

Les inondations azuréennes du 3 octobre 2015 : un lourd bilan lié à un risque composite

The Côte d'Azur floods on 3 October 2015: heavy consequences linked to a composite risk

Pierre Carrega*

Résumé

Les dégâts très importants provoqués par les inondations du 3 octobre 2015 sur le littoral azuréen sont liés à des précipitations exceptionnelles par leur intensité (près de 200 mm en 2 heures) ruisselant sur un sol probablement saturé par les pluies de la veille même en secteur non urbanisé. La vulnérabilité très forte, associée à l'aléa extraordinaire et à une forte susceptibilité, expliquent le désastre.

Mots-clés

inondations, pluies exceptionnelles, ruissellement, alea, susceptibilité, vulnérabilité

Abstract

The very important damages linked to the floods of 3 October on the Côte d'Azur are related to rains exceptional concerning their intensities (close to 200 mm in 2 hours) running on soils which were probably saturated by rains fallen on the previous day, even on non-urbanized sectors. The very high vulnerability, associated with extraordinary hazard and to strong susceptibility, explain the disaster.

Keywords

flood, exceptional rainfall, running, hazard, susceptibility, vulnerability

(*) Professeur émérite à l'université Nice-Sophia Antipolis. UMR Espace. carrega@unice.fr

Dans la soirée du 3 octobre 2015, de très fortes pluies ont balayé la Provence d'Ouest en Est en s'intensifiant sur le littoral des Alpes-Maritimes (AM), seul traité ici, dont la partie occidentale, surtout entre Villeneuve-Loubet et Mandelieu, a été recouverte par les eaux, avec un bilan humain très lourd (20 morts) et des dégâts très importants (figure 1).

Évidemment, les réflexes habituels ont surgi de toutes parts à la recherche des responsables, mettant rapidement en accusation l'urbanisation « excessive » de la Côte d'Azur, car ces inondations sont dues à des crues de fleuves ou rivières, mais aussi au ruissellement urbain intense qui a affecté certains quartiers en pleine ville.

Une grille de lecture est particulièrement nécessaire pour comprendre comment l'enchaînement de divers processus physiques et humains a abouti à ce désastre, afin de mieux cerner les points possibles d'amélioration de la prévention.

Les risques dits « naturels » dont relèvent les inondations sont traditionnellement décomposés en aléa (l'évènement exceptionnel) et vulnérabilité (les enjeux humains et les moyens mis en œuvre pour lutter contre l'aléa), conception qui fusionne au sein de l'aléa la genèse et la production, la cause et l'effet. Or une « crue flash » n'est pas l'aléa : ce dernier est constitué

par les pluies intenses qui ont engendré la crue. De même, dans un PPR incendies de Forêt (Plan de Prévention des Risques), la végétation est considérée comme l'aléa, alors que ce dernier est constitué par la mise à feu dans des conditions météorologiques favorables.

L'aléa est donc un phénomène par définition non constant, à forte variabilité temporelle et souvent spatiale.

Nous remplaçons donc ici la conception binaire aléa-vulnérabilité par une trilogie aléa-susceptibilité-vulnérabilité (Carrega, 2007) : l'**aléa** est ici non pas la crue, mais la pluie sans laquelle il n'y aurait pas eu de crue. Il sera étudié en détail, en particulier dans son intensité, puisqu'il est la source, la cause génétique des inondations.

La **susceptibilité** du milieu environnant conditionne la prise en charge des gouttes d'eau tombées au sol : plus ce dernier est imperméable, plus le ruissellement en surface augmente, ce qui accroît le volume d'eau à écouler. Ce potentiel d'écoulement superficiel dépend de nombreux facteurs comme la pente qui accélère sa vitesse ; la nature géologique du sol et son mode d'occupation : la texture et la structure de la terre végétale et de la roche favorisant l'infiltration (calcaire, sable) ou non (argiles, béton, goudron) ; la végétation du sol qui exerce un effet de rétention de l'eau et freine l'écoulement, d'autant plus qu'elle est dense, etc.



Figure 1. Carte du Sud des Alpes-Maritimes (source : Larousse, modifiée).

Map of south part of The Alpes-Maritimes.

BR en rouge : la Bague (BR in red : the Bague river).

Un autre point important est également la structure du réseau hydrographique, plus ou moins hiérarchisé, faisant converger divers affluents vers un même lieu ou au contraire étalant les apports. Un point capital est aussi de savoir si cette pluie se répartit sur un ou plusieurs bassins-versants, ce qui concentrera toute l'eau en écoulement vers un, ou plusieurs exutoires : une averse de 150 mm soit 150 litres/m², sur une surface de 100 km² (cent millions de m²) produit donc 15 milliards de litres (15 millions de m³) qui doivent s'infiltrer ou ruisseler, vers un ou plusieurs exutoires, ce qui se traduit très différemment dans les hauteurs d'eau... En fonction de cette susceptibilité, **pour une même averse**, le débit des cours d'eau augmente et le niveau de l'eau monte plus ou moins.

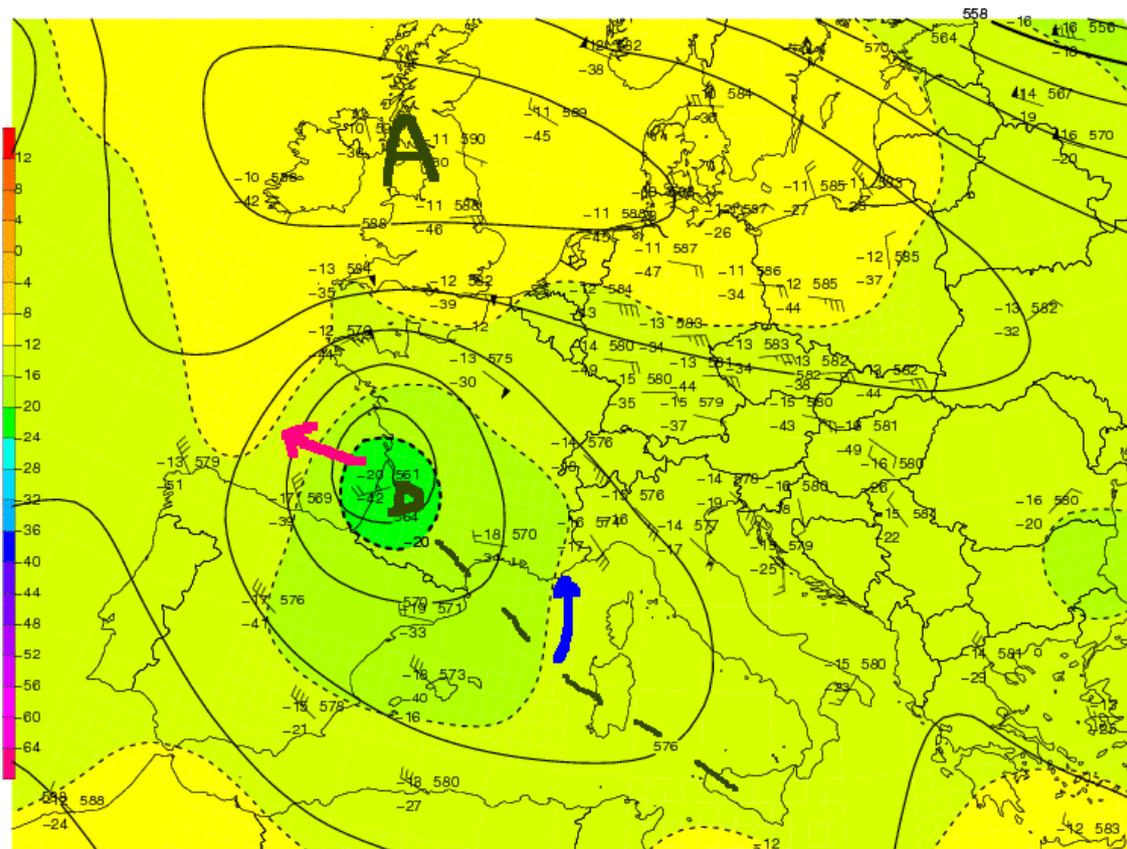
Les dégâts sont donc liés aux caractéristiques de la crue ET à son impact sur la **vulnérabilité** du lieu affecté : celle-ci comprend les enjeux (densités humaines, constructions humaines, véhicules, tout objet créé par l'homme) et l'ensemble des moyens

de lutte contre la crue (systèmes d'alerte, de prévention, éducation aux risques, digues, bassins de rétention...) mis en œuvre pour que son passage soit le moins douloureux possible.

1. Un aléa exceptionnel : mécanismes atmosphériques et pluviométrie résultante

1.1. Analyse météorologique synoptique et description du phénomène

La situation météorologique du samedi 3 octobre en soirée ressemble à celle de nombreux autres cas, fréquents en automne sur les rives nord-méditerranéennes : approche d'un talweg d'altitude froid et dynamique par l'ouest, dans un contexte automnal avec présence d'air méditerranéen encore chaud et humide dans les basses couches, à l'avant.



500 hPa temp./geop.h plot/151002/0000 <http://météocentre.com/toulouse/>

Figure 2. Géopotential 500 hPa à 02h locales, le 2 octobre 2015 (source : Météocentre).

Geopotential 500 hPa at 2 am, on 2 October 2015.

Flèche rouge : déplacement de la goutte froide. Flèche bleue: direction du flux vers 5700 m d'altitude (Red arrow: cut off moving. Blue arrow: wind direction at 5700 m height).

Plus original et très important pour la compréhension des manifestations hydrologiques ultérieures, ce talweg du 3 octobre est en fait une goutte froide ayant migré le 2 octobre en sens inverse du flux zonal (Ouest-Est) habituel, donc d'est en ouest, sur le flanc sud du puissant anticyclone dynamique d'origine subtropicale recouvrant le nord de l'Europe, puis il est reparti vers l'est (figure 2).

Ce point est très important, car le cyclonisme, et donc la force de soulèvement massif de l'air attachée à ce talweg, ont provoqué deux épisodes pluvieux distincts bien que proches dans le temps : le premier dans un flux directeur de Sud-Est (passage de la goutte froide plus au nord, se décalant vers l'ouest) pendant toute la journée du vendredi 2, le second dans un flux de Sud-Ouest, lorsque ce relativement bas géopotential est repassé d'ouest en est, en soirée du 3 (figures 3 et 4).

On note que les pluies associées à cette journée du 2 octobre ont été ignorées par les médias dans leur commentaire de l'épisode du 3, comme par les professionnels ayant après coup rendu compte de l'épisode (MétéoFrance-DREAL, 2015).

Pourtant, ces pluies du 2 octobre ont **saturé le sol**, avec des cumuls en soirée du 2 atteignant 80-100 mm : 91 mm à Vence (station personnelle) ; 96 mm à Nice-Carlone, (station du campus universitaire Carlone à l'ouest de Nice) ; 84 mm à Cannes, ce qui est loin d'être dérisoire.

Le 3 octobre, la nouvelle perturbation traverse lentement la moitié sud de la France, arrosant inégalement les Cévennes et la vallée du Rhône, placées en vigilance orange par MétéoFrance (MF) avant le Var et les Alpes-Maritimes (figure 5).

Sur le pays, et même dans le Sud-Est, le gradient de pression est faible en surface avec un flux de SE sur la Provence à l'avant du talweg centré sur la vallée du Rhône à 18h TU (20h locales) signalé par un front « occlus ».

Mais la carte plus précise des isobares à 21h locales (19hTU), donc en plein orage sur l'ouest de la Côte d'Azur, montre un gradient de surface localement plus fort et donc une probable convergence intense en basses couches, par flux général de Sud à Sud-Est, lequel est localement remplacé par un flux de Nord, soit lié à l'orage en cours, soit rejeté en altitude de 200 ou 300 m par la brise de terre formant un matelas d'air plus froid, comme à Nice (figure 6).

Le recours aux images radar pluviométrique permet de mieux visualiser le déplacement et l'intensité des pluies (figures 7 à 10).

Ces dernières sont « organisées » en une série de cellules d'intensité très variable et évoluant sans cesse, se déplaçant du Sud-Ouest au Nord-Est au sein d'une sorte de « fleuve », de courant qui, lui, se décale lentement vers l'Est, situation très classique.

Vers 8h locales, une multitude de cellules passe sur les Cévennes, la mer, et arrive en basse vallée du Rhône.

A 13h locales, l'agglomérat de cellules a atteint l'est de la Provence, mais les intensités maximales très impressionnantes (plusieurs centaines de mm/heure) concernent surtout la Camargue.

A 17h locales, quelques faibles écharpes pluvieuses ont déjà traversé les Alpes-Maritimes, plutôt en montagne, et l'axe pluvieux majeur est encore loin, sur l'Ouest des Bouches-du-Rhône et le Vaucluse (d'où les 96 mm d'Avignon). On note une montée en puissance de cellules sur l'Ouest du Var, près de la côte, et en amont de l'axe principal (figure 7).

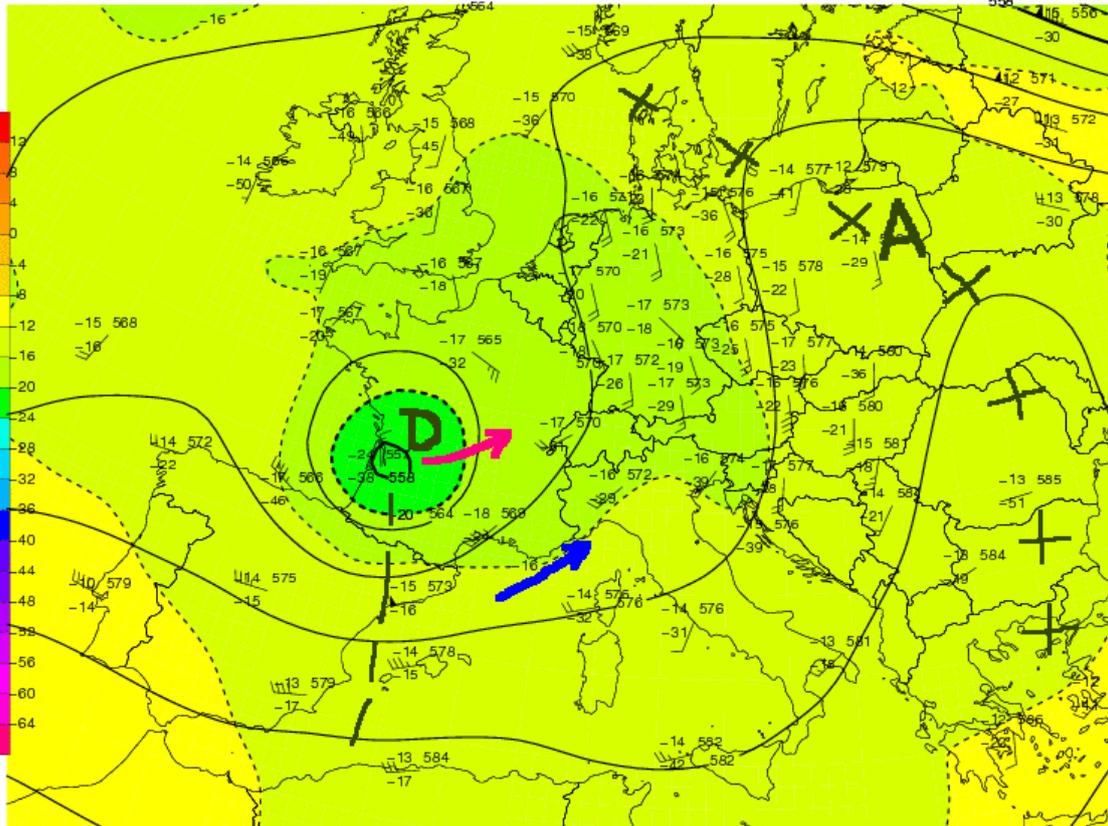
À 19h locales, ces cellules secondaires se sont bien décalées vers l'est (les Maures) fusionnant en une grosse cellule étendue et intense, tandis qu'une pluie faible a atteint la frontière italienne (figure 8). Les pluies intenses débutent peu avant 20h00 sur la région de Mandelieu, tandis qu'il pleut déjà vigoureusement aussi sous des cellules plus réduites traversant le centre montagneux des Alpes-Maritimes, et sur les Préalpes de Grasse. Il y a donc maintenant deux cellules principales bien individualisées : l'une en fort développement sur le Var affecte la Côte d'Azur, l'autre plus étroite, de la région marseillaise à la Durance, clôt la perturbation.

À 20h, les pluies de très forte intensité, toujours croissante, s'installent sur le Sud-Ouest du département des Alpes-Maritimes (figure 9).

À 20h45 locales, cette cellule très intense concerne toujours le Sud-Ouest des Alpes-Maritimes, et s'est allongée en une bande de plus de 70 km, du nord de St-Tropez jusqu'aux confins du Mercantour, avec un maximum entre l'Estérel et la vallée du Var (figure 10).

Ce n'est qu'à 22h00 que le temps s'éclaircit à Cannes tandis que la cellule se décale vers l'est en perdant de l'intensité.

Au total, la bande perturbée s'est décalée vers l'Est tout en se régénérant localement sur le littoral ouest des Alpes-Maritimes, soumis pendant environ deux heures à un « déluge » accompagné localement de grêle, avec une forte activité orageuse (figure 11).

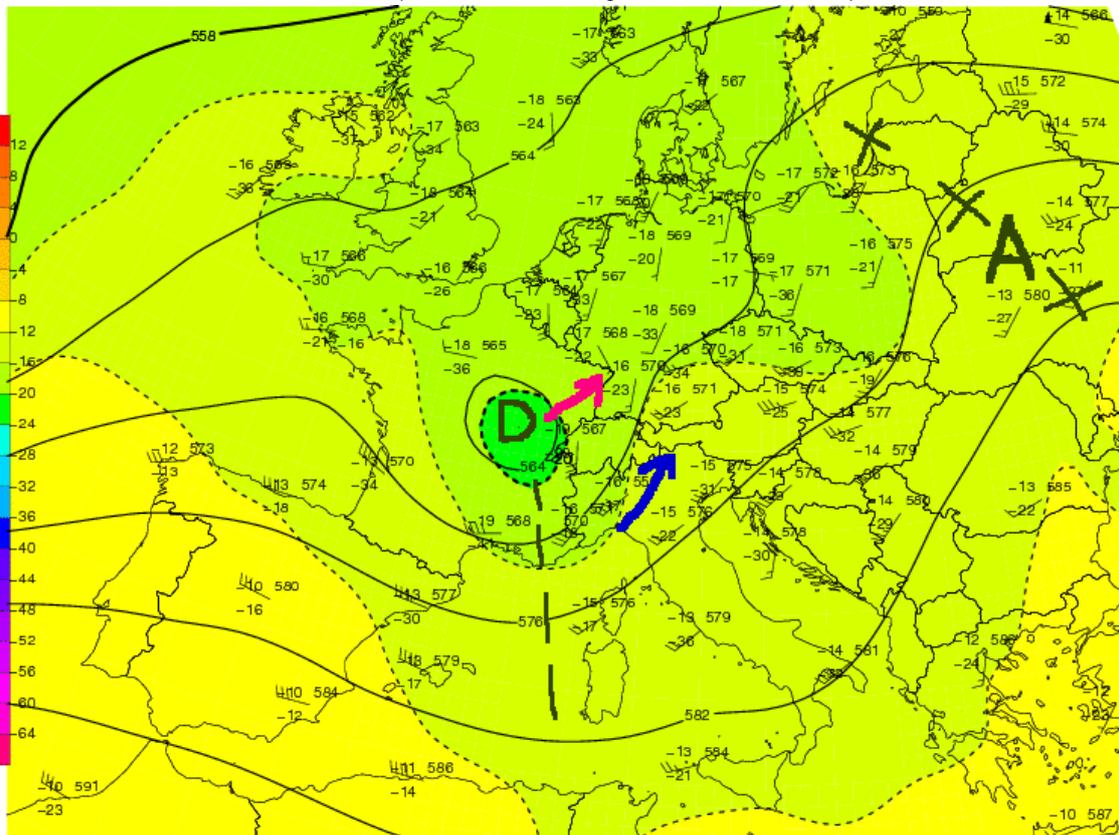


500 hPa temp./geop.h plot/151003/1200 <http://météocentre.com/toulouse/>

Figure 3. Géopotential 500 hPa à 14h locales, le 3 octobre 2015 (source : Météocentre).

Geopotential 500 hPa at 2 pm, on 3 october 2015.

Flèche rouge : déplacement de la goutte froide. Pointillés noirs : axe du talweg. Flèche bleue: direction du flux (Red arrow: cut off moving. Blue arrow : wind direction).



500 hPa temp./geop.h plot/151004/0000 <http://météocentre.com/toulouse/>

Figure 4. Géopotential 500 hPa à 02h locales, le 4 octobre 2015 (source : Météocentre).

Geopotential 500 hPa at 2 am, on 4 october 2015.

Pointillés noirs : axe du talweg. Flèche rouge : déplacement de la goutte froide. Flèche bleue: direction du flux (Red arrow: cut off moving. Blue arrow : wind direction).

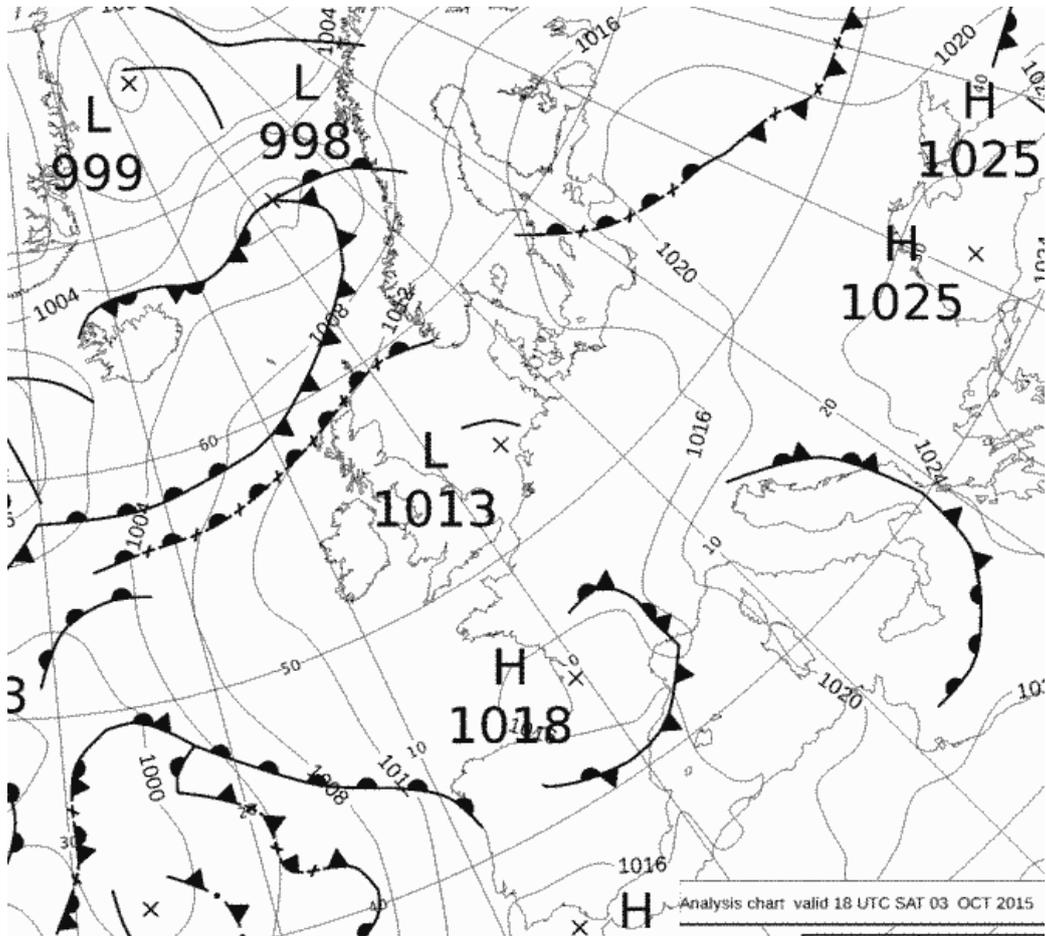


Figure 5. Situation en surface à 20h locales, le 3 octobre 2015 (source : Bracknell, Metoffice).
Meteorological and surface pressure map at 8 pm, on 3 october.

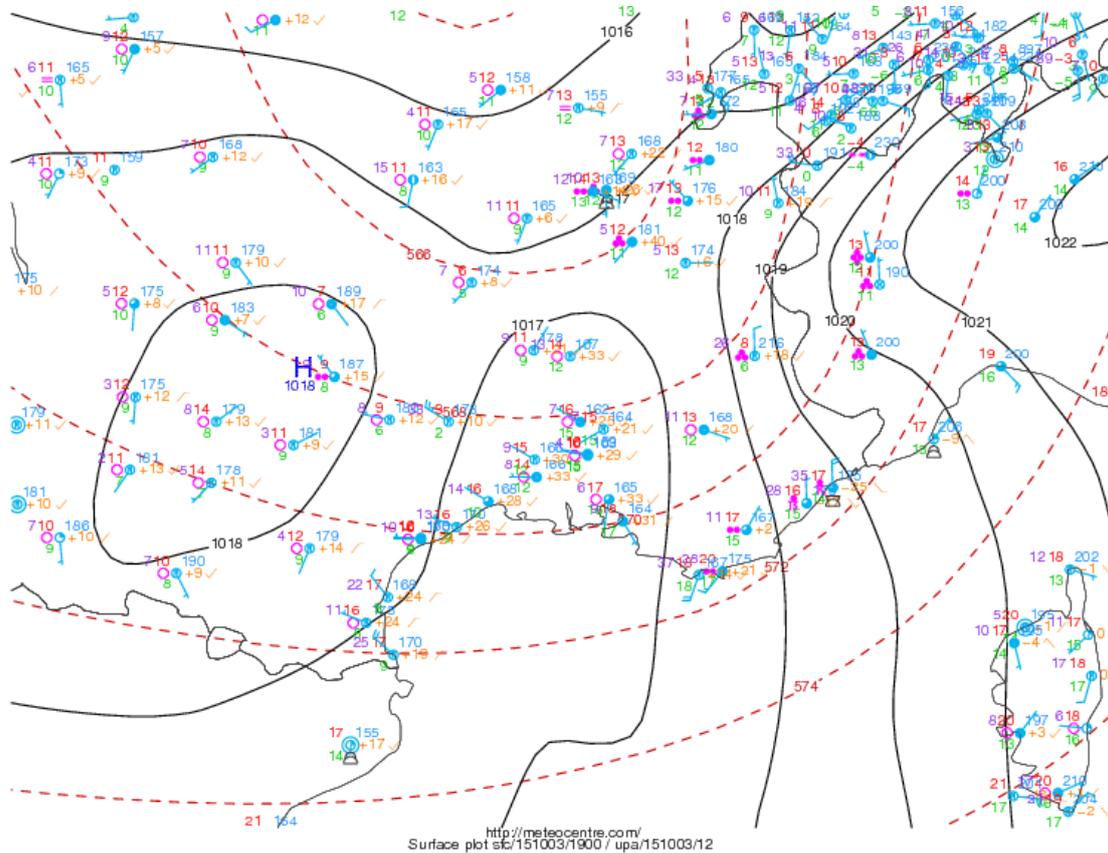


Figure 6. Pression en surface (isobares de un en un) sur le Sud-Est, le 3 octobre à 21h locales (source : Météocentre)
Air surface pressure on South-East of France, on 3 october at 9 pm.

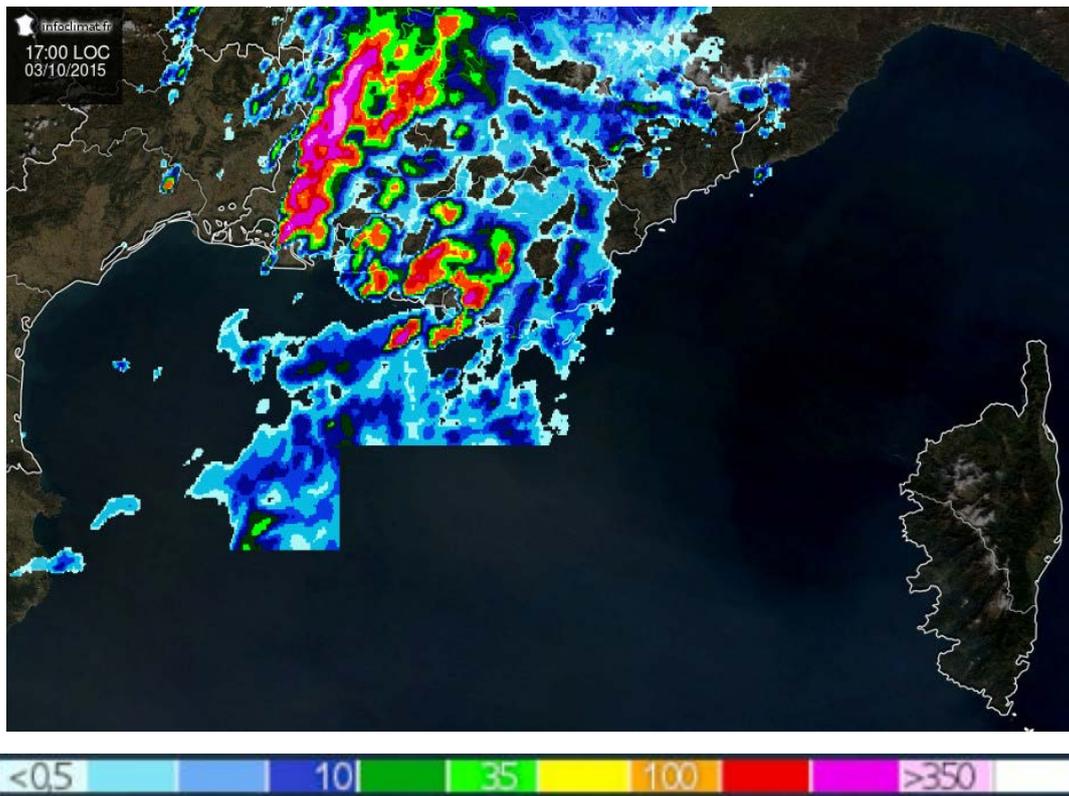


Figure 7. Image radar des précipitations instantanées à 17h locales, le 3 octobre. Intensités instantanées de la légende en mm/h
(source : Infoclimat, radars MétéoFrance).

Radar picture of instantaneous rains at 5 pm, on 3 october. Intensities expressed in mm/h.

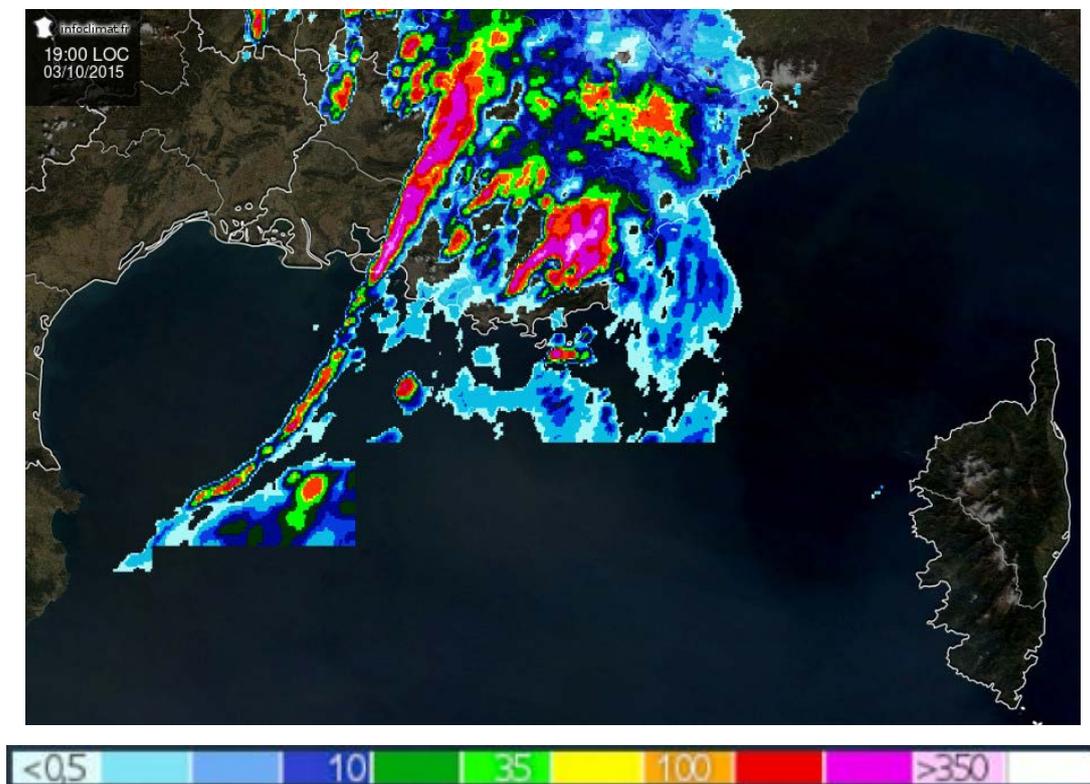


Figure 8. Image radar des précipitations instantanées à 19h locales, le 3 octobre. Intensités instantanées de la légende en mm/h

(source : Infoclimat, radars MétéoFrance).

Radar picture of instantaneous rains at 7 pm, on 3 october. Intensities expressed in mm/h.

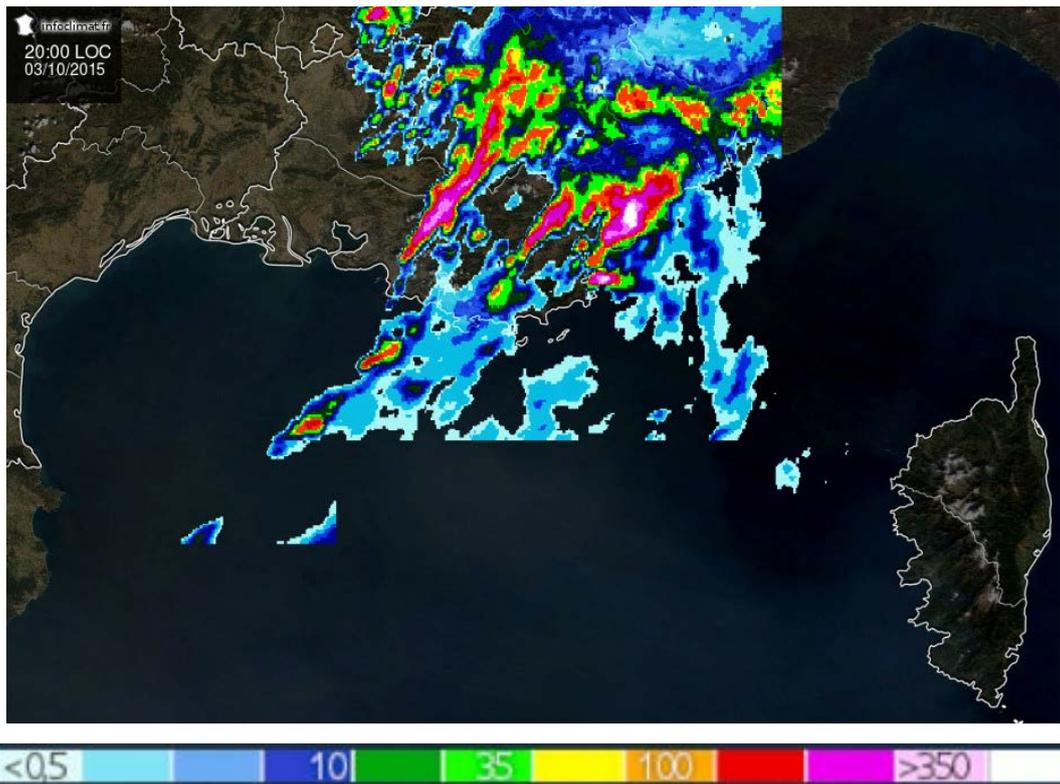


Figure 9. Image radar des précipitations instantanées à 20h locales, le 3 octobre. Intensités instantanées de la légende en mm/h (source : Infoclimat, radars MétéoFrance).

Radar picture of instantaneous rains at 8 pm, on 3 october. Intensities expressed in mm/h.

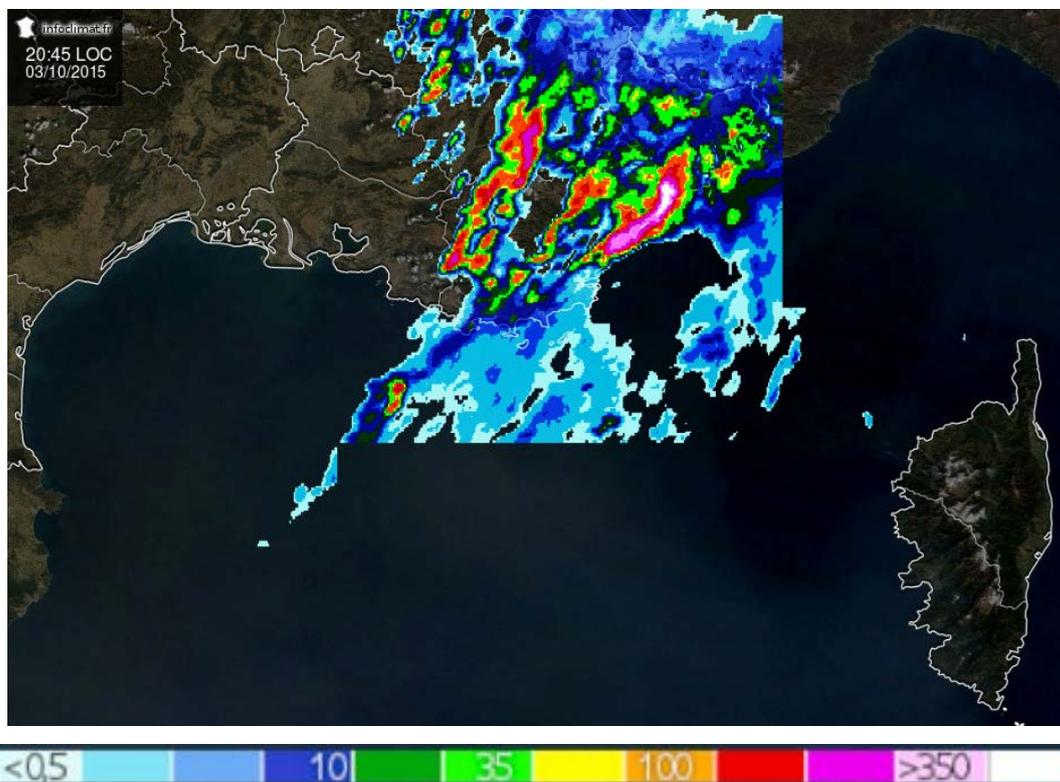


Figure 10. Image radar des précipitations instantanées à 20h45 locales, le 3 octobre. Intensités instantanées de la légende en mm/h (source : Infoclimat, radars MétéoFrance).

Radar picture of instantaneous rains at 8:45 pm, on 3 october.

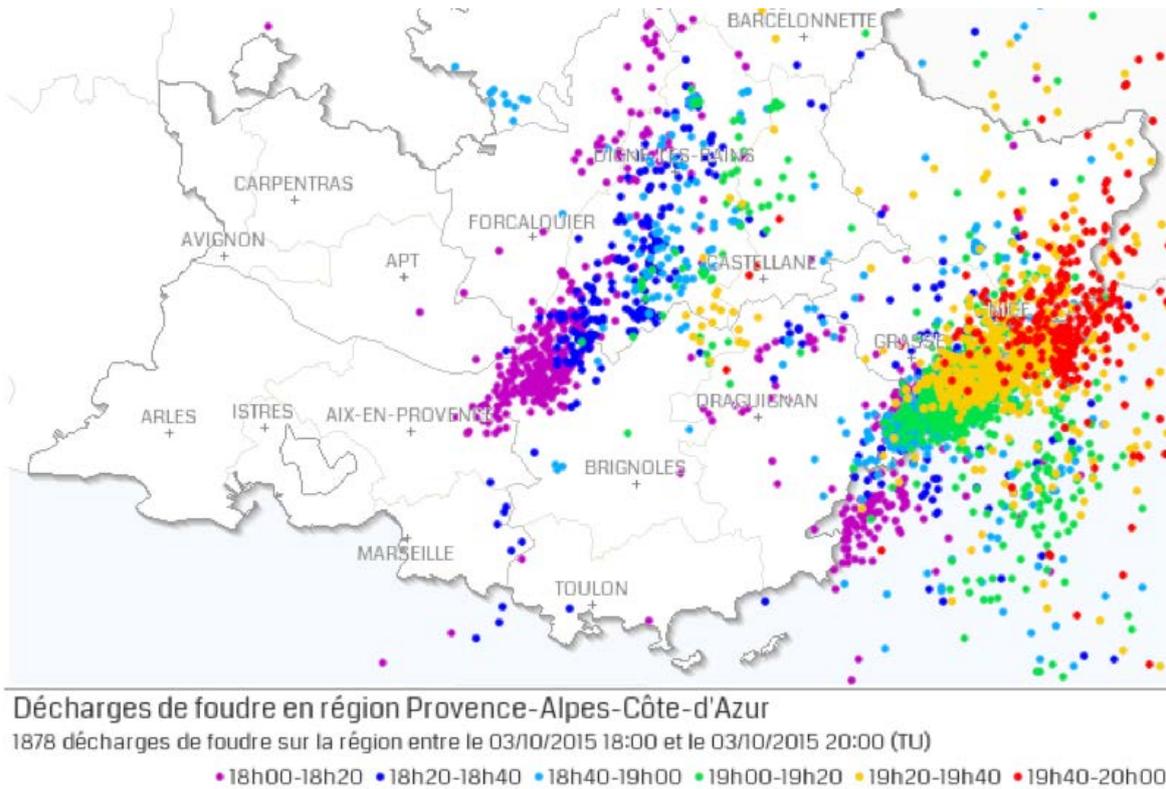


Figure 11. Impacts de foudre entre 20h et 22h locales sur la région (source : Keraunos).

Thunderstorm flashes from 8 to 10 pm on the region.

1.2. Distribution spatiale et intensité des pluies

L'épicentre des pluies a longtemps concerné ce secteur, ce qui explique les cumuls impressionnants en quelques heures pour cet épisode du 3 octobre en soirée ayant débordé d'une ou deux heures sur la journée suivante du 4 : selon MétéoSudest, l'épisode complet a donné 196 mm à Cannes, 159 mm à Mandelieu la Napoule, 128 mm à Antibes, 109 mm à Nice-aéroport, 107 mm à Valbonne (stations MétéoFrance).

La station personnelle de Vence, située en bordure nord de l'épicentre, a enregistré 83 mm, celle de Nice-Carlone, 100 mm.

Les pluies ont d'abord affecté la partie ouest des Bouches-du-Rhône et le Vaucluse, principalement, avec 96 mm à Avignon et 97 mm à Carpentras.

Puis le Var a été touché à son tour, surtout au centre avec 55 mm à Brignoles, tandis que le littoral était peu affecté, excepté l'extrême est du département. L'arrière-pays des Alpes-Maritimes a été épargné mais la moitié sud fortement arrosée (50-100 mm), en même temps qu'une bande littorale de 45 km de long sur 8 à 10 km de profondeur a reçu plus de 100 mm et jusqu'à 200 mm (figure 12).

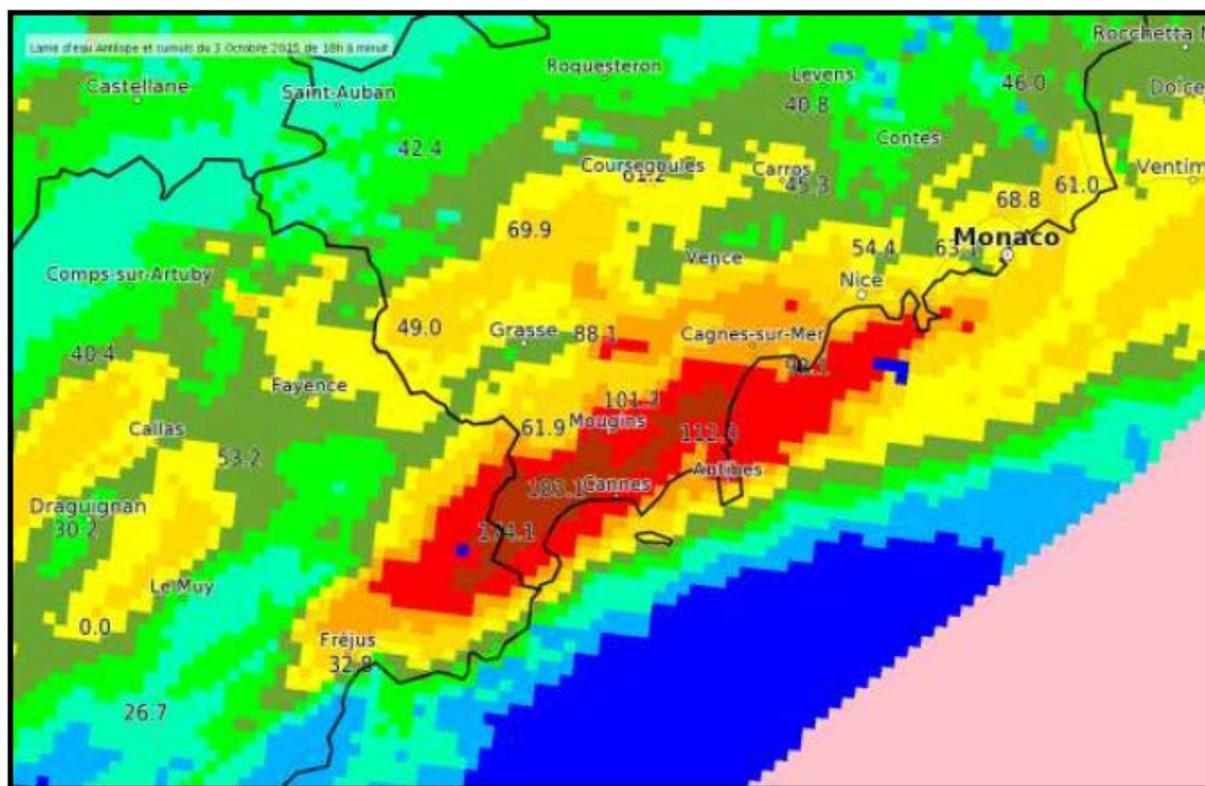
Pour comprendre la violence des inondations, une grave erreur serait de ne prendre en compte que ces valeurs du 3 octobre car elles sont venues se cumuler à celles, importantes, de la veille. Les pluies du 2 octobre qui ont duré toute la journée n'ont pas été intenses et ont donc eu le temps de s'infiltrer et de saturer le sol. Ceci est capital en termes de susceptibilité (voir plus haut).

Ainsi, selon les données MétéoFrance téléchargées à Météociel, entre le 1^{er} octobre à 22h locales et le 4 octobre à 1h locale (deux épisodes distincts), ce sont **282,6 mm qui ont été précipités** (2 + 84 + 179,6 + 17) à Cannes !

A Nice-aéroport, **203,2 mm** (2,4 + 89,8 + 96,2 + 14,8), à Nice-Carlone 195 mm, et à Vence 174 mm.

On constate également des **intensités extraordinaires** :

15,8 mm en 5 minutes à la station de Nice-Carlone (21h40), 23 mm en 10 minutes, et 29,4 mm en 15 minutes ! Ce qui est corroboré par les 21,6 mm en 6 minutes à Nice-aéroport (selon Infoclimat).



En rouge : de 100 à 150mm, en brun : > 150 mm (In red, 100-150 mm ; in brown >150mm).

Figure 12. Cartographie des précipitations du 3 octobre 2015 entre 18h et 24h, sur la Côte d'Azur (source : MétéoFrance).

Rain mapping on 3 October from 6 pm to Midnight.

Et à Cannes (station MétéoFrance), 17,8 mm en 6 minutes, 43,8 mm en 18 minutes, 68,8 mm en 30 minutes, (InfoClimat, MétéoFrance)...

Ces valeurs sont exceptionnelles, puisqu'à Cannes la durée de retour centennale est selon les sources entre 78 et 85 mm en 1 heure (base de données SHYREG, citée par MétéoFrance-DREAL), ou bien de 88 mm (calculs 1972-2010, Laborde), comme l'indique le tableau I.

Les records de pluie en 30 minutes, 1 heure et 2 heures ont été battus à Cannes, Antibes et Nice-aéroport, parfois très largement comme à Cannes (175 mm en 2h contre 95 mm en 1973).

Il paraît ici très important de réfléchir sur la notion de durée de retour qui gradue le côté plus ou moins exceptionnel d'un événement.

Tableau I. Comparaison des intensités-durées-fréquences à Cannes (source : calculs 1972-2010, J.P. Laborde, sur données MétéoFrance (communication personnelle).

Comparing intensities, duration, frequencies at Cannes (3 October shower and centennial return period values).

Durée	3 oct. 2016	Centennale
30 mn	68,8 mm	53,6 mm
1 h	109 mm	87,7 mm
2 h	175 mm	94,6 mm

La probabilité d'occurrence (en général annuelle) d'une valeur donnée de pluie est calculée à partir d'un ajustement par une (ou plusieurs) lois de distribution statistique, dont celle de Gumbel est la plus connue, aux valeurs expérimentales des épisodes réels sur la plus grande durée possible. Cette fréquence théorique permet de calculer un temps de retour d'une quantité ou la quantité à atteindre pour une durée temporelle donnée (« durée de retour »), et il s'agit évidemment d'une moyenne. Ainsi, une quantité de pluie quotidienne ayant une probabilité de 0,01 – soit une chance sur 100 – de se produire chaque année, se produira en moyenne tous les 100 ans.

Elle est toujours attachée à un poste précis à partir des données duquel elle est construite, donc de son comportement passé. Or on constate, d'une part, que les gradients spatiaux de ces pluies extrêmes sont très marqués (on passe aisément de 10 mm à 100 mm en 5 km) et, d'autre part, que la probabilité que l'épicentre d'une très forte averse se repositionne au même endroit est très faible, sans oublier que l'on se place dans l'hypothèse d'un climat stationnaire, ce qui n'est pas le cas.

Si l'on décidait que le mode de calcul des durées de retour consiste à se référer non plus à une station mais à un espace de plusieurs centaines, voire milliers de km² (documenté par les stations qu'il contient), on aboutirait mécaniquement à une diminution de la rareté d'un événement. Ainsi, les précipitations du 25 septembre 1981 ressemblent à s'y méprendre à celles qui sont l'objet de cet article, décalées de 20 km vers le nord-est (figure 13). Les stations pluviométriques affectées en 1981 jointes à celles touchées en 2015, pourraient fusionner en une « mégastation » représentant un seul espace quasi azuréen, au sein duquel on obtiendrait ainsi non pas un, mais deux événements intenses, dont la durée de retour serait obligatoirement abaissée. On peut alors estimer que ce qui est très localement exceptionnel peut se reproduire à faible distance plus fréquemment que l'examen des durées de retour ponctuel, par poste, ne le laisserait penser. Raisonner ainsi rend moins rare un événement qui, certes, se reproduit rarement sur place, mais plus fréquemment si l'on évoque un secteur ou une région, ce qui, par exemple, peut rendre trentenal un épisode déclaré comme centennal auparavant...

Il n'en reste pas moins que ces pluies du 3 octobre demeurent exceptionnelles.

1.3. Causes locales d'une telle intensité

Se pose évidemment la question de la cause de telles valeurs de cumul et d'intensité.

A priori trois éléments se sont combinés :

- une **bonne disponibilité de vapeur d'eau**, matière première de la pluie. En surface, sur le littoral, la température du point de rosée (td) qui traduit l'humidité absolue (puisque fonctionnellement reliée à la tension de vapeur ou au rapport de mélange) oscille entre 15 et 18 °C (figure 6). On constate aussi une forte humidité en altitude avec un td de 10 °C environ à 850 hPa (1 500 m environ) et encore -1 °C à 700 hPa (3 000 m). Le modèle Arome de Météo-France donne de fortes quantités d'eau précipitable (36 mm, voire plus), ce qui est beaucoup, car bien plus qu'un stock d'eau, un cumulonimbus est une pompe qui aspire de la vapeur et produit pluie ou grêle. Or, même très puissante, une pompe contient peu d'eau mais en fait transiter beaucoup...

- De **très vigoureuses ascendances de l'air** jusqu'à de très hautes altitudes, dans la stratosphère : d'après Keraunos, le sommet du cumulonimbus a atteint la température exceptionnellement froide de - 68 °C (figure 14).

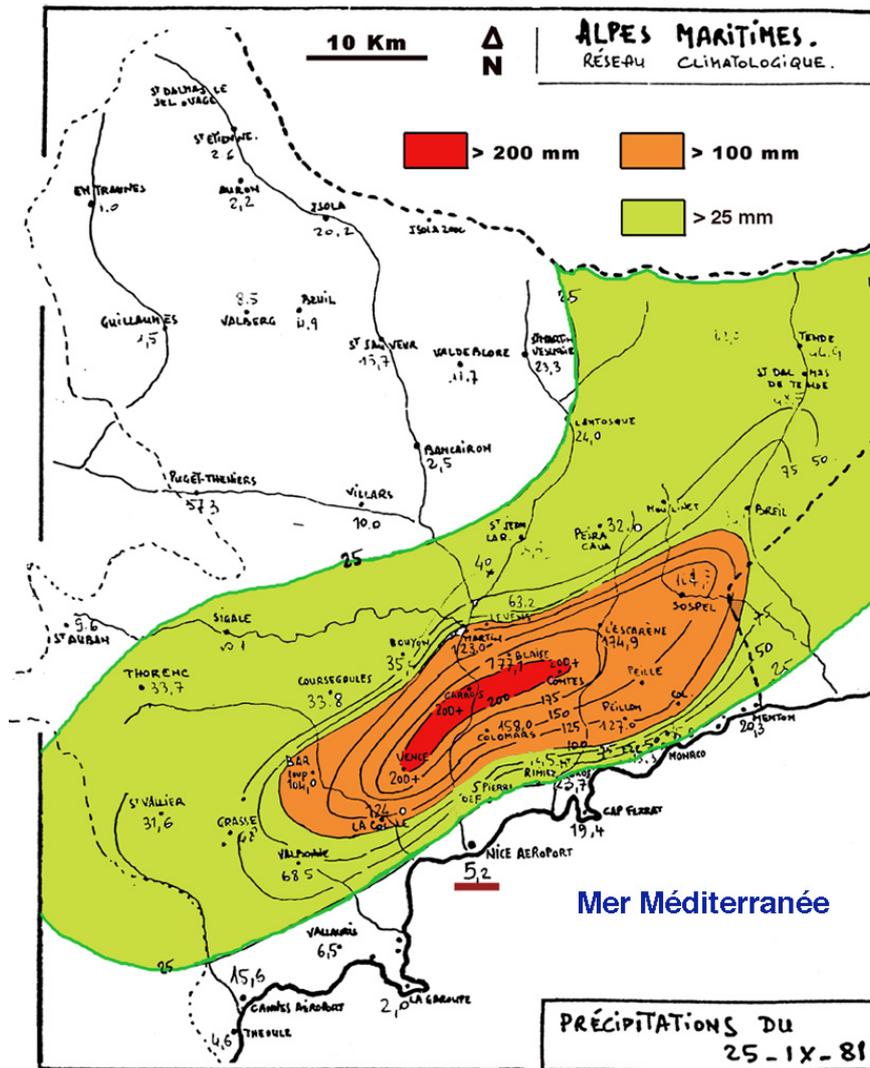
Ces ascendances considérées à une échelle assez globale sont très fortes, comme indiqué par le modèle Arome de Météo-France (figure 15). La « bulle » de soulèvement maximal est bien centrée à 20h locales sur le Sud-Ouest des Alpes-Maritimes, avec des vitesses inconnues car totalement hors norme d'après la légende (bien au-delà de -180 hPa/heure). Or ce modèle, bien que paraissant le moins erroné, a pourtant nettement sous-estimé l'averse (voir plus loin). Les vitesses verticales vraies à échelle globale sont donc probablement encore plus élevées, sans compter celles d'échelle locale, au sein du cumulonimbus.

Ces ascendances exceptionnelles sont liées à :

- un **cyclonisme très fort**, voire exceptionnel, capable de soulever en masse et violemment cet air humide.

Différents indicateurs le suggèrent, comme la présence d'un jet stream d'altitude assez rapide (60-70 nœuds le 3 octobre pour Nîmes à 250 hPa (environ 10 500 m d'altitude), et 100 nœuds le soir pour Cuneo) et l'existence d'une diffluence très marquée en altitude sur le Sud-Est de la France, ce qui favorise l'ascendance (figure 16).

Autre indicateur du cyclonisme : la forte anomalie de tropopause exprimée par le fort gradient d'altitude de la 1,5 PVU (Unité de Vorticité Potentielle)



D'après Météorologie nationale française (modifié)

Figure 13. Précipitations du 25 septembre 1981 sur la Côte d'Azur (source : Basset-Terrusse, MétéoFrance-Nice).

Rain on 25 september 1981 on the Côte d'Azur.

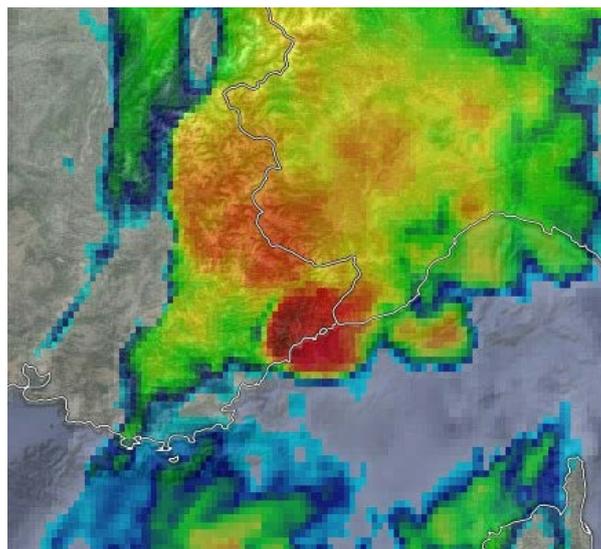


Figure 14. « Image satellite thermique du système orageux qui a frappé la Côte d'Azur, par Keraunos » (citation intégrale).

Thermal satellite picture of thunderstorm cellule.

Le rouge foncé est le plus froid donc le plus haut, formant un arc de cercle centré sur Cannes où se trouve probablement la convection maximale (orage en U) (Red color is colder and higher (maximal convection above Cannes)).

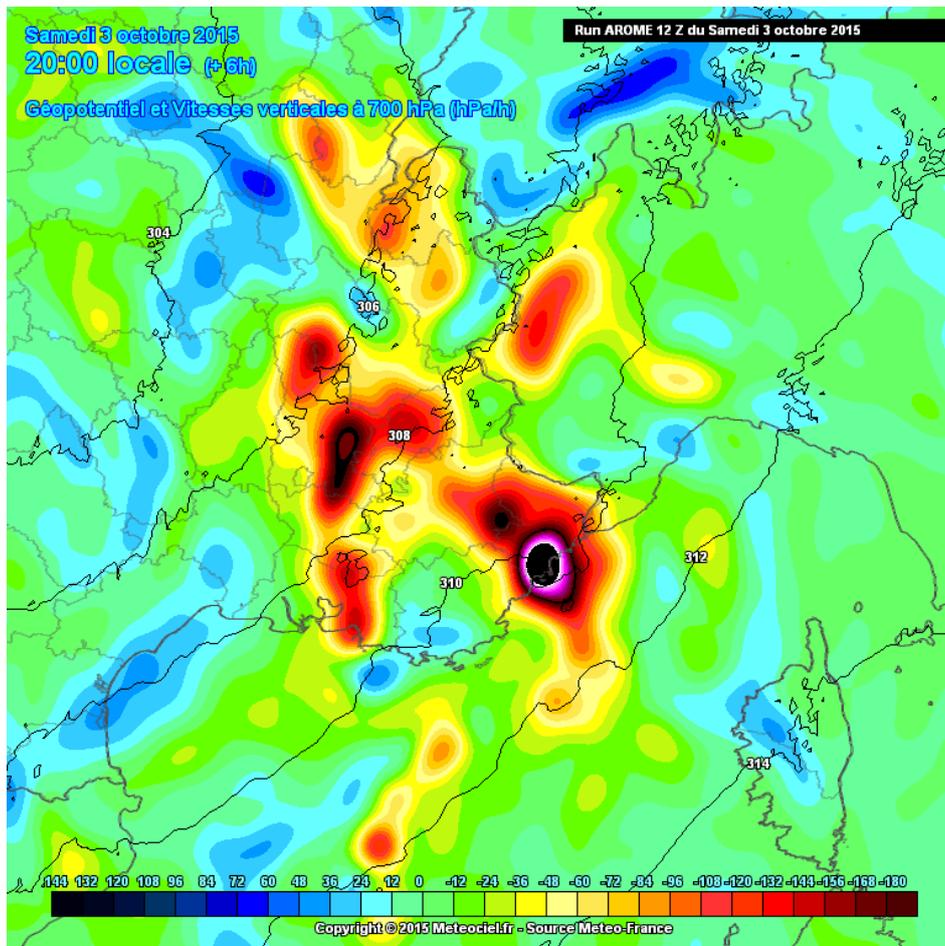


Figure 15. Vitesses verticales de l'air à 700 hPa exprimées en hPa/heure sur le Sud-Est de la France : l'air descendant perd de la pression, d'où les valeurs négatives qui lui sont associées. Modèle Arome MF (source: Météociel).

Vertical wind speed at 700 hPa (hPa/h) on South-East of France: ascending air is losing pressure, with consequently negative values.

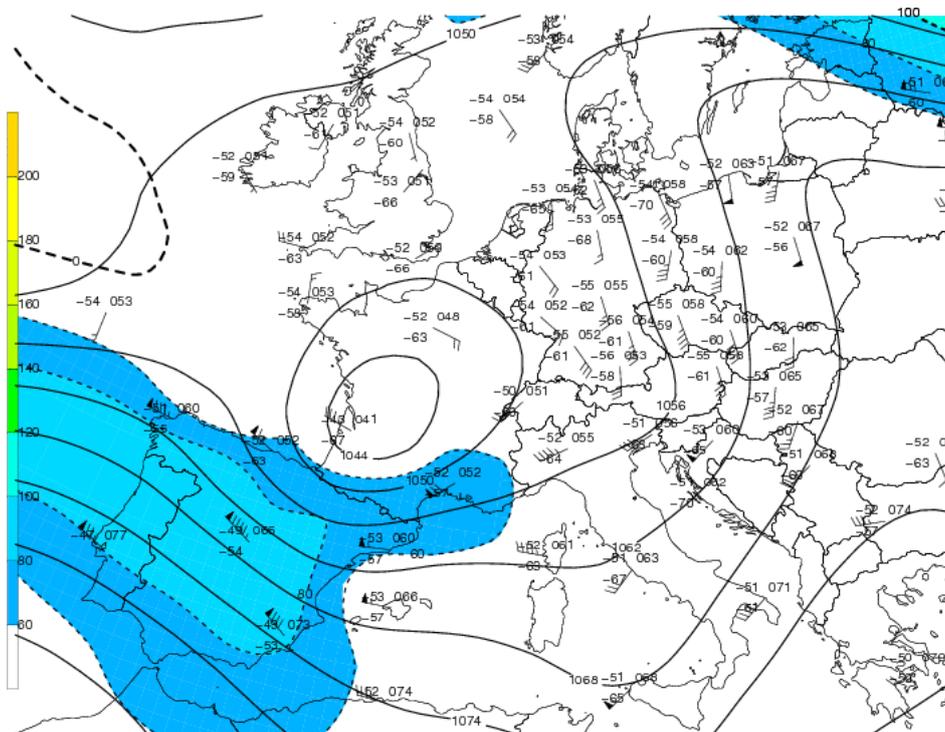


Figure 16. Altitude et vent du géopotiel 250 hPa (source : Météocentre).
Height and wind at geopotiel 250 hPa.

qui, pour simplifier, traduit indirectement la force d'aspiration de l'air vers le haut juste en amont (à l'est) de l'abaissement de tropopause responsable du talweg d'altitude (figure 17).

On constate une très grande différence d'altitude géopotentielle de la tropopause prévue à 21h locale par le modèle Arome, entre l'Ouest des Alpes-Maritimes (>11 000 m) et la vallée du Rhône (<4 500m), générant un déséquilibre évident.

- **une convection thermique (instabilité verticale de l'air)** avec la classique superposition d'advection d'air « frais » ou froid en altitude, sur une mer encore chaude en cette saison (d'où les td (températures du point de rosée) élevées en basses couches). La CAPE (énergie de flottabilité liée à ce déséquilibre thermique) est donc probablement élevée, et même si aucun sondage réel n'est disponible pour Nice ou Cannes, celui de Nîmes à 12h TU le 3 octobre donne une idée de cette instabilité (figure 18) : l'air saturé dès la surface du sol offre une courbe d'état (pro-

fil thermique vertical, trait rouge) quasiment parallèle à la courbe adiabatique saturée 15 °C (trait vert plein), prouvant que l'air monte tout seul, jusque vers 9 300 m d'altitude, par simple différence de densité avec son environnement.

Le profil vertical sur la Côte d'Azur, que l'on ne connaîtra jamais en l'absence de mesure, est probablement encore plus favorable à une instabilité explosive...

- **L'influence orographique** : face au flux de SW à SSW à tous les niveaux se dressent d'abord les premières collines littorales, puis les Préalpes de Grasse dépassant 1 300 m à 20 km au nord, et 1 700 m à 30 km au nord de Cannes. Ces montagnes, bien au-delà de l'épicentre, ne semblent pas avoir été déterminantes, mais les quelques dizaines puis centaines de mètres d'altitude du littoral proche ont aussi aidé au soulèvement. D'ailleurs, les précipitations prévues et effectives (suivi radar) sont plus importantes sur le proche littoral qu'en mer.

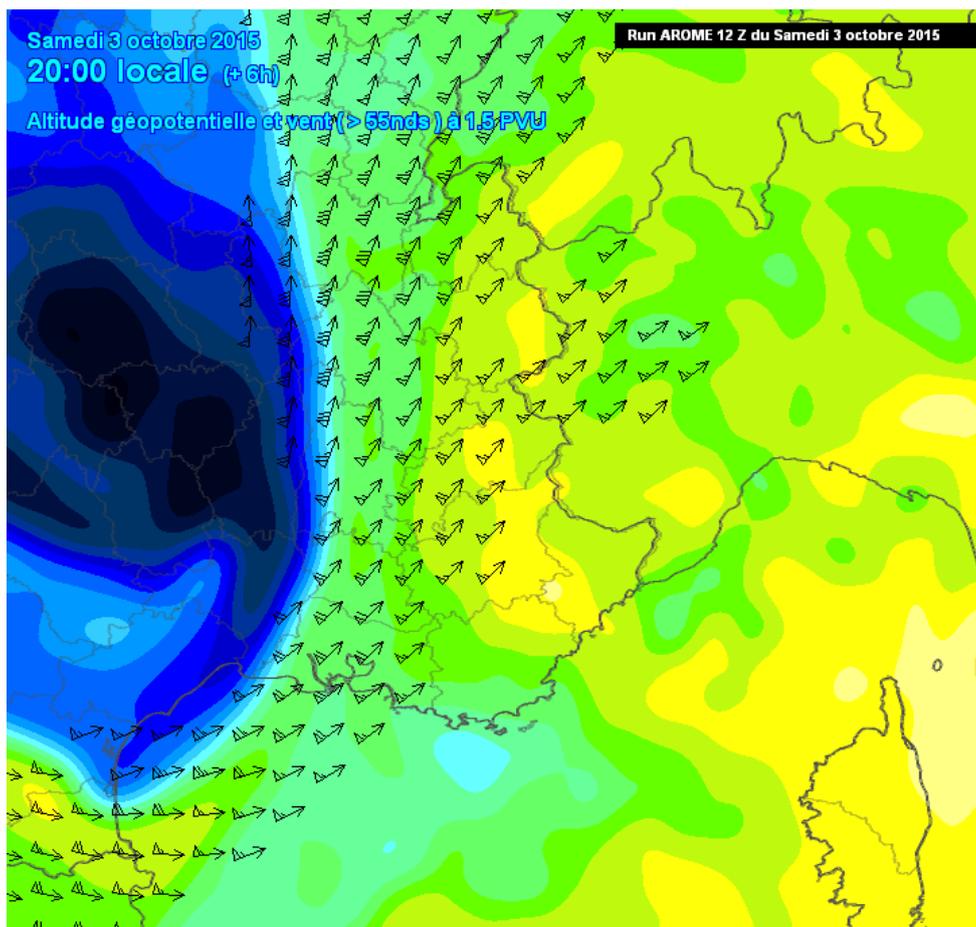


Figure 17. Altitude et vent à 1,5 PVU (Unité de Vorticité Potentielle). Modèle Arome MF (source: Météociel).
Height and wind at 1,5 PVU.

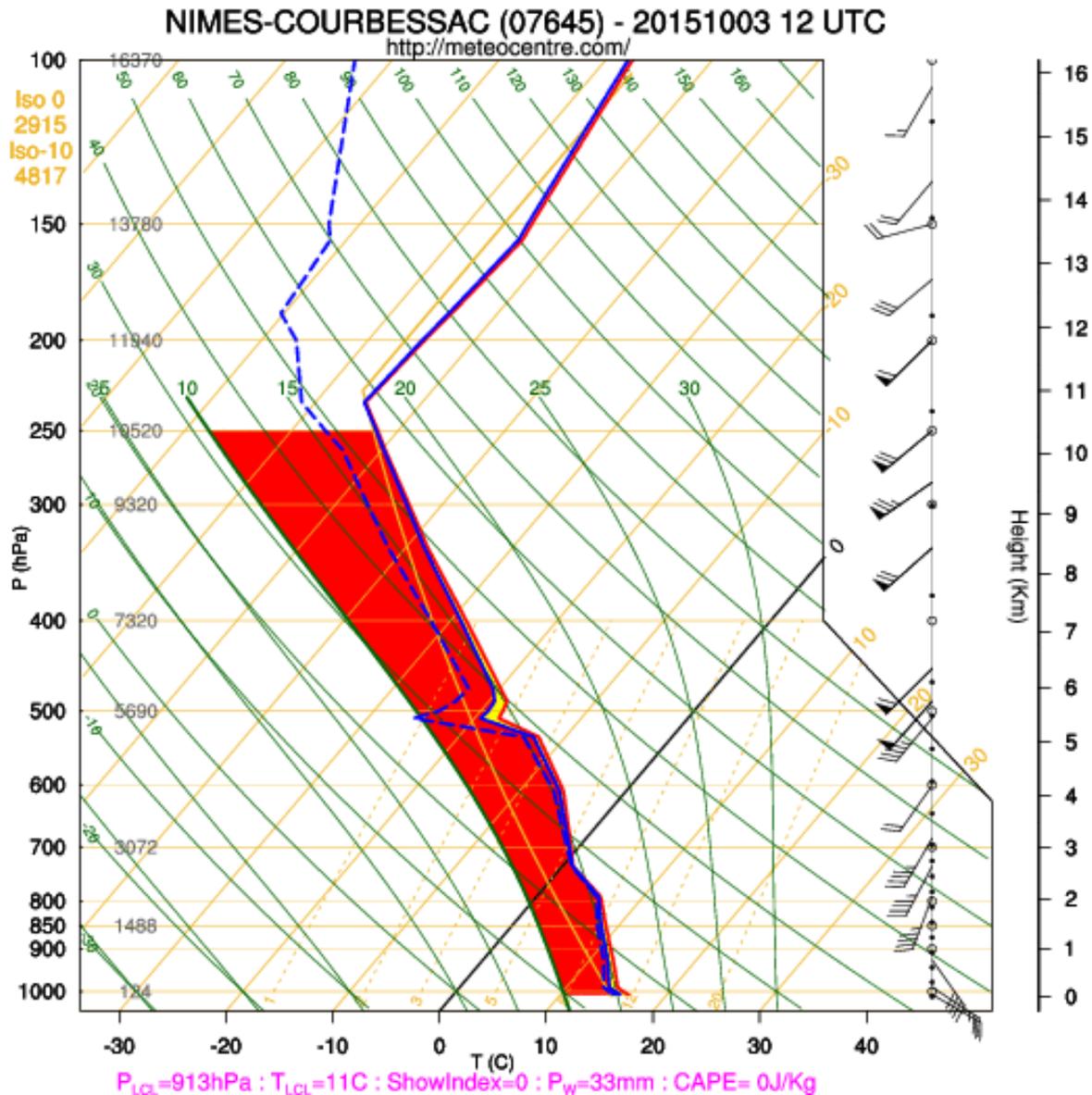


Figure 18. Radiosondage de Nîmes, le 3 octobre à 12h TU (source : Météocentre).
Radiosounding at Nîmes on 3 october at Midnight UTC.

Au total, tous les éléments intervenant dans le mécanisme des fortes pluies sont manifestement très favorables, mais leur valeur précise locale est inconnue en l'absence de mesures d'altitude et de modélisation validée (voir plus loin).

L'averse du 3 octobre, bien qu'exceptionnelle, n'explique pas à elle seule les hauteurs d'eau atteintes par le ruissellement, ce dernier étant déterminé par la susceptibilité, et en particulier par l'une de ses composantes essentielles qu'est le coefficient de ruissellement.

2. La production des inondations en fonction de la susceptibilité du milieu environnant

2.1. Hauteurs d'eau et inondations

Près du littoral des Alpes-Maritimes, deux fleuves principaux ont débordé massivement : la Siagne (Mandelieu, à l'ouest de Cannes) et la Brague (Biot, à l'est d'Antibes). D'autres cours d'eau temporaires ont également évacué des quantités phénoménales d'eau, parfois de simples talwegs topographiques, mais aussi de nombreuses rues ont participé au drainage...

D'innombrables témoins que sont les laisses de crue ou les traces d'eau sur divers murs visibles les jours suivant l'épisode montrent que des hauteurs d'eau de 1,5 m ou plus ont été atteintes « en plaine » près de la mer, depuis l'Estérel jusqu'à Villeneuve-Loubet, à l'est de la Brague, voire localement jusqu'à Nice où la pluie a été moins abondante. Les journaux et sites web regorgent de photos impressionnantes témoignant de la hauteur atteinte par l'eau et de sa force.

À plus de 500 m au nord de l'embouchure de la Brague, la plage de galets a été creusée en canyons par le ruissellement qui a déblayé localement jusque sur 1 m de profondeur de galets et sables (figure 19).

Les pentes fortes de la région favorisent un ruissellement rapide et ont contribué aux montées éclair du niveau de l'eau, bien visibles dans les cours d'eau instrumentés, comme le Loup à Villeneuve-Loubet (figure 20).

D'après le rapport MétéoFrance-DREAL, la durée de retour de cette crue du Loup se situe entre 2 et 5 ans, contre 5-10 ans pour la Siagne à Pégomas. Bien que les temps de montée de crues aient été rapides, ces faibles valeurs s'expliquent aisément par le fait que leur bassin-versant amont soit situé en dehors (plus au nord) du secteur exceptionnellement arrosé.

Il n'en est pas de même pour la Brague, fleuve court, dont le niveau a atteint 5,60 m au-dessus du zéro de l'hydromètre à Biot, le maximum précédent (depuis 1980) étant de 4,16 m. Avant inondation, l'appareil indique une durée de seulement 45 minutes pour passer de 0,43 m à 3,15 m. Le débit maximum n'est donc pas connu, mais les 4,16 m antérieurs correspondent à 221 m³/s, la valeur cinquantennale étant de 170 m³/s (rapport MétéoFrance-DREAL). Il n'est donc pas absurde d'avancer une durée de retour multi-centennale pour cette crue.



Figure 19. Plage creusée par le ruissellement, plus de 500 m au nord de l'embouchure de la Brague (6 octobre)
(photo : Carrega).

Beach excavated by water running, at more than 500 m on north of Brague river mouth.

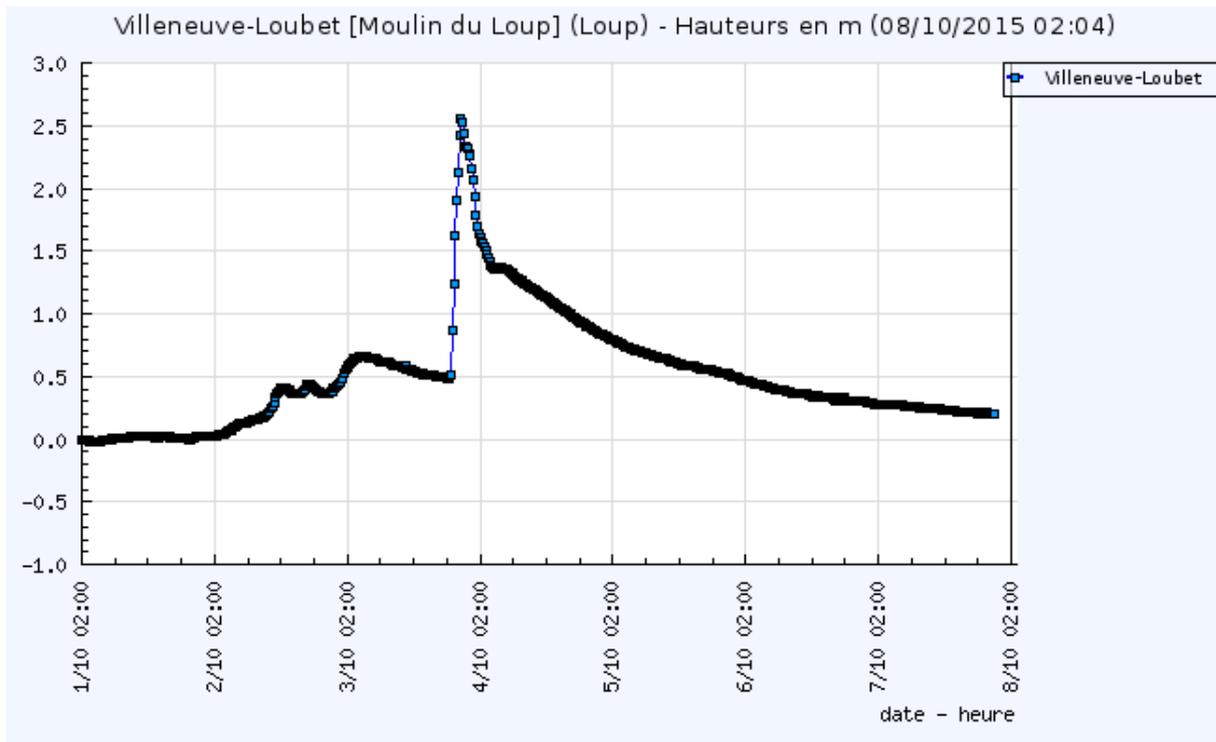


Figure 20. Hauteur du Loup à Villeneuve-Loubet entre le 1er et le 8 octobre (source : Vigicrue).

Loup river level at Villeneuve-loubet between 1st and 8 october 2015.

2.2. La question de l'urbanisation

À ce stade de l'analyse apparaît la grande accu-sée qu'est l'urbanisation massive du littoral azuréen et de son arrière-pays immédiat, comme facteur d'imperméabilisation et donc d'accroissement du ruissellement.

On ne développera pas ci-dessous les thèmes de la pression démographique pesant sur la région (flux migratoire), de la tension foncière consécuti-ve, de la politique d'étalement semi-urbain suivie depuis les années soixante, répartissant les popu-lations arrivantes sur de grandes étendues par d'innombrables villas (du fait de coefficients d'oc-cupation du sol obligeant à disposer de relative-ment grands terrains pour construire), etc.

Certes l'urbanisation littorale et la semi-urbanisa-tion (« mitage » d'innombrables villas) ne favorisent pas l'infiltration, mais on notera l'existence de sec-teurs boisés, de garrigue ou de sols « naturels » plus ou moins végétalisés recouvrant une super-ficie non négligeable, par exemple dans le cas du bassin-versant de la Brague, surtout en amont (figure 21).

Une vraie question est de savoir si le ruisselle-ment aurait été très inférieur et donc le niveau de l'eau nettement moins haut en l'absence totale

d'urbanisation, ce qui nécessite des modélisations correctement documentées et sérieuses.

Il n'est absolument pas certain que la réponse soit aussi positive qu'on l'a prétendu dans toutes les déclarations médiatiques.

En effet (voir plus haut), les importants cumuls pluviométriques du 2 octobre, soit 80 mm à 90 mm, ont été répartis de manière assez homogène dans le temps et l'espace, et précipités sans fortes inten-sités, ce qui a permis une lente et efficace infiltra-tion conduisant à la saturation des sols.

Puis, à Cannes, les intensités de précipitation du 3 octobre ont été supérieures à 0,5 mm/mn pen-dant 91 minutes, dont 77 supérieures à 1 mm/mn (Météo-France-DREAL).

Il est donc raisonnable de penser que le coef-ficient de ruissellement lors de l'orage a été très élevé, y compris sur des surfaces non urbaines, d'une part, à cause des pluies de la veille (sol déjà probablement saturé ou proche de la saturation) et, d'autre part, à cause des intensités extraordinaires durant l'épisode lui-même : au total, pendant les deux heures d'averse, qu'il soit « naturel » ou arti-ficiel, le sol était donc probablement incapable d'ab-sorber beaucoup plus que les premières gouttes



Figure 21. Occupation du sol d'une partie de la région inondée (source : Google Earth, modifié).

Land cover of a part of the flooded region.

Trait violet : limite du bassin-versant de la Brague ; vert : forêt ou garrigue ; beige : urbanisation continue ; jaune : occupation mixte, habitat dispersé.

(Violet line: limit of the Brague river catchment basin; green: forest or garrigue; brown: urbanized areas; yellow: mixed occupation, scattered settlements).

de l'averse, sans compter la vigueur de certaines pentes qui a accéléré les temps de concentration. On note d'ailleurs que le comportement extrême de la Brague a concerné un fleuve dont seule une petite proportion du bassin-versant est fortement urbanisée.

Il est souhaitable que des simulations d'écoulement soient menées avec précision, pour contribuer à fixer la responsabilité vraie du mode d'occupation du sol de la région, ce qui éclairera les aménageurs.

3. La catastrophe, permise par une forte vulnérabilité

3.1. Les dégâts

On peut séparer les enjeux des circonstances et des moyens de « lutte » contre ce phénomène.

- **Les enjeux** sont évidents : plus de 200 000 personnes habitent la partie sud-ouest des Alpes-Maritimes très affectée par les inondations. Le risque de décès ou de blessures est donc

Tableau II. Communes reconnues en état de « catastrophe naturelle » (épisode du 3 octobre).

List of municipalities affected by the « natural disaster » juridic situation.

DÉPARTEMENT DES ALPES-MARITIMES
Inondations et coulées de boue du 3 octobre 2015
Communes de : Antibes, Biot. Cagnes-sur-Mer, Cannes, Le Cannet. Mandelieu-la-Napoule, Mougins, Nice, Roquefort-les-Pins, La Roquette-sur-Siagne. Théoule-sur-Mer, Valbonne, Vallauris, Villeneuve-Loubet.
DÉPARTEMENT DU VAR
Inondations et coulées de boue du 3 octobre 2015
Communes de : Les Arcs. Brignoles, Cabasse, Callas, Camps-la-Source, Flassans-sur-Issole, Flayosc, Forcalqueiret, Fréjus, Méounes-lès-Montrieux, La Motte, Néoules, Puget-sur-Argens, La Roquebrussanne. Saint-Antonin-du-Var, Saint-Raphaël, Le Thoronet, Trans-en-Provence.

structurellement élevé, ce qui a malheureusement été confirmé avec les 20 morts recensés, sans compter le traumatisme et les conséquences sanitaires ultérieures d'une telle expérience.

Les dégâts matériels sont particulièrement élevés avec des milliers de véhicules détruits, les atteintes aux maisons, appartements, commerces, ateliers industriels, etc., et à leur contenu (figure 22). Jusqu'à 70 000 foyers ont été privés d'électricité selon ERDF (*Le Monde*), le réseau routier impraticable par endroits, etc.

Quelques jours après les inondations, des sommes de 650 millions € ont été avancées en termes de coût pour les assurances (*Le Monde*).

On note que la difficulté de se garer le long des chaussées en ville a entraîné la multiplication de garages souterrains privés ou publics, dont un nombre important a été envahi par l'eau...

Des milliers ou des dizaines de milliers de foyers ont été affectés, sans oublier le département du Var, comme le montre la liste officielle des communes reconnues en état de « catastrophe naturelle » (tableau II).



Figure 22. Dégâts et laisses de crue sur le chemin du Pylône, à Biot, 6 jours après l'orage (photo : Carrega).

Damages and prints of the flood on the Pylône road, 6 days after the rain.

- **Les circonstances** de cet épisode méritent également que l'on s'y attarde : sur le court terme, les mêmes inondations (ou glissements de terrains) se produisant à 17 ou 18 h en semaine au moment des bouchons routiers fréquents dans la région, au lieu de 21 h un samedi, auraient probablement eu des conséquences pires, avec de multiples prises au piège par l'onde de crue, de chauffeurs bloqués dans leur véhicule, sans échappatoire possible.

À plus long terme, l'évolution des modes de pensée de notre société est impliquée : l'homme actuel, de plus en plus citadin (80 % de la population française vit en ville) et donc de plus en plus inséré dans une sorte de bulle de confort technique, perd la conscience de la notion de risque en général, et des risques « naturels » en particulier.

On ne prend pas conscience que le niveau de l'eau peut monter dangereusement en quelques dizaines de secondes seulement, ce qui génère des conduites inadaptées, sur la route comme au rez-de-chaussée ou au sous-sol, et en auto comme à pied...

Il faut donc répéter que lors d'une forte averse, un véritable mur d'eau peut survenir brutalement, emmenant personnes et objets, y compris des automobiles ou camions sur son passage. La meilleure réponse est donc d'éviter de circuler après avoir fui les points bas, lieux de passage et d'accumulation de l'eau.

3.2 Les moyens de prévention et de lutte

Là aussi, ils opèrent à des échelles spatio-temporelles différentes.

- À **court terme**, le système officiel d'alerte sous forme de la vigilance opérée par Météo-France a joué en fonction de l'état de la science : les Alpes-Maritimes sont passées en vigilance « orange » le 3 octobre à 11h01. Ce département est beaucoup plus rarement mis en alerte pluie/orages/inondations que le Gard ou l'Hérault, et donc l'effet de « lassitude » et de non-écoute par la population n'aurait pas dû jouer.

Compte-tenu de ce que prévoyaient les modèles météorologiques, la vigilance « rouge » (bien plus lourde à appliquer que l'orange) ne paraissait pas justifiée à ce moment.

Un problème majeur est l'incapacité actuelle des modèles à prévoir correctement les quantités de pluie dans certaines configurations, très fréquentes en automne, et susceptibles de générer de forts abats d'eau.

Le run du 3 octobre à 18h TU, issu du GFS 0,5° (modèle américain « libre » Global Forecasting System) présenté par de nombreux sites Internet tels infoclimat ou MeteoSudest, prévoyait une accumulation en 6 heures < 40 mm pour 2h locales le 4 (00h TU), concernant surtout l'Est du département, mais il est vrai que ce modèle planétaire n'a pas vocation à entrer dans les détails.

Sans prétendre à l'exhaustivité, l'examen de nombreux modèles plus « régionaux », comme les WRF ou NMM présentés dans nombre de sites météo Internet très sérieux, ne laissait pas attendre de tels excès.

À une échelle spatiale un peu plus fine donc, le WRF du LAMMA donnait à 12h le 3 octobre une accumulation oscillant entre 25 et 40 mm entre 20h et 23h locales, lorsque initialisé à partir du modèle européen (ECMWF). Il prévoyait à peine plus de 30 mm au pire, logiquement plus à l'Est, lorsqu'il l'était depuis le GFS.

Le modèle BOLAM Italy d'Arpal, lui aussi nourri par le modèle européen, annonçait également moins de 40 mm sur les AM, en insistant par contre sur l'extrême ouest de la Provence où il a été plus performant (figure 23).

Le WRF de Météociel donnait un cumul de pluie prévu pour l'épisode du 3 octobre < 30 mm sur la côte, et de 40 mm plus au nord. Le maximum était situé au nord des Préalpes de Grasse avec 80 mm sur une petite surface, que ce soit pour les runs de 00h, 6h00 ou 12h00 TU. Pire, le dernier, celui de 18h TU, a amoindri la pluie avec 20-30 mm à Cannes et moins de 40 sur les Préalpes...

Bref, les pluies annoncées par la plupart des modèles ont été de l'ordre de 20 à 25 % de ce qui est réellement tombé...

Le modèle Arome 2,5 km de Météo-France annonçait un maximum dépassant 100 mm localement, mais sur le Vaucluse et la Drôme. Toutefois, il s'en tire mieux que les autres puisque sur les Alpes-Maritimes ses runs de 18h et surtout de 12h le 3 annonçaient un cumul de 80 mm, jusqu'à 100 très localement sur une écharpe assez proche de ce qui tombera vraiment, en termes de localisation (figure 24).

Mais on est encore bien en dessous de la réalité : à peu près à la moitié. Ce n'est donc qu'au moment où les événements se produisaient (après 20 heures) que la gravité et l'aspect extrême du phénomène sont apparus.

Des conseils et une alarme de niveau inférieur à la réalité à venir ont donc été diffusés par les organismes officiels, et, face à cela, il appartenait alors à chacun de juger de la situation et de se prendre en charge...

Un autre modèle a, comme Arome, mieux approché que les autres la distribution spatiale réelle des pluies dès 12h le 3, et « s'est moins trompé » : c'est le Moloch d'Arpal (figure 25).

Il est lui aussi à la moitié de la réalité...

Il faut donc reconnaître que les modèles les plus pointus n'ont pas su prévoir la stationnarité d'une mégacellule orageuse se régénérant plus ou moins sur place pendant environ 2 heures, et qu'au lieu des 30 à 90 mm attendus dans le meilleur des cas, c'est le double qui s'est produit. Malgré les progrès des modèles déterministes, parmi d'autres variables comme la température, l'humidité de l'air, le vent, la pression, etc., les « précipitations » demeurent les plus difficiles à prévoir correctement, en particulier les fortes averses. Une société, privée

de modèle de prévision fiable lors d'un événement extrême, est donc évidemment plus vulnérable.

- À plus long terme, ce sont les politiques d'aménagement de tous ordres qui sont en jeu. Quel était l'état des ouvrages (digues éventuelles, retenues, bassins de rétention, etc.), étaient-ils nettoyés dans les règles ? Les zones inondables sont-elles correctement définies ? Le calcul des durées de retour de phénomènes extrêmes qui sert entre autres à délimiter les zones inondables est-il satisfaisant (voir plus haut) ? Cela n'est pas certain lorsque l'on constate à quel point certains événements sont « hors norme », c'est-à-dire mal ajustés par les fonctions donnant la probabilité d'occurrence de telle ou telle valeur de pluie extrême. L'exemple récent de Draguignan en juin 2010 est à cet égard très instructif.

ARPAL (Genoa, Italy) – ISAC–CNR (Bologna, Italy)
12h total precipitation [mm (12h)⁻¹]
00 [UTC] Sun 04 OCT $\tau = 12h$

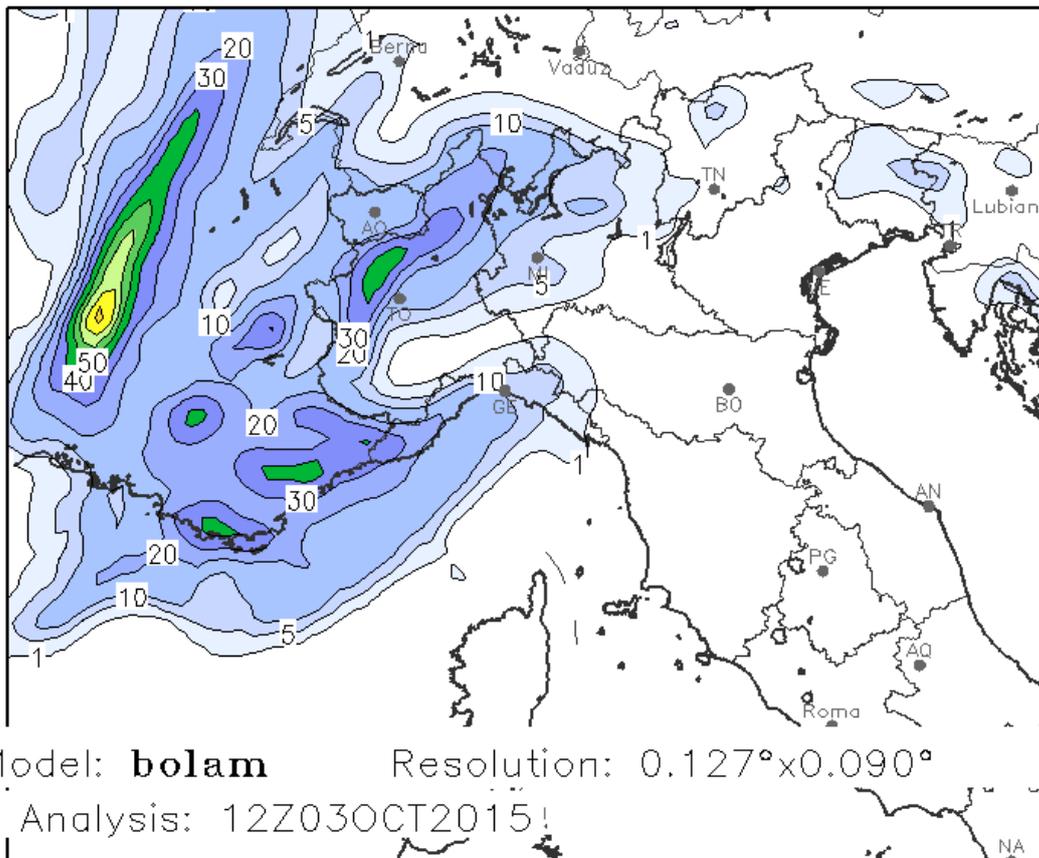


Figure 23. Cumul de pluie prévu entre 12h et 24h TU le 3 octobre 2015 par le Bolam Italy (recadré). Modèle initié depuis le modèle européen (source : Arpal).

Rain addition forecasted from Noon to Midnight UTC on 3 October 2015.

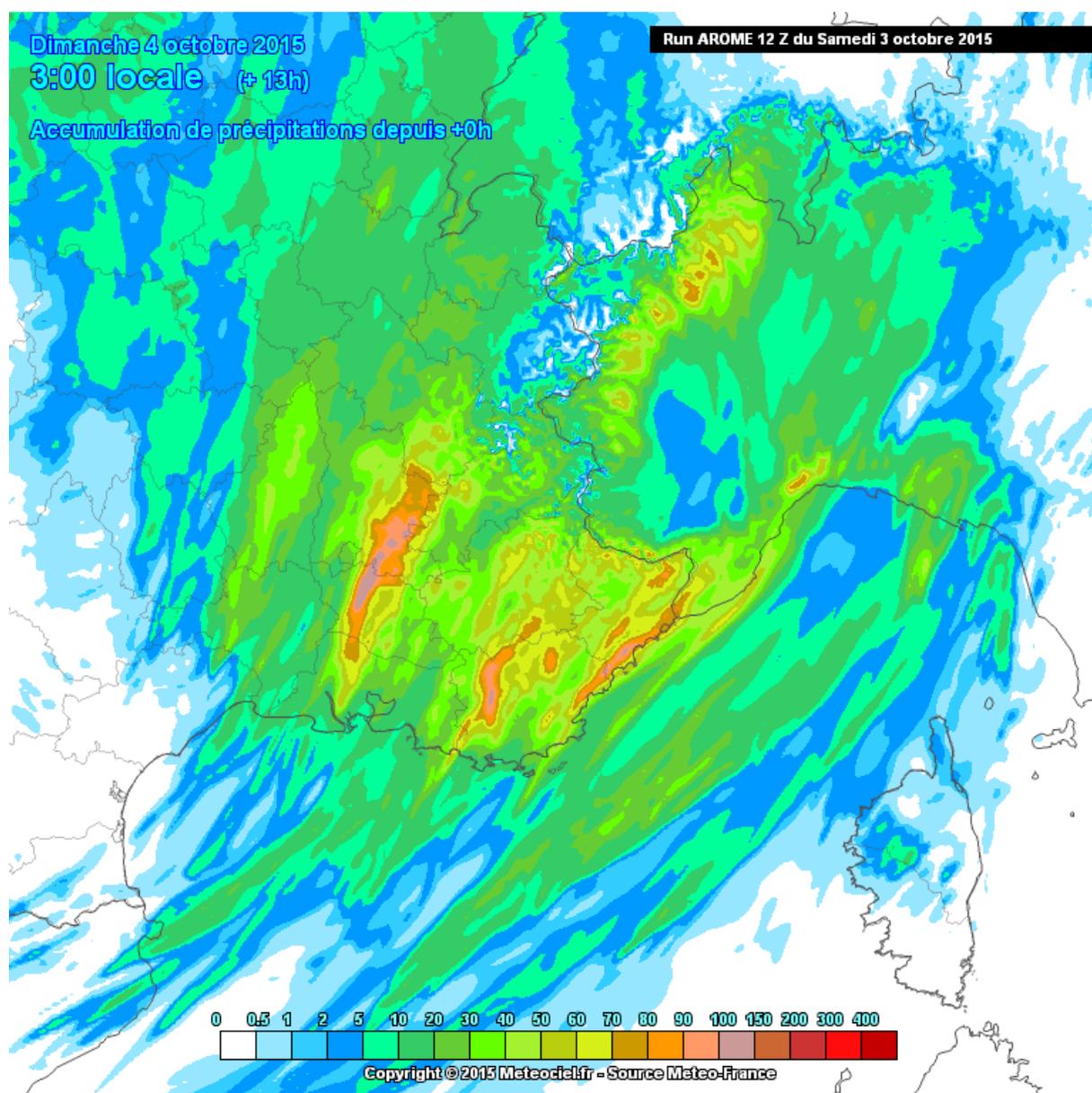


Figure 24. Cumul de pluie prévu depuis le début de l'averse par Arome (et non depuis 00h le 4) (source : Météociel).
Rain addition forecasted by Arome model, on 3 october 2015.

La question sociétale majeure qui se pose est : faut-il construire uniquement là où il n'y a aucun risque ? La réponse est évidemment négative, car dans ce cas, il faudrait faire déménager des dizaines de milliers de personnes rien que dans les Alpes-Maritimes, ce qui n'empêchera malheureusement pas les blessures et décès lors d'un épisode extrême quelconque, lorsque les habitants ne sont pas chez eux, ou qu'ils circulent au sein de secteurs potentiellement dangereux...

Il semble que des efforts doivent être faits à la fois pour développer une culture du risque auprès

de la population, surtout dans les écoles, en particulier dans les régions comme la nôtre ; et pour accepter de vivre avec ce risque en prenant le maximum de dispositions pour que tel ou tel événement non évitable ait le moins de conséquences possibles.

Malgré tous les efforts consentis pour agir sur la susceptibilité (faire baisser le niveau de l'eau) et la vulnérabilité, dans le monde méditerranéen, il faut accepter le principe de l'inévitabilité d'inondations dans les lieux topographiquement déprimés et en tirer les conséquences à la fois sur les aménage-

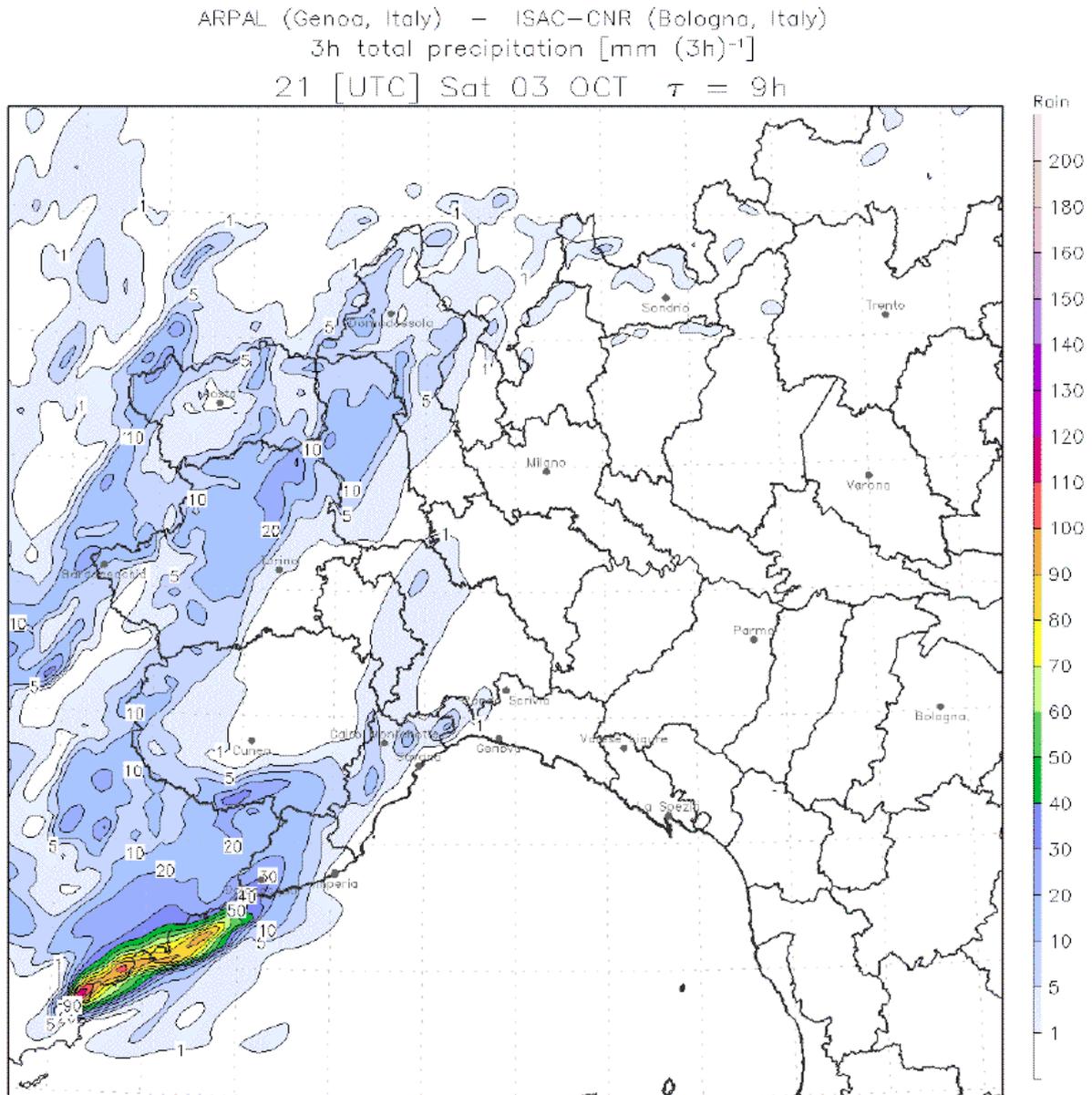


Figure 25. Précipitations prévues par le modèle Moloch pour la période entre 20 h et 23 h locales par le run de 12h TU (source : Arpal).

Rains forecasted by the Moloch model from 8 pm to 11 pm by the Noon run.

ments et sur le mode de vie : être en capacité de mettre hors eaux ce qui est fragile dans les caves ou même les rez-de-chaussée (pas d'informatique au sous-sol !), pouvoir monter se réfugier en hauteur, etc. Il y a donc une culture de l'adaptation à joindre à celle de la conscience du risque et de sa probabilité.

Conclusion

Les précipitations du 3 octobre en soirée semblent bien être le responsable majeur de la catastrophe qui les a suivies.

Des cas similaires en termes de quantités ou d'intensités se retrouvent en particulier dans les Cévennes ou en Corse, ayant, selon leur localisation, des conséquences majeures (Nîmes, Vaison-la-Romaine, Lezignan, Sommières, Draguignan), ou non.

Mais même en raisonnant sur des durées de retour appliquées à des surfaces et non à des stations (cf. 1.2), cet aléa est exceptionnel pour le littoral des Alpes-Maritimes.

Cette averse s'est ajoutée aux pluies très importantes du 2 octobre qui avaient préparé le terrain de la catastrophe en contribuant dans une mesure probablement très importante, mais à préciser, à imperméabiliser fortement les sols, dans une zone urbanisée ou semi-urbanisée de surcroît. C'est en fait près de 300 mm qui sont tombés en à peine plus de 48 heures, ce qui a fortement aggravé la susceptibilité en imperméabilisant de sol.

Il est raisonnable de s'attendre encore à de tels aléas dans le futur, que ce soit sur le bassin-versant du Paillon, au pied des baous (comme déjà en 1981, voir plus haut) ou partout ailleurs, sachant qu'en aval, c'est la susceptibilité du milieu environnant qui déterminera les crues, et la vulnérabilité qui en produira les conséquences.

Ce raisonnement est valable en climat stationnaire, ce que n'est pas le nôtre avec le changement

climatique en cours. Même si l'on ne constate pas clairement pour le moment une augmentation des aléas violemment pluvieux depuis plusieurs décennies, rien ne dit que cette tendance perdurera. Quant à rattacher un tel épisode extrême ponctuel à une tendance quelconque, d'un point de vue statistique, cela paraît non adéquat.

Donc, même sans influence avérée du changement climatique, il faut accepter l'idée que des quantités d'eau équivalentes ou même supérieures s'abatront dans la région dans un mois, deux ans ou trente ans, avec une localisation aléatoire et que leur localisation précise, impossible à prévoir pour le moment, fera toute la différence.

À ce stade, si l'inondation des vallées, plaines et cuvettes ne peut être évitée, la difficulté est de faire en sorte que les conséquences soient le moins douloureuses possible. Plus que de rechercher l'impossible risque zéro, le véritable défi est là, qui consiste à diminuer la forte vulnérabilité de cette région à la fois par des comportements adaptés et par des aménagements pertinents.

Références bibliographiques

Benech B, Brunet H, Jacq V. (1993). La catastrophe de Vaison-la-Romaine et les violentes précipitations de septembre 1992 : aspects météorologiques. *La Météorologie*, 8e série, n° 1, p. 72-90.

Bourdette V, Cohuet JB, Manlay L. (2008). Caractérisation des environnements de grande échelle propices aux épisodes de pluies intenses en Méditerranée. *Projet climatologique*, École Nationale de la Météorologie, 55 p.

Carrega P. (1993). Les pluies azuréennes de septembre-octobre 1992. *Revue de Géographie de Lyon*. Risques naturels dans le couloir rhodanien. Les excès pluviométriques, vol. 63, n° 2-3, p. 115-124.

Carrega P. (1994). La crue exceptionnelle du Var, le 5.11.1994. Précipitations et situation météorologique. *Nimbus*, n° 6-7, Speciale alluvione, p. 68-73.

Carrega P. (2004). Heavy rainfall hazards. Dans Casale R, Margottini C. *Natural Disasters and Sustainable Development*, Springer, p. 127-139.

Carrega P. (2006). Upstream floods and damages: heavy rains. Example of 2 december 2005 at Nice (France) and mechanisms analysis. *Proceedings of the 2nd International Symposium « Preventing and fighting hydrological disasters »*. Timisoara (Roumanie) 29 June-1st July 2006, cd rom.

Carrega P. (2007). Le changement climatique : incertitudes structurelles et incertitudes propagées. La fin des certitudes scientifiques. *Écologie Humaine*, Édisud, p. 37-46.

Davy L. (1989). Une catastrophe naturelle : l'averse nîmoise du 3 octobre 1988 et ses conséquences hydrologiques. *Hydrol. Contin.*, n° 4(2), p. 75-92.

Dreal PACA, Météofrance. (2015). Éléments d'analyse hydrométéorologique des inondations du 3 octobre 2015 sur la Côte d'Azur. Rapport MF_SCP_DREAL-UH.pdf, Aix en Provence, 23 p.

Lang M, Cœur C, Bard A *et al.* (2013). Les inondations remarquables en France : premiers résultats issus de l'enquête EPRI 2011. *Houille Blanche, revue intern. de l'eau*, p. 37-47.

Le Quentrec M, Ravard JL, Verdeaux P. (2009). Le ruissellement urbain et les inondations soudaines. Connaissance, prévention, prévision et alerte. Rapport du Conseil Général de l'Environnement et du Développement durable n° 005487-01, février 2009, MEEDA, 62 p.

Martin C. (2010). Les inondations du 15 juin 2010 dans le centre Var : réflexion sur un épisode exceptionnel. *Études de Géographie Physique*, n° XXXVII, 2010, p. 41-76.

Sites web consultés :

Sites météorologiques ou hydrologiques :

<http://www.arpal.gov.it/homepage/meteo/modelli.html>

<http://www.infoclimat.fr/>

<http://www.keraunos.org/>

<http://www.lamma.rete.toscana.it/meteo/modelli>

<http://meteocentre.com/toulouse/>

<http://www.meteociel.com/>

<http://www.meteofrance.com/accueil>

<http://www.meteosudest.org/>

<http://www.vigicrues.gouv.fr/>

<http://www.wetterzentrale.de/topkarten/>

Autres sites

<http://www.documentation.eaufrance.fr/> (base de données SHYREG)

<http://www.editions-larousse.fr/>

http://www.francetvinfo.fr/meteo/inondations/intemperies-dans-le-sud-est/une-semaine-apres-les-intemperies-la-cote-d-azur-fait-le-bilan_1123099.html

<http://www.keraunos.org/actualites/faits-marquants/2015/orage-diluvien-exceptionnel-nice-cannes-mandelieu-biot-3-octobre-2015-inondations.html>

<https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000031279211&dateTexte=&categorieLien=id>

http://www.lemonde.fr/planete/article/2015/10/04/des-crues-dans-les-alpes-maritimes-font-plusieurs-noyes_4782125_3244.html

http://www.lemonde.fr/planete/article/2015/10/06/inondations-sur-le-littoral-mediterraneen-le-prix-a-payer_4783555_3244.html

http://www.lemonde.fr/societe/article/2015/10/05/pluies-dans-les-alpes-maritimes-les-recherches-de-quatre-disparus-se-poursuivent_4782314_3224.html

http://www.lemonde.fr/planete/article/2015/10/09/les-inondations-dans-le-sud-pourraient-couter-jusqu-a-650-millions-d-euros_4786441_3244.html

<http://www.mediterranee.cerema.fr/inondation-r18.html>

https://fr.wikipedia.org/wiki/Inondations_d'octobre_2015_dans_les_Alpes-Maritimes?previous=yes

https://www.wmo.int/pages/themes/hazards/index_fr.html

http://www.lemonde.fr/planete/article/2015/10/06/inondations-sur-le-littoral-mediterraneen-le-prix-a-payer_4783555_3244.html