERAUNOS

Une fois les prévisions du début de journée diffusées, le relais est passé à la **cellule de veille de KERAUNOS** qui se charge du suivi et de la prévision immédiate (prévisions à échéance de quelques minutes à 3 heures), notamment dans les situations convectives actives. Son rôle est d'assurer une **veille** de l'activité convective, de compléter et de préciser si nécessaire au fil de la journée le bulletin de prévision principal émis le matin, et d'avertir des éventuels phénomènes orageux dangereux par l'émission d'**Avis d'Orage Violent**. Ces avis ont pour vocation de cibler des zones menacées par des phénomènes orageux potentiellement destructeurs : les risques de grêle destructrice, de violentes rafales de vent, d'inondations sévères ou de tornades sont couverts par ce dispositif.

Ce 15 juin, la **cellule de veille de KERAUNOS** constate dès le matin la mise en place d'un **système convectif de méso-échelle linéaire et stationnaire**, pris dans la convergence des vents sur le Var (presqu'île de Giens, région de Hyères). Compte tenu des intensités pluvieuses observées et de la stationnarité du système convectif, un **Avis d'Orage Violent** est publié à 11h30 locales (Fig. 11) :

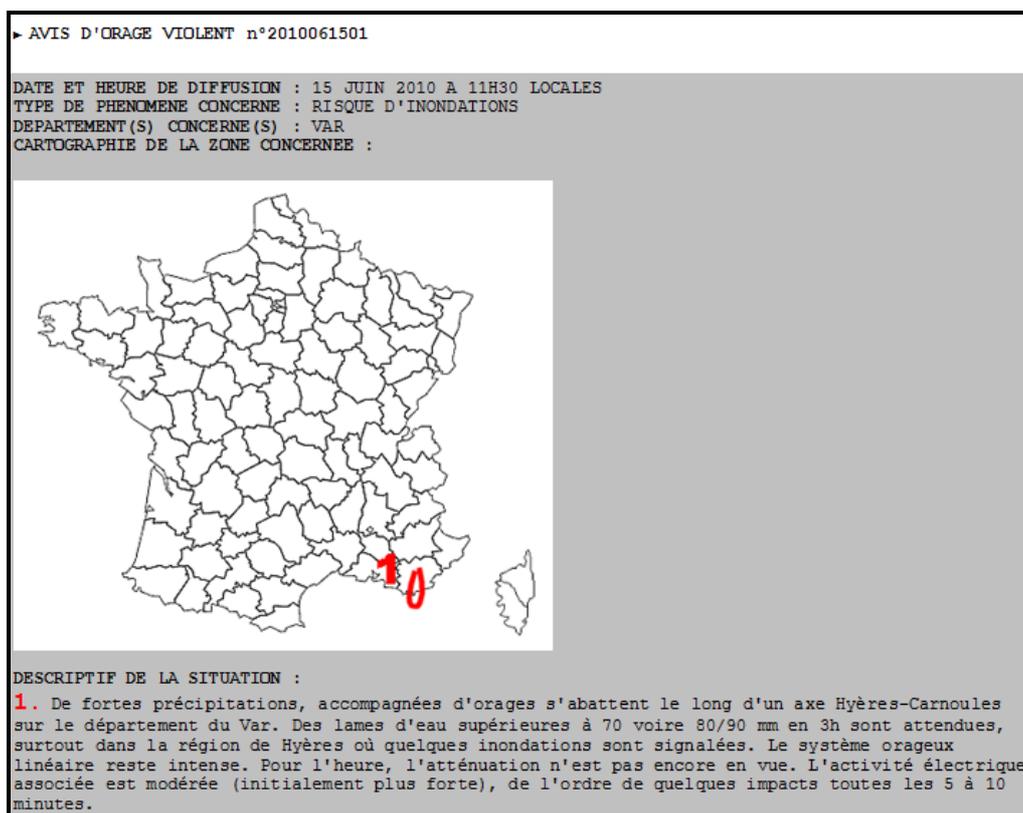


Fig. 11 : Avis d'orage violent émis le 15 juin 2010 à 11h30 locales

Les lames d'eau observées en tout début d'après-midi (près de 150 mm en 3h seulement) ont confirmé la pertinence de ce bulletin (bien que les lames d'eau prévues dans ce même bulletin aient été sous-estimées).

Les retours terrain faisant état d'inondations dans la région de Hyères dès la mi-journée, et compte-tenu de la persistance des précipitations orageuses dans le secteur, l'Avis d'Orage Violent est maintenu et amendé à 13h45 locales (Fig. 12).

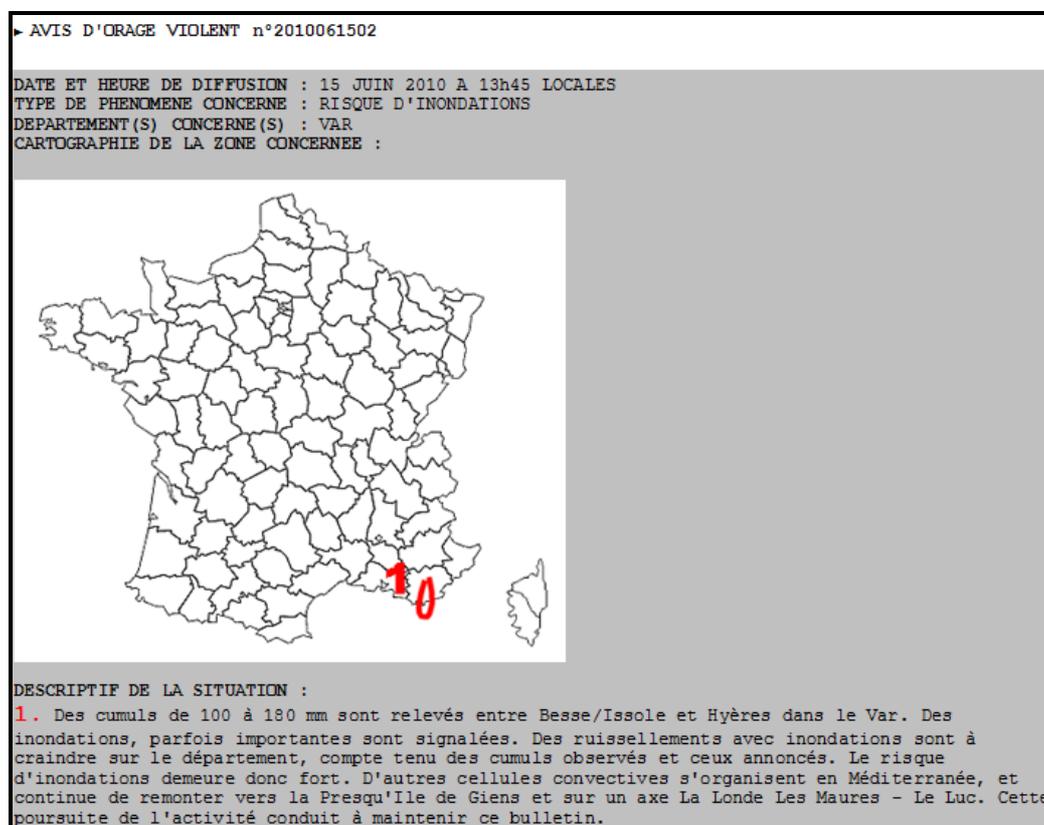
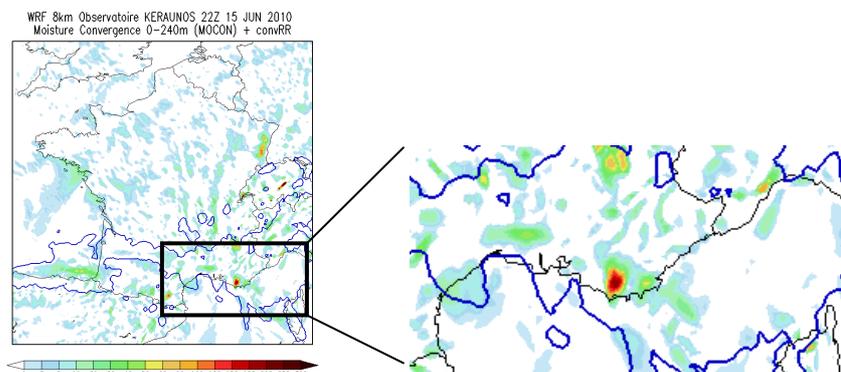


Fig. 12 : Avis d'orage violent émis le 15 juin 2010 à 13h45 locales

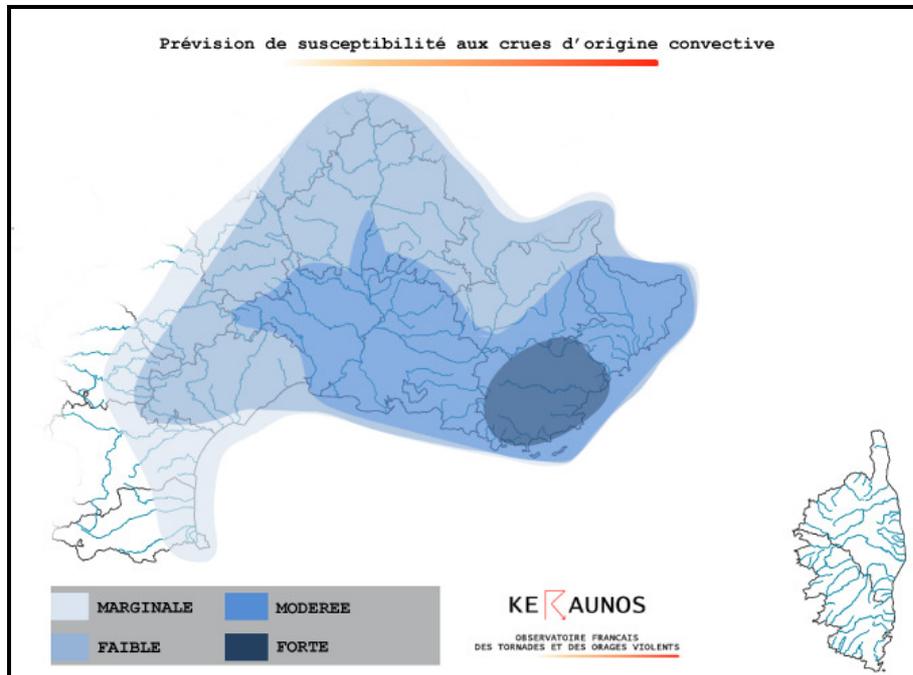
En ce début d'après-midi du 15 juin, les cumuls observés dépassent déjà localement 180 mm, alors que la prévision émise le matin tablait sur des cumuls de 150 mm sur l'ensemble de l'épisode et que de forts systèmes orageux en provenance de Méditerranée sont encore attendus pour la fin d'après-midi et la soirée. Il apparaît dès lors que la prévision du matin, pourtant déjà significativement alarmante quant aux risques de très fortes pluies sur les départements méditerranéens, doit être **revue à la hausse**. Cette tendance à l'aggravation de la situation météorologique est confirmée par la **réactualisation du modèle WRF de l'Observatoire** : le run de 00Z, disponible en fin de matinée, montre plusieurs indices inquiétants pour la fin de journée, notamment sur le Var (Fig. 13).



← Fig. 13

Le modèle WRF fait apparaître, entre autres, des noyaux persistants de forte convergence humide en basses couches sur le Var en fin de journée. Il s'agit d'un élément propice à la survenue de fortes précipitations convectives.

Dès lors, sur ces bases, le bulletin de risque de crue est amendé en début d'après-midi (Fig. 14) : le **niveau de risque crue est rehaussé à son niveau maximum sur le Var** (niveau fort) et la prévision des lames d'eau est revue à la hausse, avec mention d'une **possibilité de lames d'eau excédant localement 450 mm**.



← Fig. 14

Carte de prévision de susceptibilité aux crues d'origine convective émise le 15 juin 2010 à 16h locales

FORTE	<p>► L'ensemble des cours d'eau de la zone visée peut réagir très rapidement et très fortement. Des débordements généralisés sont à attendre, y compris dans les zones non coutumières du fait.</p>
--------------	---

Signification du niveau de susceptibilité « fort » dans le Bulletin Méditerranée

COMMENTAIRES

+ CONTEXTE METEOROLOGIQUE ET PREVISIONS

La première phase de l'épisode méditerranéen touchera à sa fin ce mercredi matin. D'ici là, au cours des prochaines heures, des précipitations très abondantes et ponctuellement orageuses séviront encore sur le Var, les Alpes-Maritimes et le Vaucluse notamment. Sur l'ensemble de ces départements, les lames d'eau supplémentaires pourront encore dépasser 100 mm avant la fin de la nuit et porter les cumuls à des valeurs remarquables, comprises entre 250 et 450 mm en 24h. Ces pluies gagneront également les Cévennes et l'ensemble du Massif Central, y produisant des lames d'eau localement voisines de 50 mm, plus particulièrement sur l'Aveyron et la Lozère.

Demain mercredi, suite à un décalage de la goutte froide en direction des Cévennes, un axe stationnaire de précipitations se constituera dans l'après-midi et jusqu'en soirée de l'Ariège à la Montagne Noire, avec des lames d'eau attendues entre 70 et 100 mm, localement plus de 120 mm sur la Montagne Noire. La nuit suivante, une nouvelle offensive pluvieuse pourrait se produire en basse vallée du Rhône et sur le Var, avec de nouvelles lames d'eau supérieures à 60 mm possibles. Cette évolution demande encore toutefois à être confirmée.

+ HYDROLOGIE

- les bassins cévenols ont été soumis à des lames d'eau assez importantes ces dernières semaines. Les cumuls prévus sont de nature à faire réagir les têtes de bassins, de la Montagne Noire aux Cévennes et au Pilat. Des hausses marquées des débits, sur les cours d'eau très secondaires et secondaires sont à prévoir.

- sur les Hautes Alpes et Alpes de Haute Provence, les lames d'eau attendues, combinées à la fonte des neiges au-dessus de 2600 m d'altitude sur certains hauts massifs (Ecrins par exemple) pourront conduire à une élévation des débits sur les cours d'eau très secondaires et secondaires. Des inondations semblent possibles dans certaines vallées. On notera que l'épisode fortement pluvieux et orageux attendu en Haute Maurienne et Haute Tarentaise (Savoie) et sur le Queyras (Hautes Alpes) pourra conduire à des réactions significatives. (sur l'Arc, la Romanche par exemple).

- entre les plaines du Gard, la Camargue et l'agglomération Marseillaise des effets de ruissellement en zones urbaines risquent d'être constatés. Les lames d'eau attendues en 24h mais aussi sur un court laps de temps risquent d'entraîner à la hausse les débits des cours d'eau très secondaires jusqu'aux seuils de débordement. Par propagation, des hausses significatives des cours d'eau secondaires devraient se produire avec pourquoi pas des débordements localisés.

- sur le Var, les niveaux des cours d'eau très secondaires et secondaires pourraient atteindre des seuils rares pour la saison, avec des débordements assez généralisés à prévoir (Argens, Gapeau ou petits cours d'eau secondaires).

- sur la Corse, les cumuls attendus, ne semblent pas suffisants pour observer une réaction hydrologique méritant d'être signalée mais des inondations locales ne sont pas exclues,

Texte associé au bulletin Méditerranée émis le 15 juin 2010 à 16h locales

Cette évolution préoccupante attendue se confirme alors en fin d'après-midi. Avec la mise en place d'un nouveau système stationnaire et compte tenu des cumuls déjà observés durant l'après-midi entre le Golfe de St-Tropez et le centre Var, la cellule de veille de l'Observatoire émet un nouvel **Avis d'Orage Violent** à 19h locales (Fig. 15).

AVIS D'ORAGE VIOLENT n°2010061504

DATE ET HEURE DE DIFFUSION : 15 JUIN 2010 A 19H00 LOCALES
TYPE DE PHENOMENE CONCERNE : RISQUE D'INONDATIONS SEVERES
DEPARTEMENT(S) CONCERNE(S) : VAR
CARTOGRAPHIE DE LA ZONE CONCERNEE :



DESCRIPTIF DE LA SITUATION :

1. Malgré une petite accalmie à venir sur une moitié Ouest du Var, une ligne stationnaire, à propagation rétrograde persiste depuis le Golfe de Saint-Tropez jusqu'à la région du Luc et contribue à gonfler les cumuls, déjà exceptionnels en plusieurs points du département (jusqu'à 250 mm localement en 12h). De nouveaux orages sont en gestation à l'Ouest de la Corse et vont venir se rabattre sur le Var, les Alpes Maritimes et les Bouches du Rhône en soirée. Ponctuellement, les 300 voire 350 mm pourront être atteints sur le département du Var.

Fig. 15 : Avis d'orage violent émis le 15 juin 2010 à 19h00 locales

Cet Avis d'Orage Violent ne sera levé qu'en première partie de nuit, lorsque le caractère orageux s'estompera et que les précipitations, toujours abondantes mais graduellement moins intenses, se décaleront enfin vers le nord-ouest et évacueront le Var, noyé sous des lames d'eau d'une hauteur encore jamais mesurée sur ce département.

► Conclusion

Il ressort du bilan de cette situation et de la prévision qui en a été réalisée par KERAUNOS que cette prévision s'est déroulée en **trois temps** :

- dans un premier temps, la prévision du **14 juin** valable pour la journée du 15 juin faisait état d'un épisode pluvio-orageux significatif, avec un zonage large mais avec mention faite d'un risque lié à l'abondance des précipitations. Le Var était déjà ciblé en zone soumise à un risque d'orage fort ;
- dans un second temps, la prévision émise le **matin du 15 juin** précise un risque d'orages forts, entre autres sur le Var, avec des lames d'eau pouvant atteindre 150 mm et risque corrélé de réactions très fortes et très rapides des cours d'eau secondaires ;
- dans un troisième temps, au vu de cumuls de précipitations aggravés par rapport à la prévision du matin et suite à l'émission d'Avis d'Orages Violents ciblés sur le Var dès la fin de matinée, les prévisions sont revues à la hausse à **16 heures** avec annonce de cumuls pouvant dépasser 400 mm localement et risque maximal de crue sur le Var pour la fin d'après-midi et la soirée.

En définitive, une situation potentiellement risquée était bien prévue avec plus de 24 heures d'avance. Certes, la prévision ne faisait alors pas état d'un risque majeur ni d'une situation exceptionnelle, mais plutôt d'une situation proche de celles que l'on rencontre à quelques reprises chaque année dans ces régions fortement exposées aux pluies orageuses abondantes.

Pour sa part, la prévision du matin du 15 juin cible bien le risque de fortes pluies orageuses et le mentionne explicitement : le risque de crue est déjà rehaussé par rapport à la veille et il est fait mention de systèmes orageux très pluvieux dès le matin sur le Var et les Bouches-du-Rhône. Le ciblage du risque est donc affiné et de fait vérifié par l'évolution qui sera réellement observée. Toutefois, si une situation sérieuse est clairement indiquée, une dégradation catastrophique de cette situation n'est pas encore envisagée.

C'est finalement en début d'après-midi, à 13h45, que le second Avis d'Orage Violent de la journée mentionne désormais un risque fort de crue sur le Var, confirmé par la réactualisation du 15 juin à 16 heures, qui place le risque de crue au niveau maximum et annonce des cumuls localisés de 400 mm ou plus pour la fin de journée. Cette dernière prévision sera vérifiée par les faits.

On constate en somme que la prévision exacte d'une situation devenant exceptionnelle n'a pu être réalisée qu'avec quelques heures d'avance sur le pic de crues et la survenue des premiers accidents mortels. Même si cela peut sembler court, il s'agit toutefois d'un élément qui prouve la pertinence d'un usage croisé de la veille permanente des situations orageuses et des modèles à haute résolution pour cibler les périls météorologiques majeurs et détecter en amont les éventuels écarts à la prévision. Ces méthodes de prévision immédiate développées par KERAUNOS sont perpétuellement affinées, afin d'allonger autant que possible le temps qui sépare la prévision d'un phénomène extrême et local de sa survenue réelle. Il s'agit là d'un axe de recherche essentiel au sein de KERAUNOS, tant il représente un enjeu crucial pour nos sociétés. En effet, si l'historique des prévisions réalisées par KERAUNOS montre que l'essentiel des phénomènes convectifs de forte intensité sont désormais ciblés avec précision à une échéance de 24 heures, l'objectif désormais est de parvenir à des précisions géographiques encore supérieures et à une meilleure appréhension des phénomènes extrêmes, notamment pour ce qui concerne les tornades et les lames d'eau extrêmes,

deux phénomènes radicalement différents mais qui représentent tous deux encore aujourd'hui un véritable défi en prévision opérationnelle.