

Les orages extrêmes des 25 et 26 juillet 1983 dans l'ouest de la France

*Etude des dommages et analyse d'une configuration de
« spanish plume » sévère*



Spectacle de désolation à Romefort, en Charente, après les orages dévastateurs de la nuit du 26 au 27 juillet 1983.



Préambule

En cette fin juillet 1983, tandis que la moitié est de la France connaît une vague de chaleur remarquable, avec des températures maximales comprises entre 35°C et 42°C, les medias font état de scènes de désolation dans l'ouest du pays, et même de victimes, tuées par des chutes d'arbres dans deux campings. De fait, les événements orageux auxquels les régions de l'ouest sont confrontés les 25 et 26 juillet 1983, et notamment la région Poitou-Charentes, se distinguent par leur ampleur exceptionnelle: vent, pluie et grêle causent d'innombrables dégâts.

"Tornade" pour les uns, "cyclone" pour les autres : l'usage de ces termes témoigne de la violence de ces orages qui ont couvert l'espace médiatique pendant deux jours. Mais qu'en est-il vraiment? Quels phénomènes ont-ils bien pu causer de tels ravages ? Comment les événements se sont-ils précisément enchaînés ? Quelle situation météorologique peut-elle être en mesure de générer des orages d'une telle violence ?

Grâce au regroupement de témoignages, d'archives journalistiques et télévisuelles, de données météorologiques issues des relevés de l'époque et de modélisations numériques réalisées avec le modèle WRF, la présente étude permet de faire la lumière sur cet épisode orageux qui reste dans la mémoire météorologique de l'ouest français comme l'un des plus violents qui se soient abattus sur ces régions au cours du dernier siècle.



Table des matières

- 1. Des témoignages d'apocalypse (p. 4)**
 - 1.1 Une vision de chaos
 - 1.2 Des dégâts considérables
 - 1.3 Des témoignages parfois confus

- 2. Analyse de la première phase de l'épisode orageux : violents orages le soir du lundi 25 juillet (p. 8)**
 - 2.1 Reconstitution de la chronologie des événements
 - 2.2 Phénomènes et dommages observés sous ce MCS

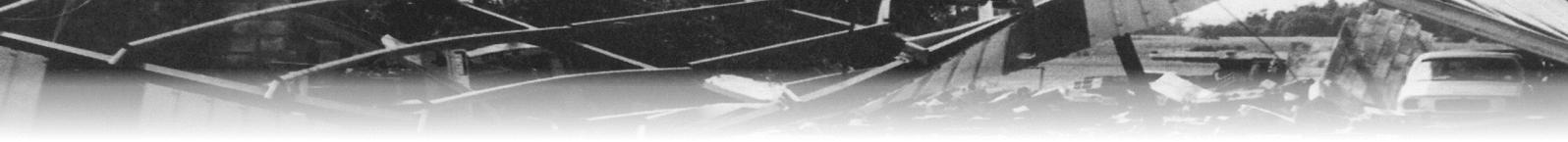
- 3. Analyse de la deuxième phase de l'épisode orageux : orages de grêle le matin du mardi 26 juillet (p. 19)**
 - 3.1 Reconstitution de la chronologie des événements
 - 3.2 Phénomènes et dommages observés sous ces orages

- 4. Analyse de la troisième phase de l'épisode orageux : un derecho nocturne le soir 26 juillet (p. 21)**
 - 4.1 Reconstitution de la chronologie des événements
 - 4.2 Phénomènes et dommages observés sous ces orages
 - 4.3 Analyse des dommages observés en Charente
 - 4.4 Analyse des dommages observés dans la Vienne
 - 4.5 Aperçu général de la répartition des dommages dans la portion la plus active du derecho

- 5. Synthèse sur les trois phases de cet épisode orageux (p. 43)**
 - 5.1 Tableau comparatif
 - 5.2 Comparaison entre les deux principaux MCS de l'épisode
 - 5.3 Aperçu général de la répartition des dommages dans la portion la plus active du derecho

- 6. Etude du contexte météorologique (p. 46)**
 - 6.1 Contexte général du mois de juillet 1983
 - 6.2 Méthodologie
 - 6.3 Journée et soirée du 25 juillet 1983
 - 6.4 Matinée du 26 juillet 1983
 - 6.5 Soirée du 26 juillet 1983 et nuit suivante

Conclusion (p. 87)



1. Des témoignages d'apocalypse

La dégradation orageuse des 25 et 26 juillet 1983, l'une des plus remarquables de la décennie en France par son étendue et son intensité, a particulièrement frappé la région Poitou-Charentes. Cet épisode a été d'une telle violence qu'il a précipité la faillite de certaines entreprises et exploitations agricoles, déjà durement touchées par des intempéries qui se sont succédé durant le premier semestre de l'année 1983. Face à l'extrême violence des orages en certains points de la région, les multiples témoignages ont décrit des scènes de chaos de plusieurs minutes, quand d'autres ont assisté, impuissants, à la destruction de leur outil de travail ou de leur habitation. Comme dans toute catastrophe naturelle, la perception des événements, déformée par l'émotion instantanée, a rendu plus difficile la reconstitution de l'épisode dans son ensemble.

1.1 Une vision de chaos

Au matin du 27 juillet 1983, après 3 offensives orageuses violentes qui se sont succédé en moins de 36 heures, l'ouest de la France découvre les dégâts causés par les orages de la nuit. De mémoire d'habitant, jamais un tel phénomène ne semble s'être produit sur la région Poitou-Charentes. De toute évidence, les orages qui ont balayé la région dans la nuit du 25 au 26 juillet, puis dans la nuit du 26 au 27 juillet, ont été d'une violence exceptionnelle.

Dans la presse et dans les journaux télévisés, les qualificatifs ne manquent pas pour caractériser cette catastrophe hors normes et meurtrière :

"La nuit dernière, ce fut la région niortaise. En une demi-heure, la tornade tuait trois personnes et en blessait six autres". [Journal télévisé d'Antenne 2 du 26 juillet 1983]

"Hier soir, devant le spectacle catastrophique présenté en divers endroits de la Venise Verte, on se demandait par quel miracle nombre de campeurs avaient pu échapper à la mort". [Centre-Presse du 27 juillet 1983]

Certains témoignages sont éloquents : *"Le département dévasté. Un canton anéanti. [...] Le vent soufflait à une vitesse incroyable, ça soufflait en biais à 50 mètres du sol, le ciel était orange. On avait vu en fin d'après-midi l'orage monter."* [Centre-Presse du 28 juillet 1983]

"C'était comme un typhon. Dans la nuit c'était tragique, et l'on ne se rendait même pas compte de ce qu'il se passait." [Centre-Presse du 28 juillet 1983]

La Charente Libre du 28 juillet 1983 titre : *"Nuit catastrophe."*

L'impuissance des habitants, pendant et après la catastrophe, est manifeste. Dans le marais Poitevin, à Coulon (79), on cite des évacuations précipitées et improvisées de campeurs pris de panique. A



Charroux (86) plusieurs médecins sont dans l'incapacité de porter secours à un homme victime d'une crise cardiaque: *"Un médecin appelé n'a pu venir de suite car un arbre obstruait la sortie de son garage. Il a dû venir à pied dans la tornade. Un second praticien se trouvait bloqué à Asnois, une troisième ne pouvait venir de Mauprévoir, la route étant obstruée."* [Centre-Presse du 28 juillet 1983].

1.2 Des dégâts considérables

Les élus prennent rapidement conscience de l'ampleur du désastre causé par cet épisode orageux. Au lendemain de l'épisode destructeur de la nuit du 26 au 27 juillet, Jean-Charles Chevalier, maire de Charroux, visite, impuissant, sa commune dévastée, et demande aux services préfectoraux que son canton soit déclaré sinistré. Les dégâts, chiffrés à plusieurs dizaines de millions de francs sur les divers départements frappés, sont généralisés. La végétation, les habitations, les infrastructures et les cultures en ont payé un très lourd tribut.

"Chauvigny, la vallée de la Vienne, mais peut-être plus encore les cantons de Charroux et de Gençay, ont vécu, au cours de la nuit de mardi à mercredi, des heures d'épouvante, à la suite de la tornade dévastatrice qui s'est abattue sur ces régions, détruisant tout sur son passage. Les dégâts provoqués sont considérables et se chiffrent à plusieurs dizaines de millions de francs." [Centre-Presse du 28 juillet 1983]

Même des bâtiments parmi les plus résistants ont souffert : *"Le bilan est particulièrement lourd dans le bourg de la commune de Jossé. Le clocher de l'église s'est effondré."* [Centre-Presse du 28 juillet 1983]

"A Agris, la peupleraie de M. Labrousse ne présente que des moignons déchiquetés d'arbres brisés à deux mètres de haut." [Sud-Ouest du 28 juillet 1983]

Certains dégâts sont spectaculaires : *"La passerelle du chemin de fer, qui surplombe les immenses silos de la coopérative agricole a été tordue [...], les poteaux électriques en béton ont été coupés en deux."* [Centre-Presse du 28 juillet 1983]

La force des rafales de vent est telle que des véhicules de taille moyenne ont été couchés : *"Plusieurs caravanes pesant de cinq-cents kilos à deux tonnes ont été soufflées sans aucune difficulté [...] à Sainte-Catherine."* [Sud-Ouest du 28 juillet 1983]

"A la Touche-d'Anais, un camion frigorifique de six tonnes va au fossé. [...] Tout près de là, un abricotier est passé au-dessus d'une maison, qu'il a totalement décapitée." [Sud-Ouest du 28 juillet 1983]

Déjà la veille, durant la soirée du 25 juillet, les dégâts à la végétation sont de grande ampleur : *"Pour [...] six communes, on avait calculé que plus de 600 000 peupliers étaient plantés sur leur territoire. Un sur trois a disparu, et l'on estimait à 200 000 le nombre des arbres détruits."* [Centre-Presse du 27 juillet 1983]



Il est à noter que cette catastrophe survient après plusieurs sinistres qui ont déjà grandement affecté la région Poitou-Charentes depuis le début de l'année 1983, et notamment le département de la Vienne : deux inondations majeures durant l'hiver, suivies d'un printemps froid et humide qui avait déjà entamé tout espoir de produire de bonnes récoltes. Dans de nombreux endroits, les cultures et les hangars détruits compromettent la survie d'un grand nombre d'exploitations agricoles.

1.3 Des témoignages parfois confus

Comme souvent lors des catastrophes météorologiques de grande ampleur, les témoignages recueillis, s'ils sont précieux, sont parfois rendus confus par l'émotion. L'analyse objective des dommages et de leur répartition est alors souvent nécessaire pour permettre de conclure sur la chronologie exacte des événements et sur la nature précise des phénomènes en cause.

Un travail de cette nature a été nécessaire pour mener à bien la présente étude. Il a d'ailleurs été relativement délicat à réaliser, dans la mesure où les 30 années passées depuis les événements ne permettent plus de réaliser d'enquête de terrain détaillée.

1.3.1 Une violente tornade aurait-elle parcouru la région ?

Cette confusion porte tout d'abord sur les qualificatifs météorologiques donnés à l'époque pour définir les phénomènes observés. On parle tantôt de « tornade » : *"3 morts, 6 blessés, des dizaines de millions de dégâts, la Venise Verte ravagée: la tornade qui a dévasté Niort et son Marais a tué un jeune Poitevin, J.P. Massé, qui portait secours aux sinistrés."* [Centre-Presse du 27 juillet 1983]

Le qualificatif de tornade est parfois associé à des dénominations tropicales : *"La tornade venait de la direction de Mansle, nous a-t-on dit. Il s'est mis à pleuvoir abondamment. C'était comme un typhon."* *"Si Jossé et Charroux ont payé un lourd, très lourd tribut à la tornade, les autres communes n'ont point été épargnées."* *"La tornade s'est arrêtée aux portes de Sommières-du-Clain."* [Centre-Presse du 28 juillet 1983]. Ou encore : *"L'orage est tombé d'Aubeterre à Champagne avec la force d'un cyclone tropical."* [Sud-Ouest du 28 juillet 1983]

Ces descriptions peuvent semer le trouble et laisser imaginer en première lecture qu'une tornade à la fois durable et large est à l'origine des dévastations constatées. Toutefois, comme la suite de l'étude va le montrer, cette conclusion spontanée et immédiate ne résiste ni aux preuves objectives données par les dommages, ni à une analyse détaillée des événements sur un plan météorologique.



1.3.2 L'épisode a-t-il duré une heure ou dix minutes ?

Si une forte confusion règne sur le qualificatif donné au phénomène météorologique en cause, la chronologie elle-même des événements est assez obscure sur la seule foi des témoignages. Si les horaires mentionnés coïncident assez bien avec la chronologie des événements, la durée est en revanche déformée par l'émotion, ce qui donne lieu à des appréciations très subjectives.

"Le cataclysme [...] n'a duré que fort peu de temps entre minuit et une heure moins le quart du matin, moins de 45 minutes." [Centre-Presse du 27 juillet 1983]

"Peu avant minuit, la tornade s'est abattue sur Saint-Secondin. Pendant une heure l'orage a été d'une grande violence, balayant tout sur son passage ici comme ailleurs, il faut le dire." [Centre-Presse du 28 juillet 1983]

"Entre 22 heures au sud et 22h30 au nord, la tornade souffla quelque dix minutes." [Sud-Ouest du 28 juillet 1983]

1.3.3 La zone de dégâts fait-elle 20 ou 40 km de large ?

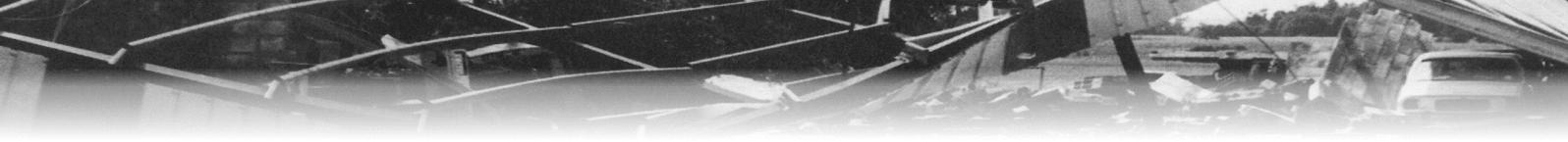
Là encore, l'appréciation de l'étendue des dégâts varie beaucoup. Sans conteste, la superficie sinistrée est considérable, mais elle diffère selon les sources.

"La tornade a suivi la vallée de la Sèvre et a provoqué des dégâts considérables dans un rayon d'une quinzaine de kilomètres autour de Niort." [Centre-Presse du 27 juillet 1983]

"De Ronsenac à Nanteuil-en-Vallée, de Saint-Angeau à Rouzède, sur une quarantaine de kilomètres de large et une centaine de kilomètres de long, les arbres sont tombés [...]". [La Charente Libre du 28 juillet 1983]

"L'orage [...] mêlant les rafales de vent de l'ordre de 120 km/h, à la grêle et à la foudre sur une bande de 20 kilomètres de large à l'est de la Nationale 10 d'Angoulême." [Sud-Ouest du 28 juillet 1983]

En somme, on note des témoignages multiples et divers qui, tous, font état de phénomènes particulièrement violents. Néanmoins, la chronologie exacte des événements et leur organisation semblent confuses en première lecture. Les analyses qui suivent ont pour objet de les éclaircir et de les sonder en détail afin d'en reconstituer le déroulement et d'en expliciter les caractéristiques.



2. Analyse de la première phase de l'épisode orageux : violents orages le soir du lundi 25 juillet

2.1 Reconstitution de la chronologie des événements

Il fait chaud en cet après-midi de juillet 1983. Sur les régions de l'ouest, le temps est lourd depuis le matin et le ciel prend des allures de plus en plus franchement pré-orageuses. Les thermomètres approchent localement 30°C et les points de rosée s'orientent à la hausse. De l'avis de tous, le temps est à l'orage.

De fait, les premiers orages, d'abord isolés, frappent déjà la Cantabrie (Espagne) dès le début d'après-midi, à 14h locales. Ils évoluent en un Système Convectif de Méso-Echelle (M.C.S) qui parvient à maturité vers 17 heures. Ce dernier s'étend alors fortement pour couvrir une bonne partie du golfe de Gascogne, et progresse vers le nord-nord-est. Il est 19h30 et il s'apprête à aborder la côte atlantique française.

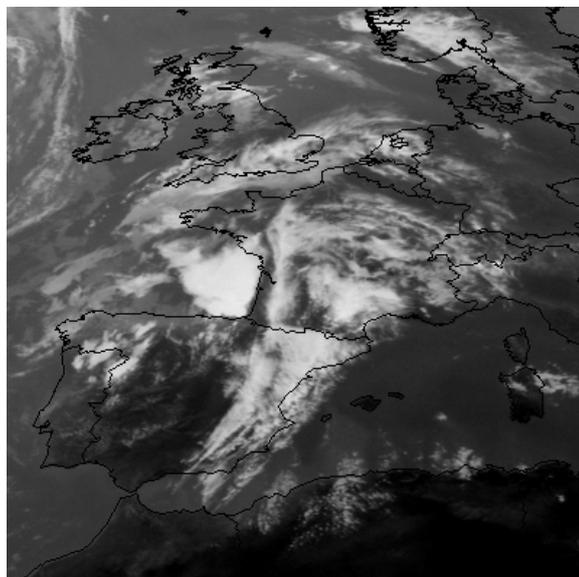
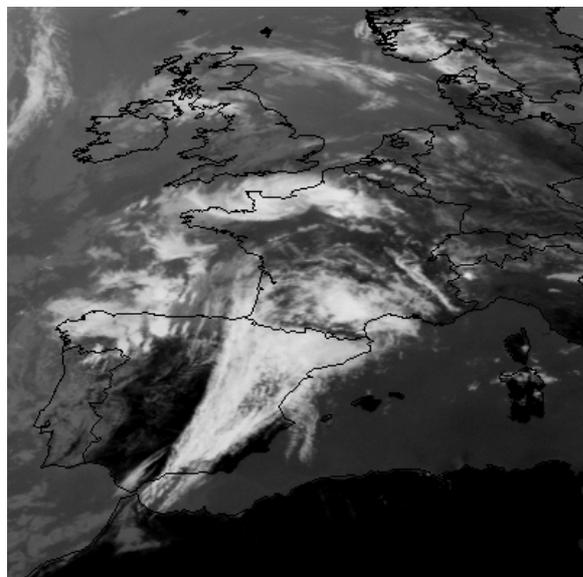


Fig 1 - Premiers orages sur le nord de l'Espagne (12:00 TU) - Constitution d'un MCS sur le golfe de Gascogne (17:30 TU) - La saturation des teintes sombres sur le bassin méditerranéen confirme une importante accumulation de chaleur au niveau du sol



L'analyse des images satellite montre que le M.C.S. tend alors à se déstructurer en approchant des littoraux vendéens. Toutefois, entre 20h30 et 22h30, d'autres cellules orageuses parviennent à se développer sur le littoral Atlantique, puis dans l'intérieur de la Gironde, en périphérie immédiate du M.C.S. mourant.

C'est alors qu'un noyau orageux intense, qui a pris naissance au large de l'estuaire de la Gironde, gagne rapidement la Charente Maritime tout en s'intensifiant. Il est 23 heures locales et la nuit est désormais tombée sur tout l'ouest du pays. L'activité orageuse se renforce alors rapidement.

Entre 23h30 et 00h30, ce noyau orageux compact et ovoïde adopte un développement explosif, prend une allure de plus en plus massive et se structure en un nouveau MCS. Ce dernier vient relayer le premier M.C.S. espagnol qui achève pour sa part de se dissiper au large de la Bretagne.

Ce système convectif est particulièrement intense, comme en témoignent les sommets outrepassants massifs qui apparaissent clairement lorsqu'un traitement de colorisation est appliqué à l'imagerie infrarouge (voir Fig. 3). Cette pénétration de la convection dans la partie inférieure de la stratosphère signale des courants ascendants extrêmement puissants. Il est d'ailleurs intéressant de noter que les phénomènes convectifs les plus violents sont observés cette nuit-là sur la trajectoire de ces sommets pénétrants et à proximité immédiate de leur zone de développement maximal.

Ce cœur du M.C.S. est situé à 00h30 entre les Deux-Sèvres et le Maine-et-Loire. Il parvient alors à maturité et phagocyte toutes les cellules qui avaient tenté de se développer deux heures auparavant sur l'Aquitaine. Les phénomènes orageux sont particulièrement violents lorsque l'image satellite ci-dessous à gauche est capturée. La structure ovoïde apparaît alors très nettement et laisse supposer une possible transition en M.C.V. (Mesoscale Convective Vortex). Seule une signature radar permettrait de le certifier, mais cette évolution est en tout cas vraisemblable par les caractéristiques visuelles de l'imagerie infrarouge.

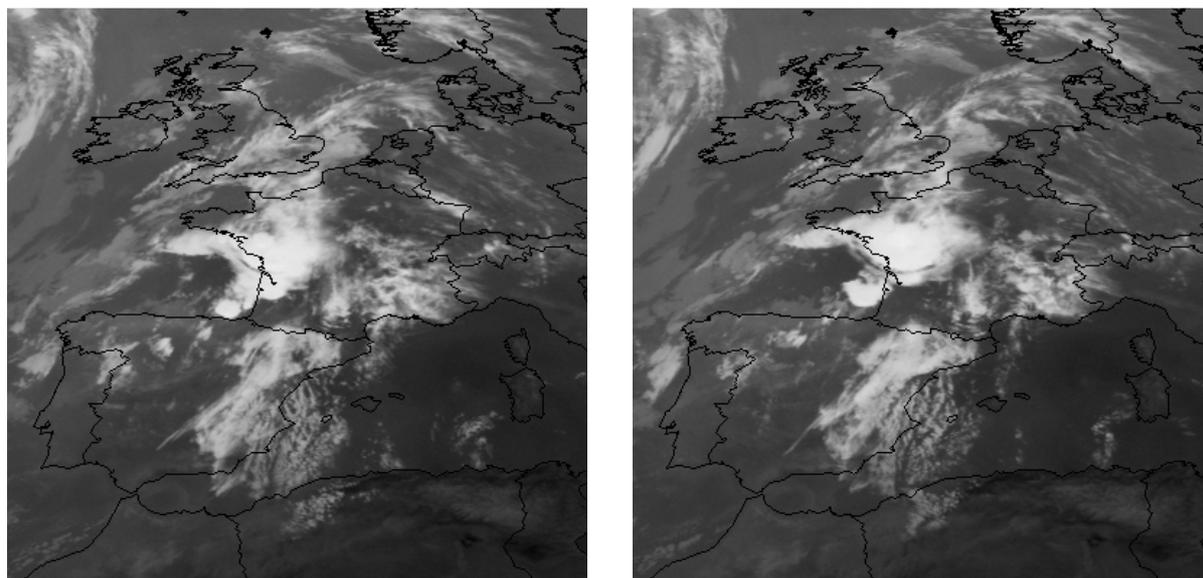


Fig 2 - Constitution d'un MCS sur le nord-ouest de la Charente-Maritime (21:30 TU) - MCS à maturité sur les Deux-Sèvres (22:30 TU)

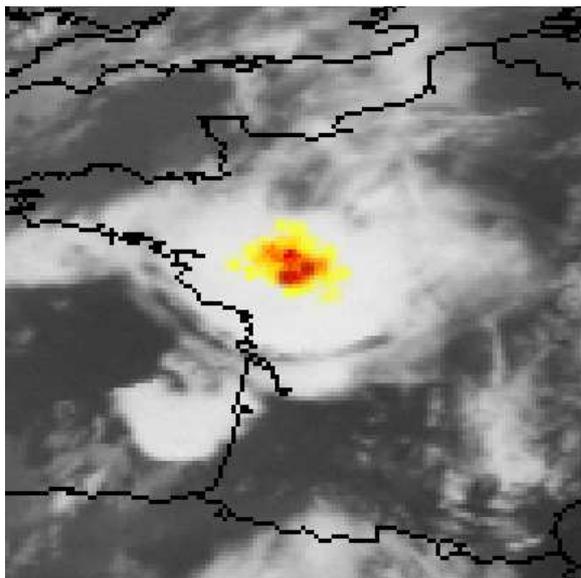


Fig 3 - Détail de la structure du MCS et des sommets outrepassants, dont la teinte la plus rouge correspond aux altitudes les plus élevées (22:30 TU)

A cette heure, la surface couverte par les sommets nuageux du MCS englobe le Poitou-Charentes, le nord de la Gironde, et une partie du Limousin, des Pays-de-la-Loire et du Centre.

Le 26 juillet 1983 à 02h locales, le M.C.S, qui s'est encore évasé, enveloppe désormais les Pays-de-la-Loire, une partie de la Normandie et l'ouest de la région Centre, dans sa partie la plus active. Même s'il conserve une structure aux contours bien délimités, l'aspect plus lissé des sommets nuageux tend toutefois à confirmer que le système orageux est entré en phase d'affaiblissement progressif.

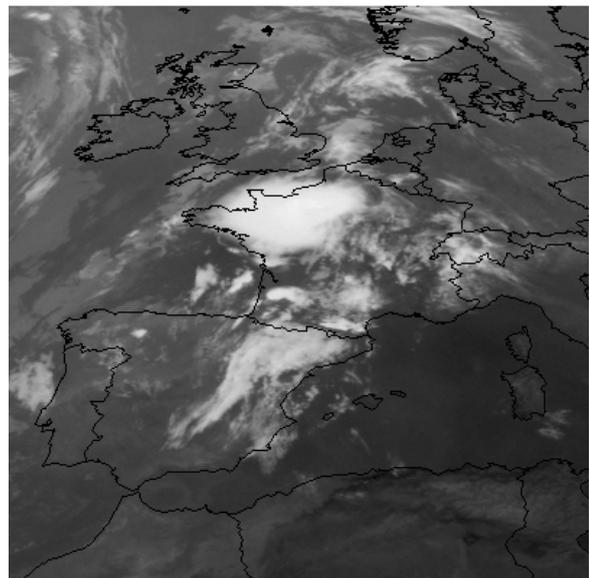
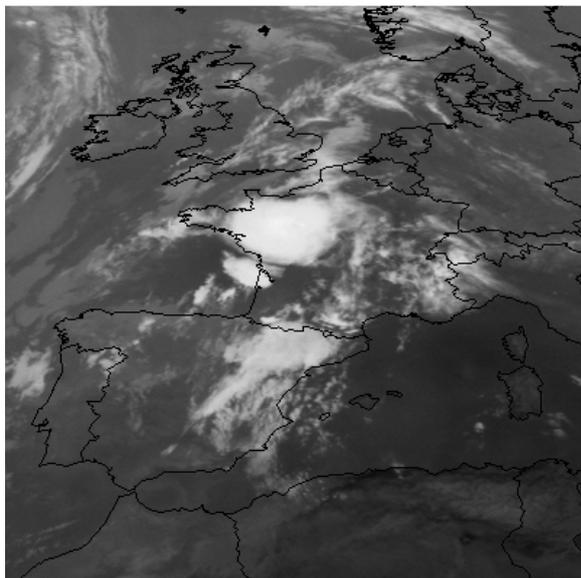


Fig 4 - MCS imposant sur les Pays-de-la-Loire et la Basse-Normandie (00:00 TU) - Progression vers la Haute-Normandie et début d'étalement du système (01:30 TU)

A 04h00 locales, le M.C.S, toujours plus évasé, progresse de la Normandie vers l'ouest de l'Ile-de-France et de la Picardie. Les sommets nuageux couvrent presque tout le quart nord-ouest du pays, à l'exception d'une partie de la Bretagne et du Nord-Pas de Calais. On continue à percevoir une probable rotation cyclonique du système convectif, centrée non loin de Paris à 06h locales.



Le système orageux poursuit sa dissipation progressive aux premières lueurs du jour du mardi 26 juillet, sauf sur le Nord-Pas de Calais où une réactivation est temporairement visible, surtout sur le centre de la région où circule le possible cœur du M.C.V..

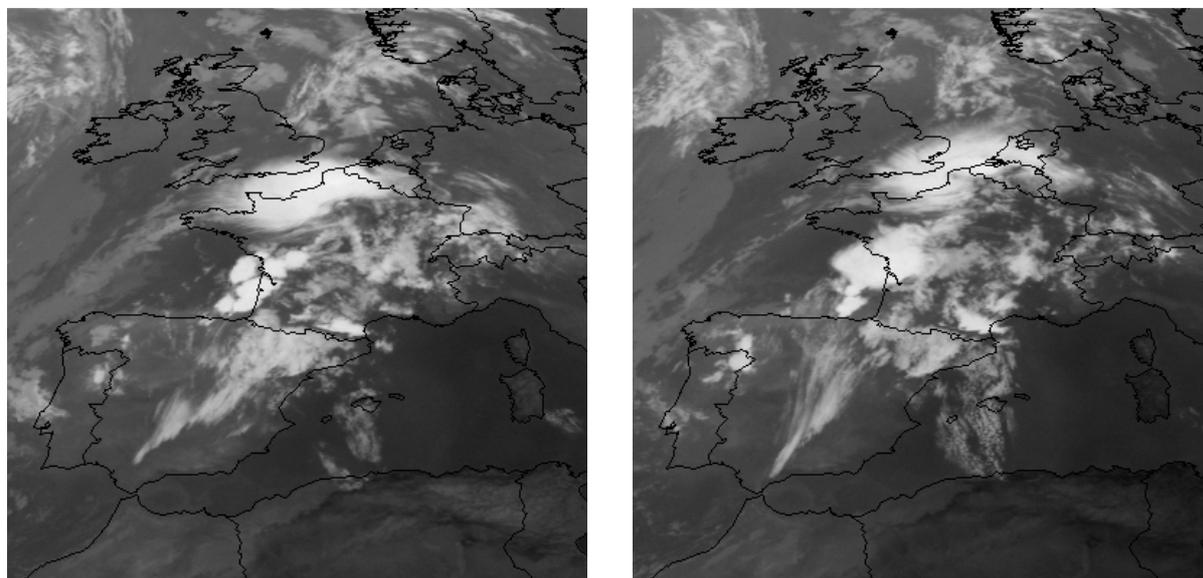


Fig 5 - MCS en phase d'étalement sur sa partie ouest (04:00 TU) - Evacuation et dissipation vers la Belgique (06:30 TU)

A 08h30 locales, le M.C.S, en phase de dissipation définitive, s'évacue vers la mer du Nord et la Belgique. Au même moment, la seconde salve orageuse est déjà en pleine activité sur le Poitou-Charentes.

2.2 Phénomènes et dommages observés sous ce M.C.S.

Ce premier M.C.S. nocturne s'est illustré par des précipitations particulièrement intenses et par des rafales de vent qui peuvent être estimées supérieures à 150 km/h suite à l'analyse détaillée des dommages constatés.

2.2.1 Un axe de précipitations intenses

En l'absence d'images radar exploitables, et afin d'obtenir une vision précise et aussi exhaustive possible des zones affectées par le M.C.S., des données météorologiques de précipitations, issues de relevés de Météo-France, ont été acquises pour 1097 stations. Chaque donnée correspond au total pluviométrique enregistré au cours de la journée météorologique du 25 juillet 1983 (soit du 25 juillet à 6h TU au 26 juillet à 6h TU, période dans laquelle l'épisode est inclus).

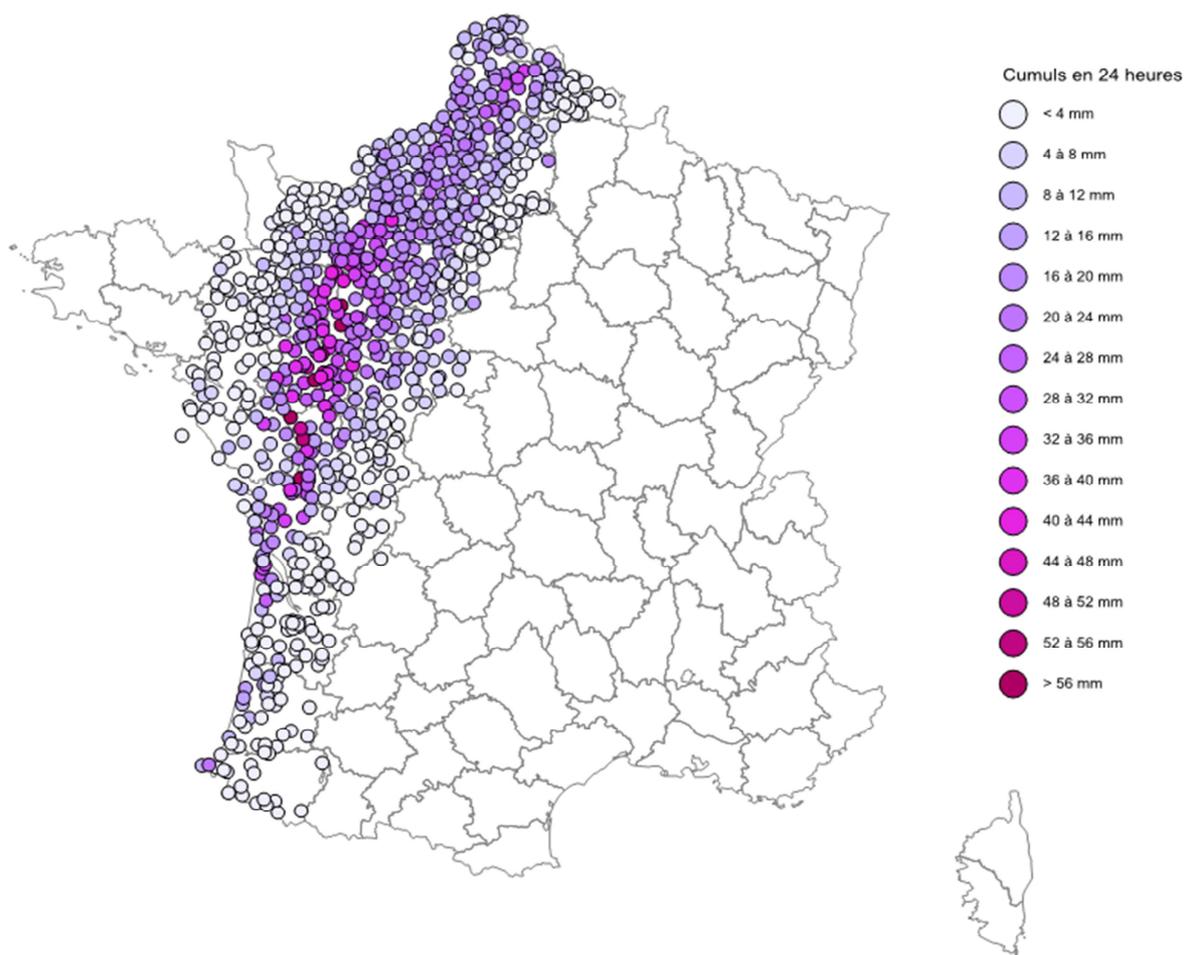


Fig 6 – Cartographie des 1097 stations avec cumul de précipitations en 24 heures – Période du 25 juillet 1983 à 06:00 TU au 26 juillet 1983 à 06:00 TU

Il en ressort un axe dont la portion la plus active s'étire de l'extrême nord de la Gironde au Nord-Pas de Calais. Les secteurs les plus fortement touchés sont concentrés sur le nord de la Charente-Maritime, les Deux-Sèvres, l'est de la Vendée, le Maine-et-Loire, la Sarthe, l'Orne et le Pas-de-Calais.

Deux arrêtés publiés dans le Journal Officiel des 8 octobre 1983 et 18 novembre 1983, reconnaissent l'état de catastrophe naturelle pour une partie des départements de la Charente-Maritime, de la Vendée, des Deux-Sèvres, du Maine-et-Loire, de la Sarthe, du Pas-de-Calais et du Nord pour des dommages dus aux inondations, aux coulées de boue et aux glissements de terrain (Fig. 7 en page suivante).

En synthétisant les données issues des arrêtés de catastrophe naturelle et des relevés pluviométriques, la zone touchée par les fortes précipitations générées par le MCS couvre une superficie totale d'environ 55 000 km².

A noter que, pour la période considérée, les données issues des stations météorologiques du réseau principal (SYNOP) confirment que l'axe pluvieux a conservé un caractère orageux sur l'ensemble de sa trajectoire.

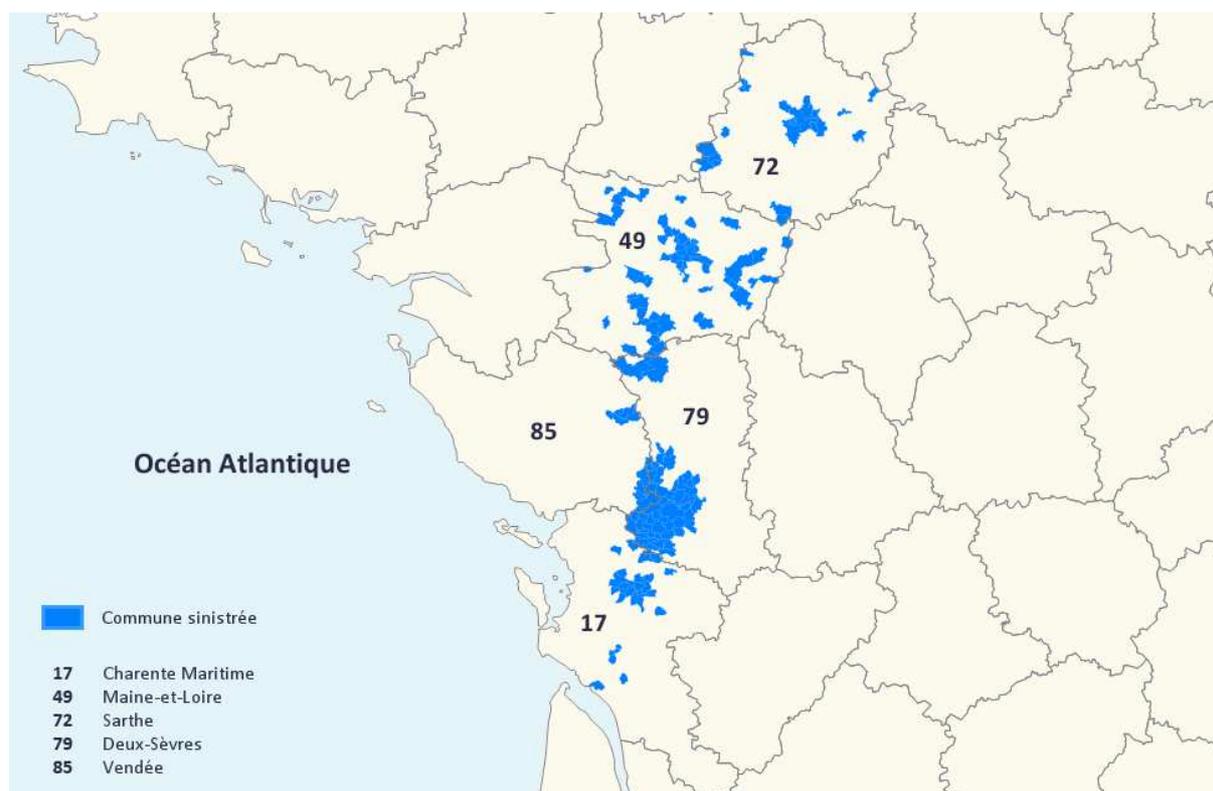


Fig 7 – Cartographie des principaux départements visés par l'arrêté de catastrophe naturelle des 8 octobre et 18 novembre 1983, et relatifs aux orages de la nuit du 25 au 26 juillet 1983.

2.2.2 D'importants dommages liés aux rafales de vent

Les très fortes pluies générées par le M.C.S. ont été associées à des rafales de vent parfois extrêmement violentes, ainsi qu'à des chutes de grêle. Les relevés météorologiques explicites pour les paramètres de vent et de grêle étant peu nombreux (seules quelques rafales supérieures à 90 km/h ont été mesurées par Météo France), la cartographie de la zone sinistrée a pu être effectuée grâce:

- à un arrêté publié dans le Journal Officiel du 11 septembre 1983, et qui reconnaît l'état de catastrophe naturelle pour une partie des départements des Deux-Sèvres et du Maine-et-Loire, pour des dommages dus au vent et à la grêle. Au total, 111 communes de ces deux départements sont visées par l'arrêté,
- aux informations contenues dans la presse locale, qui isole plusieurs communes de Charente-Maritime et des Deux-Sèvres,

Concernant la Vendée, un arrêté est également publié mais il englobe plusieurs épisodes orageux qui ont eu lieu entre les 4 et 25 juillet. Selon toute vraisemblance, seules 11 communes situées à l'extrême est du département ont dû être touchées par l'épisode du 25 juillet.

La zone sinistrée représente 125 communes et couvre une superficie de 2800 km². L'axe s'étire du nord de la Charente-Maritime, à l'ouest des Deux-Sèvres et au Maine-et-Loire, où la zone sinistrée apparaît plus diffuse (voir Fig. 8 en page suivante).

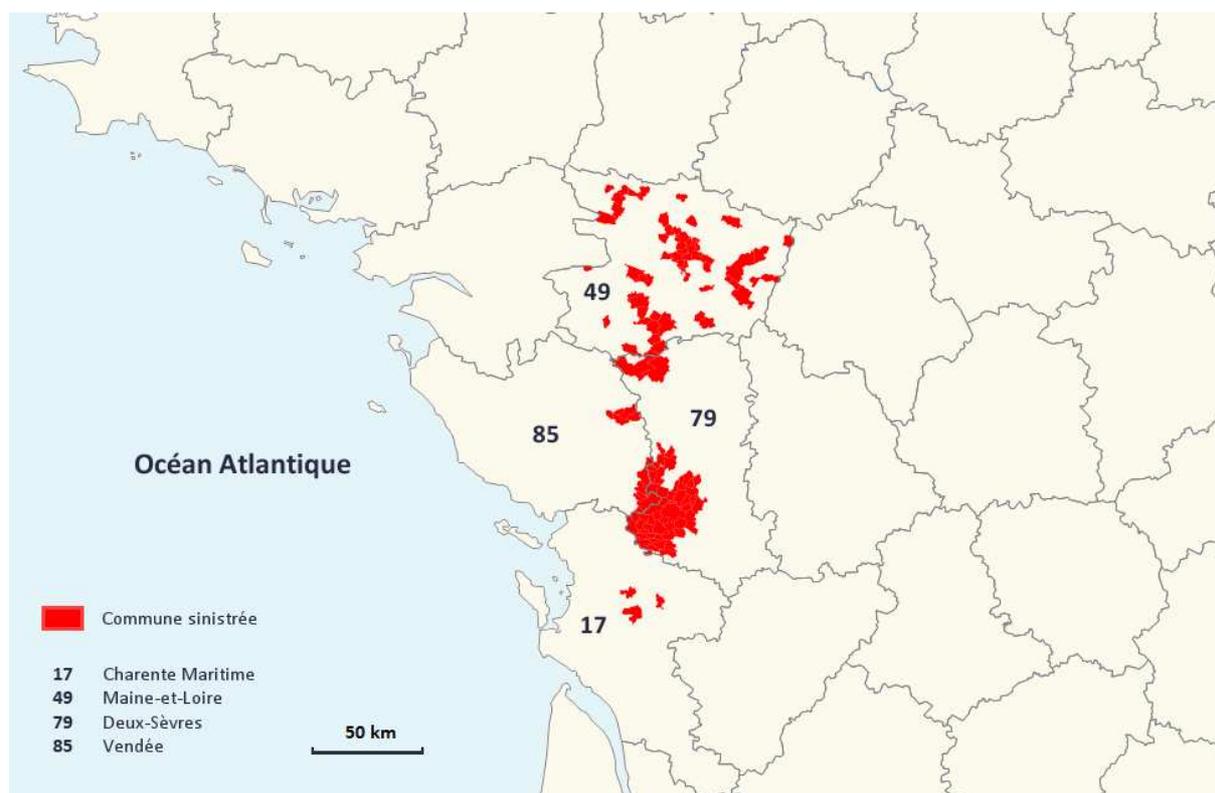


Fig 8 – Cartographie des communes frappées par des rafales de vent destructrices relatives aux orages de la nuit du 25 au 26 juillet 1983.

L'analyse détaillée des dommages liés au vent montre que les dégâts les plus significatifs se concentrent sur la partie la plus active du M.C.S., soit sur une trajectoire totale de 200 kilomètres de long et une largeur moyenne de 10 à 20 km. Sur le Maine-et-Loire, l'aspect diffus et éclaté des communes sinistrées laisse supposer que les rafales de vent ont été probablement issues, en plus du noyau principal, de cellules orageuses périphériques.

Accompagné dans un premier temps de microrafales éparses, le MCS connaît une phase de développement explosif sur les Deux-Sèvres, où il génère plusieurs macrorafales destructrices sur une bande continue de 15 km de largeur et une trajectoire totale de 40 km. Les dégâts liés au vent sont ensuite de plus en plus localisés et surtout, beaucoup moins significatifs. Les stigmates observés sur la végétation ou les habitations endommagées présentent en tous points les caractéristiques de vents linéaires, turbulents et divergents. Aucun élément ne permet d'identifier une éventuelle tornade au sein de ces rafales descendantes.

La carte qui figure en page suivante présente les résultats de l'analyse de chacun des dommages déclarés sur les communes sinistrées par ces microrafales et macrorafales. Il en ressort une zone concentrée de rafales maximales dans le sud-est des Deux-Sèvres, où plusieurs communes présentent des dommages qui permettent d'évaluer les rafales de vent à plus de 150 km/h.

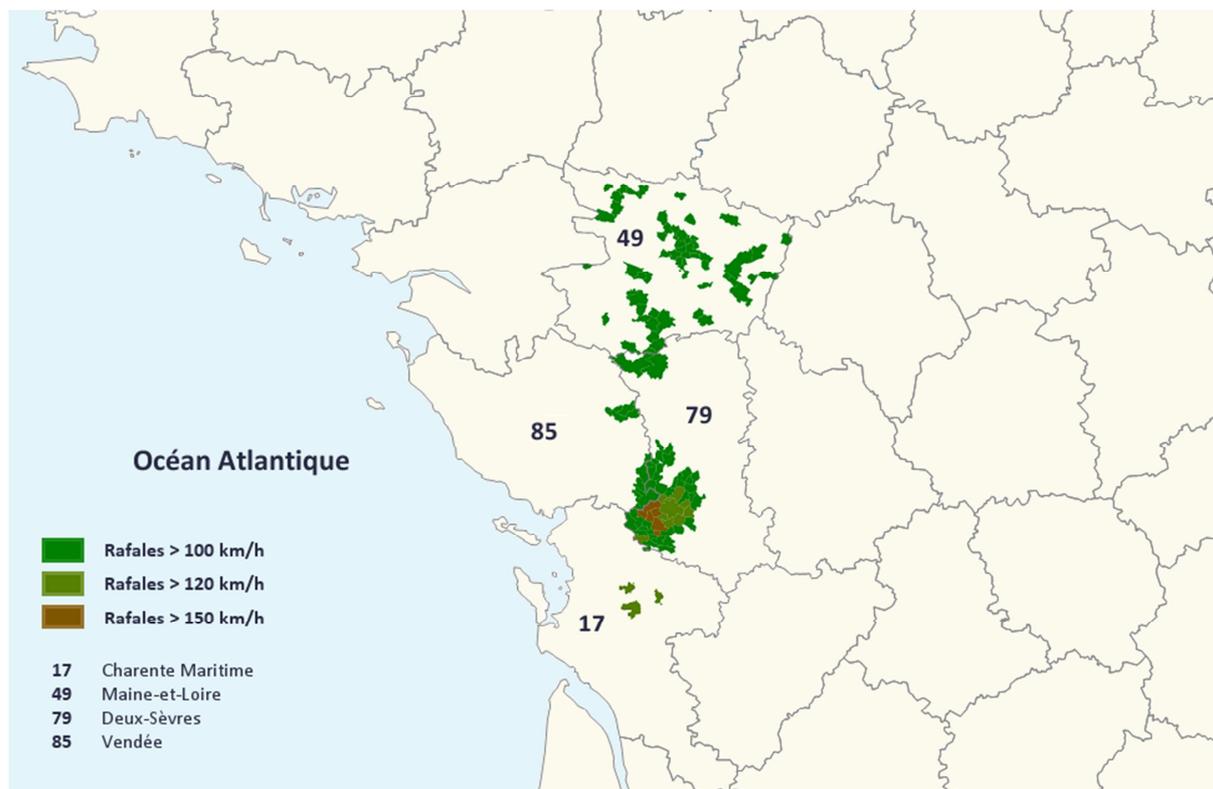


Fig 9 – Localisation des communes frappées par des rafales de vent destructrices, et intensité de ces rafales, dans la nuit du 25 au 26 juillet 1983. La région niortaise a plus particulièrement souffert.

2.2.3 Analyse d'une microrafale destructrice sur le nord de la Charente Maritime vers 23h

Dans un triangle Saint-Savinien - Tonnay-Boutonne - Saint-Jean-d'Angély, des dégâts diffus liés au vent sont signalés: des arbres sont déracinés ou couchés par les rafales dans plusieurs campings. A Tonnay-Boutonne, vers 23h locales, une centaine de peupliers sont brisés par le vent et comme sciés à mi-hauteur au camping de la Garenne [Sud-Ouest du 27 juillet 1983]. A 500 mètres de là, la toiture des menuiseries Semnort est emportée.

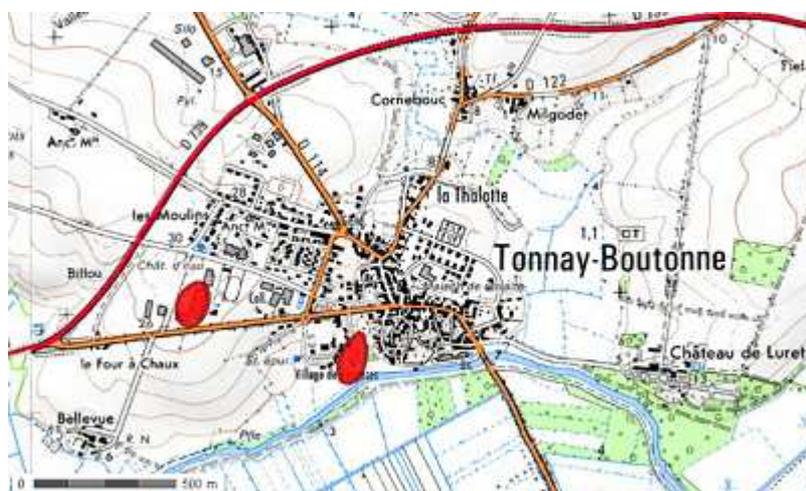


Fig 10 - Illustration de dégâts diffus observés au sud de la partie la plus intense du M.C.S, à Tonnay-Boutonne (Charente Maritime): les dégâts observés sont séparés d'une distance de 500 mètres environ, dans un flux à composante sud-sud-ouest.



L'analyse des dommages causés par ces microrafales permet de conclure sur des vitesses de vent estimées entre 120 et 150 km/h sur le nord de la Charente Maritime. Ces vitesses ont très certainement été rencontrées en d'autres points de la zone touchée par le MCS dans sa phase la plus active, notamment en Vendée et dans le Maine-et-Loire.

2.2.4 Analyse des macrorafales meurtrières et dévastatrices en région niortaise

Si l'agglomération de Niort est fortement touchée, ce sont surtout les peupleraies et les campings des Marais Mouillés qui sont dévastés vers minuit par des rafales de vent d'une exceptionnelle intensité: sur 600 000 peupliers que l'on estimait plantés dans ce secteur, plus d'un tiers ont été endommagés ou détruits [Centre-Presse du 27 juillet 1983].

De nombreuses toitures se sont envolées dans l'agglomération niortaise et dans les environs. On note même l'effondrement d'une grue de chantier qui s'est écrasée contre un mur. Enfin, environ 30 communes ont vu leurs récoltes de tournesol et de maïs anéanties.

Plus grave encore, les orages ont provoqué la mort de trois personnes, toutes victimes de chutes d'arbres, dont deux dans des campings de Niort et de Coulon. Six autres personnes ont été blessées. Les dégâts matériels sont estimés à plusieurs dizaines de millions de francs.



Fig. 11 : Voici l'illustration de scènes maintes fois répétées dans de nombreux campings du Marais Poitevin: la chute d'arbres sur des caravanes. Selon les sinistrés, c'est un vrai miracle qu'il n'y ait pas eu plus de victimes dans ce secteur très touristique et très prisés par les campeurs. Crédit photo : Centre-Presse du 27 juillet 1983.



Fig. 12 : Tous les campings du secteur des Marais Mouillés présentent cet aspect lamentable: arbres parfois imposants déracinés ou brisés net, allées jonchées de débris, tentes et véhicules écrasés par les chutes d'arbres. Crédit photo : Centre-Pressé du 27 juillet 1983.

Les dégâts, généralisés et diffus sur l'ensemble de la zone sinistrée, présentent toutes les caractéristiques de macrorafales très puissantes qui ont pu engendrer des vents maximaux de l'ordre de 150 km/h à 180 km/h à l'ouest de Niort.



Fig. 13 : Toitures de l'agglomération niortaise endommagées avec chutes de tuiles (source : www.ina.fr)



Fig. 14 : Toitures d'entreprise soufflées – Effondrement d'une grue de chantier (source : www.ina.fr)



Fig. 15 : Arbres déracinés – Dans leur chute certains d'entre eux ont écrasé des tentes (source : www.ina.fr)



Fig. 16 : Arbres tordus ou brisés – Certaines cimes ont endommagé des caravanes dans leur chute (source : www.ina.fr)

3. Analyse de la deuxième phase de l'épisode orageux : orages de grêle le matin du mardi 26 juillet

3.1 Reconstitution de la chronologie des événements

Alors même que le M.C.S. qui a dévasté notamment la région de Niort est encore en activité sur le nord du pays et que l'activité orageuse n'a cessé que depuis quelques heures à peine, de nouveaux orages localisés éclatent dès 04h30 locales dans le golfe de Gascogne ainsi que sur l'Aquitaine. Ils progressent alors en direction du Poitou-Charentes pour former un amas relativement peu structuré qui englobe une bonne partie de cette région à 08h locales. Dans le même temps, de nouvelles pulsations orageuses sont observées dans le golfe de Gascogne et en Gironde.

Entre 08h30 et 10h00, un noyau orageux intense, formé à l'avant des orages atlantiques de la fin de nuit, se développe rapidement sur la Charente-Maritime et évolue de nouveau en un M.C.S dès 09h00 locales. De nouveau, l'activité orageuse est intense et notamment productrice de très fortes chutes de grêle, ce qui est assez peu courant à cette heure matinale.

Le système convectif se déstructure cependant à partir de 11h30 locales, jusqu'à se dissiper totalement à 12h30 en gagnant le Centre puis l'Ile-de-France.

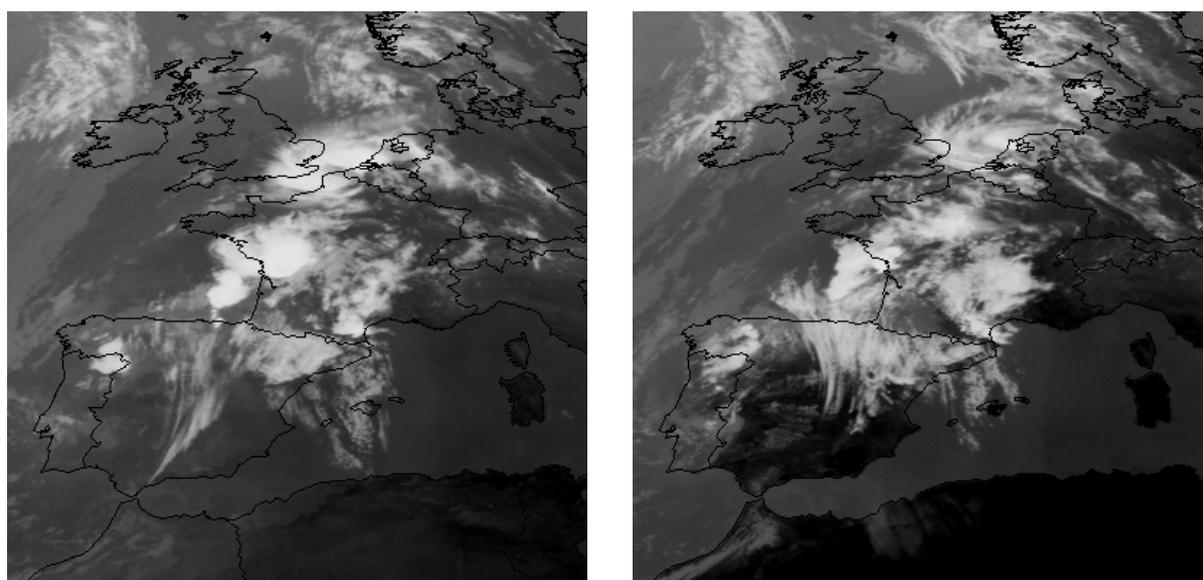


Fig 17 - Constitution d'un MCS sur la Charente Maritime (07:30 TU) - Dissipation sur l'Ile-de-France (10:30 TU)

3.2 Phénomènes et dommages observés sous ces orages

Un arrêté de catastrophe naturelle publié le 18 novembre 1983 permet d'isoler 12 communes de Charente-Maritime pour des dommages liés aux fortes précipitations, coulées de boue et glissements de terrain.

Plusieurs communes sont également sérieusement grêlées (des dégâts sur les cultures et les habitations sont reportées, ce qui laisse supposer des diamètres de grêlons supérieurs à 5 cm) sur un axe de Saint-Genis-de-Saintonge à Matha. *"L'orage de grêle qui, mardi matin, a endommagé une partie du vignoble charentais, a suivi un couloir Pons-Matha en passant par Cognac. [...] Il a grêlé sur la région de Saint-Genis-de-Saintonge où le vignoble, là aussi, a connu des dégâts."* [Sud-Ouest du 27 juillet 1983]

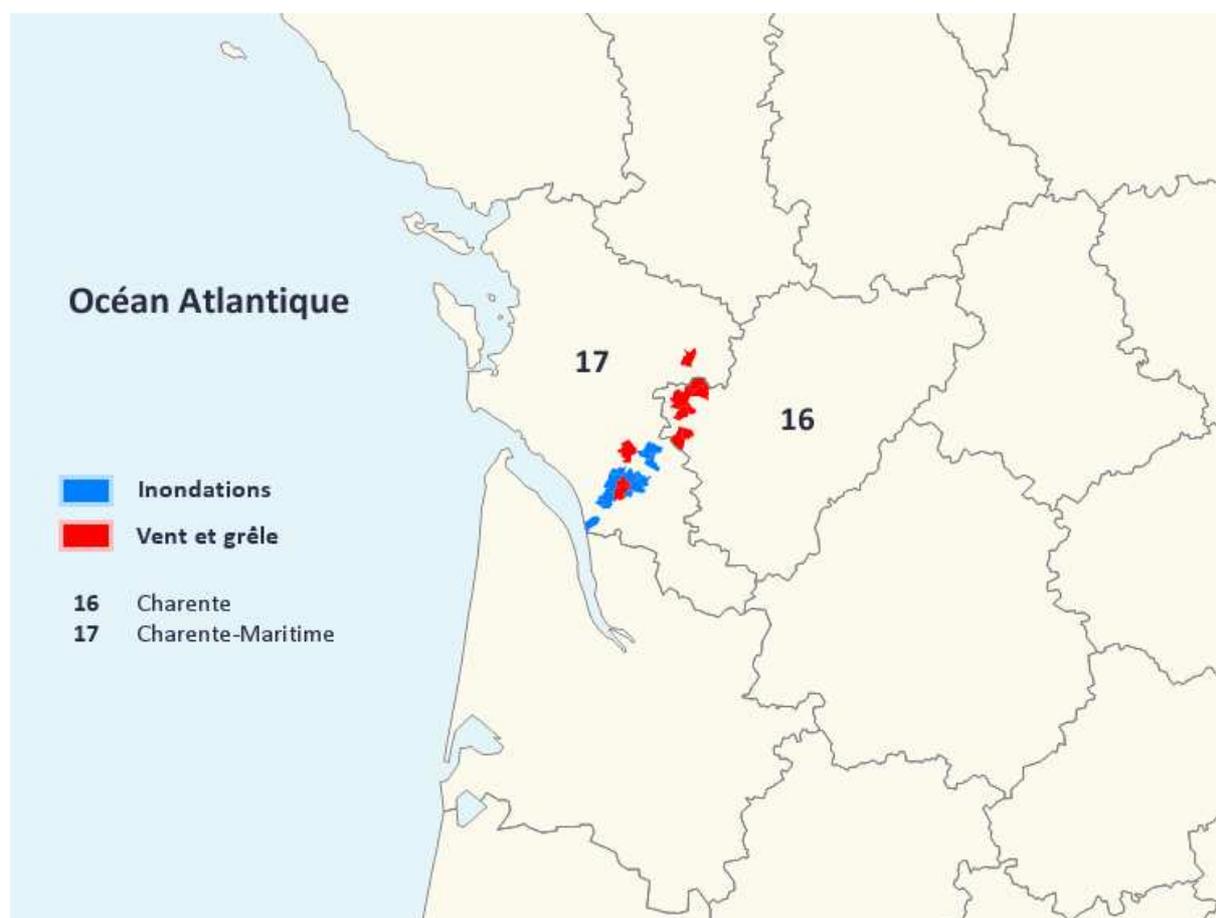


Fig 18 – Cartographie des communes de Charente et Charente-Maritime sinistrées par le MCS du 26 juillet 1983 en matinée

Pour cet épisode intermédiaire, le MCS n'a pas pu acquérir une phase de développement durable, si bien que la trajectoire parcourue est estimée à 100 km dans sa partie la plus active.

4. Analyse de la troisième phase de l'épisode orageux : un derecho nocturne le soir du 26 juillet

4.1 Reconstitution de la chronologie des événements

La première "mèche" orageuse à l'origine de cette troisième et dernière dégradation orageuse prend naissance sur la Rioja (Espagne) le 26 juillet 1983 vers 15h00 locales. Cette dernière, qui prend la route du Pays Basque, gagne en fin d'après-midi le Golfe de Gascogne, puis s'y dissipe à 19h00.

Ce premier déclenchement de convection est suivi, jusqu'à 18h00, par une multiplication des cellules orageuses sur tout le nord de l'Espagne, sans que celles-ci ne franchissent encore les Pyrénées.

C'est finalement un noyau orageux plus intense, dont la naissance est identifiée à 17h00 au sud de la Navarre (Espagne), qui se développe rapidement et franchit les Pyrénées à 18h30. Les premiers orages affectent les Pyrénées-Atlantiques à cette heure. Au même moment, la chaleur est forte et lourde sur l'Aquitaine et le Poitou-Charentes. Les thermomètres affichent près de 30°C, avec des points de rosée qui dépassent localement 20°C sur les Pays-de-la-Loire. Un ciel chaotique et pré-orageux, composé entre autres d'Alto cumululus instables, est signalé sur tout l'ouest du pays.

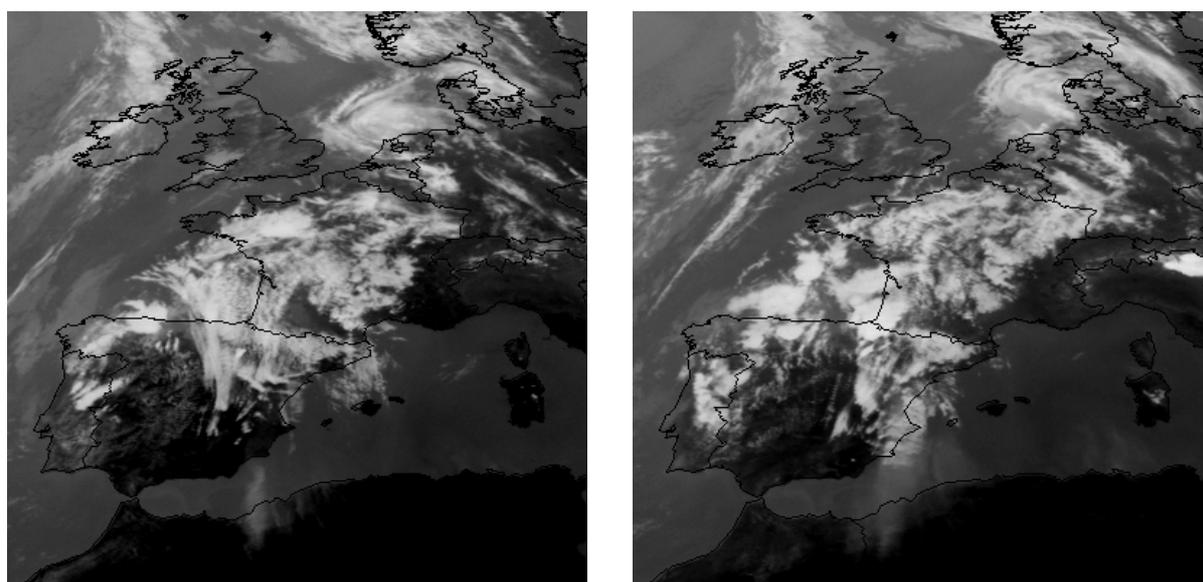


Fig 19 - Première impulsion orageuse sur la Rioja (13:00 TU) - Orages franchissant les Pyrénées (16:30 TU)



Dès 19h00, les orages connaissent un développement spectaculaire sur les Pyrénées-Atlantiques et les Landes. De 20h00 à 20h30, le système orageux, qui se situe au cœur des Landes et de la Gironde (où quelques sommets outrepassants sont faiblement visibles), évolue en un M.C.S dont l'enclume couvre presque tout le sud-ouest de la France.

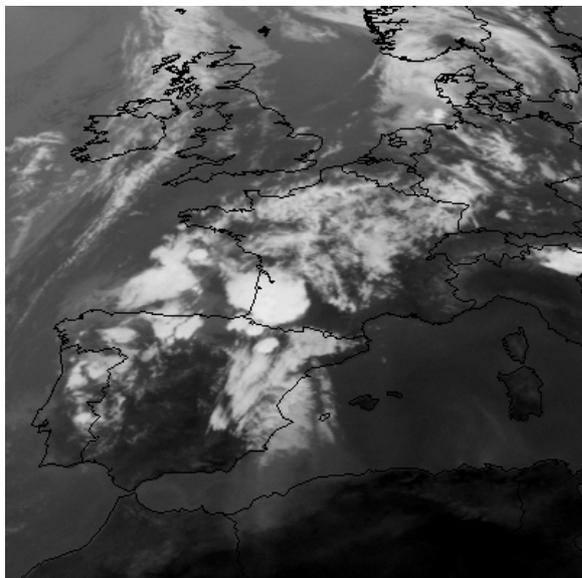


Fig 20 - Constitution d'un MCS sur l'Aquitaine et nouvelles alimentations orageuses au sud du système (18:00 TU)

Les faibles voiles blanchâtres, qui présentent un aspect effilé sur tout le nord du Maghreb, correspondent à des particules de poussière désertique en provenance du Sahara. Entraînées par le flux, ces particules se sont déposées en plusieurs points de l'Espagne et de la France.

A 21h00, au sein du M.C.S, une poussée convective très intense, située aux confins de la Charente-Maritime, de la Dordogne et de la Gironde, persiste à générer un sommet outrepassant de plus en plus marqué (voir Fig. 22 en page suivante). A 21h30, ce même sommet outrepassant est toujours visible sur l'extrême sud de la Charente et l'est de la Dordogne. Le noyau orageux associé est massif et couvre une grande superficie.

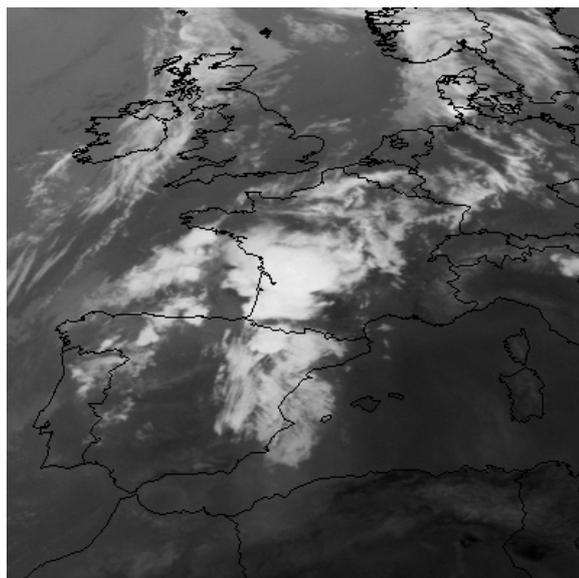
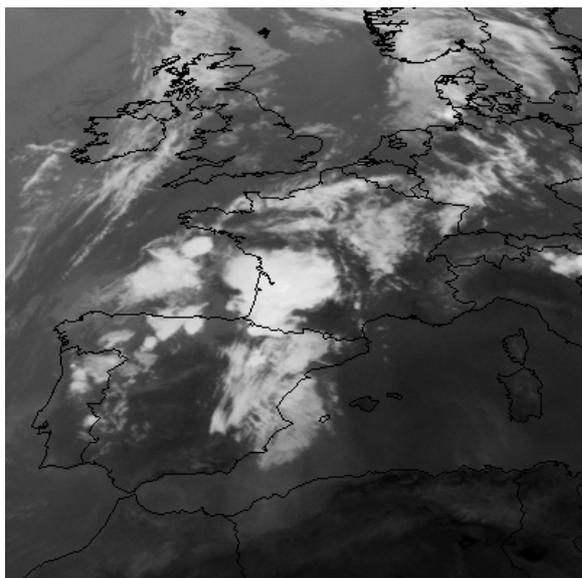


Fig 21 - Evolution du MCS entre l'extrême nord de l'Aquitaine (19:00 TU) et le département de la Charente (20:00 TU)



De 21h30 à 22h30, l'est du département de la Charente est traversé par le MCS. Virulent et extrêmement dynamique, il laisse apparaître des sommets pénétrants qui s'avèrent spectaculaires, surtout sur la Vienne. Le panache de l'enclume prend des dimensions considérables et couvre visuellement tout le centre-ouest de la France, tandis que les orages balayent la Vienne entre 23h00 et minuit. Le M.C.S. développe alors une forme à tendance ovoïde, avec une structure d'enclume qui laisse supposer une possible rotation cyclonique de l'ensemble du système. Comme la veille, une transition en M.C.V. est probable, sans qu'il soit possible de le certifier en l'absence d'images radars exploitables.

Malheureusement, les images satellite de l'époque sont délicates à utiliser pour générer des extrapolations thermiques précises. Il aurait en effet été intéressant de vérifier l'éventualité que ce système orageux ait pu remplir les critères de Maddox, et ait répondu ainsi à la définition d'un M.C.C. (Mesoscale Convective Complex). Ceci est toutefois peu probable, car même si les critères de superficie des sommets à température inférieure à -32°C et -52°C ont vraisemblablement été remplis, et si l'excentricité du système à pleine puissance est bien supérieure à 0,7, le critère de durée de 6 heures consécutives pendant lesquelles les critères de températures sommitales doivent être observés n'est sans doute pas validé, compte tenu de la déstructuration progressive du système en seconde partie de nuit.

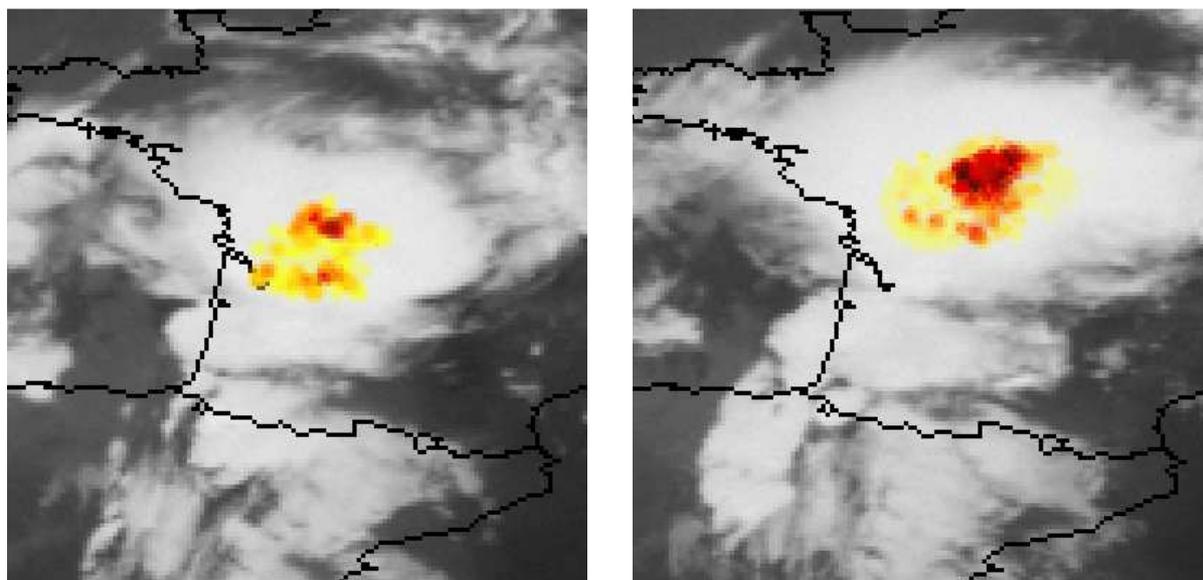


Fig 22 - Détail de la structure du MCS et des sommets outrepassants à 20:30 TU et 22:00 TU. Ces derniers sont généralisés et spectaculaires sur le département de la Vienne

A partir de minuit, le cœur convectif le plus intense, situé au centre et au nord de la Vienne, s'étire vers l'est en gagnant le département de l'Indre. D'autres cellules se forment plus au nord en direction de l'Indre-et-Loire.

Entre 00h30 et 02h30, le M.C.S, qui couvre visuellement un tiers du territoire national, conserve toujours un noyau plus intense mais plus évasé qui traverse l'Indre-et-Loire, puis le nord de la région Centre, enfin le sud de la Haute-Normandie.

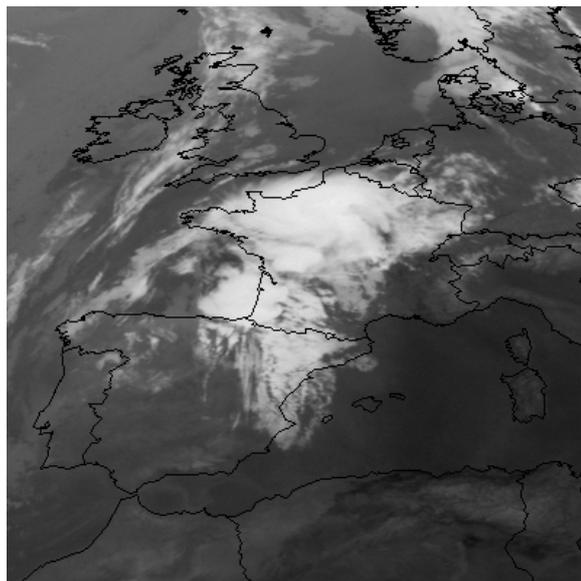
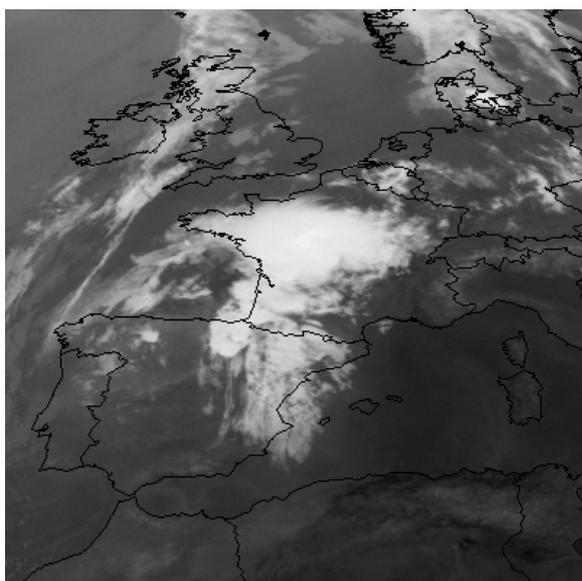


Fig 23 - Evolution du MCS entre 22:30 TU et 00:30 TU - Etalement progressif de la structure qui montre des signes de dissipation

Entre 03h00 et 04h30, en périphérie est du M.C.S, de nouvelles cellules orageuses se développent temporairement de l'est de l'Ile-de-France à la Picardie, et jusqu'à la frontière belge aux premières lueurs du jour, vers 06h30.

A 08h30, le système orageux, totalement déstructuré, a définitivement quitté la France, en laissant se morceler sur le Benelux un résidu convectif à tendance rotative, entouré d'un panache nuageux de haute altitude évidé et circulaire.

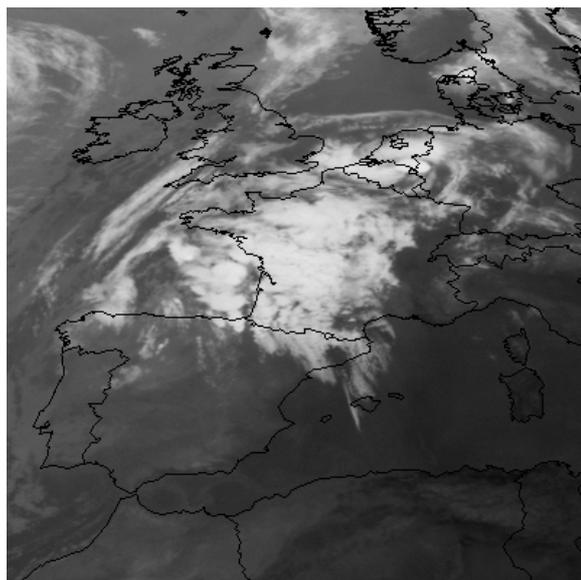
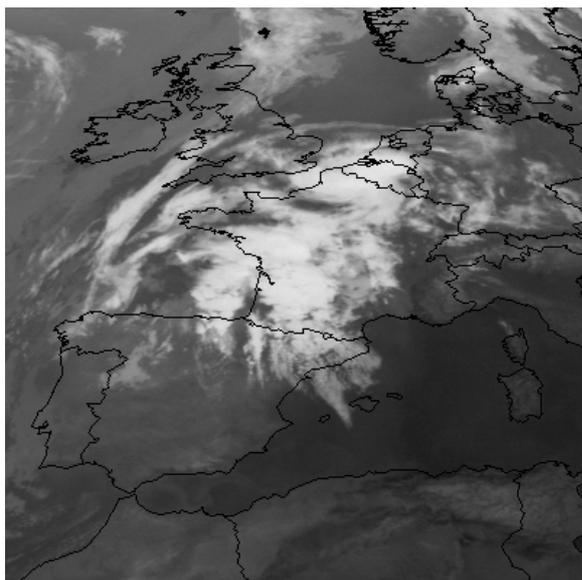


Fig 24 - MCS en voie de dissipation en gagnant le Nord-Pas de Calais (04:30 TU) - Evacuation vers la Belgique et la mer du Nord (06:30 TU)

4.2 Phénomènes et dommages observés sous ce M.C.S.

Ce troisième et dernier M.C.S. s'est illustré une nouvelle fois par des précipitations intenses, mais surtout par des rafales descendantes d'une ampleur et d'une sévérité peu communes, dont les plus fortes ont vraisemblablement avoisiné 200 km/h.

4.2.1 Analyse des précipitations produite par le système orageux

Comme pour l'épisode de la nuit précédente, des données météorologiques de précipitations, issues de relevés de Météo-France, ont été acquises pour 1233 stations. Chaque donnée correspond au total pluviométrique enregistré au cours de la journée météorologique du 26 juillet 1983 (soit du 26 juillet à 6h TU au 27 juillet à 6h TU, période dans laquelle l'épisode est inclus).

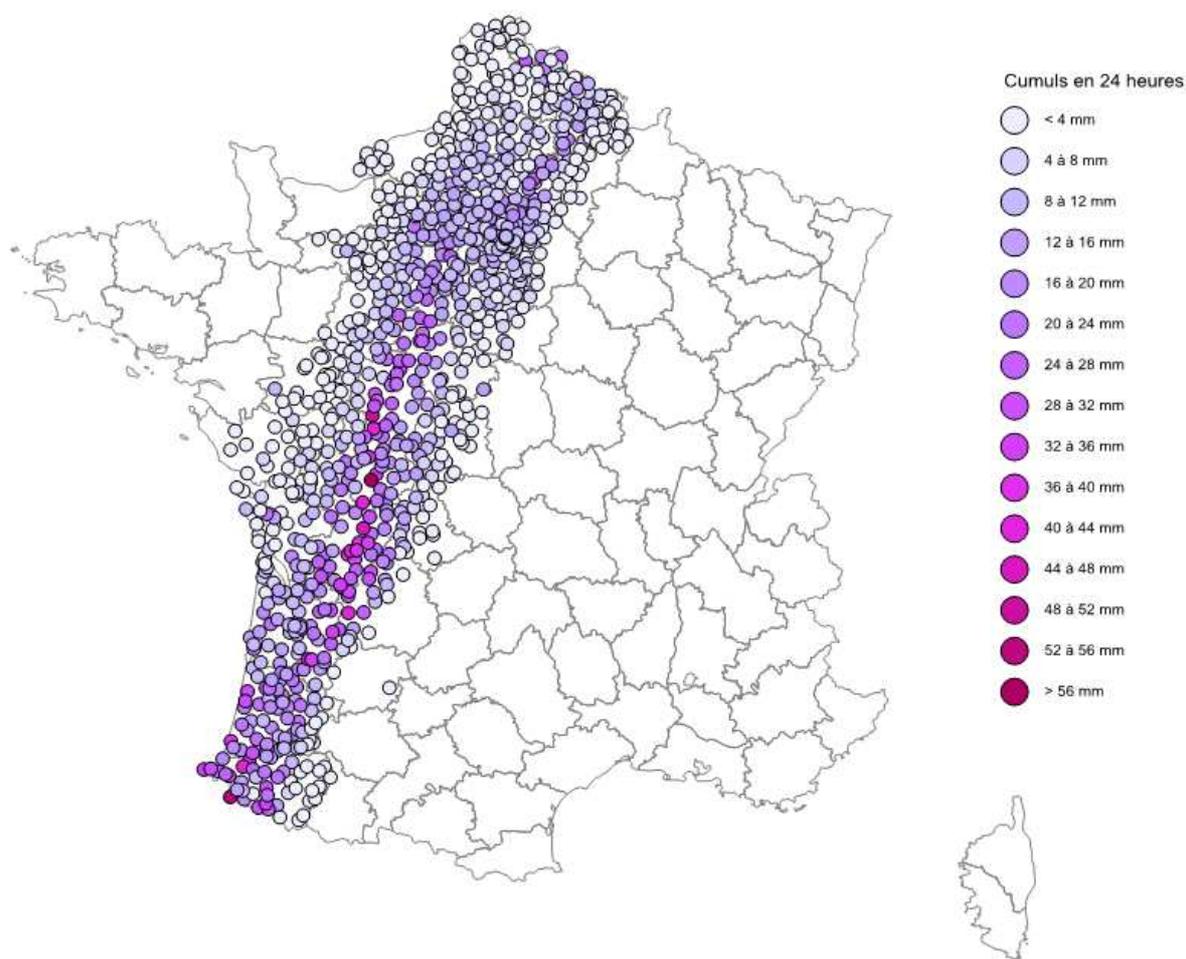


Fig 25 – Cartographie des 1233 stations avec cumul de précipitations en 24 heures – Période du 26 juillet 1983 à 06:00 TU au 27 juillet 1983 à 06:00 TU

Il en ressort un axe continu qui s'étire des Pyrénées-Atlantiques à la Normandie, avant une reprise d'activité pluvieuse du nord de l'Ile-de-France au Nord-Pas de Calais. Les secteurs les plus fortement



touchés sont concentrés sur les Pyrénées-Atlantiques, les Landes, la Gironde, la Dordogne, la Charente, la Vienne et l'Indre-et-Loire.

Les arrêtés publiés dans le Journal Officiel des 8 octobre 1983 et 18 novembre 1983 reconnaissent l'état de catastrophe naturelle pour une partie des départements des Pyrénées-Atlantiques, des Landes, de la Dordogne, de la Charente-Maritime, de la Charente, de la Vienne, de l'Indre, de l'Indre-et-Loire, de la Seine-et-Marne et de la Seine-Saint-Denis pour des dommages dus aux inondations et aux glissements de terrain. En complément, des informations tirées de la presse locale confirment des inondations sur le sud du département de la Vienne.

En synthétisant les données issues des arrêtés de catastrophe naturelle et des relevés pluviométriques, la zone touchée par les fortes précipitations générées par le MCS couvre une superficie totale d'environ 60 000 km². A noter que, comme la veille, les données issues des stations météorologiques du réseau principal (SYNOP) confirment que l'axe pluvieux a conservé un caractère orageux sur l'ensemble de sa trajectoire.

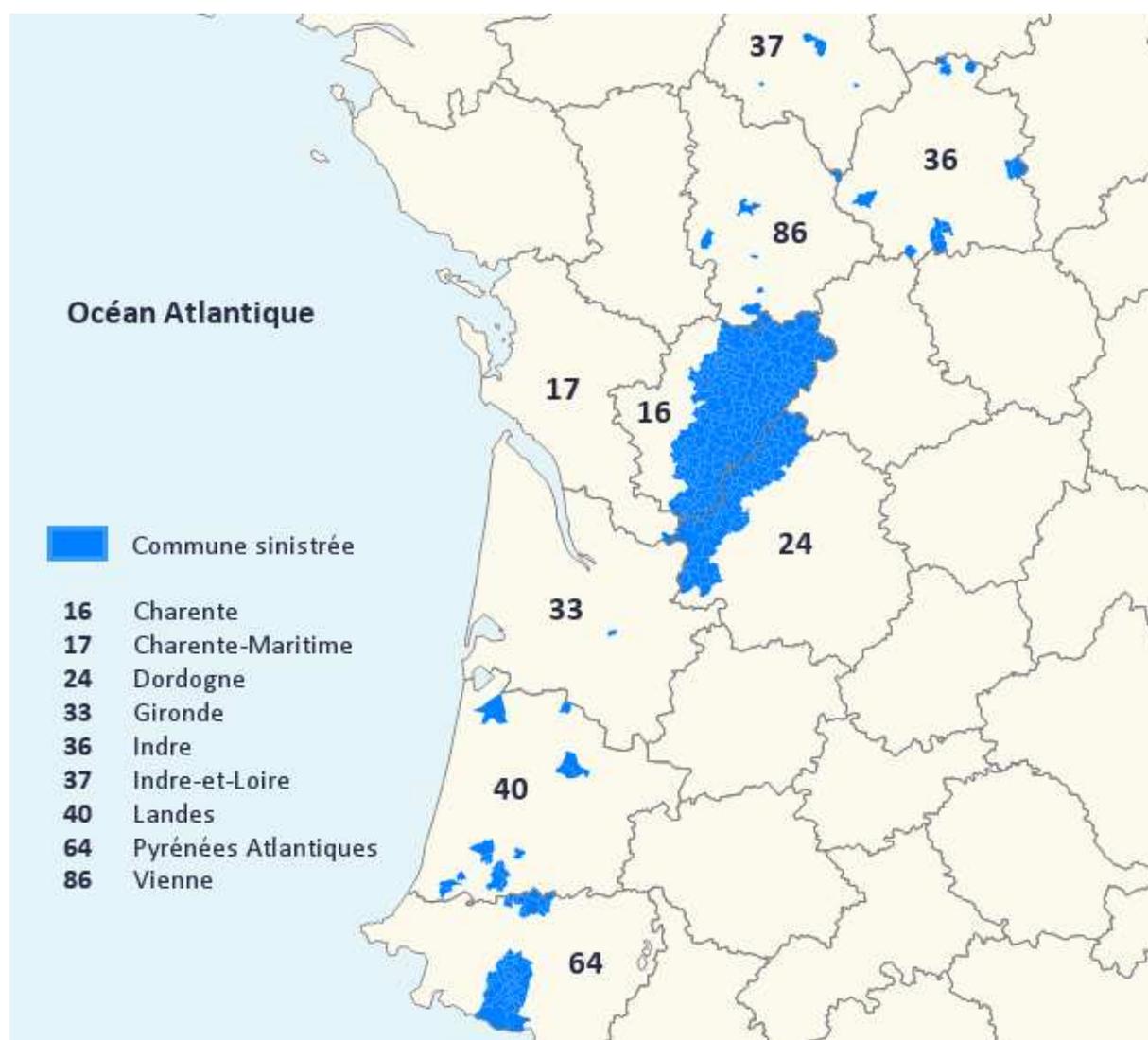


Fig 26 – Cartographie des principales communes sinistrées par les fortes précipitations durant la nuit du 26 au 27 juillet 1983.

4.2.2 D'importants dommages liés aux rafales de vent

Comme pour l'épisode du 25 juillet, les relevés météorologiques pour les paramètres de vent et de grêle n'apportent pas d'éclairage pour la journée du 26 juillet. Seule la station de Tours-Saint-Symphorien mesure une rafale de vent de 104 km/h à 21h55 TU. La cartographie de la zone sinistrée a donc été effectuée grâce :

- à un arrêté publié dans le Journal Officiel du 11 septembre 1983, et qui reconnaît l'état de catastrophe naturelle pour une partie des départements de la Gironde, de la Dordogne, de la Charente et de la Vienne, pour des dommages dus au vent et à la grêle. Au total, 482 communes de ces quatre départements sont visées par l'arrêté, dont 241 pour le seul département de la Charente,
- aux informations contenues dans la presse locale, qui relate des dégâts liés au vent dans plusieurs communes du pays d'Orthe (Landes), 35 communes de Charente et 29 communes de la Vienne,

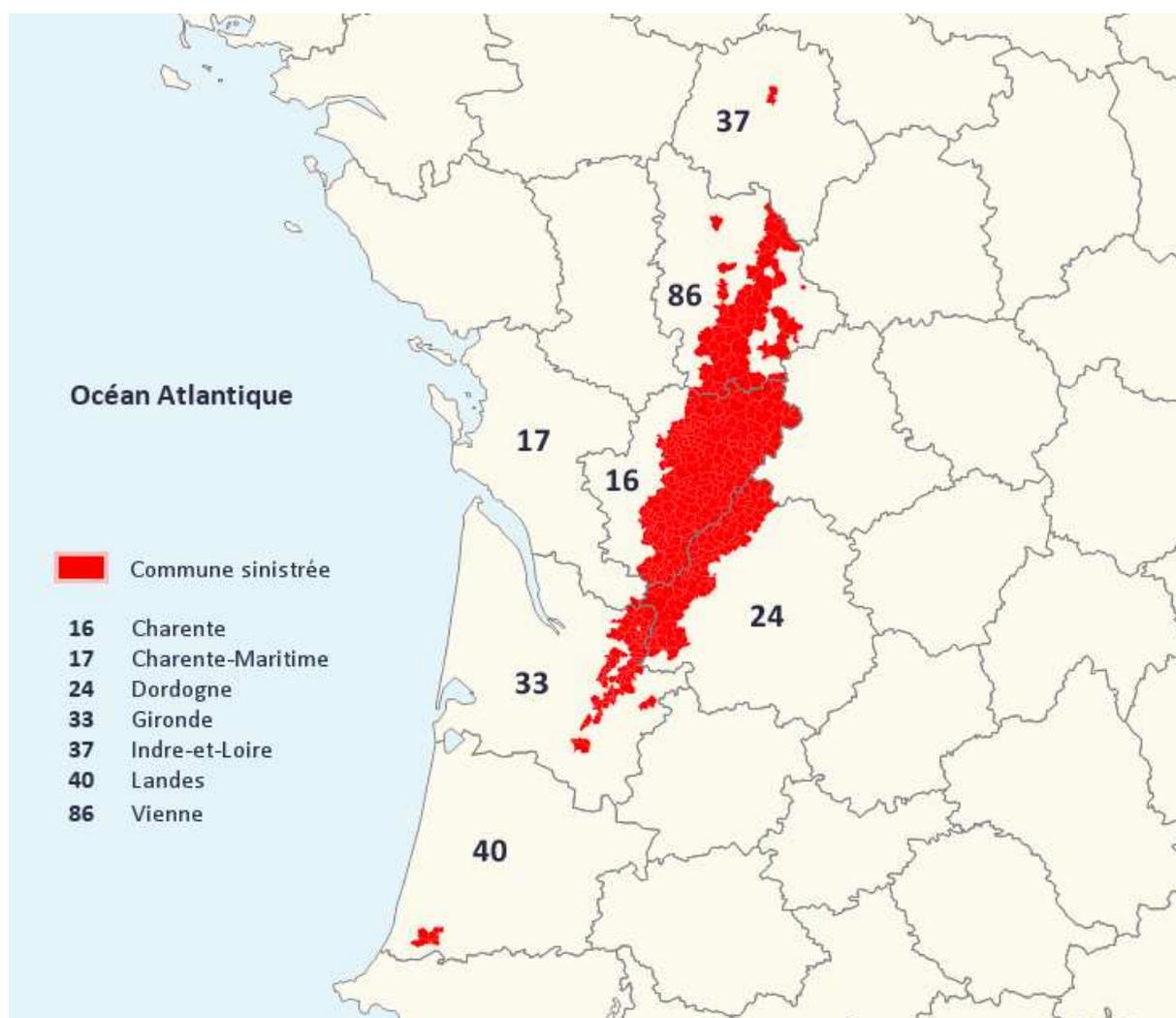


Fig 27 – Cartographie des communes frappées par des rafales de vent destructrices dans la nuit du 26 au 27 juillet 1983.



- à une information complémentaire provenant de l'Inventaire du patrimoine de la région Poitou-Charentes, qui évoque un phénomène venteux qui acheva les ruines du château de la Croix, commune de la Barde (Charente-Maritime), ce qui permet d'intégrer l'extrême sud-est de ce département dans l'axe.

La zone sinistrée représente 492 communes et couvre une superficie de 8600 km². L'axe s'étire du nord de la Gironde au centre de la Vienne, avec des dégâts ponctuels de part et d'autres de cet axe.

4.2.3 Un épisode qui relève de la catégorie des derechos

L'analyse détaillée des dommages liés au vent montre que les rafales ont été destructrices sur un axe long d'environ 450 kilomètres, pour une largeur maximale qui avoisine 50 kilomètres. Ces dimensions font passer cet épisode orageux dans la catégorie des « derechos ». On désigne ainsi les épisodes orageux producteurs de microrafales et de macrorafales en série, qui se propagent sur plusieurs centaines de kilomètres. Ces épisodes peuvent comporter des phases transitoires sans dommages ni rafales de vent sévères, ce qui s'est vérifié dans le cas présent durant la première moitié de l'épisode. Des épisodes orageux d'une telle violence sont rares et seule une poignée d'épisodes orageux peuvent être qualifiés de derecho chaque année dans le monde.

La carte en page suivante présente les résultats de l'analyse de chacun des dommages déclarés sur les communes sinistrées par les rafales de vent. Comme pour la nuit du 25 juillet 1983, les dégâts liés au vent les plus significatifs se concentrent sur la partie la plus active du MCS, soit sur une trajectoire totale de près de 450 kilomètres et une largeur moyenne de 10 à 50 km pour la partie la plus évasée.

D'abord liés à des microrafales localisées, les dégâts venteux se généralisent en macrorafales continues du nord de la Gironde au nord de la Vienne, soit sur une trajectoire de plus de 200 km et une largeur continue de 20 à 50 km. Plus particulièrement du nord de la Charente au sud de la Vienne (soit sur un axe de 75 kilomètres de profondeur et de 5 à 12 km de largeur), une succession de macrorafales avec rotor d'une intensité exceptionnelle provoquent des dégâts considérables.

Progressivement, les dégâts diminuent en intensité lorsque le MCS progresse vers l'Indre et l'Indre-et-Loire. Même si des rafales de vent localement supérieures à 100 km/h sont encore observées, notamment sur le Centre, le système orageux conserve surtout une assez forte activité pluvieuse (même si cette dernière est moins importante que durant l'épisode de la veille) de la région Centre à la Normandie, puis de l'est de l'Ile-de-France au Nord-Pas de Calais où les précipitations se réactivent.

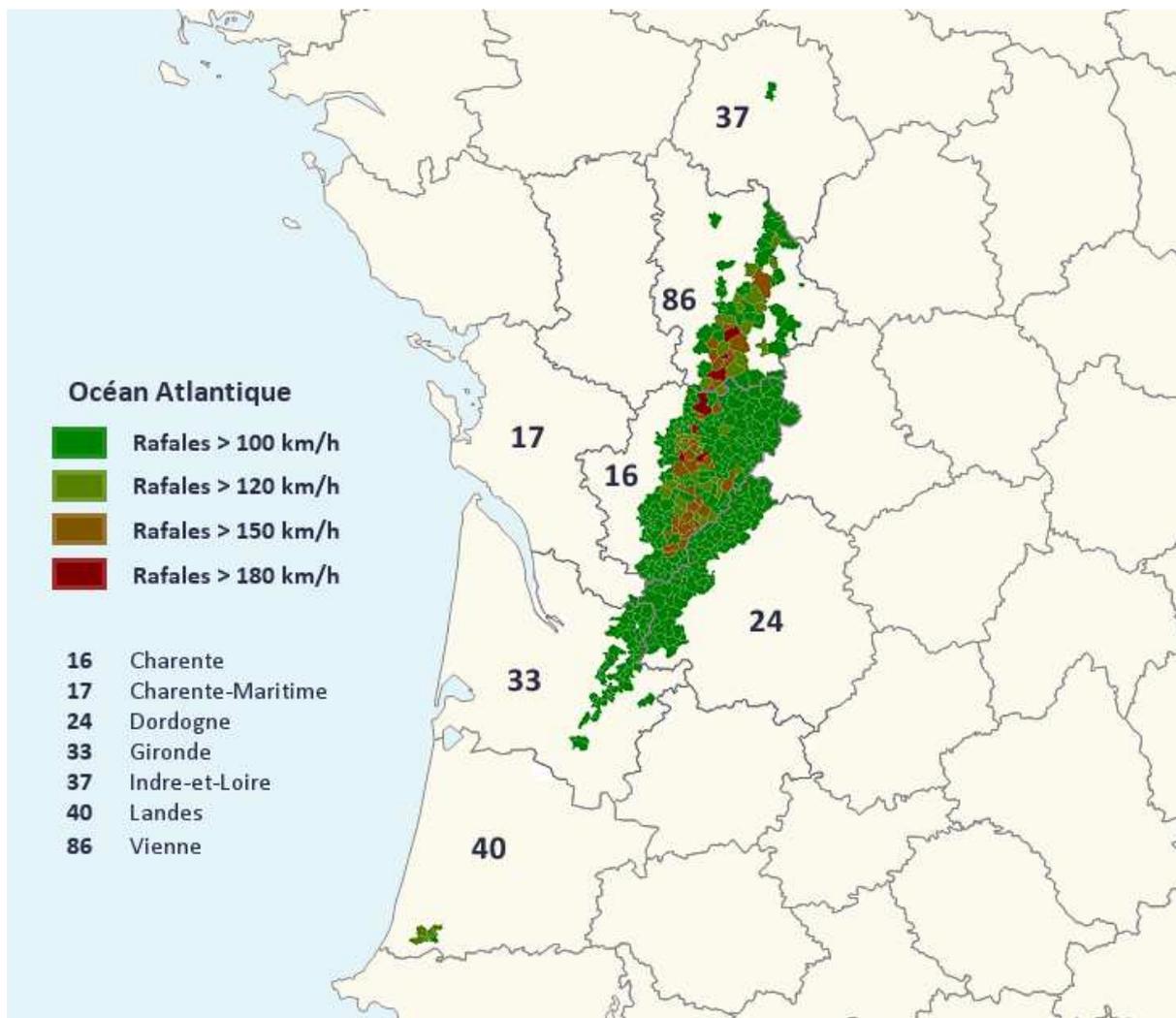


Fig 28 – Superficie atteinte par le derecho et les rafales de vent destructrices, et intensité de ces rafales – Journées des 26 et 27 juillet 1983 – Le nord de la Charente et le sud de la Vienne ont particulièrement souffert

4.3 Analyse des dommages observés en Charente

4.3.1 Analyse générale des principaux dégâts

En traversant la Charente, le noyau orageux le plus actif ne cesse de s'évaser pour atteindre 50 km de largeur au nord du département. D'Aubeterre-sur-Dronne (sud-ouest) à Nanteuil-en-Vallée et Champagne-Mouton (nord-est), l'ensemble des communes situées à l'est de la nationale 10 sont sinistrées.

Une bande de terrain de 75 km de longueur et de 5 à 12 km de largeur est particulièrement touchée dans les cantons de Villebois-Lavalette, Soyaux, Saint-Amand-de-Boixe, La Rochefoucauld, Mansle, Nanteuil-en-Vallée et Champagne-Mouton. L'agglomération d'Angoulême et le canton de Montbron, de part et d'autre du couloir, sont également fortement touchés.



Dans tous ces cantons, des rafales destructrices causent des dégâts extrêmement importants chiffrés à plusieurs dizaines de millions de francs.

Concernant la végétation, des milliers d'arbres sont couchés, broyés ou brisés comme des allumettes. Un très grand nombre de peupleraies sont anéanties dans le secteur de Villebois-Lavalette, d'Agris et de Saint-Angeau. Les cultures de maïs et de tournesol situées sur le passage de l'épisode orageux sont détruites. A Mansle et à Angoulême, plusieurs campings sont sinistrés par des chutes d'arbres.

Des milliers d'habitations sont endommagées, avec chutes de cheminées, toitures endommagées voire arrachées. Des hangars agricoles ou des ateliers sont écrasés. C'est le cas d'un atelier de réparations de machines agricoles situé à Agris: le toit et la façade en béton ont écrasé le matériel et les tôles ont atterri dans un champ de maïs voisin [Sud-Ouest du 28 juillet 1983]. A Anais, les vitres d'un restaurant ont volé en éclat et le vent, engouffré à l'intérieur de l'habitation, a détruit une cloison. Dans ce secteur, un abricotier serait passé au-dessus d'une maison et aurait sinistré l'étage.

A Romefort, commune de Saint-Front, un hangar bâti en parpaings et en tôles de bardages est détruit de fond en comble. Beaucoup subiront le même sort dans le département.



Fig 29 - Ce hangar du hameau de Romefort (Saint-Front, Charente) a été détruit. Les murs en parpaings sont pulvérisés. La structure métallique a même été tordue. © KERAUNOS

En forêt de la Braconne, ainsi que dans les vallées de l'Echelle, du Bandiat et de la Tardoire, de très nombreux arbres sont brisés ou couchés sur les routes, et plusieurs toitures de bâtiments communaux sont touchées.



Au garage de Sainte-Catherine, commune de Garat, des caravanes, dont le poids est estimé entre 500 kg et 2 tonnes, sont mises sur le flanc. A Anais, un camion frigorifique de six tonnes est mis au fossé. Enfin, à Nanteuil-en-Vallée, l'église est partiellement détruite: les travées qui supportent la toiture de l'édifice sont ébranlées et menacent de s'écrouler.



Fig 30 - Ces caravanes stationnées dans un garage (dont certaines pesant deux tonnes) ont été couchées par les fortes rafales de vent.

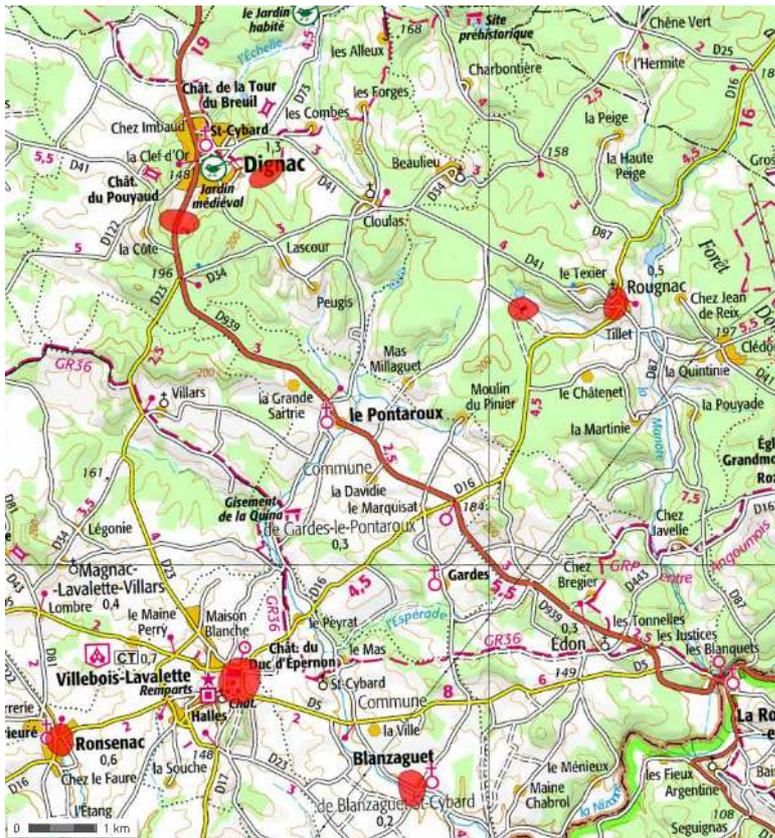
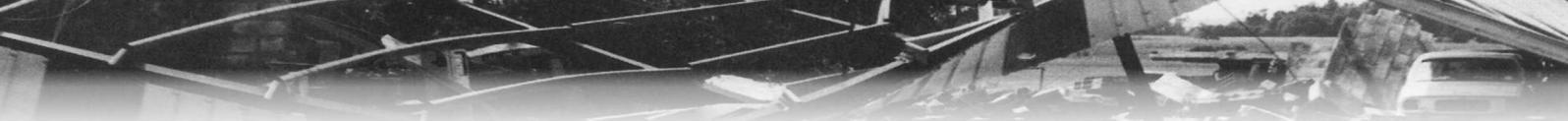
© Sud-Ouest du 28/07/1983

4.3.2 Analyse générale des macrorafales et des microrafales en rotor sur l'est de la Charente entre 22h00 et 22h30 locales

Les analyses détaillées qui suivent mettent en évidence une succession de puissantes macrorafales, au sein desquelles se sont manifestement déclenchées des microrafales en rotor, notamment au nord du département. Ces dernières, qui sont parvenues à souffler certaines constructions solides, ont entraîné des débris dans des couloirs d'accélération localisés nommés *burst swath*, et que l'on rencontre dans le cas des microrafales les plus puissantes.

Ces microrafales en rotor ont localement ravagé des superficies de quelques centaines de mètres de longueur, en produisant des dégâts divergents qui peuvent atteindre une déviation comprise entre 45° à 90° par rapport au flux principal. C'est ce qui explique notamment le grand nombre de témoignages d'arbres tordus, phénomène que l'on attribue trop souvent au seul fait de tornades, ce qui n'est pas toujours exact.

Il est par ailleurs intéressant de noter que certaines vallées du département ont particulièrement souffert des macrorafales. La situation géographique semble donc avoir joué un rôle non négligeable dans la localisation et la sévérité de bon nombre de dégâts charentais.



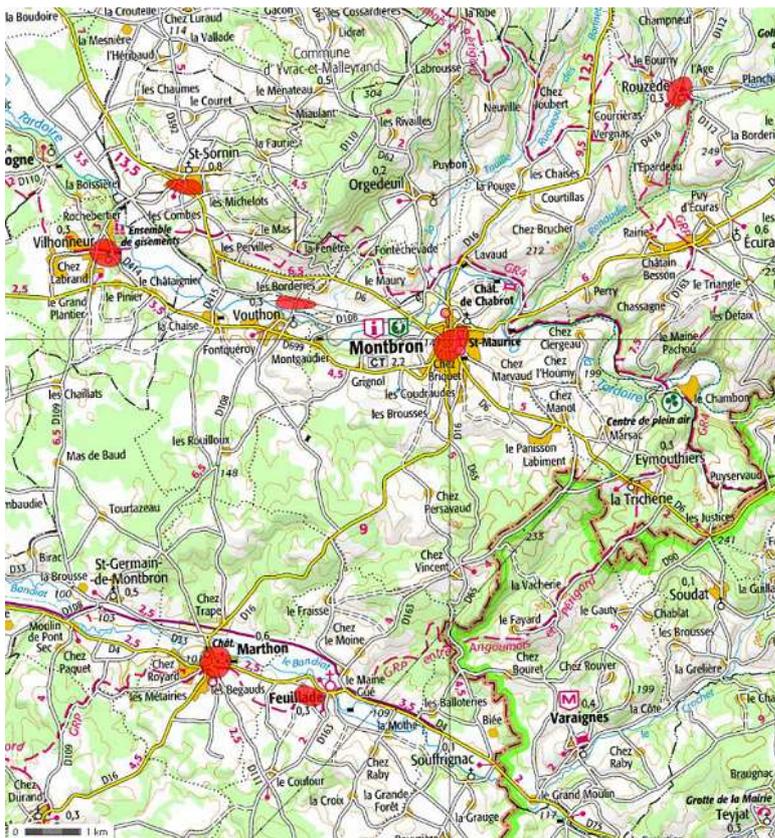
Secteur de Villebois-Lavalette

Le canton est l'un des plus sinistrés du département. Plusieurs peupleraies sont dévastées, notamment à Dignac, Combiers et Villebois-Lavalette.

A Rognac, hameau de Montchoix, des portions de forêts sont rasées.

Dans le village de Rognac, mais aussi à Gurat et à Blanzaguet-Saint-Cybard, de nombreuses toitures d'habitations sont transpercées par des chutes d'arbres, quand elles n'ont pas été en partie arrachées.

Enfin, la vallée de l'Echelle a beaucoup souffert avec des dégâts sur les habitations à Sers.

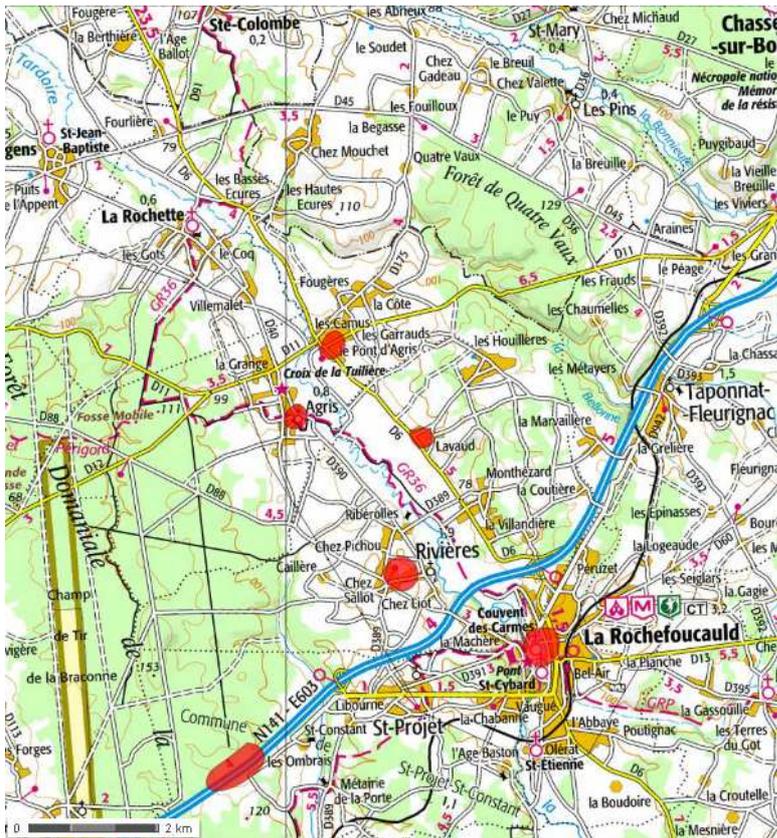


Secteur de Montbron

Plusieurs communes du canton ont été touchées, notamment dans la vallée du Bandiat et de la Tardoire.

A Saint-Sornin, Vouthon, Rouzède, Montbron et Feuilade, on signale un grand nombre de routes jonchées d'arbres.

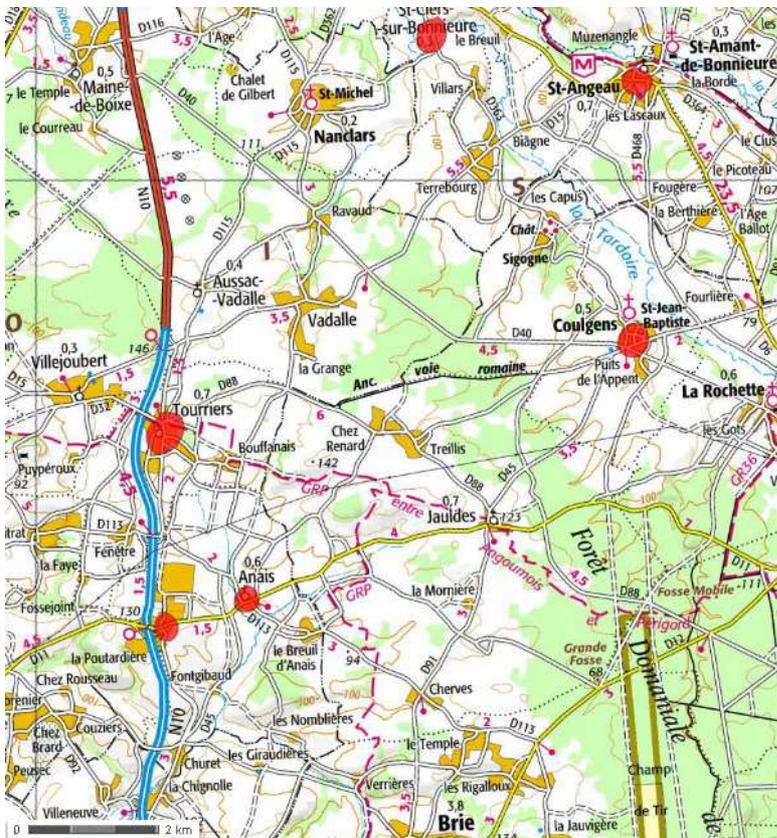
A Marthon, le toit de l'école est en partie arraché



Secteur de la Rochefoucauld

Les dégâts sont généralisés dans ce canton. A la Rochefoucauld, on ne compte plus les tuiles envolées et les toitures endommagées. Des arbres centenaires sont déracinés et brisés au château. La toiture des Etablissements Chaignaud est enlevée sur une superficie d'environ 15 000 m².

Dans la vallée de la Tardoire, les dégâts sont parfois très importants. A Chazelles et à Vilhonneur, les routes sont jonchées d'arbres et la végétation est atteinte. A Rivières, les arbres sont arrachés (notamment dans le parc du château) et de nombreuses habitations endommagées. A Agris, on cite un atelier effondré (toit et pan de mur en béton) et une peupleraie « dont il ne reste que des moignons déchiquetés ».



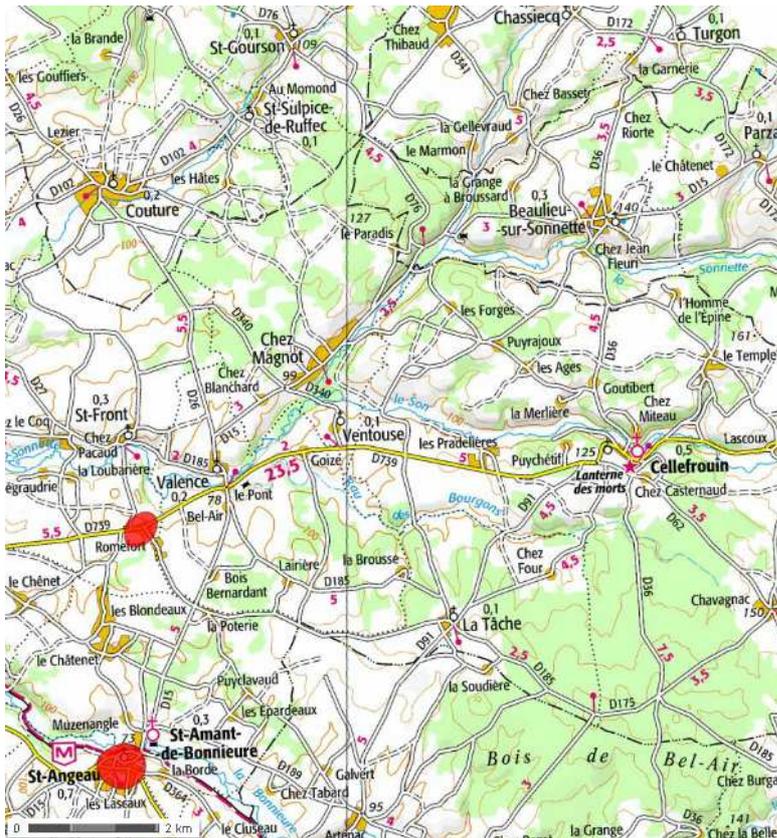
Secteur de Saint-Amant-de-Boixe (est)

Les dégâts se généralisent à l'est de la Nationale 10.

A Tourriers, des toitures sont endommagées et des arbres arrachés.

A Anais (Touche-d'Anais), un restaurant a vu sa baie vitrée voler en éclats. A proximité, un camion frigorifique de six tonnes est emmené au fossé. Non loin de là, un abricotier aurait volé au-dessus d'une habitation.

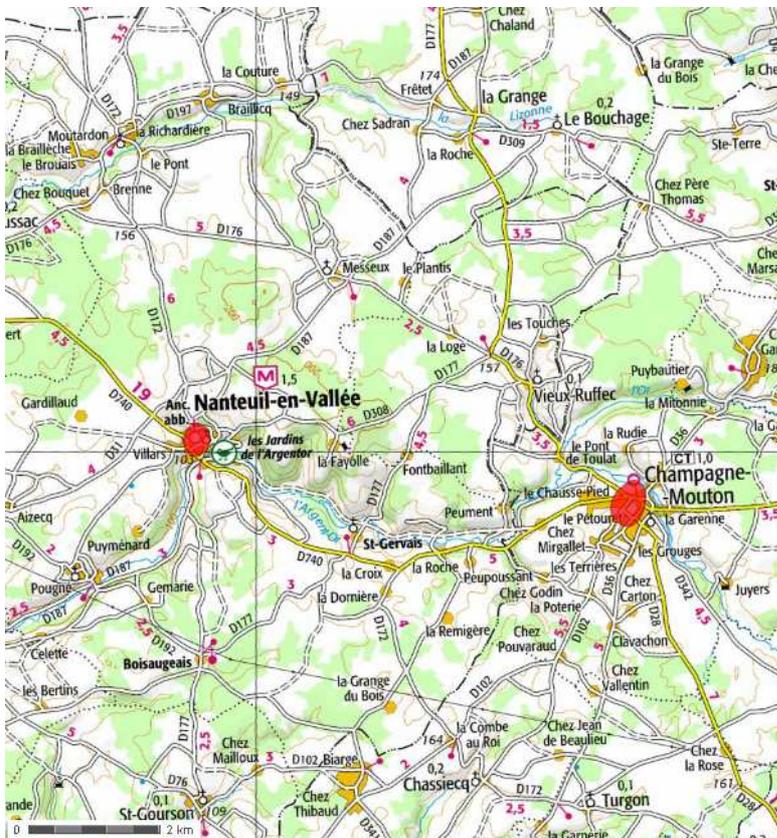
Au sud du canton de Mansle, à Saint-Angeau et Saint-Ciers-sur-Bonnieure, les dégâts aux habitations et à la végétation sont généralisés. A Saint-Angeau, la cheminée de la mairie s'est écroulée.



Secteur de Mansle (est)

Les dégâts sont moins spectaculaires, bien que les communes soient visées par les arrêtés de catastrophe naturelle.

C'est surtout la commune de Saint-Front qui a été touchée : à Romefort, un hangar agricole est rasé et les murs en parpaings écroulés.



Secteur de Champagne-Mouton

Dans le canton de Champagne-Mouton, on cite des habitations sinistrées et des hangars soufflés.

Plus à l'ouest, le canton de Ruffec est également touché. A Nanteuil-en-Vallée, l'église est en partie détruite. Les travées qui supportent la toiture de l'édifice sont ébranlées et menacent de s'écrouler

4.3.3 Cartographie générale des dégâts sur le département de la Charente

En résumé, les dégâts produits sur la Charente se concentrent sur la moitié est du département. Un couloir plus intense se démarque très nettement sur le flanc ouest de cet axe. Il prend place au sein d'une zone de dégâts certes plus diffus et moins significatifs, mais qui sont généralisés jusqu'en Haute-Vienne.

La carte ci-après synthétise l'ensemble des dégâts reportés sur le département. La plage de couleur verte couvre les dégâts les moins intenses, la plage rouge les dégâts les plus significatifs où les valeurs de vent sont estimées entre 180 et 200 km/h.

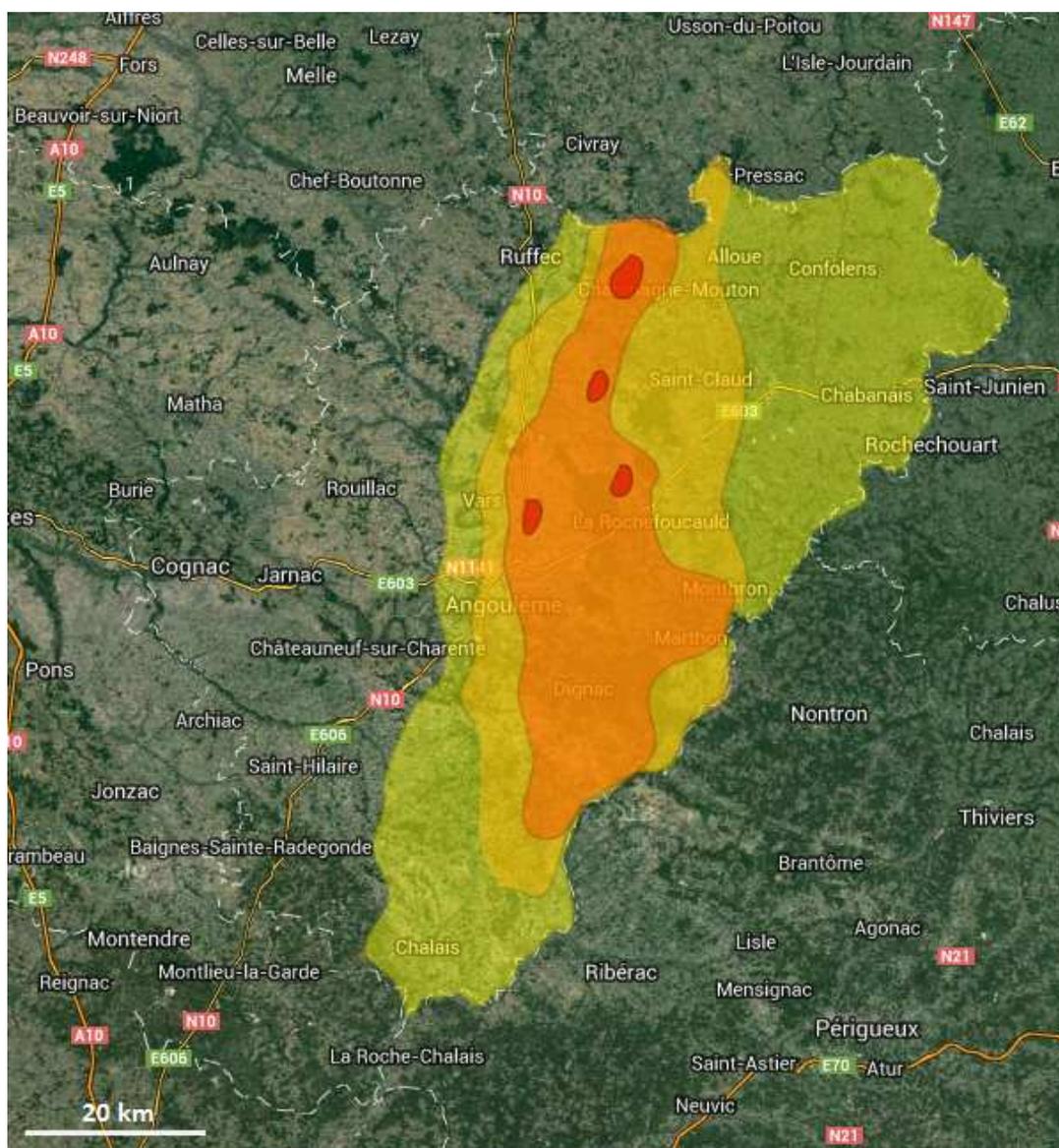


Fig 31 – Cartographie synthétique des dégâts sur le département de la Charente

4.4 Analyse des dommages observés dans la Vienne

4.4.1 Analyse générale des principaux dégâts

Dans la continuité de l'axe charentais, le système orageux, qui conserve la même intensité, balaie le sud de la Vienne où les dégâts sont impressionnants. Les cantons de Charroux et de Gençay sont sinistrés par des rafales destructrices qui, sans couloir défini, endommagent cultures et habitations sur une largeur de 5 à 10 kilomètres.

Dans la vallée de la Charente, les mêmes dégâts se reproduisent avec des peupleraies anéanties et des toitures d'habitations envolées. A Asnois, la toiture de l'église subit de gros dommages. A Saint-Romain, des sépultures du cimetière sont endommagées.

Les communes de Charroux et de Joussé paient le plus lourd tribut aux rafales. Dans cette dernière commune, 80% des habitations sont sinistrées et le clocher de l'église décapité.

A Charroux, les dégâts sont impressionnants en tous points de la commune et dans les hameaux voisins. Dans le quartier de la gare, le solide bâtiment d'une coopérative agricole s'effondre, tandis qu'une passerelle se plie sous le poids du vent. On signale même des pylônes électriques en béton brisés, et des meules de foin qui auraient roulé sur plusieurs centaines de mètres.



Fig. 32 : La toiture de la coopérative agricole de Charroux s'est effondrée, ce qui a entraîné la destruction d'un mur.

© Centre-Pressé du 28/07/1983

Dans le canton de Gençay, les dégâts sont aussi spectaculaires. A Saint-Secondin, le clocher de l'église est en partie enlevé, la toiture arrachée, et la nef perforée est obstruée, au niveau du sol, par des gravats tombés du faîtage). A Brion, outre les peupliers décapités, la toiture de la chapelle attenante à l'église est arrachée. A Sommières-du-Clain et Usson-du-Poitou, des séchoirs à tabac sont pulvérisés. Des habitations solides ont leurs toitures partiellement arrachées.

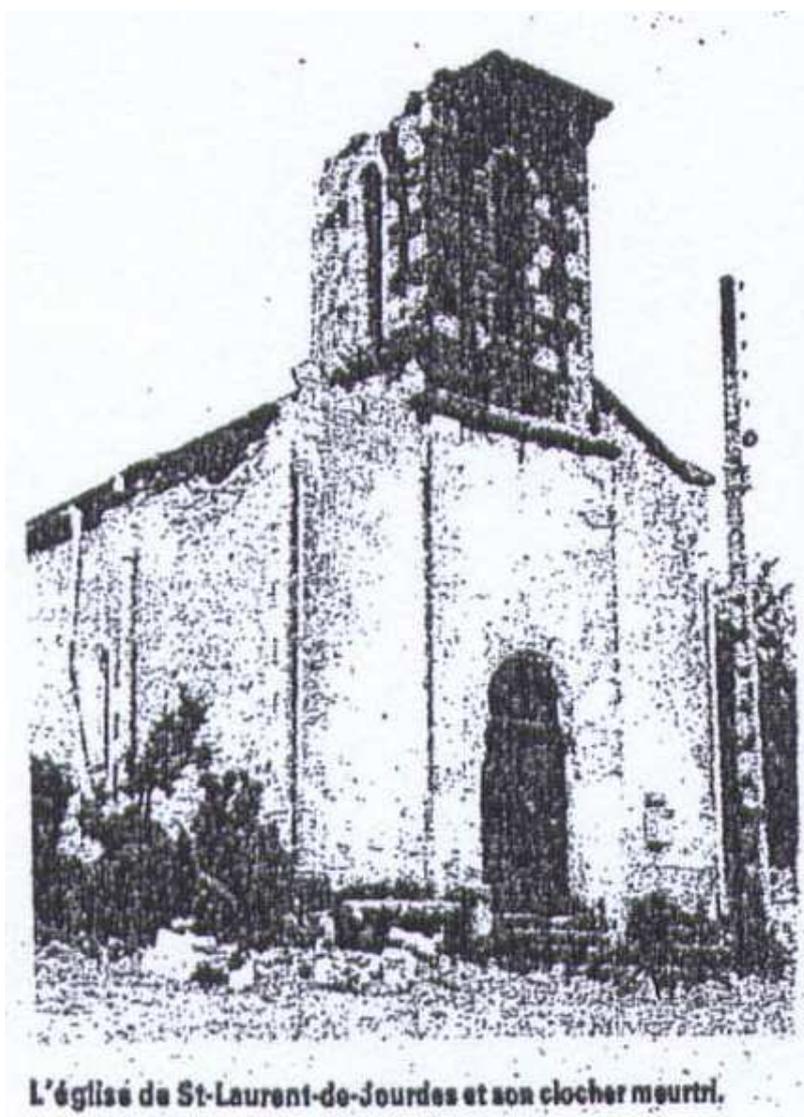


Un grand trou dans la toiture de l'église de St-Secondin

Fig 33 - Toiture de l'église de Saint-Secondin perforée

Tout comme d'autres églises du secteur, l'église de Saint-Secondin a été endommagée.

© Centre-Presse du 28/07/1983



L'église de St-Laurent-de-Jourdes et son clocher meurtri.

Fig 34 – Fronton de l'église de Saint-Laurent-de-Jourdes écroulé

Dans leur chute, les débris de pierre ont perforé la toiture.

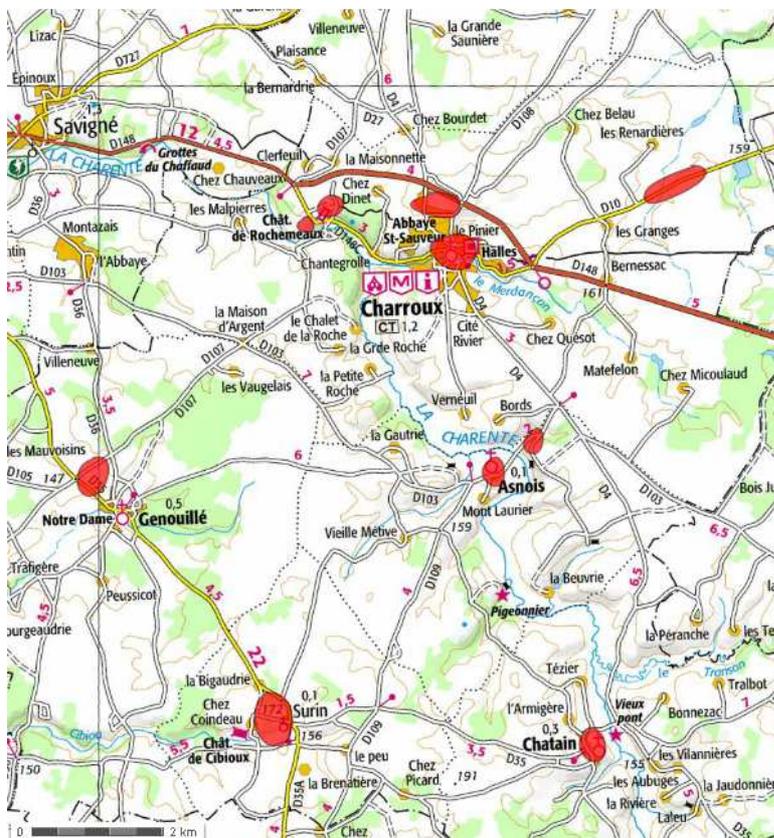
© Centre-Presse du 28/07/1983

Dans sa progression, le système orageux provoque des dégâts plus diffus en abordant la moitié est de la Vienne. Les cantons de la Villedieu-du-Clain, de Lussac-les-Châteaux, de Chauvigny et de Pleumartin sont encore touchés, notamment la vallée de la Vienne où nombre d'arbres sont couchés, ainsi que des toitures endommagées.

4.4.2 Analyse générale des macrorafales et des microrafales en rotor sur le sud de la Vienne entre 22h45 et 23h30 locales

Dans la continuité du département de la Charente, les dégâts se généralisent à toute la moitié sud-est de la Vienne. Là encore, l'aspect diffus et généralisé des dommages, sans couloir défini, confirme l'occurrence de macrorafales et de microrafales en rotor, identifiables par de puissants couloirs d'accélération.

Nous noterons également l'influence probable des vallées de la Charente et de la Vienne dans l'accentuation des dommages engendrés par ces macrorafales.



Canton de Charroux (sud)

L'ensemble du canton de Charroux est sinistré, surtout dans la vallée de la Charente. En plus des cultures anéanties, les habitations ont été sinistrées par centaines.

A Asnois, la toiture de l'église subit de gros dommages. A la Grollerie, hameau du village, la toiture d'une ferme est arrachée.

A Surin, les vergers sont détruits. Les dégâts sont importants sur l'école, la mairie et l'église.

A la Combe, hameau de Genouillé, on signale de nombreux arbres couchés.

Localement dans le canton, des pylônes électriques en béton armé ont été brisés ou tordus.

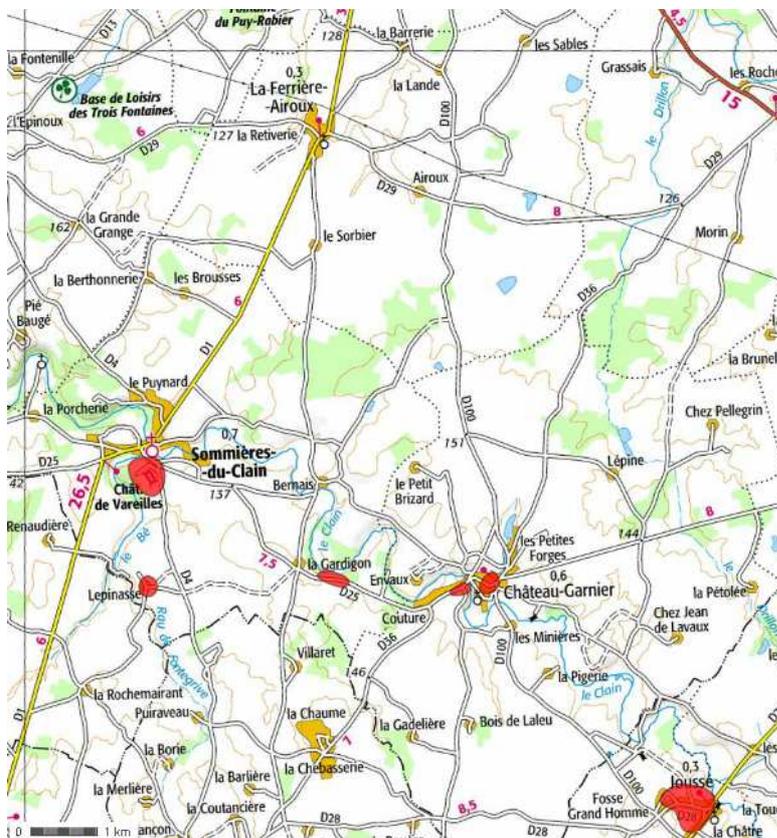


Canton de Charroux (nord)

Le chef-lieu de canton est ravagé. Dans le quartier de la gare, la passerelle de chemin de fer a été tordue. La toiture de la coopérative agricole s'est entièrement effondrée. En plus des arbres déracinés, certains ballots de paille auraient roulé à plusieurs centaines de mètres.

Dans les quartiers bas inondés, des toitures ont également été soufflées. Au hameau de Rochemeaux, les arbres sont éclatés. On note également des dégâts importants au lieu-dit « Chez Laurence ».

A Saint-Romain, des hangars et une station de stabulation sont détruits dans une exploitation. Les sépultures du cimetière sont endommagées.

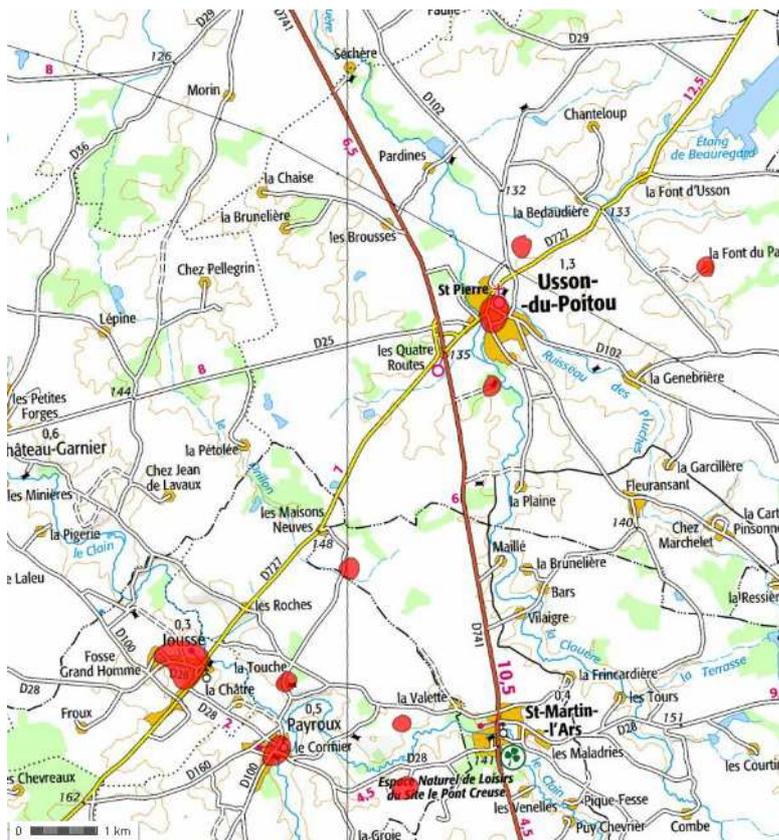


Secteur de la vallée du Clain

Les dégâts sont là aussi très importants et généralisés. A Sommières-du-Clain, l'allée conduisant au château de Vareilles est anéantie. Au hameau de Lepinasse, un séchoir à tabac est pulvérisé.

Sur la route de Sommières à Château-Garnier, les arbres sont déracinés. Dans ce dernier village, une peupleraie est détruite et le centre du bourg endommagé.

A Jossé, environ 80% du village est sinistré. Le clocher de l'église est décapité ; des tôles sont soulevées dans une usine ; enfin, la charpente du terrain de sport est partiellement arrachée.

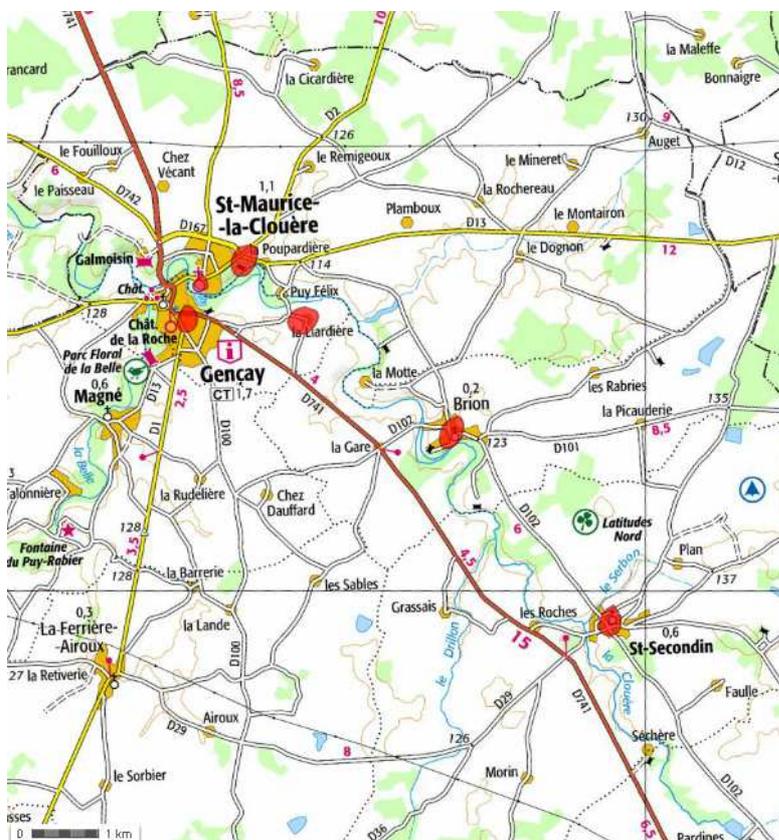


Secteur d'Usson-du-Poitou

Toutes les communes situées entre Usson-du-Poitou et Charroux sont touchées.

A Usson-du-Poitou, la toiture d'un hangar est emportée au hameau de la Buthière. Au château de la Buthière, 47 arbres sont fauchés. A la Guéronnière, la toiture d'une demeure du XVII^e siècle est partiellement arrachée. Dans le village, mais également à la ferme de la Font du Parc, les toitures sont en partie enlevées.

A Payroux, de grands chênes sont endommagés au hameau de Fontpiot. A la Touche, des peupliers sont sectionnés à 90% sur des dizaines d'hectares. Au hameau de Quinsac, des routes sont coupées par des chutes d'arbres.



Canton de Gençay (sud-est)

Les communes de la vallée de la Clouère sont sinistrées.

A Saint-Maurice-la-Clouère, des peupliers sont décapités à quelques mètres du sol non loin du centre. L'échafaudage sur le chantier de l'église est faiblement atteint.

A Gençay, une caravane est couchée, et un séchoir à tabac pulvérisé au hameau de la Liardière.

A Brion, la toiture de la chapelle attenante à l'église, a été en partie arrachée.

A Saint-Secondin, l'église est endommagée (clocher en partie enlevé, toiture arrachée). Des toitures d'habitations sont arrachées et des bâtiments communaux atteints.

4.4.3 Cartographie générale des dégâts sur le département de la Vienne

La physionomie des dégâts est sensiblement identique à celle observée sur le département de la Charente : dommages très importants et concentrés sur le flanc ouest, et dégâts plus généralisés et moins intense sur un large flanc est.

La carte ci-après synthétise l'ensemble des dégâts reportés sur le département. La plage de couleur verte couvre les dégâts les moins intenses, la plage rouge les dégâts les plus significatifs, où les valeurs de vent sont estimées entre 180 et 200 km/h, comme en Charente.

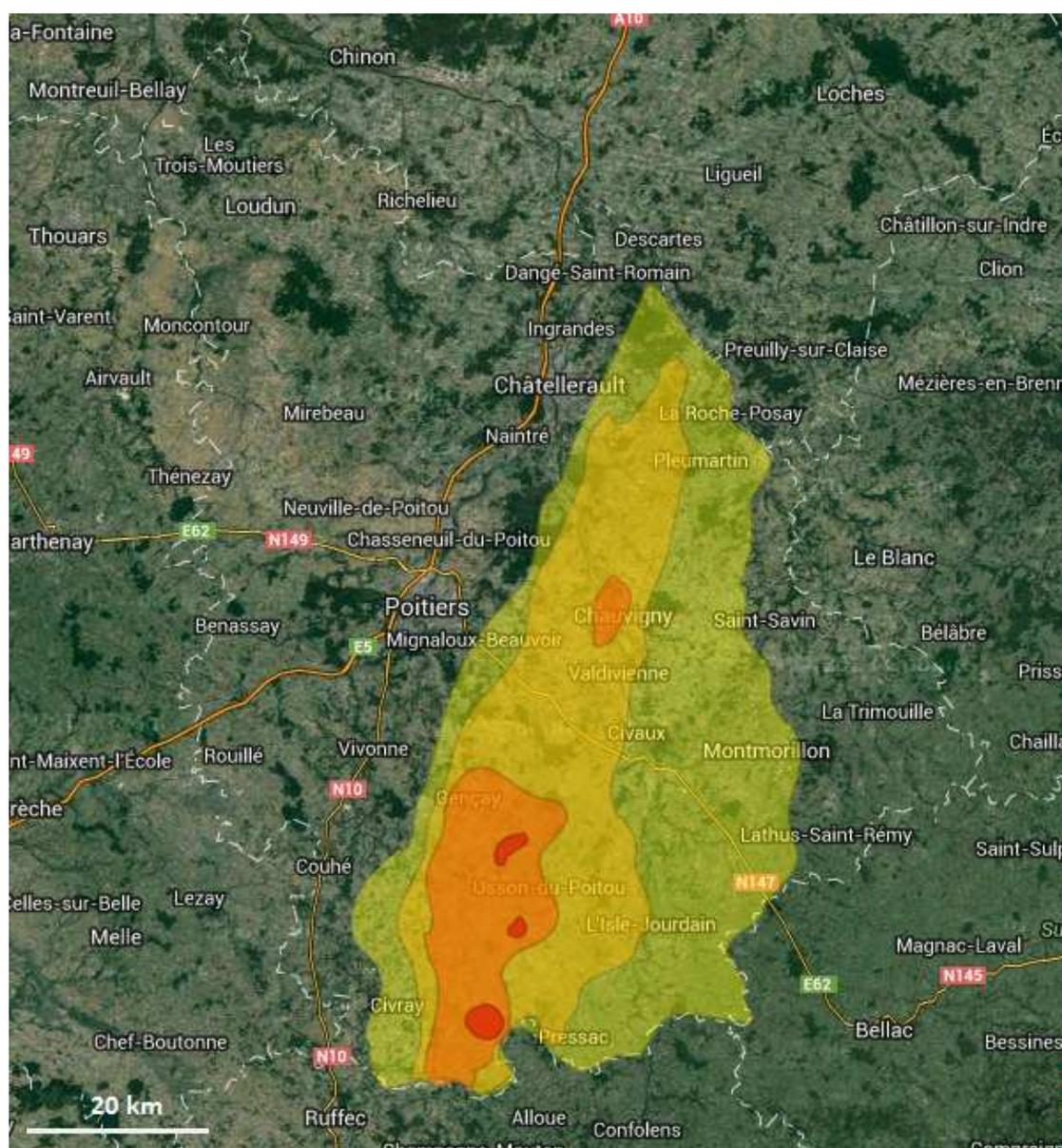


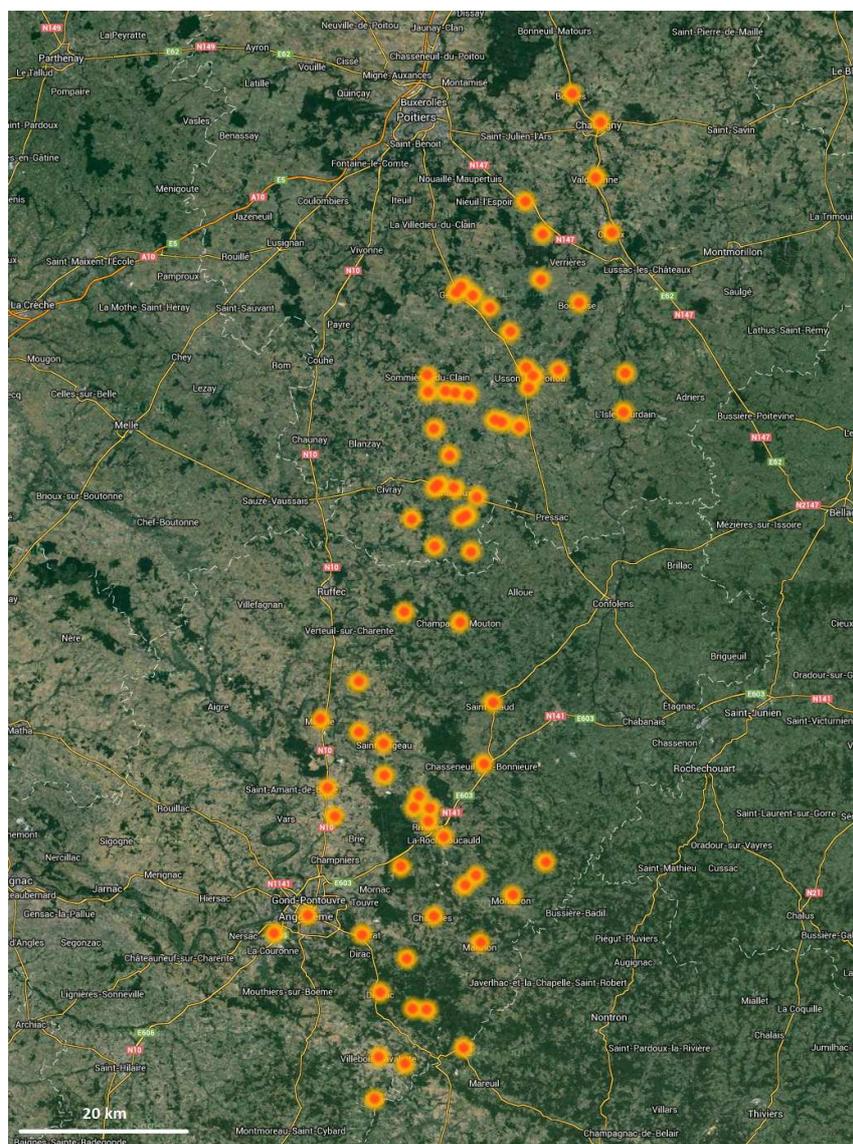
Fig 35 – Cartographie synthétique des dégâts relevés dans le département de la Vienne



4.5 Aperçu général de la répartition des dommages dans la portion la plus active du derecho

La carte de synthèse ci-dessous, qui couvre les départements de la Charente et de la Vienne, montre que les rafales de vent destructrices se sont abattues de manière généralisée et très étendue sur une grande partie de ces deux départements. Au sein de cette zone, il apparaît que les dommages présentent une sévérité qui s'accroît graduellement lorsque l'on se dirige vers sa partie centrale, qui est constituée d'un axe de vents extrêmes, d'une largeur voisine de 10 à 15 km. Au sein de cet axe, les dommages les plus sévères sont répartis de manière anarchique, ce qui caractérise typiquement les vents générés par les rafales descendantes.

A noter qu'aucune zone de dommages présentant des caractéristiques exclusivement tornadiques n'est identifiée. On ne peut donc considérer de manière objective et rigoureuse qu'une ou plusieurs tornades aient pu se développer dans cette zone. C'est la raison qui explique qu'aucun cas de tornade ne soit recensé pour cet épisode par KERAUNOS, en dépit de l'impression de « tornade » exprimée par de nombreux témoins et journalistes.



5. Synthèse sur les trois phases de cet épisode orageux

5.1 Tableau comparatif

Le tableau de synthèse ci-dessous récapitule les caractéristiques principales de chacun des trois MCS qui composent l'épisode orageux des 25 et 26 juillet 1983.

TABLEAU 1

paramètre	Episode 1 Nuit du 25 au 26/07	Episode 2 Matin du 26/07	Episode 3 Nuit du 26 au 27/07
Durée totale de l'épisode (France)	12 heures	6 heures	14 heures
Début et fin de l'épisode	du 25/07/1983 à 18h30 TU au 26/07/1983 à 06h30 TU	du 26/07/1983 à 04h00 TU au 26/07/1983 à 10h00 TU	du 25/07/1983 à 16h30 TU au 26/07/1983 à 06h30 TU
Superficie couverte par l'épisode (partie la plus active)	55.000 km ²	12.000 km ²	60.000 km ²
Trajectoire totale	700 km (du nord de la Gironde au Nord – Pas de Calais)	400 km (de l'Aquitaine au Centre)	900 km (des Pyrénées-Atlantiques au Nord – Pas de Calais)
Dont trajectoire du MCS	600 km	200 km	850 km
Largeur moyenne du couloir affectée par les pluies les plus intenses	75 km	30 km	65 km
Superficie couverte par les rafales destructrices	2.800 km ² (5% de la superficie totale)	-	8.600 km ² (14% de la superficie totale)
Trajectoire totale où des rafales destructrices ont été observées (parfois de manière discontinue)	200 km	-	450 km
Sens de déplacement du MCS	200° à 210°	220°	200°
Vitesse de déplacement	50 à 60 km/h	50 à 60 km/h	50 à 60 km/h
Nombre de décès	3	0	0
Nombre de communes déclarées sinistrées	200	23	600
Rafales maximales estimées	150 à 180 km/h	-	180 à 200 km/h

5.2 Comparaison entre les deux principaux M.C.S. de l'épisode

Même si les deux épisodes présentent de grandes similitudes (notamment en termes de superficie touchée), on note toutefois quelques disparités surtout liées à la structure, à l'intensité et à la durée de chaque MCS.

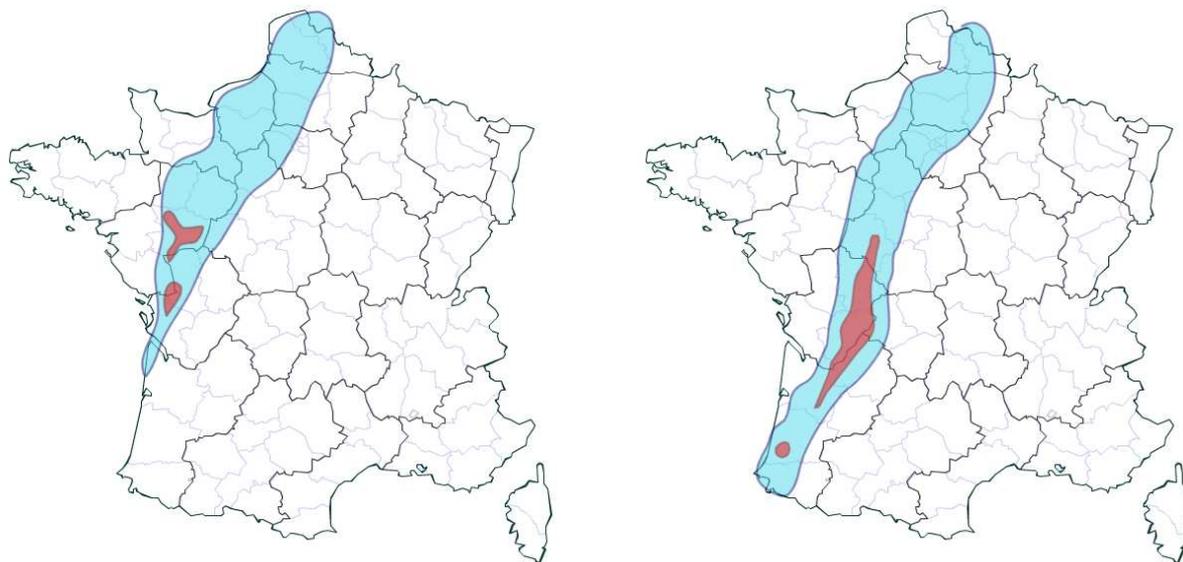


Fig 36 – Cartographie synthétique de la surface totale touchée par le MCS des 25 et 26 juillet 1983 (à gauche), et par le MCS des 26 et 27 juillet 1983 (à droite) – En bleu figurent les zones touchées par les précipitations, en rouge par des rafales destructrices

Dans le cas du 25 juillet 1983, le MCS connaît un développement explosif mais il peine à maintenir durablement une forte activité venteuse. Quelques rafales convectives de forte intensité sont encore mesurées à Rouen, Abbeville ou encore Boulogne-sur-Mer, mais sans commune mesure avec celles observées dans la phase d'intensité maximale du système orageux. Néanmoins, ce sont surtout les précipitations orageuses qui se distinguent par leur durée et leur ampleur sur une trajectoire totale de 700 km.

Pour le second épisode orageux majeur, le 26 juillet 1983, le MCS est encore plus actif et sa durée de vie est bien plus longue. Constamment régénéré, il conserve une intensité remarquable sur une trajectoire de près de 450 km. Les précipitations, intenses mais plus concentrées, se généralisent ensuite en perdant de leur sévérité, ce qui donne lieu à une trajectoire totale de 900 km. On note par ailleurs quelques rafales convectives isolément fortes en périphérie est du système orageux, notamment à Limoges et à Châteaudun, mais de manière anecdotique par rapport aux rafales enregistrées au cœur du MCS.



La carte ci-dessous présente enfin une superposition des deux événements. On note qu'une zone qui s'étire des confins du Centre et des Pays de la Loire jusqu'au département du Nord a subi consécutivement les effets des deux principaux MCS.

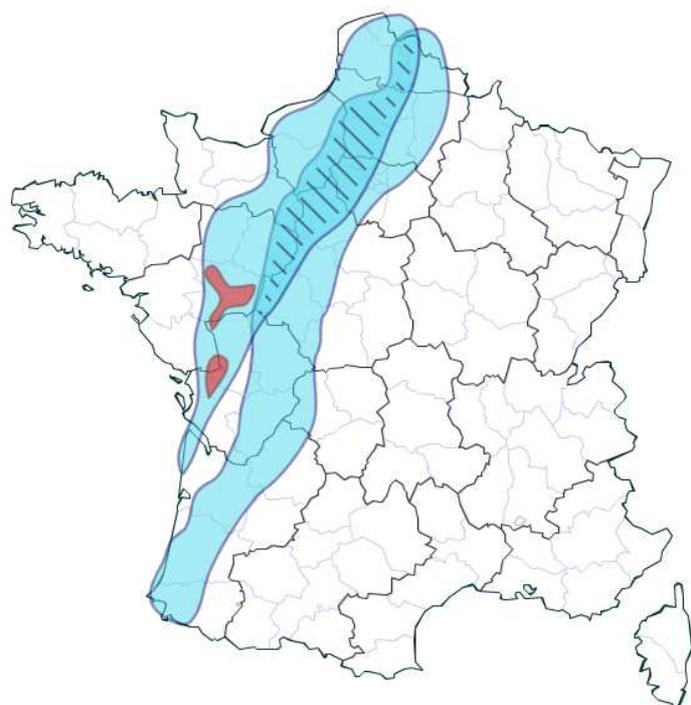


Fig 37 – Données cumulées pour la période des 25 au 27 juillet 1983

La zone hachurée correspond aux régions qui ont été touchées deux fois.

Comme l'ont illustré les pages qui précèdent, les dommages causés par ces orages se distinguent par leur sévérité. Afin de mieux éclaircir les raisons d'une telle catastrophe météorologique, une analyse détaillée des conditions météorologiques a été réalisée. Elle permet d'identifier une série de mécanismes qui se sont mis en phase pour donner lieu à une situation météorologique réellement explosive.

6. Etude du contexte météorologique

Cet épisode orageux destructeur, composé de trois salves convectives successives, s'est développé dans une situation météorologique qui s'est avérée particulièrement dynamique et extrêmement instable. L'étude des relevés météorologiques de l'époque et des réanalyses du NCEP/NCAR permet d'établir que la configuration générale qui a présidé à la formation de ces orages était de type « spanish plume ». Ce type de situation est connu pour générer des épisodes orageux parfois sévères sur l'Europe de l'Ouest, et les orages des 25 et 26 juillet 1983 le confirment.

6.1 Contexte général du mois de juillet 1983

6.1.1 Un flux de sud-ouest persistant

Un premier minimum d'altitude migre dans les premiers jours du mois de juillet 1983 depuis les Canaries vers la péninsule Ibérique. Il vient se positionner le 3 juillet à proximité du Portugal (ci-dessous à gauche). Au fil des jours qui suivent, il remonte vers la France puis gagne les îles Britanniques tout en se déstructurant. Le flux directeur est dès lors déjà orienté au secteur sud-ouest, et assure une remontée d'air tropical sur la France.

Ce premier minimum est immédiatement suivi par un deuxième cut-off, bien creusé et associé à une goutte froide pointée aux environs de -22°C à 500 hPa, qui vient se loger le 9 juillet au large de l'Espagne (ci-dessous à droite). Le flux, toujours au secteur sud-ouest à sud/sud-ouest, prend une courbure anticyclonique sur la France et dirige sur l'ouest de l'Europe une masse d'air tout droit venue d'Afrique du Nord.

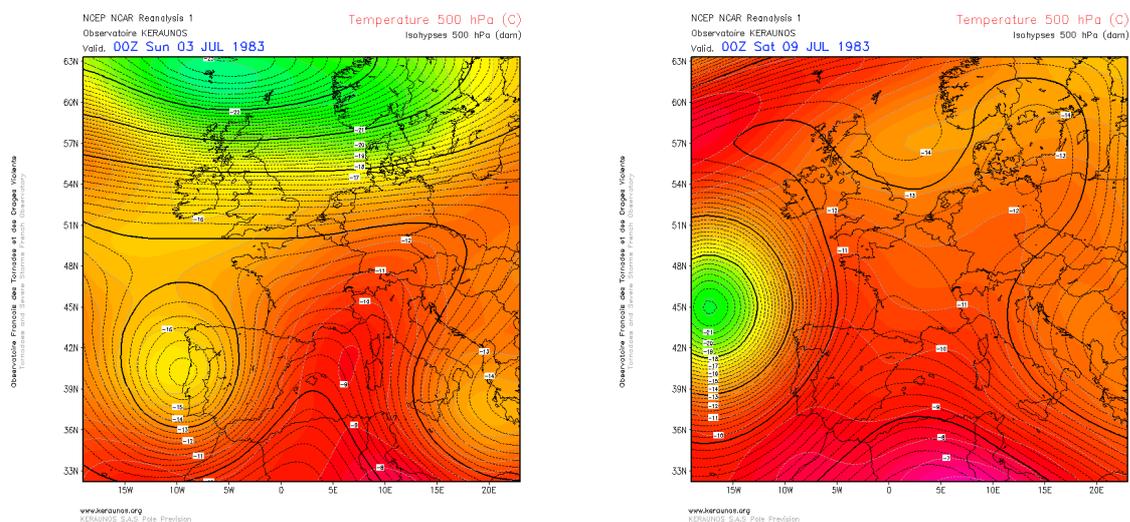


Fig. 38 et 39 : Isohypses et température à 500 hPa, le 3 juillet à 00Z (à gauche) et le 9 juillet à 00Z (à droite).



La situation demeure bloquée durant les jours qui suivent. Le 12 juillet, le minimum d'altitude n'a presque pas bougé et reste positionné sur le proche Atlantique (ci-dessous à gauche). Trois jours plus tard, le 15 juillet, la situation est quasi identique (ci-dessous à droite). Cette configuration de blocage induit la persistance de remontées d'air très chaud, humide et fortement instable sur la France.

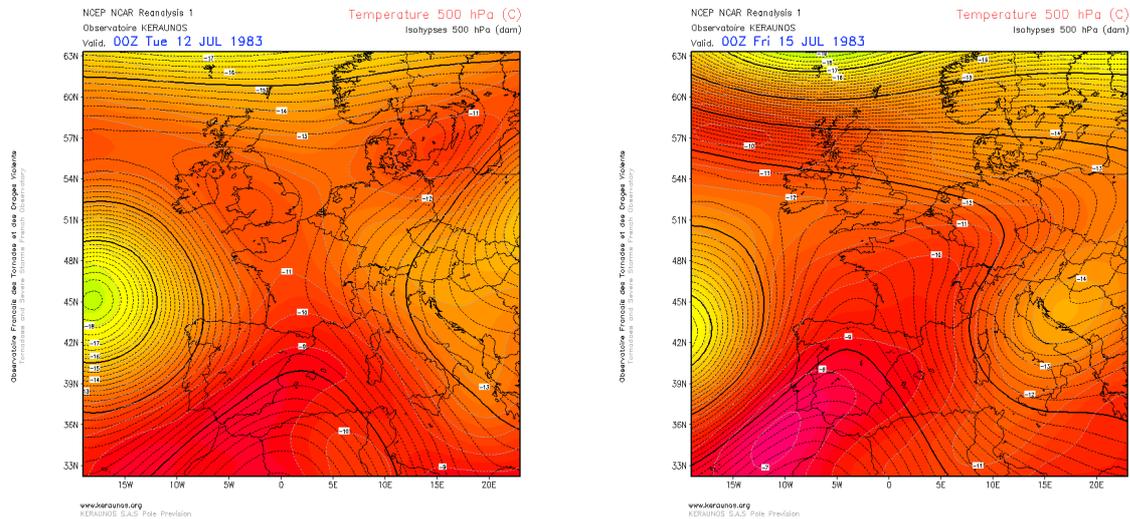


Fig. 40 et 41 : Isohypses et température à 500 hPa, le 12 juillet à 00Z (à gauche) et le 15 juillet à 00Z (à droite).

Le cut-off finit par se rapprocher de nouveau de l'Europe et progresse en direction du Portugal le 19 juillet. Le flux de sud-ouest s'accélère alors sur la France et prend graduellement une courbure plus cyclonique. Un temps très orageux prédomine sur le pays, tandis que le minimum, toujours très peu mobile, migre lentement au nord du Cap Finistère le 22 juillet.

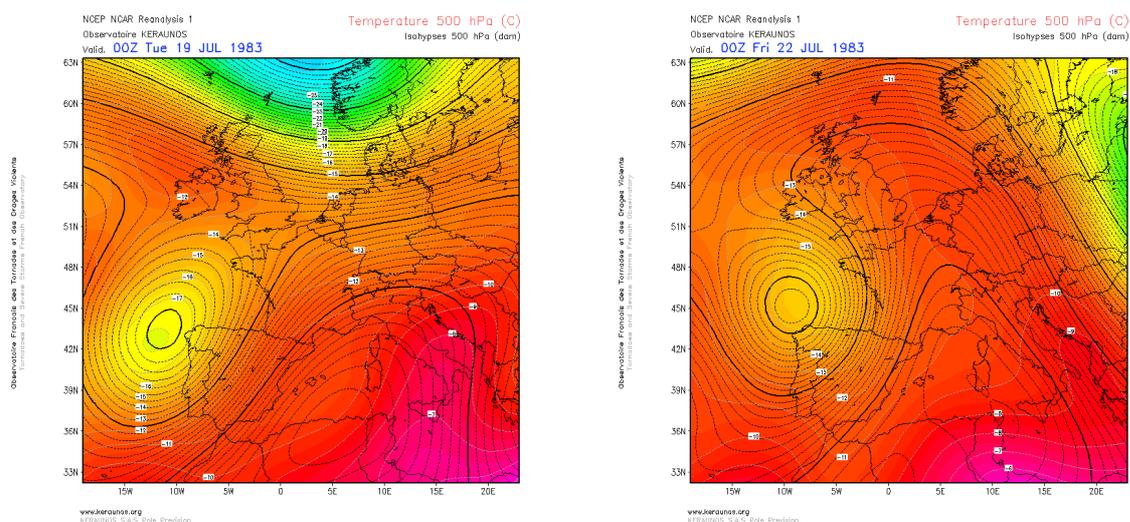


Fig. 42 et 43 : Isohypses et température à 500 hPa, le 19 juillet à 00Z (à gauche) et le 22 juillet à 00Z (à droite).



Les 23 et 24 juillet, le minimum d'altitude remonte en direction de la Bretagne puis gagne le sud de l'Angleterre. Il est suivi par l'isolement d'un nouveau cut-off, qui se décroche en quelques heures au nord du Portugal.

Nous sommes alors à l'aube du lundi 25 juillet, et l'épisode orageux qui nous intéresse va débuter dans quelques heures. Le flux s'accélère de nouveau sur la France, reprend une composante sud-ouest à sud/sud-ouest et devient rapidement très cyclonique. Les ingrédients propices à une dégradation orageuse sévère sont en place.

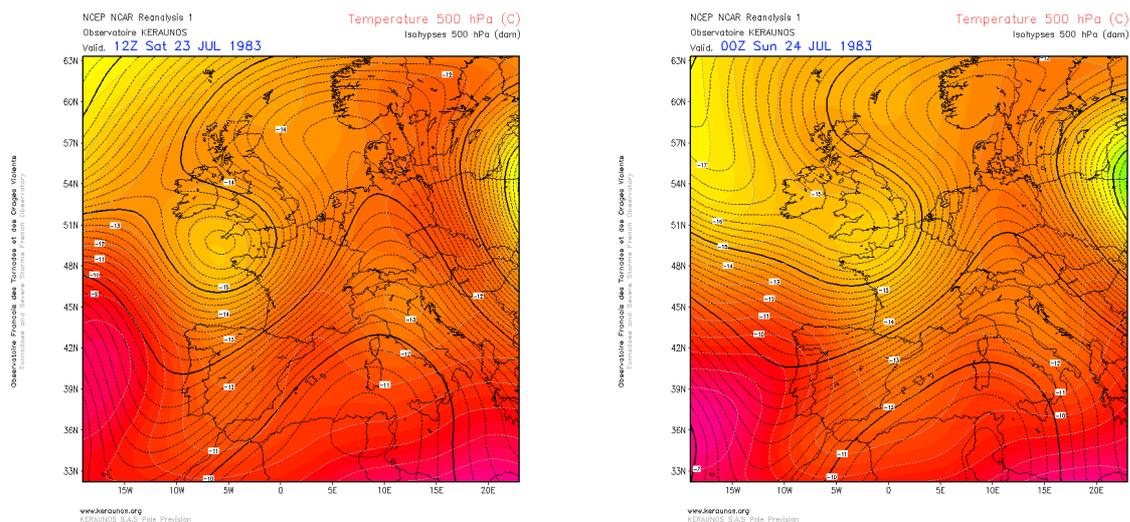


Fig. 44 et 45 : Isohypes et température à 500 hPa, le 23 juillet à 12Z (à gauche) et le 24 juillet à 00Z (à droite).

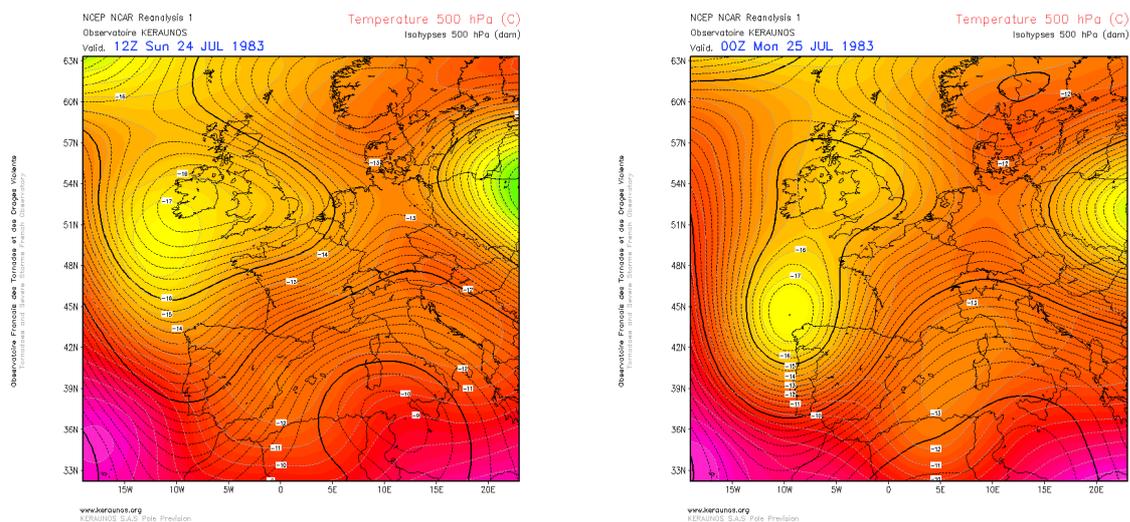


Fig. 46 et 47 : Isohypes et température à 500 hPa, le 24 juillet à 12Z (à gauche) et le 25 juillet à 00Z (à droite).

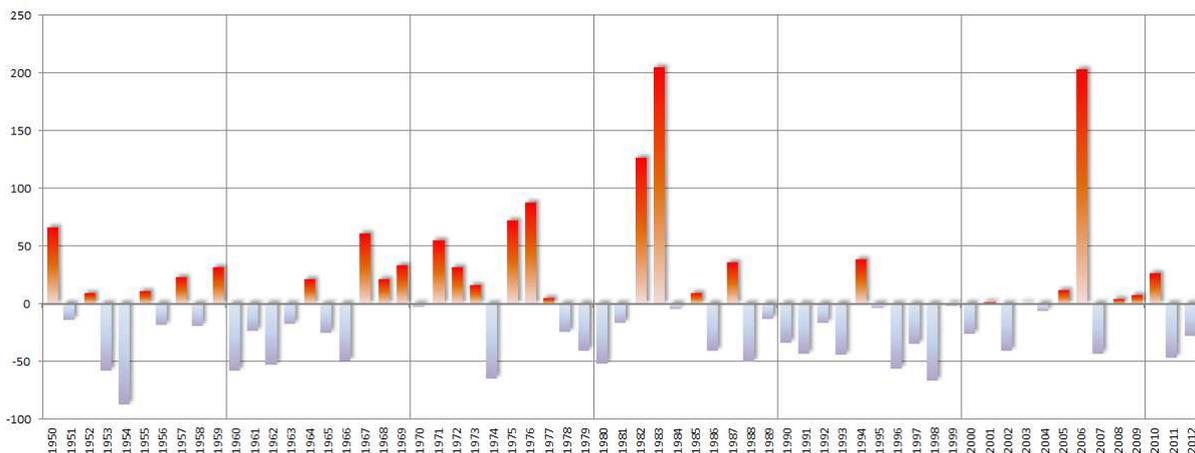


6.1.2 Le mois de juillet le plus instable depuis plus de 60 ans

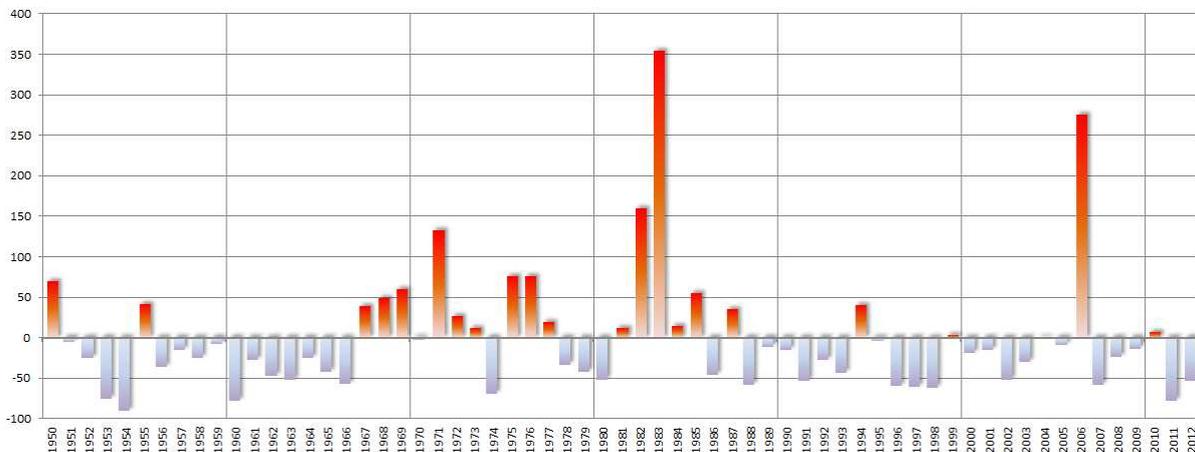
Ce flux de sud-ouest persistant a eu pour conséquence de faire de ce mois de juillet 1983 l'un des plus chauds qu'ait connu la France au cours de ces 60 dernières années, et surtout le plus instable depuis le début des années 1950. La carte ci-contre présente le rapport à la normale de la MUCAPE moyenne du mois de juillet 1983. La MUCAPE (pour *Most Unstable Convective Available Potential Energy*) constitue l'une des mesures les plus précises de l'instabilité latente présente dans l'atmosphère. On remarque un excédent exceptionnel sur une grande moitié ouest du pays durant ce mois.



Le graphique ci-dessous présente l'écart à la normale (exprimé en %) de la MUCAPE moyenne mensuelle pour l'ensemble de la France, pour tous les mois de juillet depuis 1950. Juillet 1983 se place bien en première position, avec une MUCAPE moyenne en excès de 200% (soit une valeur 3 fois supérieure à la normale), dépassant de peu le score observé durant le mois de juillet 2006.



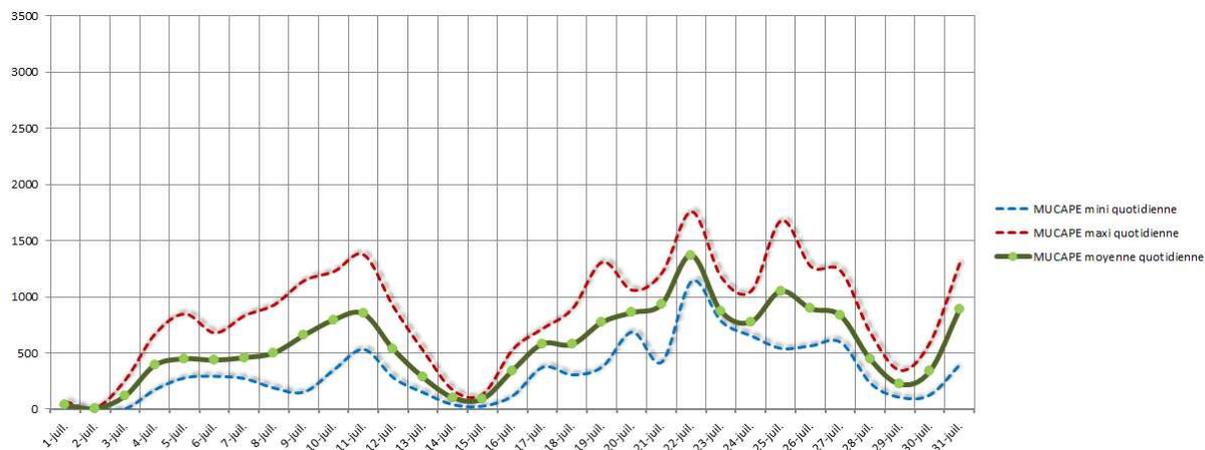
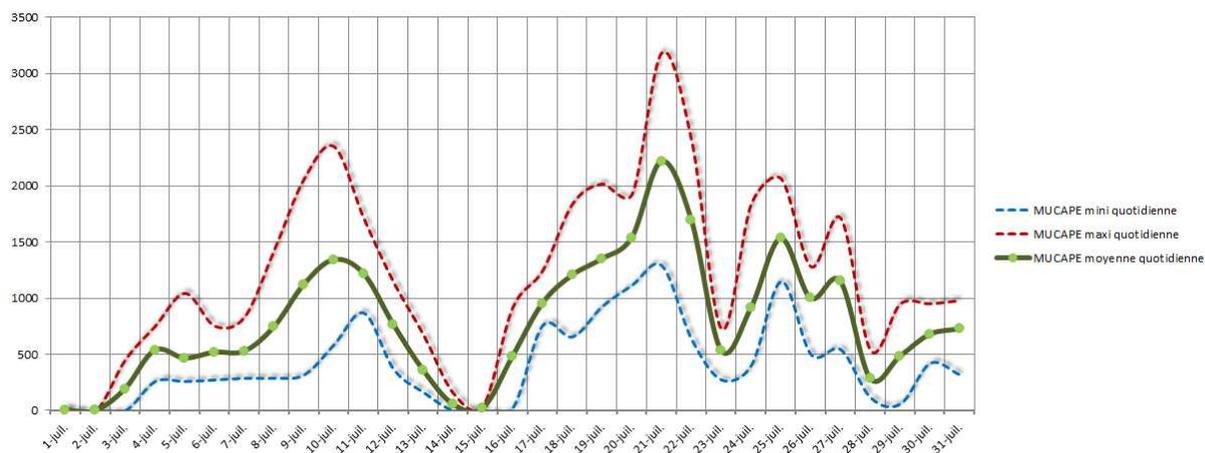
Si l'on considère uniquement la région Poitou-Charentes, l'anomalie de juillet 1983 est encore plus marquée (> 350%) et se distingue de très loin comme la plus forte sur cette période de 60 ans :





Si l'on analyse l'évolution quotidienne de l'instabilité durant ce mois de juillet 1983, on note que la MUCAPE a été très régulièrement élevée durant tout le mois, autant sur la région Poitou-Charentes (graphique du haut) que sur l'ensemble du pays (moyenne de toutes les régions françaises sur le graphique du bas).

Seuls les 1^{er}, 2, 14 et 15 juillet présentent des conditions stables. A l'inverse, plusieurs pics de très forte instabilité se distinguent. Ils correspondent à des épisodes orageux parfois sévères, comme celui du 18 juillet notamment. Ce jour-là, des grêlons de 5 cm de diamètre s'abattent sur Nantes, et une tornade d'intensité EF3 frappe Vendays-Montalivet, faisant un mort et de nombreux blessés.



Il apparaît ainsi que l'épisode orageux extrême des 25 et 26 juillet 1983 constitue en quelque sorte le point culminant d'un mois exceptionnellement instable sur l'ensemble du pays, ponctué par plusieurs épisodes orageux violents.

Les analyses qui suivent vont désormais détailler les conditions météorologiques qui prévalaient durant les journées des 25 et 26 juillet, le but étant de déterminer quels mécanismes ont été en mesure de forcer le déclenchement de ces orages et quel type d'environnement a permis la genèse de phénomènes convectifs d'une sévérité aussi extrême.



6.2 Méthodologie

L'analyse détaillée des conditions météorologiques associées à cet épisode orageux a nécessité l'usage de moyens d'investigations multiples.

La référence première est constituée par les relevés des stations météorologiques de l'époque, en l'occurrence celles situées au sol, ainsi que celles qui sont embarquées en altitude via ballon-sonde. Ces mesures directes permettent notamment de reconstituer précisément les conditions de surface sur la majeure partie du territoire européen, que ce soit la température, l'humidité, le vent et la pression. Les relevés de nébulosité viennent par ailleurs compléter utilement les images satellite.

Les mesures en altitude sont en revanche beaucoup plus parcellaires. Réalisées par ballon-sonde, ces mesures ne sont disponibles qu'au zénith de Bordeaux, Brest, Trappes, Nancy, Lyon et Nîmes, et uniquement une fois toutes les douze heures. Même si elles sont essentielles pour valider la pertinence de la modélisation, ces données d'altitude sont insuffisantes pour reconstituer les mécanismes atmosphériques complexes qui sont à l'œuvre lors des dégradations orageuses sévères, d'autant que ceux-ci font interagir des éléments d'échelle synoptique avec des éléments de méso-échelle.

L'usage d'une modélisation numérique a donc été nécessaire pour identifier les ressorts de cet épisode orageux. Pour ce faire, deux types de modélisation ont été utilisés :

- D'une part, les réanalyses du NCEP/NCAR, qui reconstituent les conditions météorologiques, par intervalles de 6 heures, au sol comme en altitude, via une modélisation qui extrapole les données d'observations de l'époque sur une grille de résolution 2,5° (environ 250 km). Ces réanalyses sont essentielles à une compréhension de la dynamique atmosphérique à échelle synoptique.
- D'autre part, des « reforecast » réalisés avec le modèle WRF (cœur NMM), sur des finesses de maille allant de la moyenne résolution (30 km) à la haute résolution (5 km). Plus de 20 runs ont été nécessaires pour reconstituer cet épisode de deux jours, en initialisant le modèle sur les données de réanalyse pré-citées. La faible résolution de ces données d'initialisation induit parfois quelques biais sur certains runs. Néanmoins, même si le système orageux du soir du 26 juillet est reproduit avec environ deux heures de retard sur la réalité et avec une trajectoire légèrement trop déviée vers l'est durant la seconde partie de son cycle de vie, il est intéressant de remarquer que WRF-NMM parvient à modéliser de manière très réaliste les déclenchements convectifs violents qui ont été observés durant ces deux journées.

Même si les résultats fournis par ces modélisations sont analysés ici avec les réserves d'usage, cette approche se révèle essentielle à une compréhension fine des mécanismes à l'œuvre et à l'identification des facteurs qui permettent d'expliquer les caractéristiques principales de cet épisode orageux, que ce soit dans son organisation (MCS, sous-structures linéaires, etc.) ou dans la nature des phénomènes générés (rafales de vent, grêle et très fortes pluies).

6.3 Journée et soirée du 25 juillet 1983

6.3.1 Une configuration de type « spanish plume » très dynamique

Comme on l'a vu plus haut, la journée du 25 juillet 1983 voit un minimum d'altitude s'isoler sur le Portugal dès le début de matinée. Le modèle WRF simule clairement un cut-off en cours de constitution sur le flanc occidental de la péninsule Ibérique à 06h TU (08h locales). Ce minimum devient mature en soirée, en entrant en phase avec une goutte froide, pointée à -16°C à 500 hPa. En réponse, une dorsale renforce ses positions de la Tunisie à l'Allemagne, où elle interagit avec des hauts géopotentiels calés sur la Scandinavie.

Cette configuration, composée d'un minimum d'altitude à proximité du Portugal et de hauts géopotentiels entre Europe Centrale et Scandinavie, se désigne communément sous l'appellation « spanish plume ». Elle a pour particularité d'être propice aux épisodes orageux sévères sur l'ouest de l'Europe.

Cette particularité tient d'une part au fait qu'une configuration de ce type assure de fortes remontées d'air subtropical très chaud en provenance d'Afrique du Nord jusque sur la France et l'Angleterre. La masse d'air est alors généralement bien humidifiée en basses couches par son survol de la Méditerranée, et favorablement asséchée à l'étage moyen par le franchissement des Pyrénées, notamment sur une grande moitié ouest de la France. Les profils verticaux qui en résultent superposent ainsi de l'air très chaud et humide près du sol, et de l'air plus sec et à fort gradient thermique vertical à l'étage moyen, ce qui les rend fortement instables et propices à des déclenchements de convection à la fois profonds et sévères.

D'autre part, cette configuration est fréquemment très dynamique dans la mesure où elle permet la circulation de thalwegs secondaires sur la France, avec des advections froides en altitude et la présence toute proche du courant-jet.

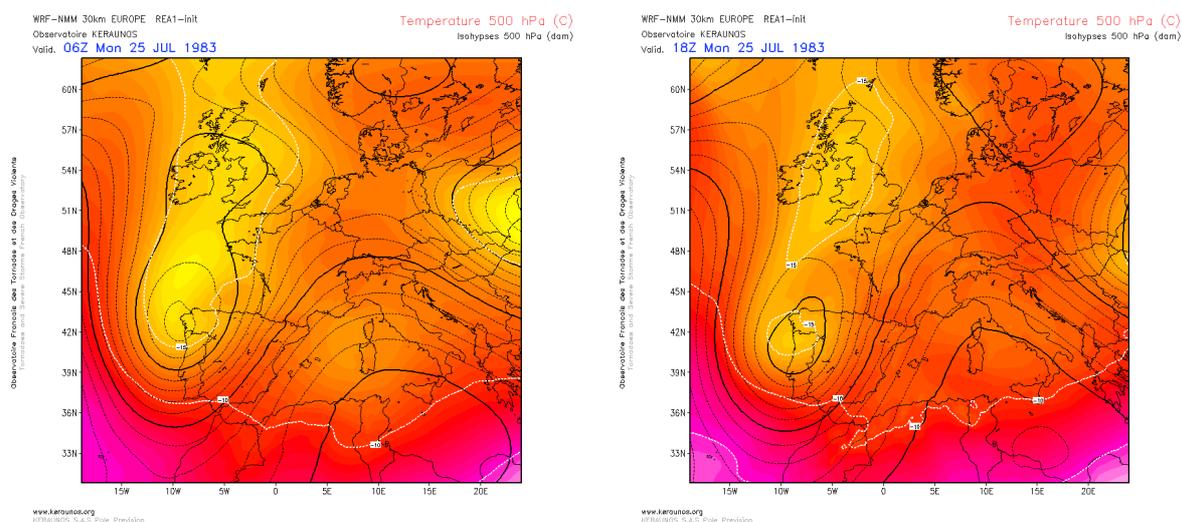


Fig. 48 et 49 : Isohypses et température à 500 hPa, le 25 juillet à 06Z (à gauche) et à 18Z (à droite).



La situation du 25 juillet en soirée ne déroge pas à la règle et c'est ainsi une configuration très dynamique qui se met en place en fin de journée. La modélisation réalisée avec WRF-NMM en résolution 30 km met en évidence la circulation d'une anomalie basse de tropopause dynamique, qui remonte en soirée depuis les Cantabriques en direction des Pays de la Loire (Fig. 50). L'interaction avec le courant-jet provoque une cassure de ce dernier (Fig. 51) et une forte diffluence en haute troposphère, dont le noyau le plus intense remonte vers le nord en suivant les côtes de l'Aquitaine, avant de progresser vers les Pays-de-la-Loire. Le soulèvement dynamique est donc intense sur ces régions en fin de soirée et début de nuit.

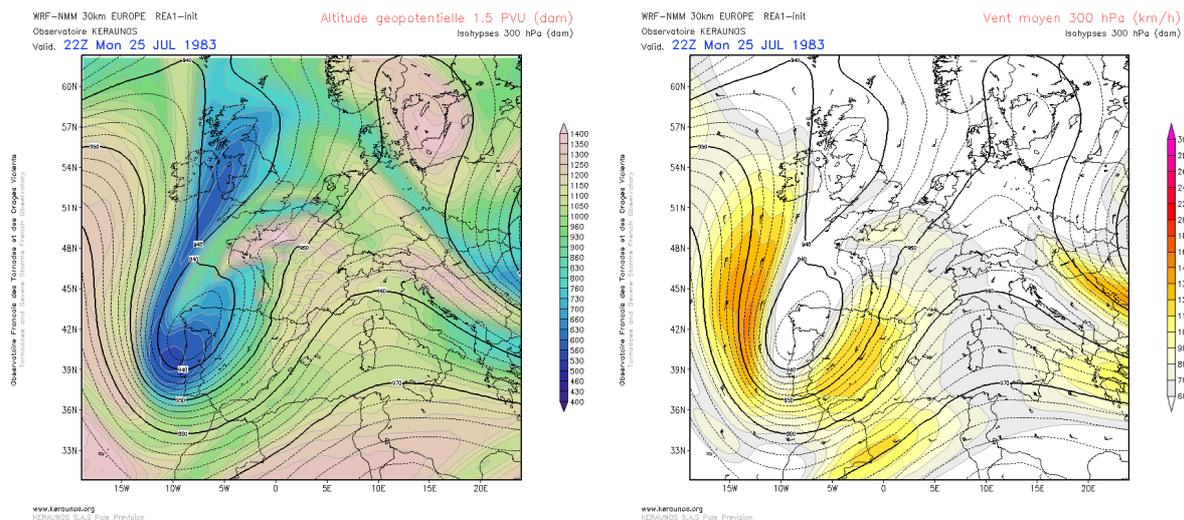


Fig. 50 et 51 : Altitude géopotentielle 1,5 PVU, le 25 juillet à 22Z (à gauche) et vent à 300 hPa (à droite).

Ce contexte d'altitude propice aux mouvements verticaux est relayé au niveau du sol par la formation d'un minimum dépressionnaire, qui assure une forte convergence humide dans les basses couches sur l'ouest de la France. La convection devient particulièrement intense ce soir-là sur le flanc nord de cette dépression, là où la dynamique de basses couches et celle d'altitude entrent en phase.

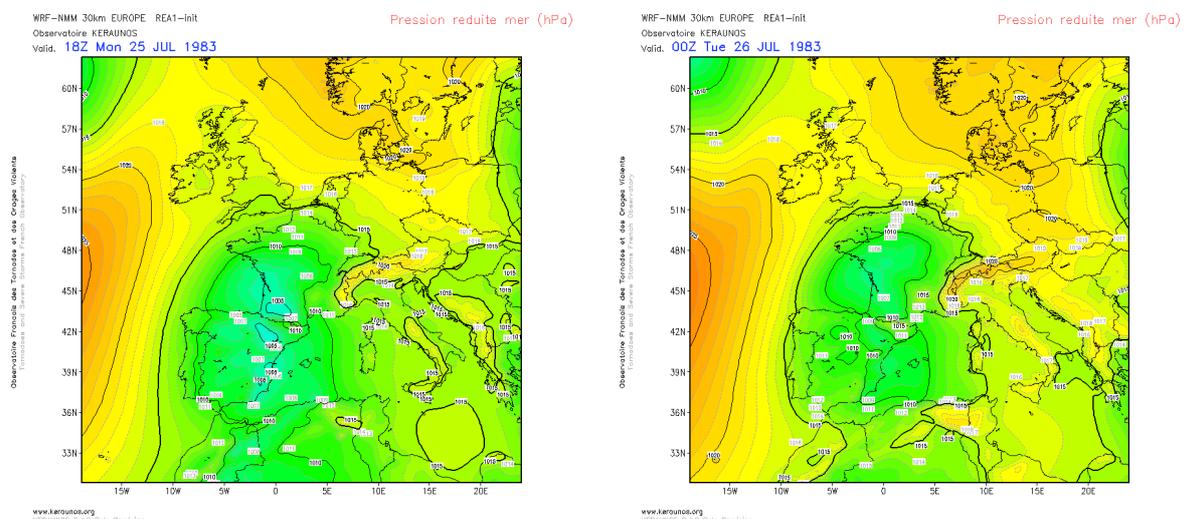


Fig. 52 et 53 : Pression réduite au niveau de la mer, le 25 juillet à 18Z (à gauche) et le 26 à 00Z (à droite).



6.3.2 Un environnement propice à des orages à la fois très pluvieux et très venteux

Outre cette dynamique forte et bien phasée, la virulence du M.C.S. s'explique par un environnement dont les caractéristiques thermiques et hygrométriques se sont avérées propices aux phénomènes convectifs violents.

De fait, les basses couches bénéficient en cette soirée du 25 juillet d'un échauffement très prononcé, dont témoignent notamment les températures à 850 hPa (vers 1.500 mètres d'altitude), qui dépassent souvent 20°C au sud de la Loire et atteignent même 25°C près des littoraux méditerranéens (Fig. 54 et 55). Cette masse d'air très chaude, directement advectée depuis l'Afrique du Nord, est également très humide ce soir-là, notamment de l'Aquitaine au Centre. Cela se traduit sur cet axe par des valeurs de $\Theta'w$ qui dépassent 20°C à 850 hPa, avec des pointes jusqu'à 23 voire 24°C (Fig. 56 et 57). De telles valeurs sont peu fréquentes et se rencontrent plus habituellement aux latitudes tropicales.

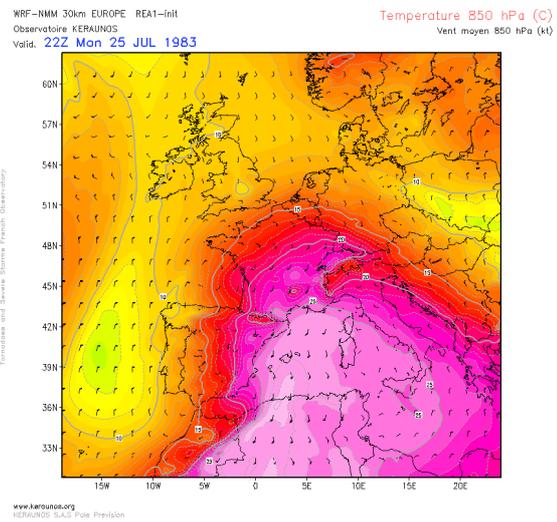
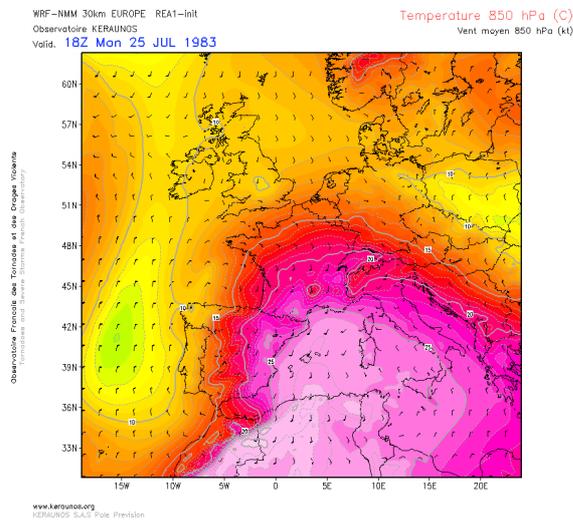


Fig. 54 et 55 : Température à 850 hPa, le 25 juillet à 18Z (à gauche) et à 22Z (à droite).

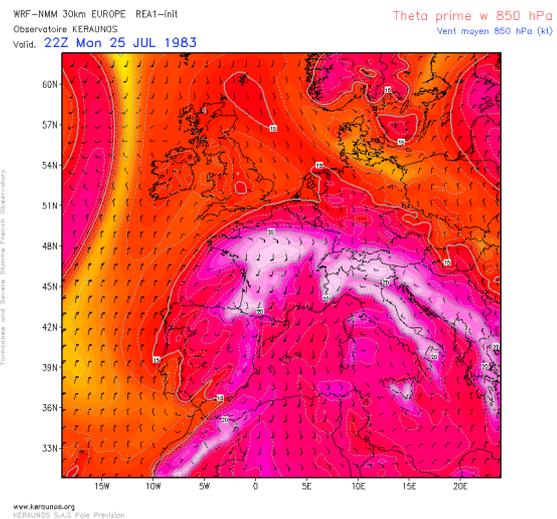
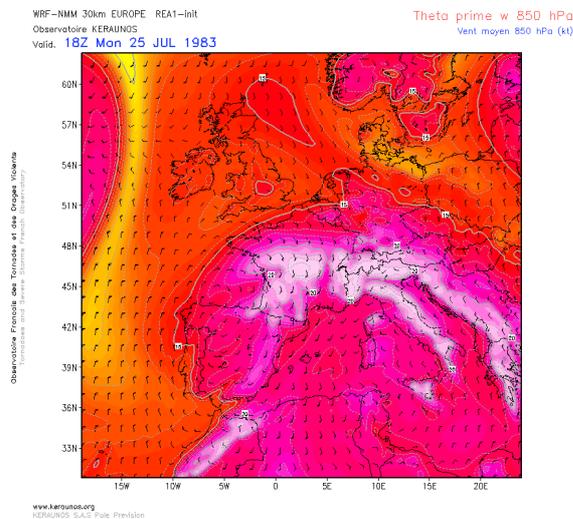


Fig. 56 et 57 : $\Theta'w$ à 850 hPa, le 25 juillet à 18Z (à gauche) et à 22Z (à droite).



Cet environnement très chaud et très humide en basses couches génère une instabilité latente particulièrement forte. L'environnement pré-orageux présente ainsi une MUCAPE qui oscille entre 3.000 et 5.500 J/kg dans la simulation de WRF-NMM en soirée. En cours de nuit, le MCS progresse au sein de profils verticaux qui restent très instables, avec une MUCAPE souvent supérieure à 1.500 J/kg. Les indices de soulèvement sont très abaissés, avec des pointes jusqu'à -14 K en soirée, et des valeurs qui demeurent entre -6 et -8 K durant la nuit sur les régions balayées par le MCS.

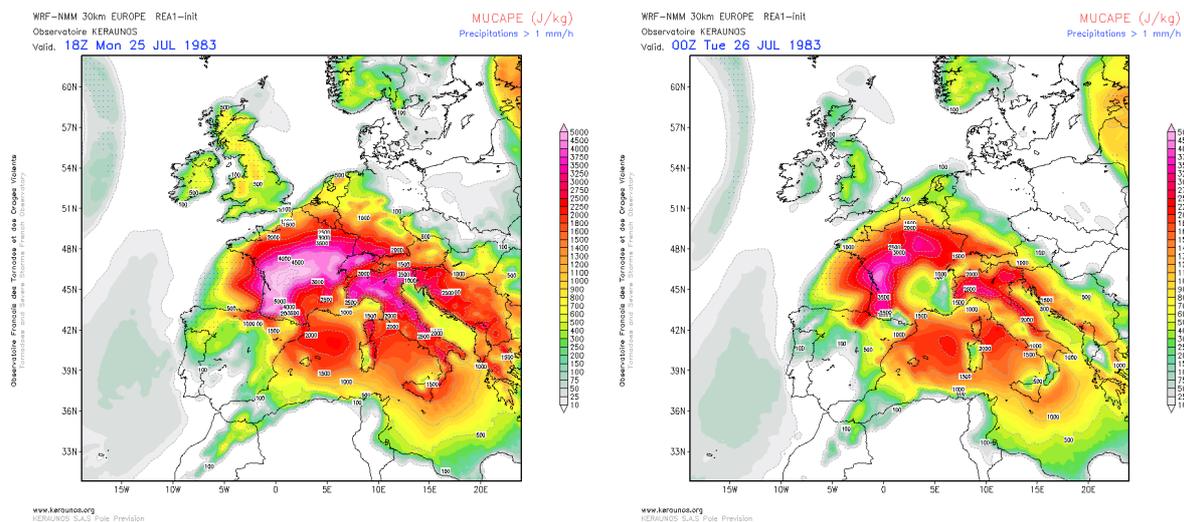


Fig. 58 et 59 : MUCAPE, le 25 juillet à 18Z (à gauche) et le 26 juillet à 00Z (à droite).

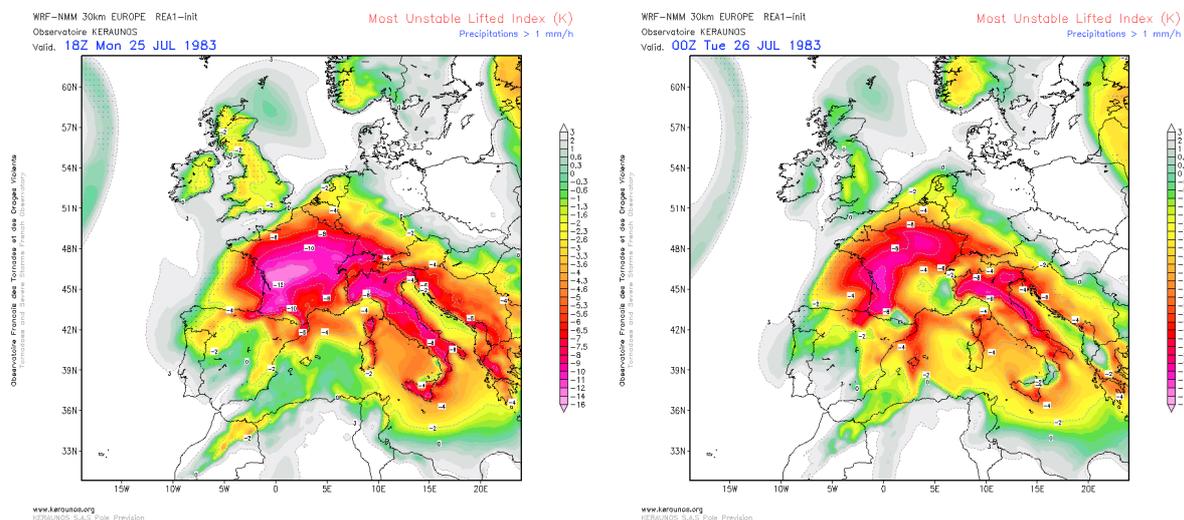


Fig. 60 et 61 : MULI, le 25 juillet à 18Z (à gauche) et le 26 juillet à 00Z (à droite).

Il est intéressant de noter que l'activité pluvieuse a été favorisée par la présence d'une langue de très fortes valeurs d'eau précipitable dans la zone d'alimentation du système orageux. Le modèle identifie ainsi un axe de valeurs supérieures à 45 mm sur le Poitou-Charentes, qui remonte en cours de nuit vers les Pays-de-la-Loire puis le Centre. Cet afflux très humide est en outre immédiatement suivi par des advections d'air sec à l'étage moyen, comme le suggère la modélisation de l'humidité relative à l'altitude géopotentielle 700 hPa (vers 3.000 mètres d'altitude). On y note une entaille très nette dans la zone post-orageuse, ce qui constitue un élément favorable au déclenchement de très



fortes rafales sous orages, par accentuation de l'évaporation au sein des courants descendants. Ces derniers gagnent ainsi en densité et conséquemment en virulence. Les profils verticaux pré-orageux et post-orageux présentent par ailleurs de fortes valeurs de DCAPE (Downdraft CAPE, qui évalue au sein d'un profil vertical la flottabilité négative potentielle susceptible d'être exploitée par les courants descendants). Ceci témoigne d'un environnement tout particulièrement propice à la production de fortes rafales descendantes.

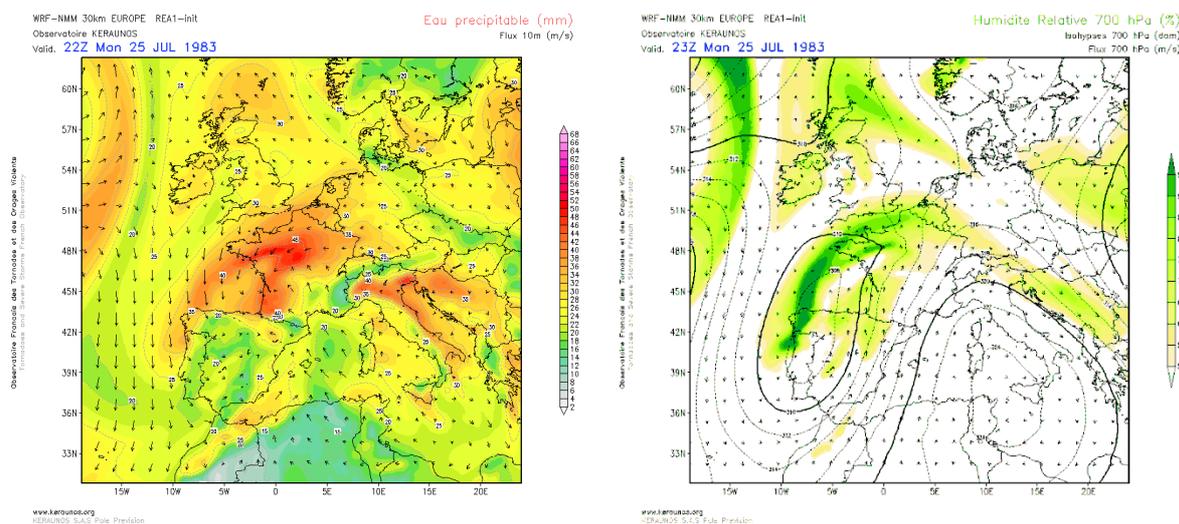


Fig. 62 et 63 : eau précipitable, le 25 juillet à 22Z (à gauche) et humidité à 700 hPa à 23Z (à droite).

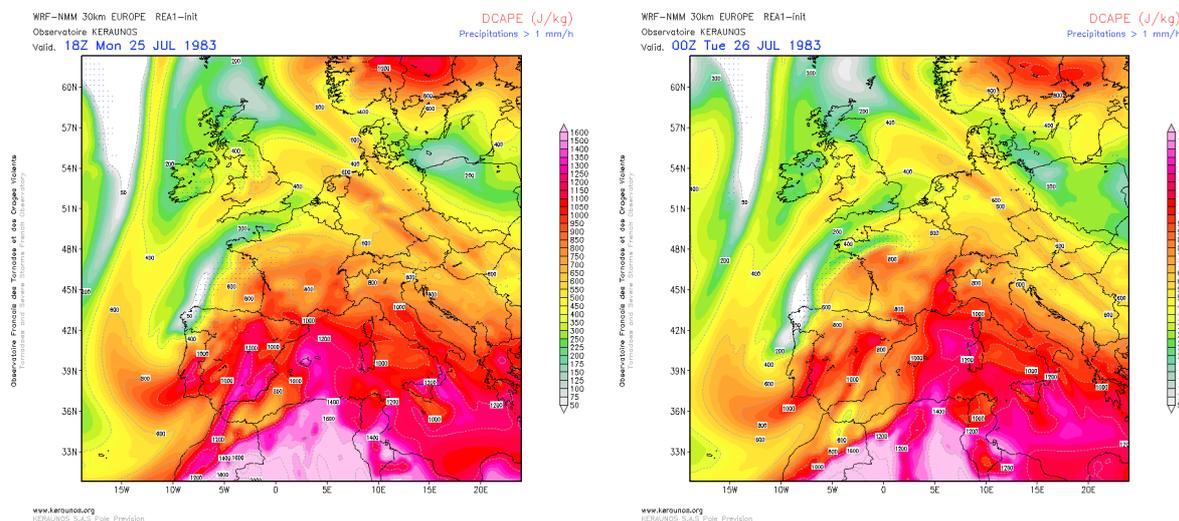


Fig. 64 et 65 : DCAPE, le 25 juillet à 18Z (à gauche) et le 26 juillet à 00Z (à droite).

Ces différentes caractéristiques simulées par le « reforecast » de WRF-NMM sont cohérentes avec les profils réalisés sur la base des radiosondages réels effectués en milieu de journée du 25 juillet 1983 à Bordeaux, Brest, Trappes et Nancy. Une synthèse en est fournie dans le tableau 2 ci-après.

On note des profils fortement instables, avec forts contenus en eau précipitable, DCAPE élevée et cisaillements profonds marqués, ce qui confirme la pertinence du scénario modélisé par WRF.

TABLEAU 2 : Analyse des radiosondages du lundi 25 juillet 1983 à 14h locales

La gamme de couleurs indique si la valeur indiquée est considérée comme faible (vert), modérée (orange) ou élevée (rouge). La couleur blanche indique une valeur non significative ou non propice.

paramètre	unités	Bordeaux	Brest	Trappes	Nancy
Altitude de la tropopause	mètres	11.710	10.9111	11.784	11.860
Altitude de l'isotherme 0°C	mètres	3.919	3.207	3.336	3.804
Niveau d'équilibre	mètres	11.775	-	9.917	11.797
Altitude du L.C.L.	mètres	1.019	354	334	1.268
Eau précipitable	mm	35,1	32,4	37,6	33,7
INSTABILITE					
KO Index	-	-6,2	1,1	-8,8	-7,9
K Index	-	28,7	27,8	32,4	28,5
MULI	K	-6,0	4,0	-2,0	-5,0
MLLI	K	-2,0	4,0	0,0	-2,0
MUCAPE	J/kg	1.327	0	719	1.298
MLCAPE	J/kg	206	0	170	443
MUCIN	J/kg	-153	0	-138	-27
DCAPE	J/kg	985	4	242	848
CISAILLEMENTS ET HELICITE					
Cisaillements 0-6 km	m/s	26,8	9,8	20,1	-
S.R.H. 0-500 m	m ² /s ²	1	0	-	-
S.R.H. 0-1 km	m ² /s ²	2	0	-	-
S.R.H. 0-2 km	m ² /s ²	50	32	-	-
S.R.H. 0-3 km	m ² /s ²	52	52	-	-
INDICES COMPOSITES					
Supercell Composite Parameter	-	1,8	0	-	-
Significant Tornado Parameter	-	0,01	0	-	-

6.4 Matinée du 26 juillet 1983

Tandis que le puissant MCS de la nuit évacue la France par le Nord-Pas de Calais, une nouvelle perturbation de haute troposphère se forme déjà dans le golfe de Gascogne. Elle progresse à l'aube sur l'Aquitaine et vient forcer de nouveau la convection. Cette perturbation est perçue par le modèle WRF sous la forme d'une petite anomalie secondaire sur le champ d'altitude géopotentielle de la 1,5 PVU. Ce forçage se présente par ailleurs en sortie gauche de la branche de courant-jet qui s'étire au même moment de l'Andalousie à la France. C'est ainsi une configuration d'altitude dynamique et fortement divergente qui se constitue de nouveau en fin de nuit du 25 au 26 juillet.

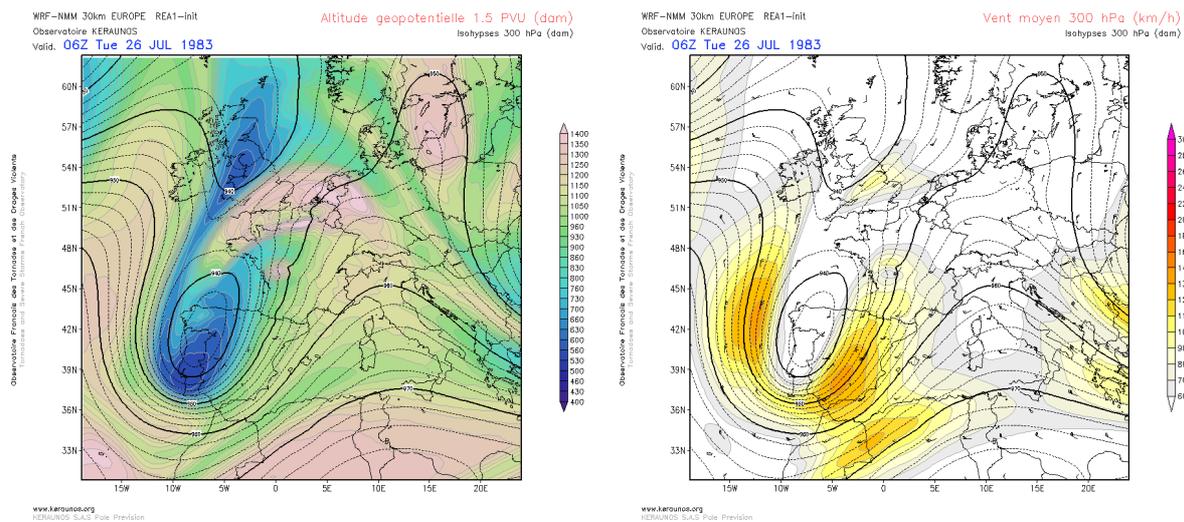


Fig. 66 et 67 : Altitude géopotentielle 1,5 PVU, le 26 juillet à 06Z (à gauche) et vent à 300 hPa (à droite).

Malgré les orages de la nuit, la masse d'air en présence demeure chaude et fortement humidifiée en basses couches, comme en témoigne la langue de fortes valeurs de $\Theta'w$ qui s'étire à 850 hPa de l'Aquitaine jusqu'aux Ardennes à 06h TU. Cet air chaud et humide est surplombé au même moment par des gradients thermiques verticaux qui se resserrent sensiblement à l'étage moyen. Le modèle WRF identifie en effet un petit axe de forts gradients qui balaie l'Aquitaine et le Poitou-Charentes en fin de nuit et début de matinée.

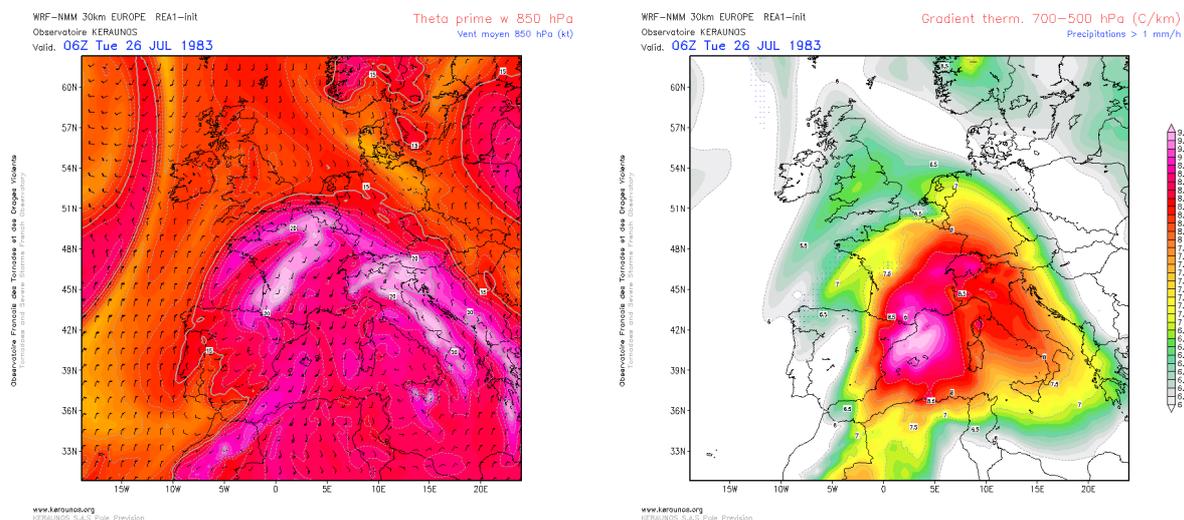


Fig. 68 et 69 : $\Theta'w$ à 850 hPa, le 26 juillet à 06Z (à gauche) et gradient thermique vertical à étage moyen (à droite).



Cette conjonction induit des gradients verticaux de température potentielle très resserrés dans le sud-ouest de la France, et par conséquent une instabilité remarquablement forte pour un début de matinée. En l'occurrence, les valeurs de MUCAPE simulées par le modèle atteignent 3.000 J/kg sur la Charente et les Deux-Sèvres. L'étage moyen est exceptionnellement instable : l'indice de Showalter présente ainsi des valeurs qui s'abaissent jusqu'à -6 K sur ces mêmes départements, et même jusqu'à -8 K à proximité de la Dordogne.

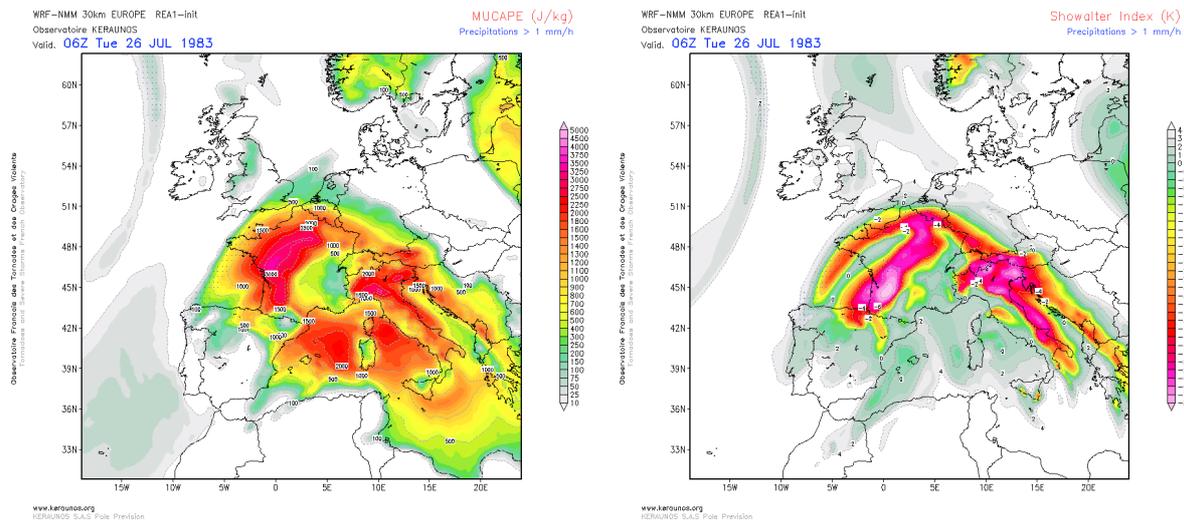
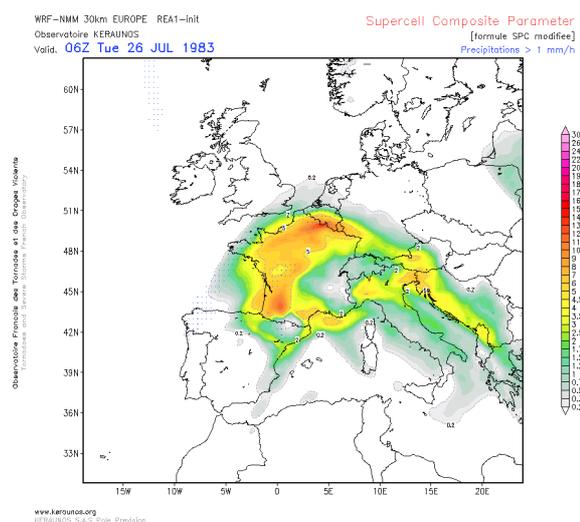


Fig. 70, 71 et 72 (ci-dessous à droite) : MUCAPE, indice de Showalter et SCP le 26 juillet 1983 à 06Z.

Les orages qui se forment ainsi aux alentours de 03h locales, entre le golfe de Gascogne et l'Aquitaine, bénéficient d'une dynamique et d'une instabilité tout à fait propices à une évolution sévère, et ce malgré l'absence d'échauffement diurne et malgré le passage sur les mêmes régions d'orages violents quelques heures plus tôt.

Les premiers développements orageux qui s'opèrent près des Pyrénées en milieu de nuit sont ainsi suivis par une multitude de déclenchements de convection entre le golfe de Gascogne, l'Aquitaine et Poitou-Charentes à partir de 05h locales, au plus près des forçages d'altitude. A la faveur de cisaillements profonds très marqués (20 à 25 m/s sur l'épaisseur 0-6 km) et d'une instabilité latente particulièrement forte, ces orages s'organisent probablement sous forme supercellulaire dans un premier temps (fortes valeurs de SCP ; cf. Fig. XXX), provoquent des pluies intenses et de fortes chutes de grêle, puis évoluent progressivement en un MCS actif, qui s'évacue ensuite en direction du Centre en cours de matinée.



6.5 Soirée du 26 juillet 1983 et nuit suivante

Cette seconde salve orageuse matinale a précédé d'une douzaine d'heures la troisième offensive convective, qui s'est avérée, on l'a vu, d'une intensité localement extrême, avec constitution d'un vaste MCS d'une intensité remarquable, producteur d'un derecho intense.

L'analyse réalisée à partir des observations météorologiques de l'époque et de la simulation numérique effectuée à l'appui du modèle WRF-NMM permet d'identifier de manière précise les mécanismes à l'œuvre. Il apparaît notamment que les conditions qui ont présidé à la formation de ce système convectif se distinguent par une dynamique très forte, autant à échelle synoptique qu'à méso-échelle, et par la présence d'un environnement pré-orageux particulièrement instable et très propice à des phénomènes orageux sévères.

6.5.1 Une dynamique d'altitude particulièrement intense

En cette soirée du 26 juillet 1983, la dynamique d'altitude évolue relativement peu, dans ses grandes lignes, par rapport à celle déjà en place depuis la veille. Néanmoins, si le cut-off est toujours positionné sur le Portugal, sa portion la plus dynamique tend à s'enfoncer davantage vers le sud, ce qui finit par générer en réaction la formation d'une anomalie secondaire sur son flanc oriental. Celle-ci apparaît dans la modélisation en fin d'après-midi, sur la région de La Rioja, en Espagne. Il s'avère que c'est précisément dans cette région que le déclenchement de l'épisode orageux s'est bien opéré ce soir-là, ce qui vient confirmer le réalisme du reforecast effectué avec WRF-NMM.

De fait, cette anomalie d'altitude est identifiable sur le champ de 1,5 PVU, sous la forme d'une ondulation qui s'amplifie rapidement, franchit les Pyrénées en soirée puis progresse sur l'Aquitaine en cours de nuit.

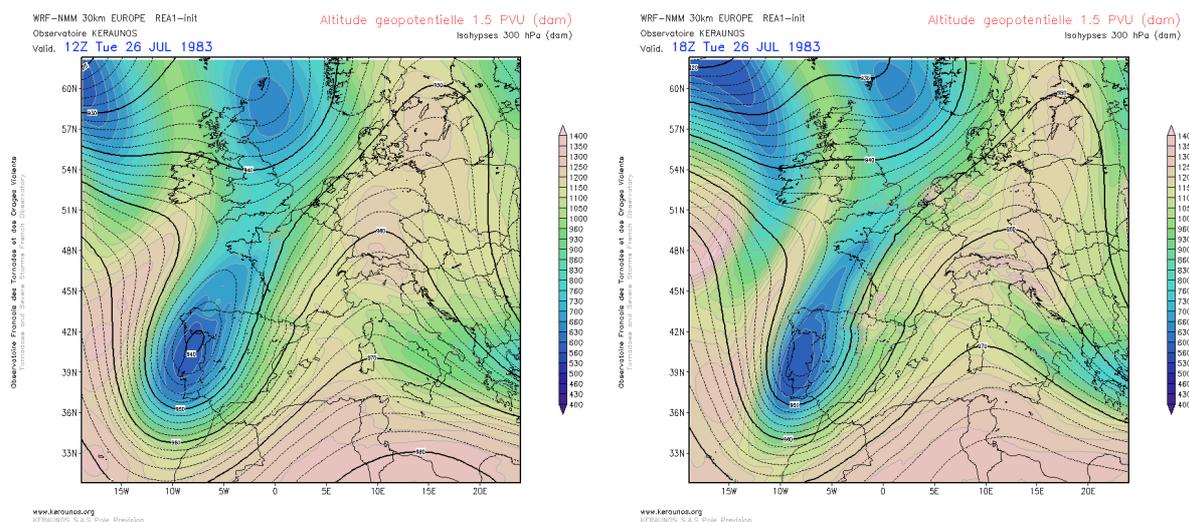


Fig. 73 et 74 : 1,5 PVU et isohypses 300 hPa, le 26 juillet à 12Z (à gauche) et à 18Z (à droite).

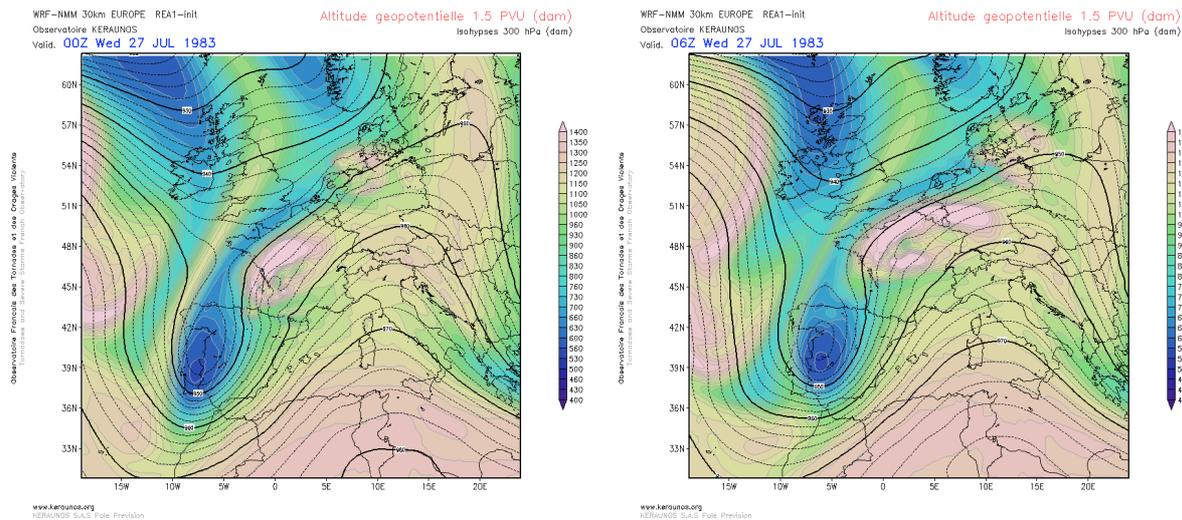


Fig. 75 et 76 : 1,5 PVU et isohypses 300 hPa, le 27 juillet à 00Z (à gauche) et à 06Z (à droite).

Cette dynamique de haute altitude est bien calée avec l'analyse des images satellite Météosat réalisées dans le canal vapeur d'eau, ce 26 juillet 1983. On y note un axe plus sombre étiré de l'Andalousie jusqu'au golfe de Gascogne. Ceci traduit un assèchement dans les couches supérieures de l'atmosphère, caractéristique de la subsidence générée par l'axe principal d'anomalie basse de tropopause dynamique. Un axe secondaire se dessine également au sud immédiat du MCS : il se situe au sud des Pyrénées à 20h locales puis remonte dans le flux pour franchir la chaîne pyrénéenne à 22h locales.

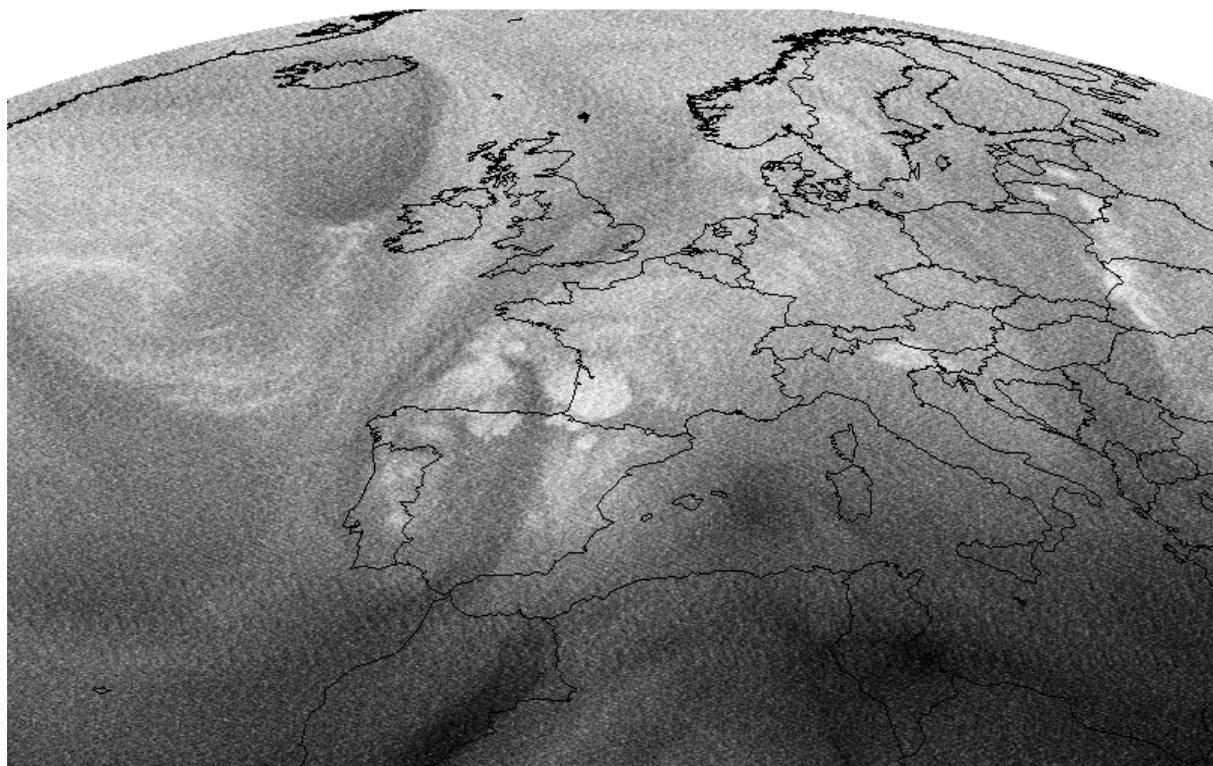


Fig. 77 : image satellite (canal vapeur d'eau) du 26 juillet 1983 à 20h locales (source : Eumetsat).

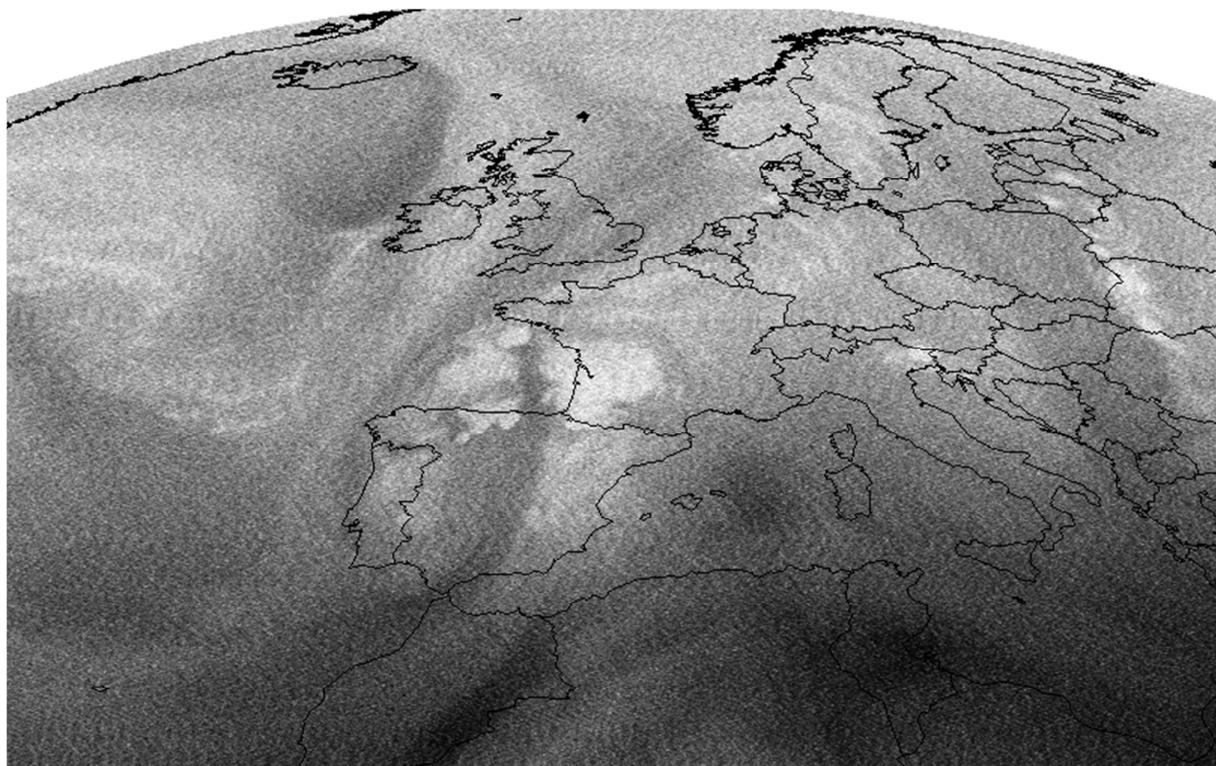


Fig. 78 : image satellite (canal vapeur d'eau) du 26 juillet 1983 à 21h locales (source : Eumetsat).

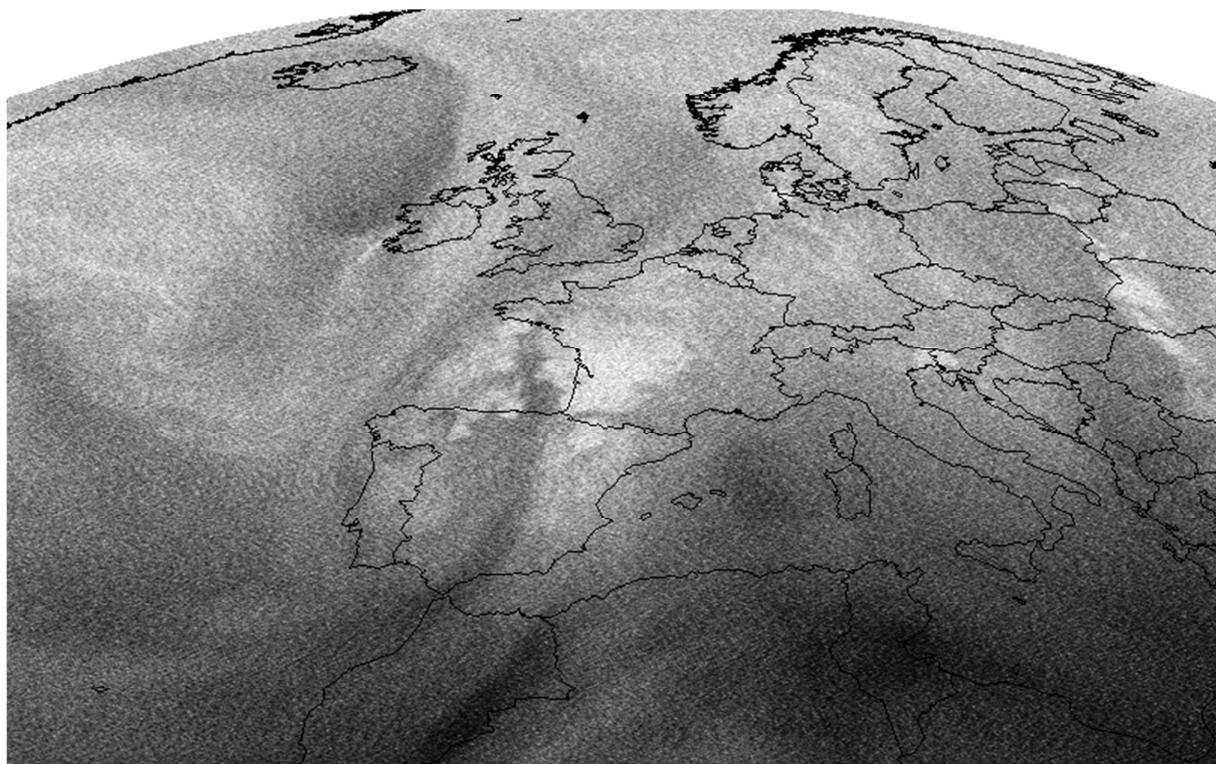


Fig. 79 : image satellite (canal vapeur d'eau) du 26 juillet 1983 à 22h locales (source : Eumetsat).



Très agressive et active, cette anomalie basse de tropopause dynamique déforme fortement le flux et provoque en quelques heures une cassure du courant-jet. Le champ de vent à 300 hPa, tel que modélisé par WRF-NMM en haute résolution, illustre bien cette évolution. La rupture s'initie au sud du Pays Basque, en début de soirée, avant de s'accroître en début de nuit. La cassure est alors très nette avec une branche de jet qui persiste sur l'Espagne, tandis qu'une seconde branche se détache pour s'étirer du Golfe de Gascogne à la Normandie, avant de se décaler vers les Pays-Bas. Les régions qui s'étirent de l'Aquitaine aux Pays-de-la-Loire se trouvent dès lors dans une configuration simultanée d'entrée droite et de sortie gauche des deux branches de jet. Cette configuration génère un soulèvement dynamique extrêmement puissant de l'Aquitaine au Poitou-Charentes puis aux Pays-de-la-Loire et au Centre.

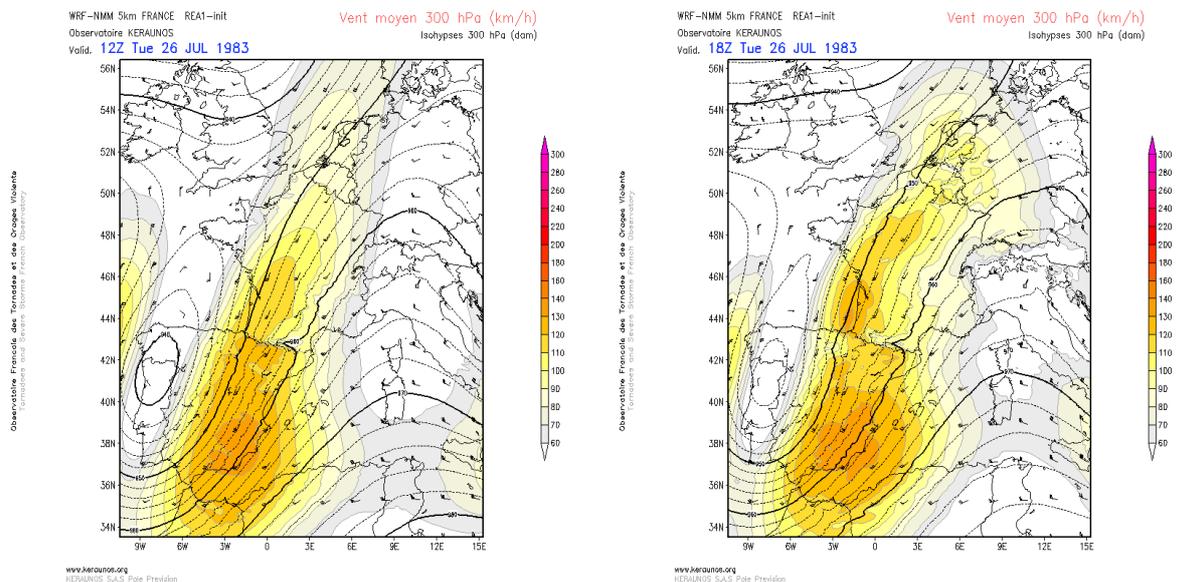


Fig. 80 et 81 : Vent moyen à 300 hPa et isobars, le 26 juillet à 12Z (à gauche) et à 18Z (à droite).

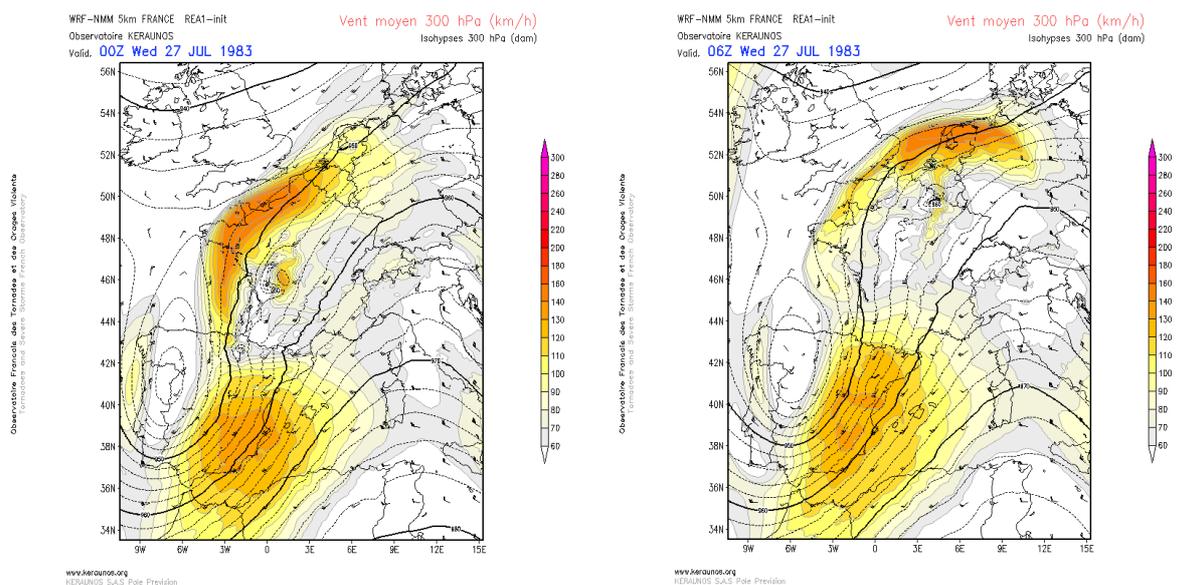


Fig. 82 et 83 : Vent moyen à 300 hPa et isobars, le 27 juillet à 00Z (à gauche) et à 06Z (à droite).



Il apparaît ainsi que c'est la remontée dans le flux d'une anomalie de tropopause en provenance d'Espagne, ainsi que la cassure du courant-jet associée, qui ont constitué l'un des principaux éléments dynamiques de cette situation. L'intense soulèvement dynamique induit a présidé au déclenchement, à l'intensification et au maintien de l'activité orageuse de l'Aquitaine aux Pays-de-la-Loire cette nuit-là.

Il est à noter que cette dynamique se retrouve à l'étage moyen sous la forme d'un thalweg secondaire de courte longueur, associé à de très fortes advections de tourbillon. Ces dernières signalent une forte diffuence en aval dans le flux, et conséquemment un soulèvement dynamique bien relayé à l'étage moyen. Les champs de tourbillon relatif à 500 hPa (Fig. XXX) montrent explicitement la circulation de ce noyau sur un axe Aquitaine – Centre en cours de nuit. L'ensemble était assorti de cisaillements profonds marqués, oscillant entre 20 et 35 m/s.

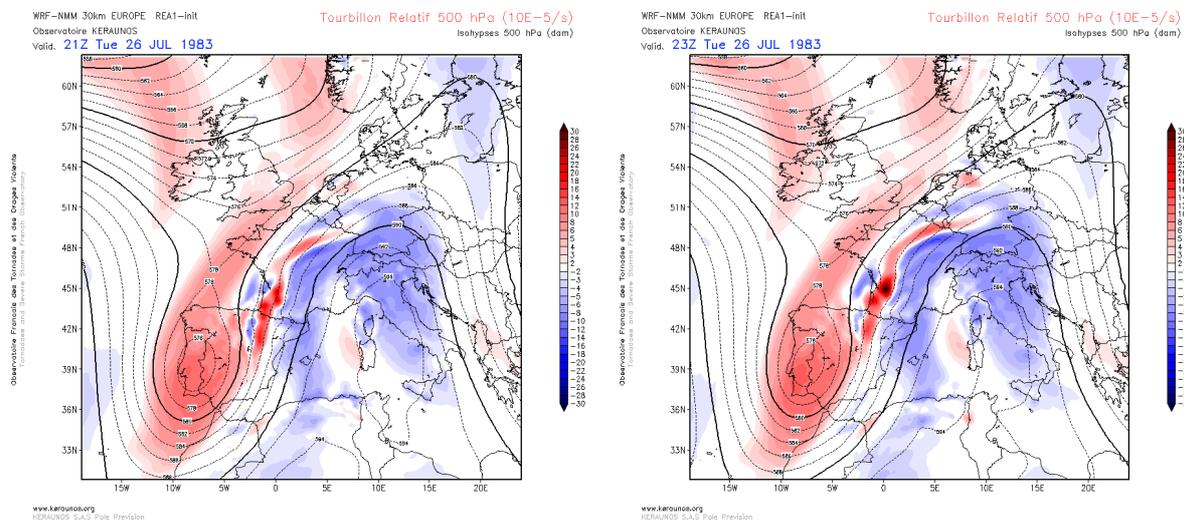


Fig. 84 et 85 : Tourbillon relatif à 500 hPa et isohypses, le 26 juillet à 23Z (à gauche) et le 27 à 03Z (à droite).

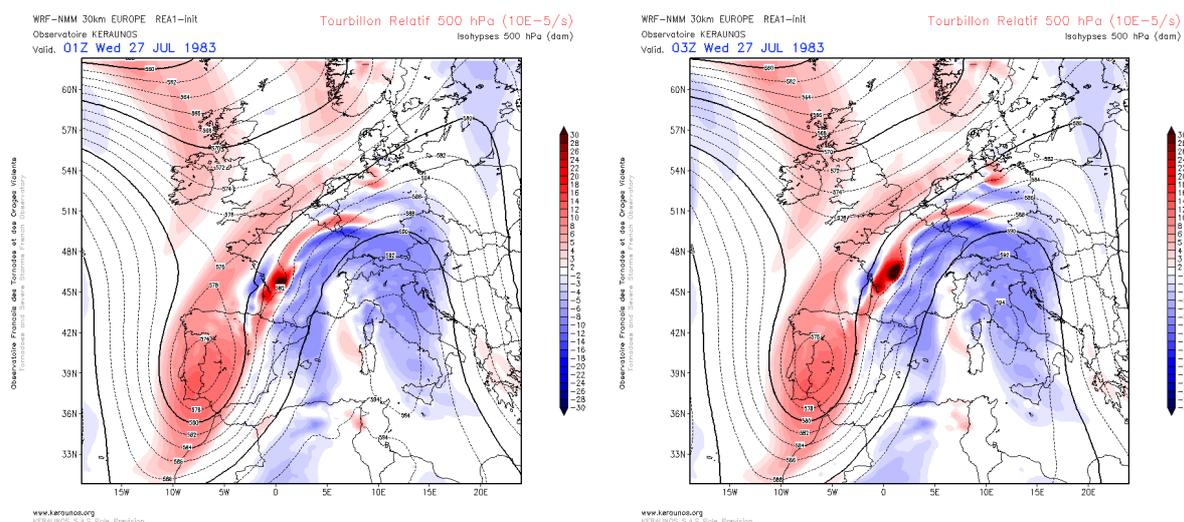


Fig. 86 et 87 : Tourbillon relatif à 500 hPa et isohypses, le 26 juillet à 23Z (à gauche) et le 27 à 03Z (à droite).

6.5.2 Des profils verticaux très instables, de type « LG »

Cette dynamique très intense va s'appliquer sur un environnement particulièrement instable.

Afin d'en juger, l'analyse des radiosondages réalisés par ballon-sonde le 26 juillet à 14h est informative, et notamment celle du radiosondage de Bordeaux. Ce dernier est en effet le plus représentatif de l'environnement pré-orageux dans lequel est venu s'alimenter le MCS en cours de soirée. Malheureusement, le profil est incomplet et s'arrête à 8.643 mètres d'altitude. Néanmoins, l'épaisseur d'atmosphère sondée permet d'évaluer assez précisément le type de profil atmosphérique en présence.

En l'occurrence, la physionomie du profil est intéressante, dans la mesure où elle présente une configuration de type « LG » (Loaded Gun). On désigne ainsi dans le jargon météorologique un profil atmosphérique caractérisé par une instabilité très forte ($CAPE > 2000 \text{ J/kg}$), par des basses couches bien humidifiées, par un étage moyen plus sec et à fort gradient thermique vertical, et enfin par une inversion thermique ("couvercle") dans la partie supérieure de l'étage inférieur et/ou la partie inférieure de l'étage moyen, soit classiquement entre 1.000 et 3.000 mètres d'altitude. Cette inversion empêche la formation d'orages aussi longtemps qu'elle résiste. Néanmoins, si elle vient à être transpercée, par suite le plus souvent de l'arrivée d'un forçage, le potentiel d'instabilité est alors libéré soudainement et provoque des orages souvent explosifs et particulièrement intenses.

C'est bien ce type de configuration qui est en place sur le sud-ouest de la France dans les heures qui précèdent l'offensive orageuse, ce qui confirme le potentiel tout à fait significatif de l'environnement pré-orageux.

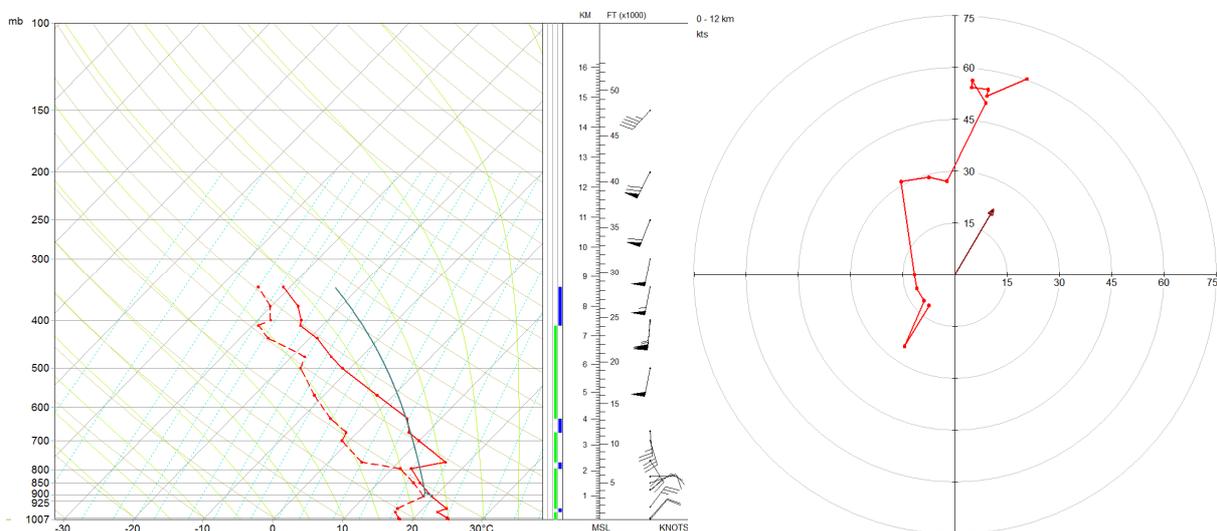


Fig. 88 : Profil vertical et hodographe du radiosondage de Bordeaux du 26 juillet 2013 à 14h locales.

L'hodographe présente pour sa part une structure bien étirée et rectiligne, assez proche de celle connue pour être propice aux organisations multicellulaires. Les cisaillements profonds sont forts (32 m/s). En revanche, l'hodographe est assez peu croché et dispose d'une hélicité relative qui n'est significative qu'entre 2 et 3 km d'altitude. La S.R.H. (Storm Relative Helicity) est, de fait, très faible dans les basses couches, et la SRH effective ne ressort qu'à $50 \text{ m}^2/\text{s}^2$, en considérant une épaisseur effective d'alimentation de la convection comprise entre 600 et 1.900 mètres d'altitude.

En somme, il ressort de l'analyse que l'environnement pré-orageux est propice à une convection intense et bien organisée, à évolution préférentiellement multicellulaire. La présence d'une hélicité modérée à l'étage moyen inférieur est en mesure de favoriser des formations supercellulaires ponctuelles, avec néanmoins une capacité de développement de tornades qui s'avère marginale.

Le tableau ci-dessous récapitule les principaux paramètres mesurés par les ballons-sondes le 26 juillet à 14h locales. Le principal point commun est la présence de forts contenus en eau précipitable et d'une DCAPE très élevée, ce qui indique la présence d'un environnement en mesure de supporter des orages à la fois très pluvieux et producteurs d'intenses rafales descendantes.

TABLEAU 3 : Analyse des radiosondages du mardi 26 juillet 1983 à 14h locales

La gamme de couleurs indique si la valeur indiquée est considérée comme faible (vert), modérée (orange) ou élevée (rouge). La couleur blanche indique une valeur non significative ou non propice.

paramètre	unités	Bordeaux	Brest	Trappes	Nancy
Altitude de la tropopause	mètres	-	11.506	12.435	11.672
Altitude de l'isotherme 0°C	mètres	4.564	3.129	3.918	4.270
Niveau d'équilibre	mètres	-	5.893	11.278	12.295
Altitude du L.C.L.	mètres	1.085	1.135	894	1.652
Eau précipitable	mm	43,5	23,0	34,2	35,5
INSTABILITE					
KO Index	-	-11,9	-9,4	-8,5	-17,2
K Index	-	31,2	-	29,9	26,5
MULI	K	-6,0	0,0	-3,0	-8,0
MLLI	K	-3,0	4,0	0,0	-7,0
MUCAPE	J/kg	-	139	926	3.067
MLCAPE	J/kg	-	0	15	2.468
MUCIN	J/kg	-85	-21	-306	-71
DCAPE	J/kg	1.183	347	1.041	1.437
CISAILLEMENTS ET HELICITE					
Cisaillements 0-6 km	m/s	31,9	9,3	27,2	13,9
S.R.H. 0-500 m	m ² /s ²	1	0	20	2
S.R.H. 0-1 km	m ² /s ²	3	0	50	5
S.R.H. 0-2 km	m ² /s ²	73	0	74	13
S.R.H. 0-3 km	m ² /s ²	221	9	111	32
INDICES COMPOSITES					
Supercell Composite Parameter	-	-	0,0	3,4	1,1
Significant Tornado Parameter	-	-	0,00	0,31	0,02



Il est intéressant de noter que les observations au sol réalisées à 14h locales par les stations météorologiques du réseau principal laissent supposer que les profils de type LG sont prédominants sur une grande partie de l'Aquitaine, ainsi que sur l'ouest de Midi-Pyrénées et sur la totalité de la région Poitou-Charentes. En effet, les observations nuageuses retranscrites font état de développements de Cumulus peu épais étalés sous une couche morcelée de Stratocumulus (voir le symbole ci-dessous). Ceci témoigne typiquement de la présence d'une instabilité convective significative, mais contenue sous une inversion matérialisée par les Stratocumulus.

Note : le symbole correspondant à ce type de nébulosité est le suivant : 

Des Altocumulus instables, typiques d'un ciel pré-orageux, sont par ailleurs signalés de l'Aquitaine au bassin parisien, alors que seuls des nuages élevés sont le plus souvent observés sur la moitié est du pays. Nîmes fait exception avec quelques Altocumulus instables également.

Note : le symbole correspondant aux Altocumulus instables, d'espèces castellanus ou floccus, est le suivant : 

Nous sommes ainsi en présence d'une masse d'air surchauffée (Marseille affiche 40°C) mais assez sèche sur l'est du pays, et à l'inverse pré-orageuse, plus humide mais un peu moins chaude car plus nuageuse sur la moitié ouest.

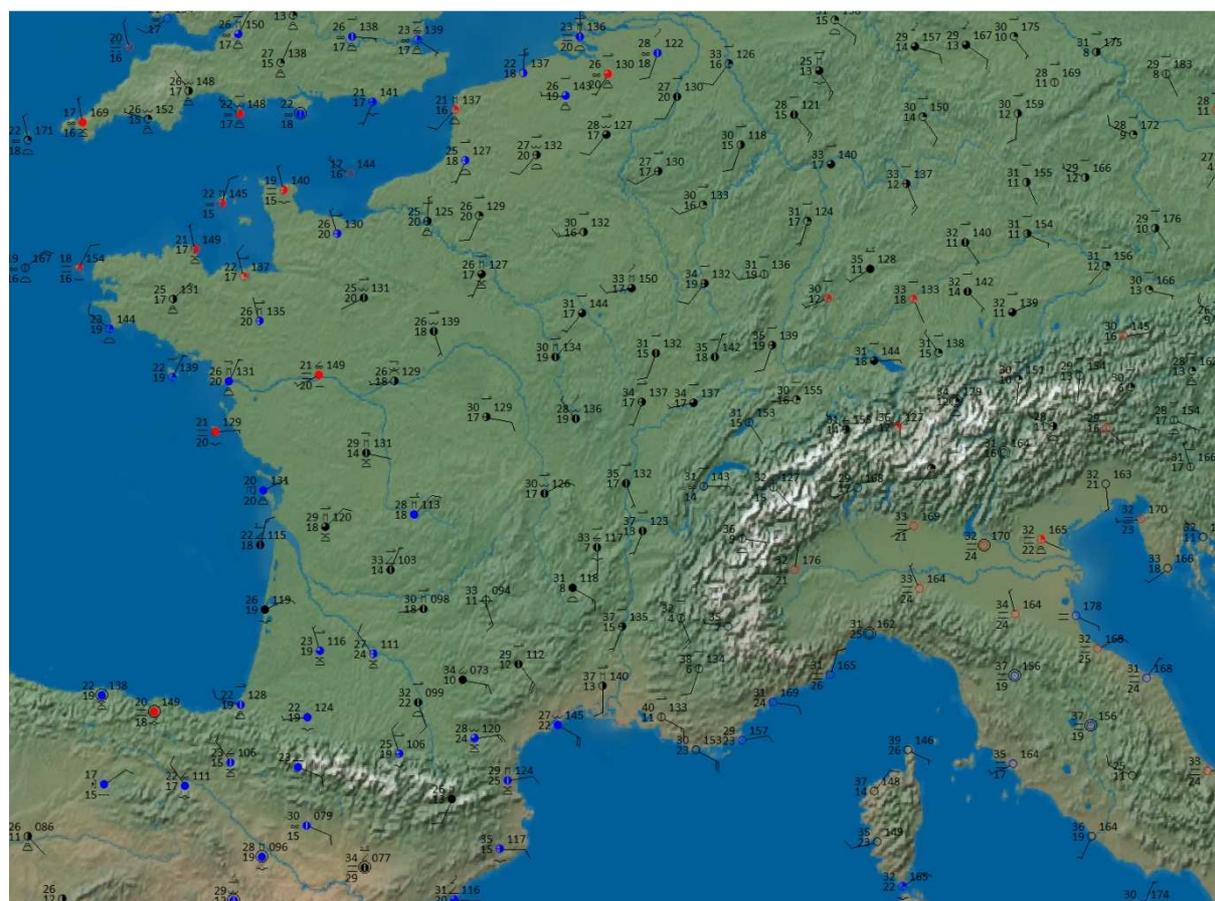


Fig. 89 : Relevés du réseau SYNOP, le 26 juillet 1983 à 12Z.



Venant confirmer cette très forte chaleur de basses couches, la simulation haute résolution du modèle WRF-NMM affiche des températures à 850 hPa très élevées, comprises entre 16 et 21°C, en soirée, sur les régions concernées par les orages.

L'humidification prononcée de l'étage inférieur est également bien restituée, avec des points de rosée moyens sur l'épaisseur 500-1500 mètres qui atteignent leurs valeurs maximales au pied des Pyrénées en fin d'après-midi (> 20°C). Ces hautes valeurs de points de rosée gagnent ensuite l'ensemble de l'Aquitaine en soirée et viennent constituer un axe très humide, qui s'étire en direction de la Champagne. L'offensive orageuse initiée sur l'Espagne s'apprête donc à progresser sur des basses couches particulièrement bien alimentées en air chaud et en humidité.

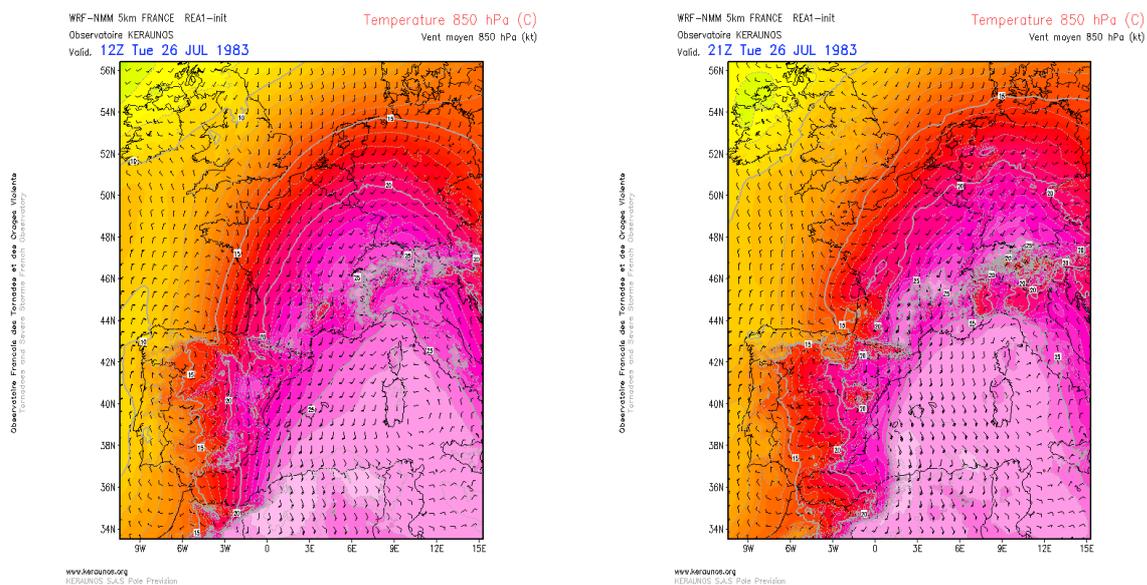


Fig. 90 et 91 : Température et vent moyen à 850 hPa, le 26 juillet 1983 à 12Z (à gauche) et à 21Z (à droite).

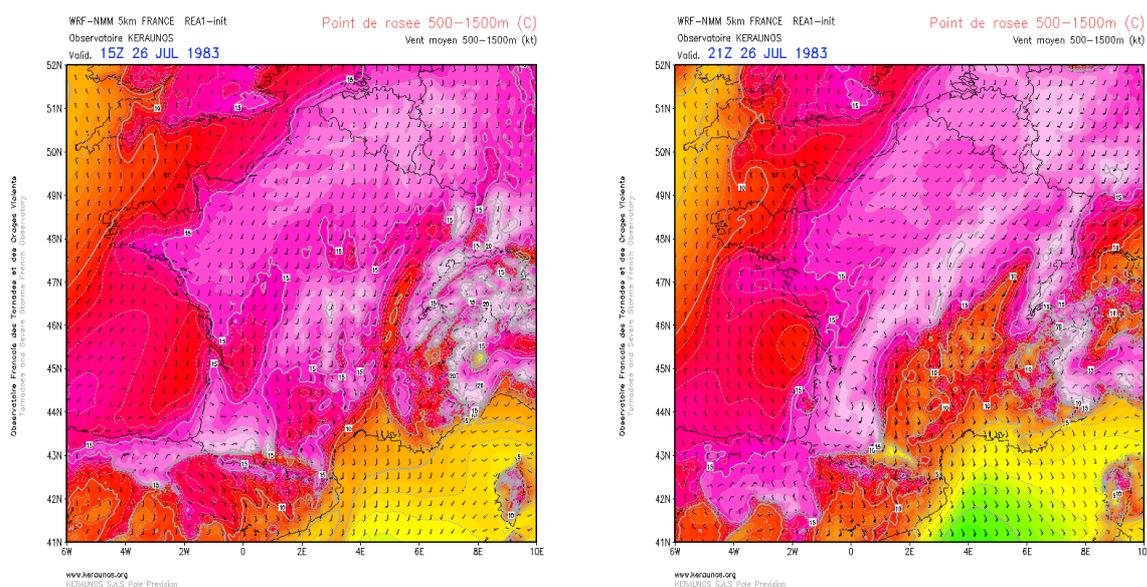


Fig. 92 et 93 : Point de rosée et vent moyen sur l'épaisseur 500-1500 mètres, le 26 juillet à 15Z (à gauche) et à 21Z (à droite).



Dans ce contexte, les indices d'instabilité présentent des réactions très fortes. Les différents champs de WRF-NMM qui suivent présentent la situation simulée par le modèle à 18h TU ; ils sont donc représentatifs de l'environnement pré-orageux immédiat et reflètent les profils verticaux au sein desquels le MCS destructeur s'est directement alimenté.

On note une instabilité latente particulièrement forte, qui s'illustre par exemple par des indices de soulèvement très fortement négatifs (plus l'instabilité est forte, plus la valeur est négative). La formulation originelle de cet indice (Lifted Index) affiche ainsi de -8 à -12 K dans le sud-ouest du pays, tandis que le calcul réalisé avec la parcelle dotée de la température potentielle la plus élevée (MULI) produit des valeurs plus homogènes mais assez voisines, qui oscillent entre -8 et -10 K. La masse d'air est clairement très instable, comme le confirment la MLCAPE et la MUCAPE, qui atteignent respectivement des valeurs maximales de 2.000 J/kg et de 4.000 J/kg sur la zone qui s'apprête à subir le déclenchement de la convection.

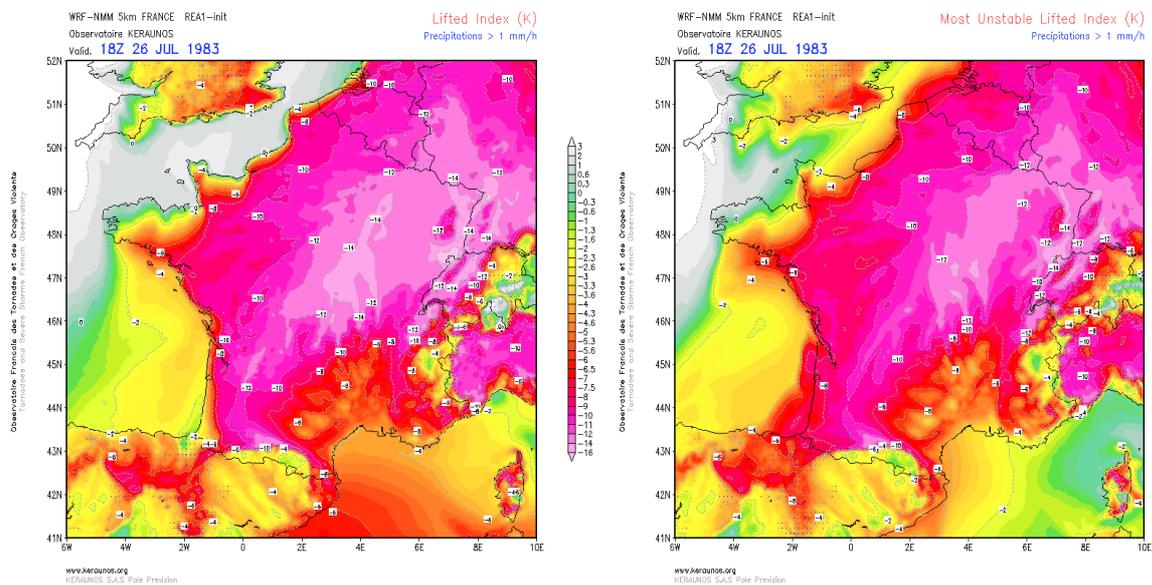


Fig. 94 et 95 : Lifted Index (à gauche) et MULI (à droite) le 26 juillet 1983 à 18Z.

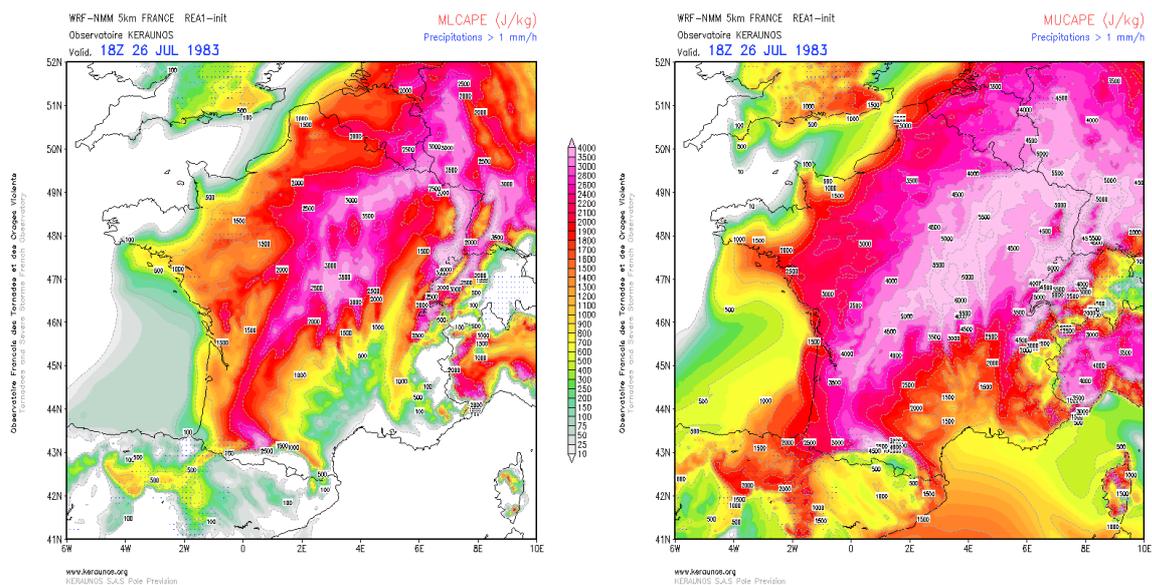


Fig. 96 et 97 : MLCAPE (à gauche) et MUCAPE (à droite) le 26 juillet 1983 à 18Z.



L'instabilité potentielle, illustrée ici par le KO Index, est extrêmement marquée sur le piémont pyrénéen, ainsi qu'en Bourgogne. On voit là, entre autres, l'effet de l'assèchement de l'étage moyen sous le vent des reliefs, mécanisme qui a fortement contribué à la constitution des profils LG cet après-midi-là dans le sud-ouest et l'ouest du pays. L'étage moyen est d'ailleurs doté d'une forte instabilité latente sur ces mêmes régions, comme en témoigne l'indice Adedokun 1. Le noyau de fortes valeurs situé entre Pyrénées-Atlantiques et Gers a ensuite migré vers le nord en cours de soirée, pour concerner les régions frappées par les orages en début de nuit.

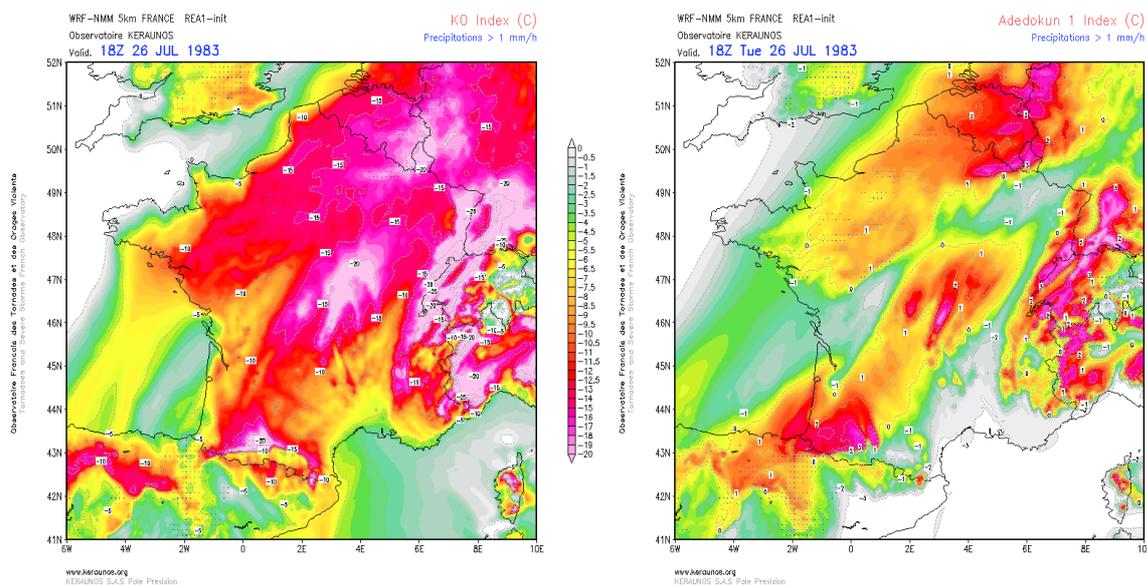


Fig. 98 et 99 : KO Index (à gauche) et ADEDOKUN 1 Index (à droite) le 26 juillet 1983 à 18Z.

L'indice de Thompson, qui indique un potentiel orageux sérieux lorsqu'il dépasse la valeur de 40, présente ici un axe de valeurs extrêmes, qui dépassent 55 dans la zone d'alimentation du MCS. Une situation de cette nature, en prévision opérationnelle, justifierait une attention toute particulière tant il est rare que cet indicateur présente des valeurs aussi élevées.

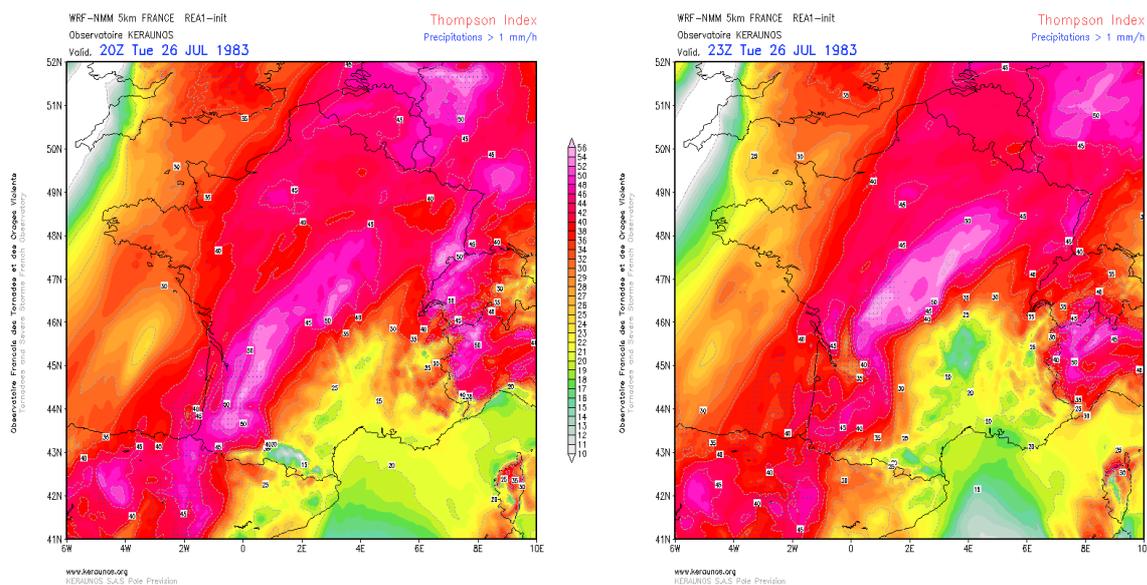


Fig. 100 et 101 : Thompson Index le 26 juillet 1983 à 20Z (à gauche) et à 23Z (à droite).



Il est intéressant de remarquer que l'instabilité se maintient en permanence dans la zone d'alimentation du MCS, et ce jusqu'en deuxième partie de nuit. Les champs de MUCAPE présentés ci-dessous mettent bien en évidence la persistance d'un réservoir d'instabilité latente particulièrement fourni, qui affiche de manière continue plus de 2.000 J/kg de MUCAPE à l'avant du système orageux. Cette caractéristique de l'environnement a contribué de toute évidence au maintien d'une activité convective forte durant plusieurs heures.

On note par ailleurs l'effet des courants descendants simulés par le modèle sur l'instabilité latente. Ceux-ci génèrent ainsi un noyau de basses valeurs de MUCAPE, qui progresse en direction du nord en formant un arc de cercle qui s'étoffe peu à peu.

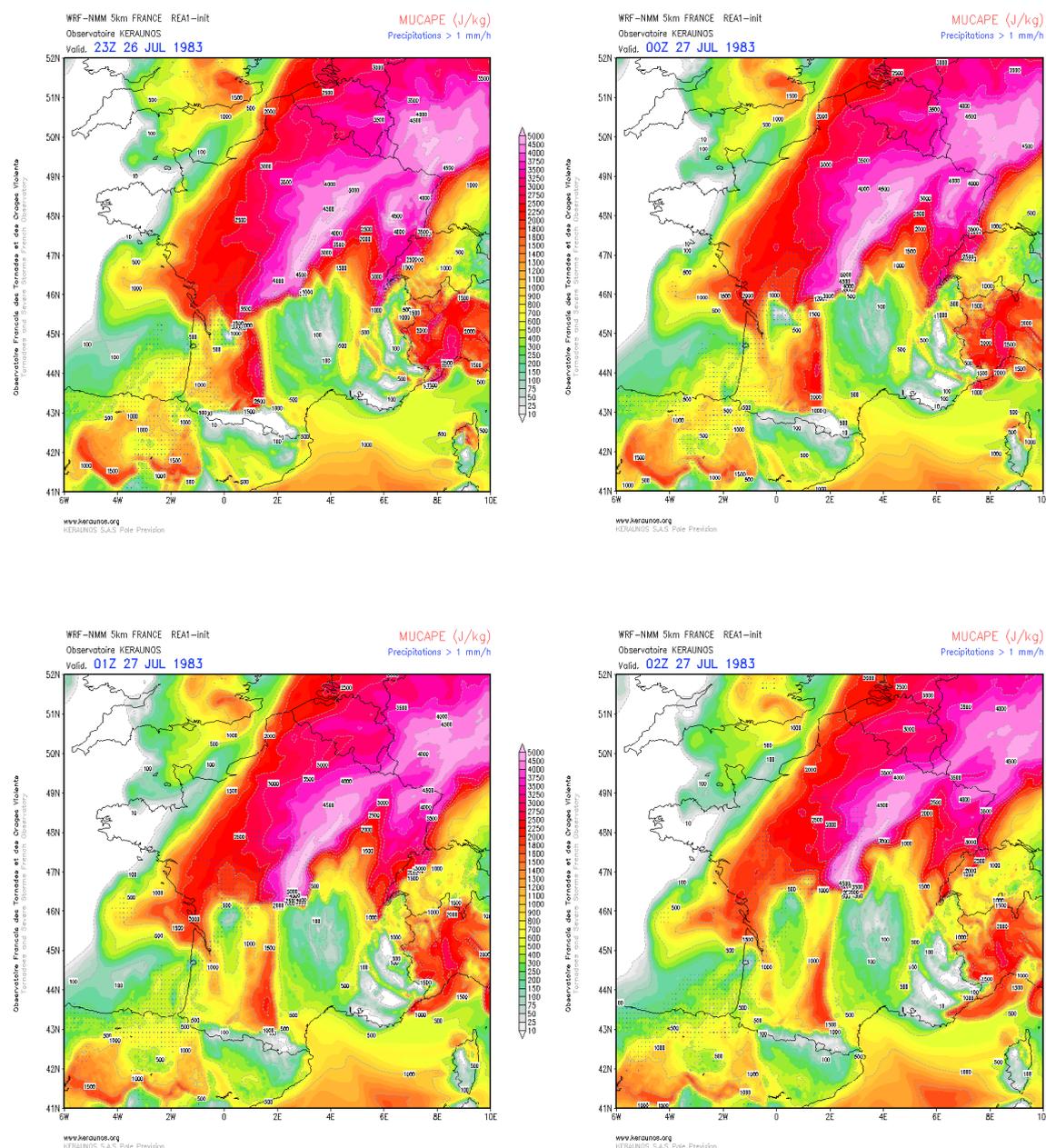


Fig. 102 : MUCAPE entre le 26 juillet à 23Z et le 27 juillet à 02Z.



Pour terminer avec cette analyse de l'instabilité, un des éléments remarquables de cette situation consiste dans la présence nocturne d'une forte instabilité de basses couches, ici définie comme celle comprise entre le sol et 3.000 mètres d'altitude. Autant la présence d'une forte instabilité dans ces épaisseurs est courante en situation estivale durant les heures chaudes de l'après-midi, autant des valeurs aussi significatives en milieu de nuit sont peu courantes. En l'occurrence, WRF-NMM modélise des profils qui affichent une SBCAPE de basses couches qui atteint localement 200 J/kg, avec un indice de soulèvement qui s'abaisse jusqu'à -6 K à 700 hPa.

Ces fortes valeurs se présentent à l'avant immédiat du système orageux et ont ainsi assuré une alimentation optimale du MCS en air instable.

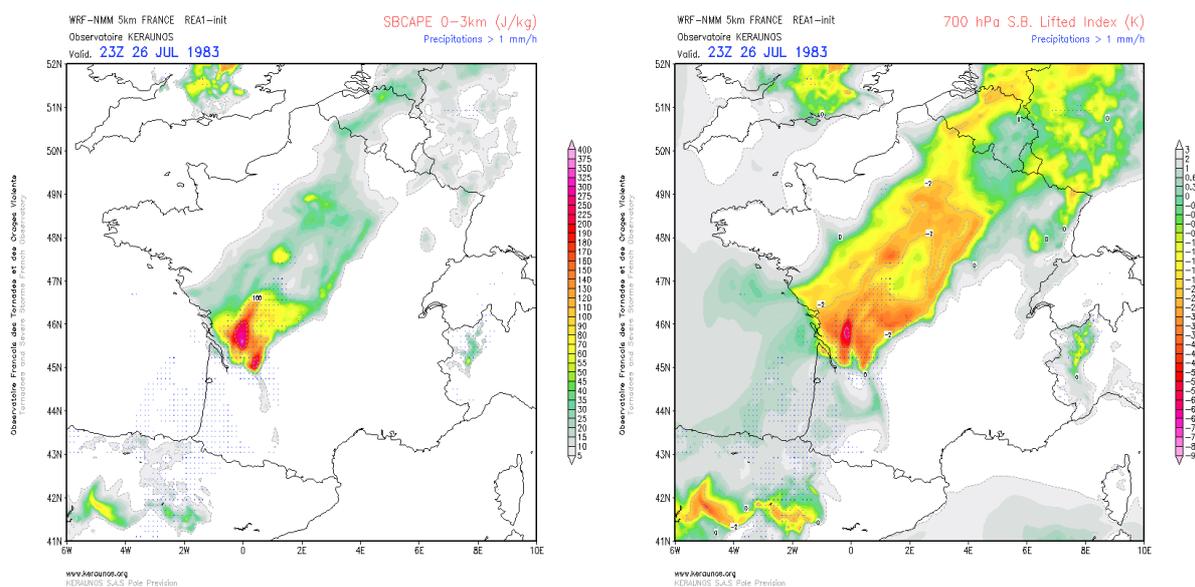


Fig. 103 et 104 : SBCAPE 0-3 km (à gauche) et LLSBLI (à droite) le 26 juillet 1983 à 23Z.

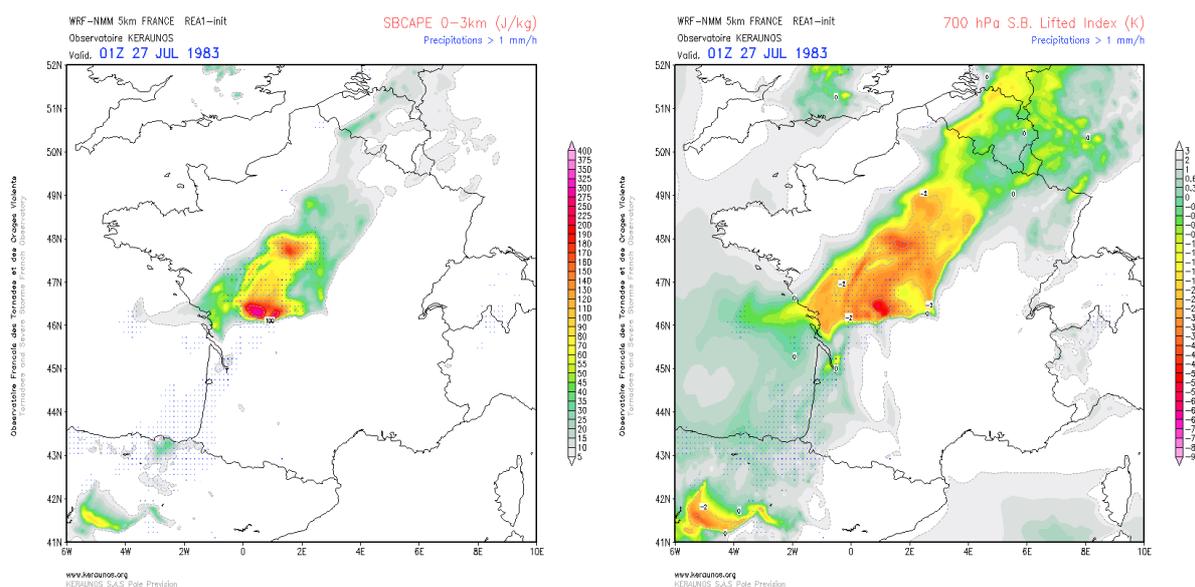


Fig. 105 et 106 : SBCAPE 0-3 km (à gauche) et LLSBLI (à droite) le 27 juillet 1983 à 01Z.



6.5.3 Une dynamique de basses couches intense

C'est dans ce contexte à la fois très dynamique et très instable qu'une interaction se produit entre la dynamique d'altitude et les basses couches de l'atmosphère. Celle-ci s'opère entre Landes et Gironde, en début de soirée, et signe le début de la phase de convection hyper-active. Tandis que la divergence d'altitude s'accroît brutalement sous l'effet de la cassure du courant-jet, une onde barocline se constitue au sud de la Gironde et génère le creusement rapide, dans la tête d'onde, d'une dépression de méso-échelle. Celle-ci apparaît clairement dans l'ensemble des reforecast réalisés avec WRF-NMM et génère un champ de vent tout à fait cohérent avec celui observé ce soir-là par les stations météorologiques au sol.

Cette onde est bien visible sur les champs de $\Theta'w$ et de géopotentiel à 850 hPa, avec une méso-dépression alimentée en air chaud et humide, qui remonte en direction de la Charente et de la Vienne en cours de nuit.

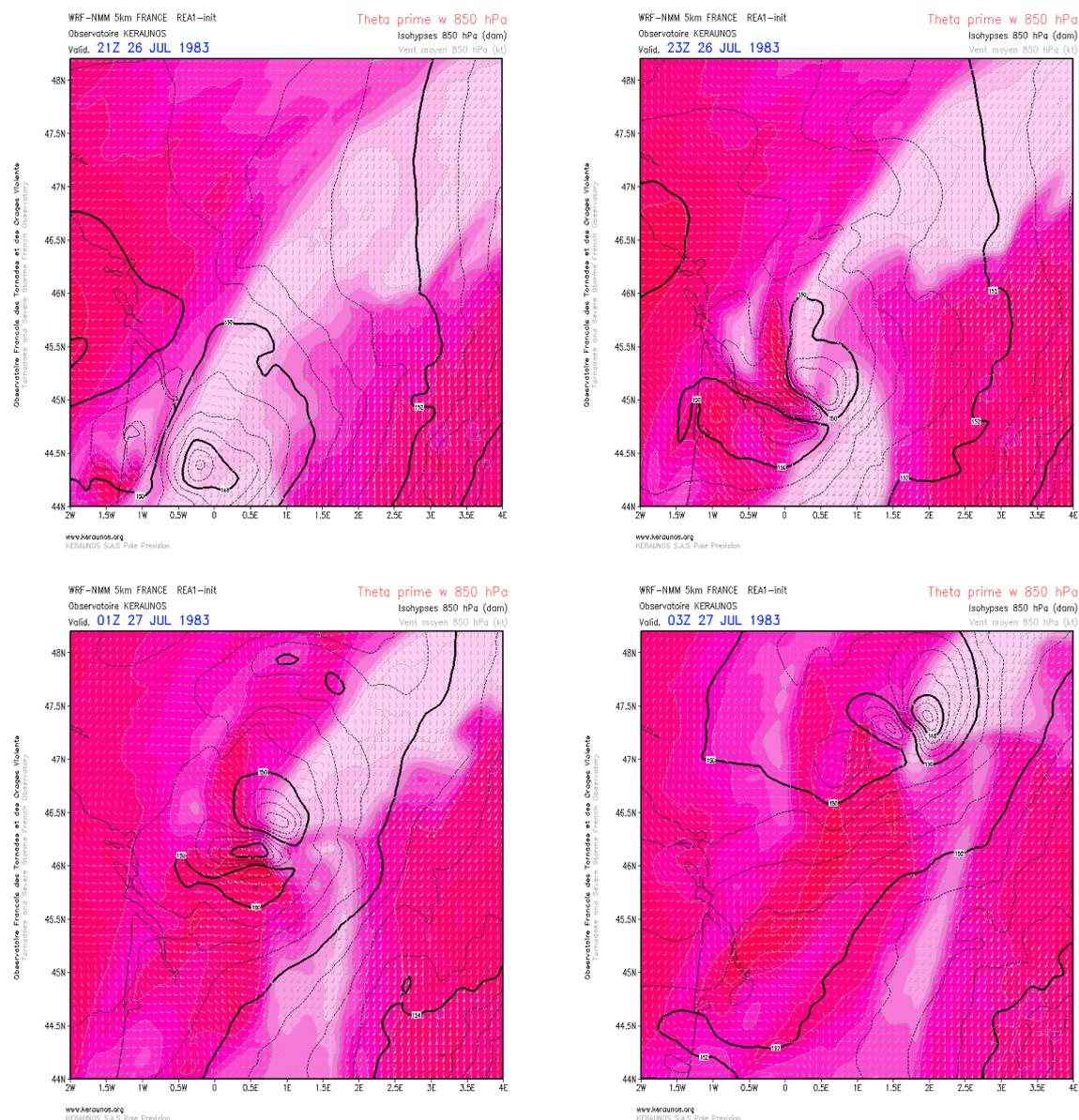


Fig. 107 : Géopotentiel, vent et $\Theta'w$ à 850 hPa entre le 26 juillet à 21Z et le 27 juillet à 03Z.



Cette onde est bien alimentée en air instable durant tout son trajet entre Gironde et Vienne. La simulation haute résolution fait ainsi apparaître un cœur de méso-dépression qui progresse en permanence dans un environnement fortement doté en instabilité latente. L'alimentation en fortes valeurs de MLCAPE se produit, dans la modélisation, essentiellement par le cadran nord-est du système convectif.

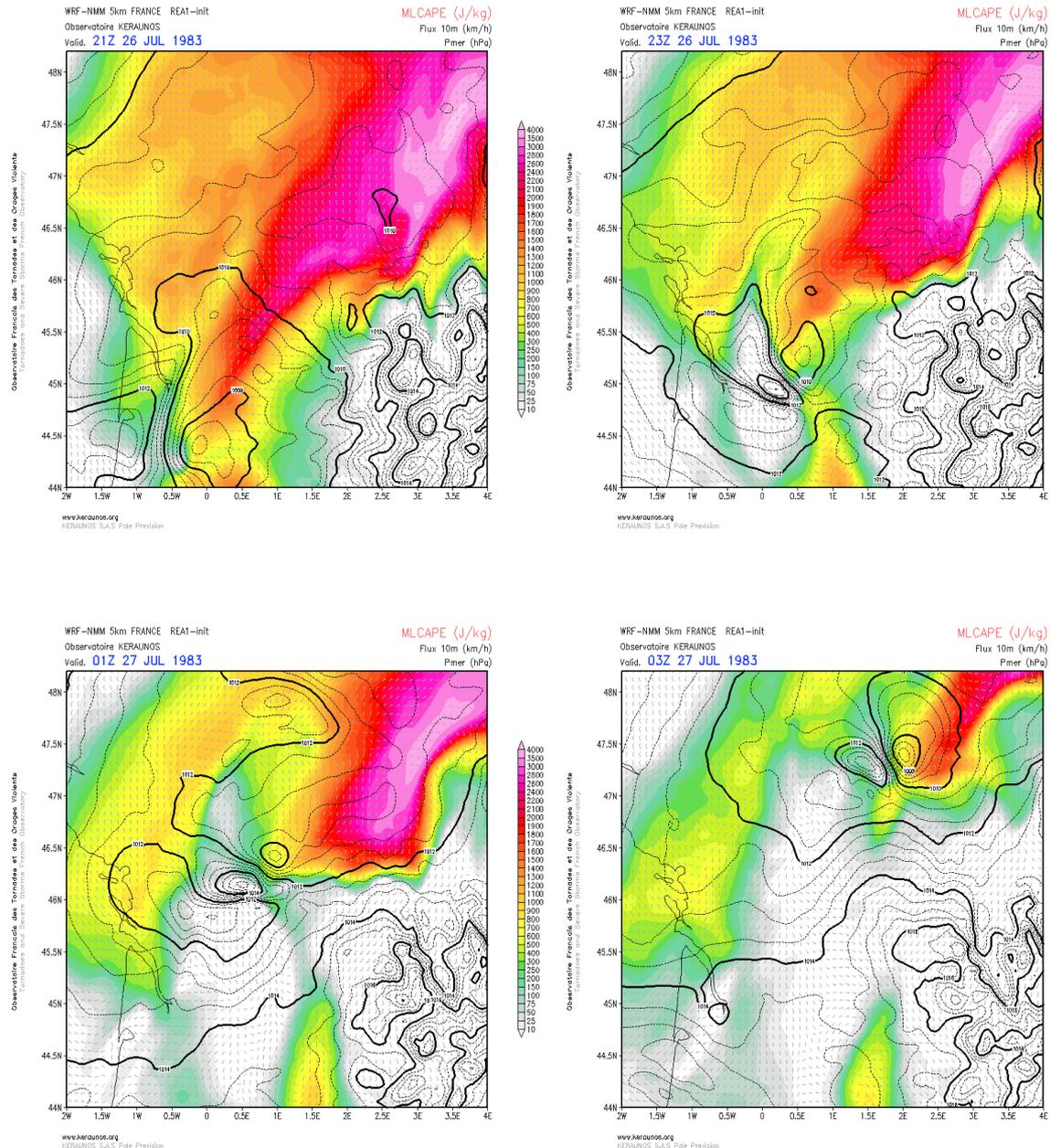


Fig. 108 : MUCAPE, Pmer et vent 10 m entre le 26 juillet à 21Z et le 27 juillet à 03Z.



Le modèle réagit alors fortement et produit un système convectif extrêmement pluvieux, producteur d'un courant descendant particulièrement intense. Ceci se traduit par la formation d'un noyau de hautes pressions (« mesohigh ») à l'arrière immédiat de la méso-dépression. Ce noyau se constitue de manière nette lorsque le système convectif aborde la Charente, et atteint, dans la modélisation, son développement maximum sur la Vienne. Le noyau de hautes pressions est alors parfaitement en phase avec les intensités pluviométriques les plus fortes simulées par le modèle, et présente une forme arquée, qui n'est pas sans rappeler les signatures radar en arc (« bow echo ») qui accompagnent systématiquement les systèmes convectifs producteurs de derechos.

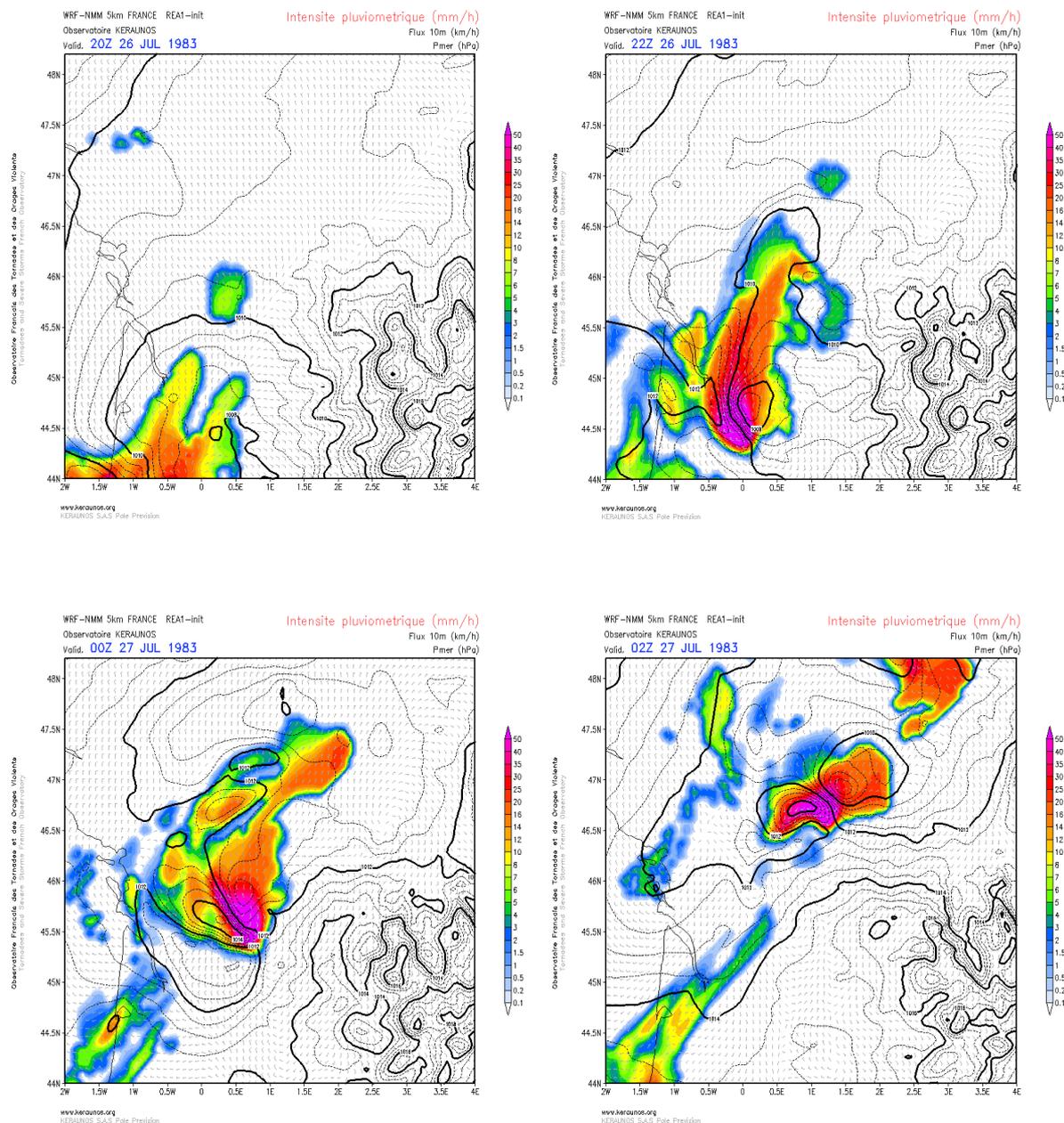


Fig. 109 : Intensité pluviométrique, Pmer et flux à 10 m entre le 26 juillet à 20Z et le 27 juillet à 02Z.



Les champs de réflectivité composite modélisés par WRF-NMM présentent eux aussi un noyau de réflectivités intenses, qui suit une trajectoire très similaire à celle réellement concernée par les phénomènes orageux les plus violents. Même si des modélisations de cette nature doivent être considérées avec les précautions d'usage, il est intéressant de noter le modèle donne à ce noyau d'activité maximale une structure progressivement plus arquée, en pleine cohérence avec la structure précipitante vue précédemment.

L'hypothèse fortement vraisemblable de la présence d'un « bow echo » virulent au cœur du MCS semble ainsi pouvoir être corroborée par la simulation numérique.

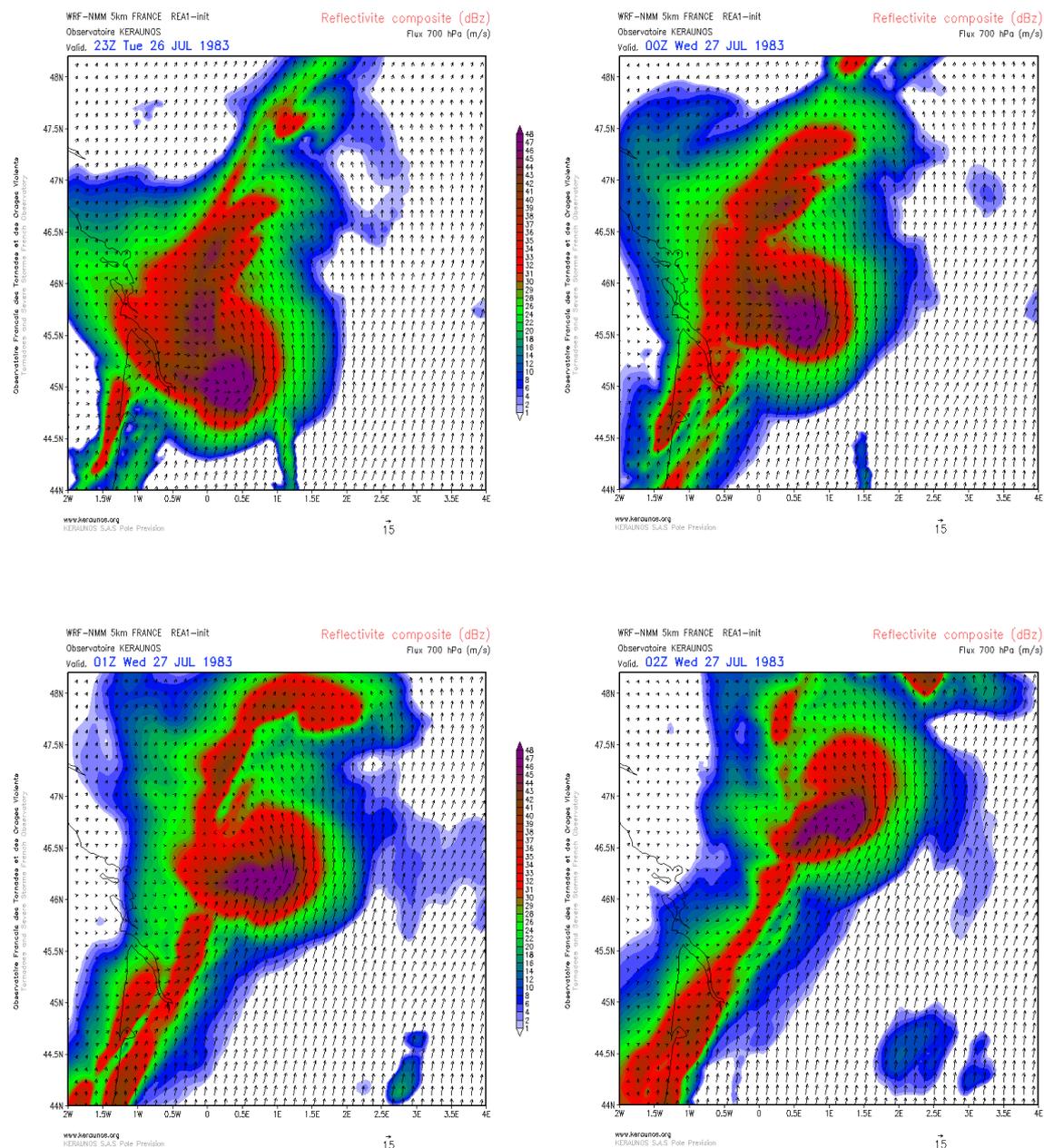


Fig. 110 : Réflectivité composite et flux à 700 hPa entre le 26 juillet à 23Z et le 27 juillet à 02Z.



6.5.4 Analyse du potentiel de fortes précipitations

Le caractère très pluvieux de ce système orageux est bien explicité par la modélisation, qui fait apparaître une très forte disponibilité en eau précipitable à l'avant du MCS (> 40 mm). Le cœur même du MCS est pour sa part associé dans la simulation à des contenus en eau précipitable qui dépassent continument 60 mm, soit des valeurs de nature réellement subtropicale. Les rapports de mélange moyens en basses couches sont particulièrement élevés et les plus fortes valeurs convergent en direction du système convectif.

La capacité présentée par ce MCS à produire des précipitations excessivement intenses n'est donc pas surprenante dans ce contexte.

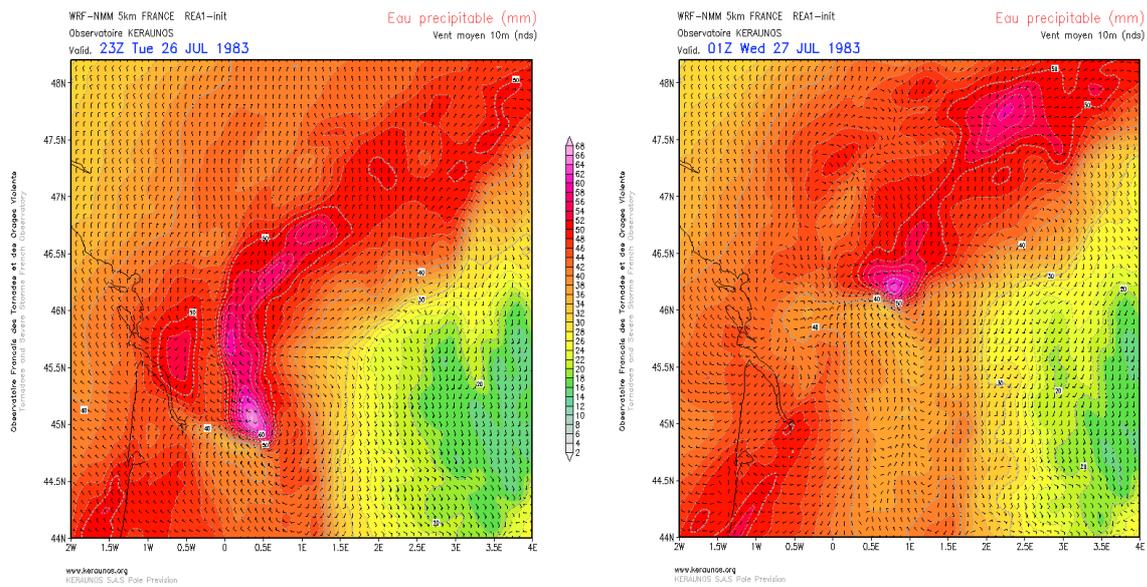


Fig. 111 : eau précipitable et vent 10 m le 26 juillet à 23Z (à gauche) et le 27 juillet à 01Z (à droite).

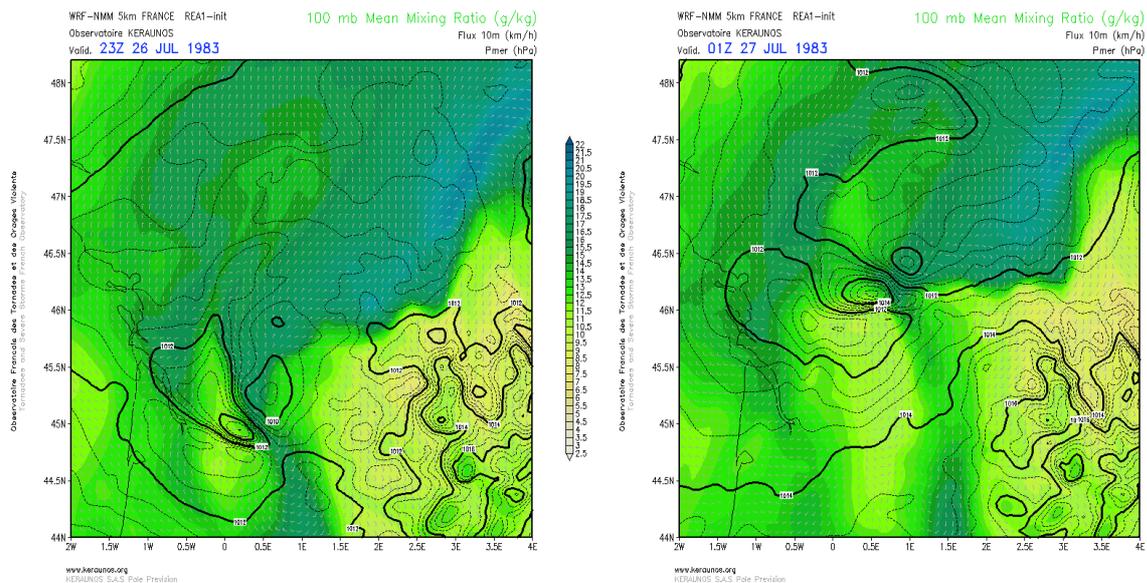


Fig. 112 : rapport de mélange sur les 100 premiers hPa, Pmer et vent 10 m le 26 à 23Z (à gauche) et le 27 à 01Z (à droite).



Le modèle simule d'ailleurs une mise en phase progressive d'un noyau de très forte convergence humide (MOCON), figuré sur les champs ci-dessous en isolignes de couleur noire, avec un noyau de très forts contenus en eau précipitable de très basses couches. La capacité de production de pluie est dès lors maximale sur l'axe suivi par ce noyau de très forte MOCON, soit entre l'est de la Gironde, la Charente, la Vienne et l'Indre-et-Loire, ce qui coïncide favorablement avec les relevés pluviométriques réalisés lors de cet épisode.

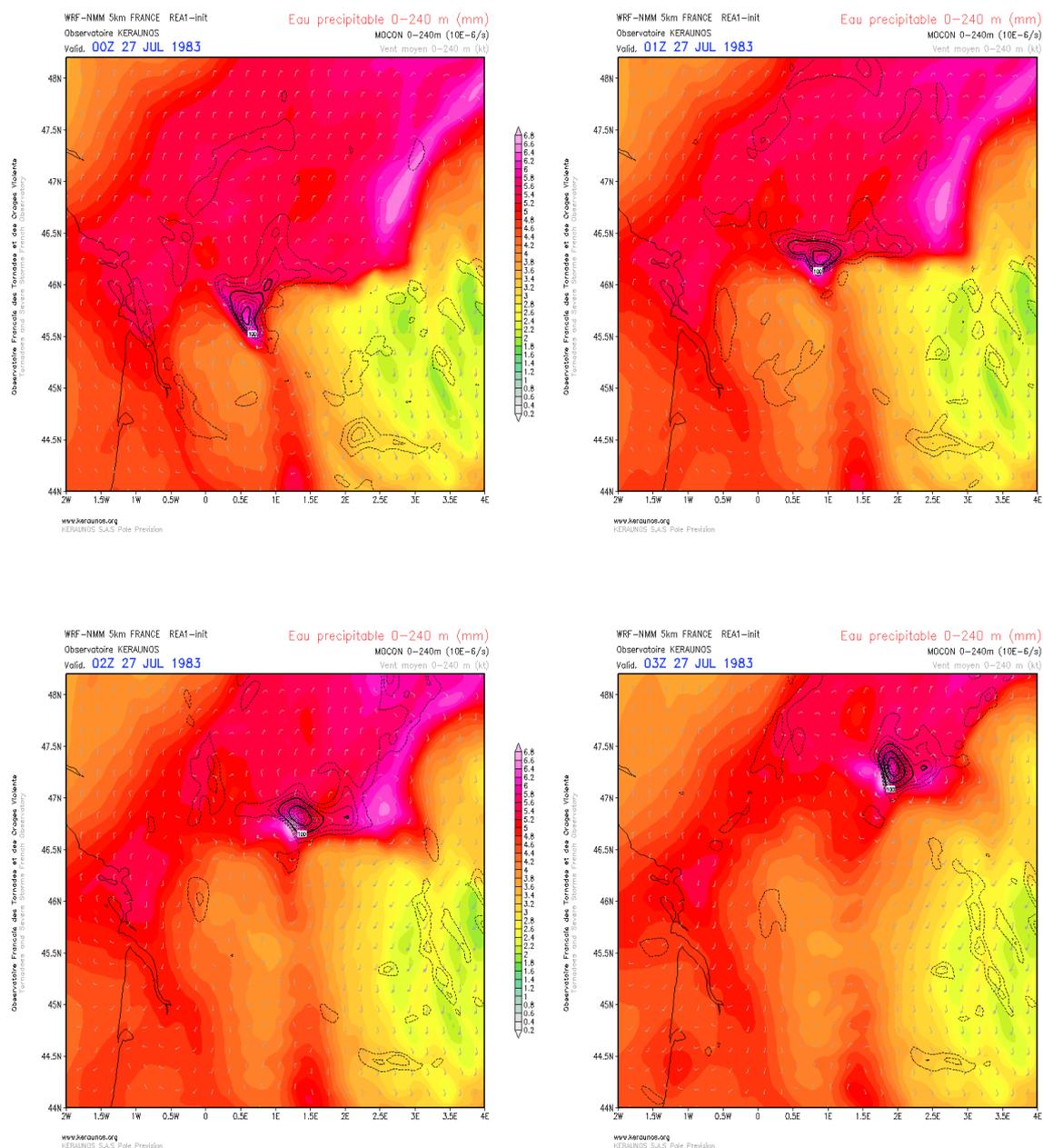


Fig. 113 : MOCON, eau précipitable et vent moyen 0-240 m entre le 27 juillet à 00Z et le 27 juillet à 03Z.

6.5.5 Analyse du potentiel de fortes rafales descendantes :

Les champs de vitesses verticales de WRF-NMM permettent de juger finement de la dynamique simulée par le modèle, et il est intéressant de noter que, ce sur point également, la modélisation propose un scénario cohérent avec les phénomènes observés.

WRF-NMM génère ainsi un dipôle de vitesses verticales particulièrement vigoureux dans la portion la plus dynamique du système convectif. A 900 hPa, soit vers 1.000 mètres d'altitude, le noyau principal de vitesses verticales négatives, qui signale de très fortes ascendances (en bleu-mauve), est attaqué sur son flanc sud-ouest par de très fortes subsidences (en vert), qui signalent la position du courant descendant principal généré par le modèle. On note qu'un jet de basses couches vient s'insérer dans les courants descendants, avec des vitesses de vent simulées à près de 100 km/h à cette altitude.

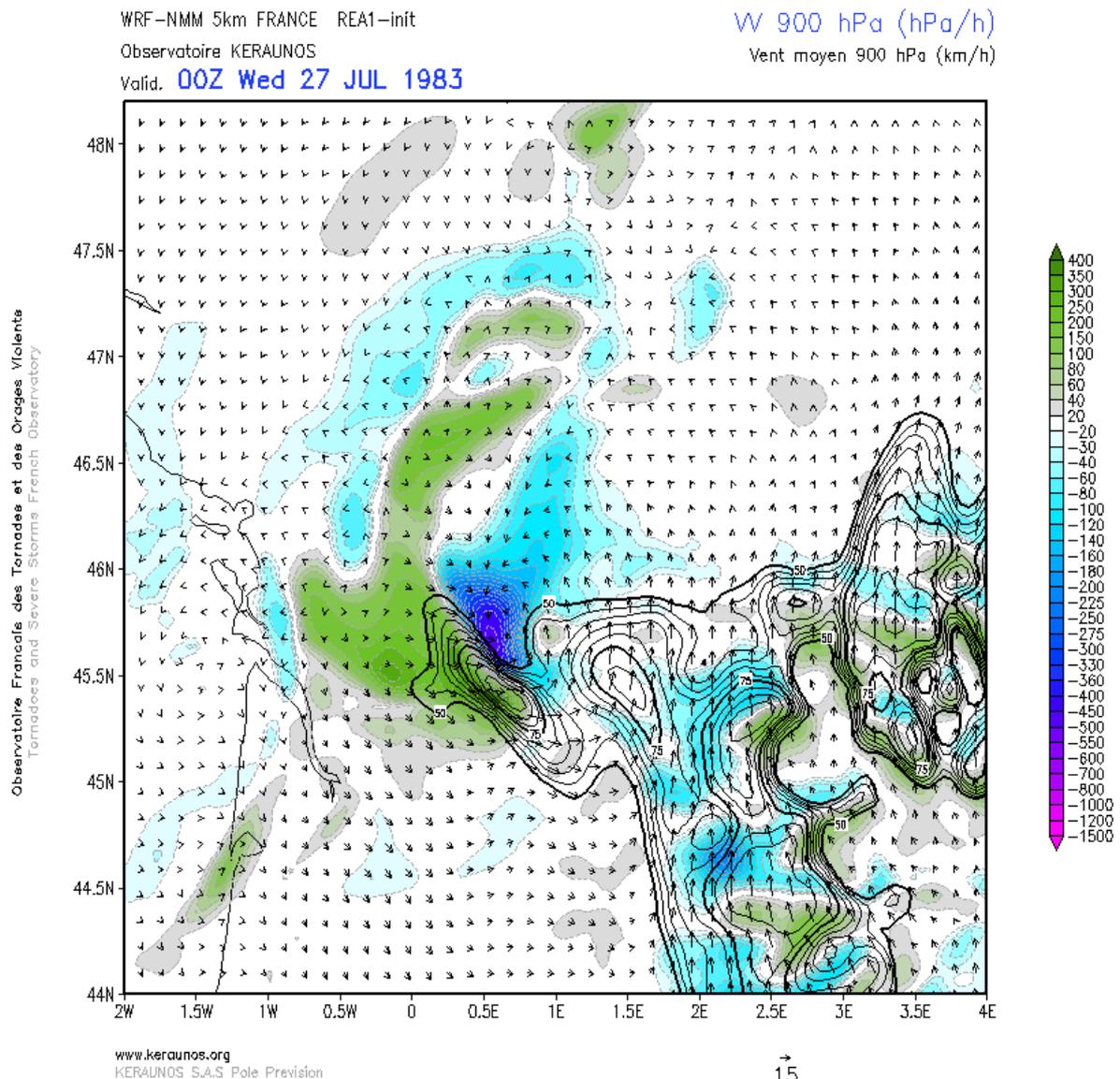


Fig. 114 : vitesses verticales et vent moyen à 900 hPa le 27 juillet à 00Z.

Les 6 champs qui suivent montrent les vitesses verticales simulées à 700 hPa (vers 3.000 mètres d'altitude). On y retrouve un même dipôle remarquablement intense, avec constitution d'un jet sur les flancs sud et est du noyau d'ascendances principal, au cœur des courants descendants.

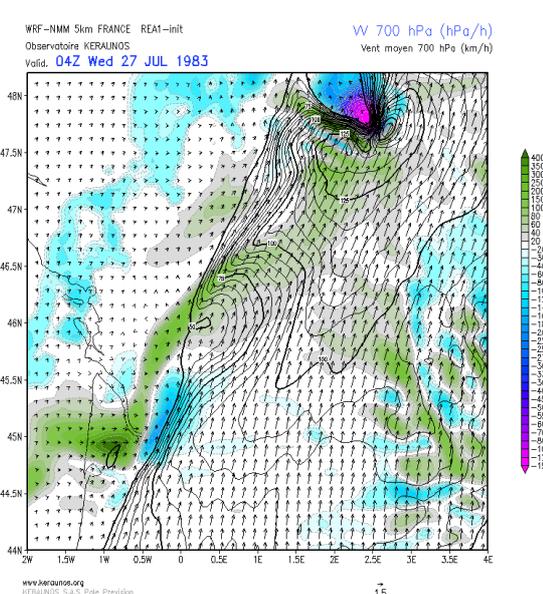
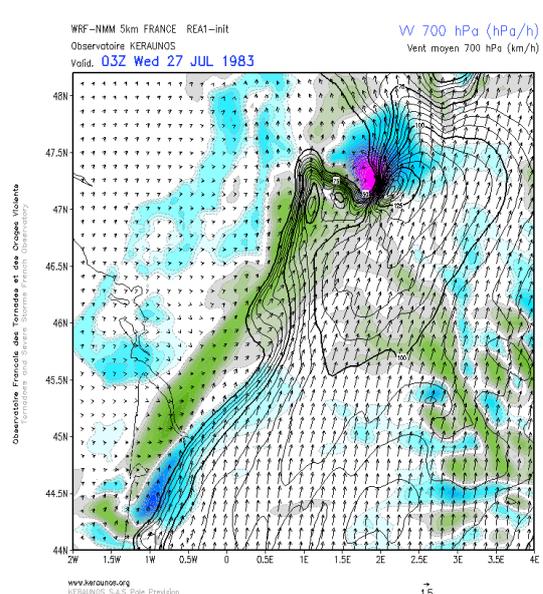
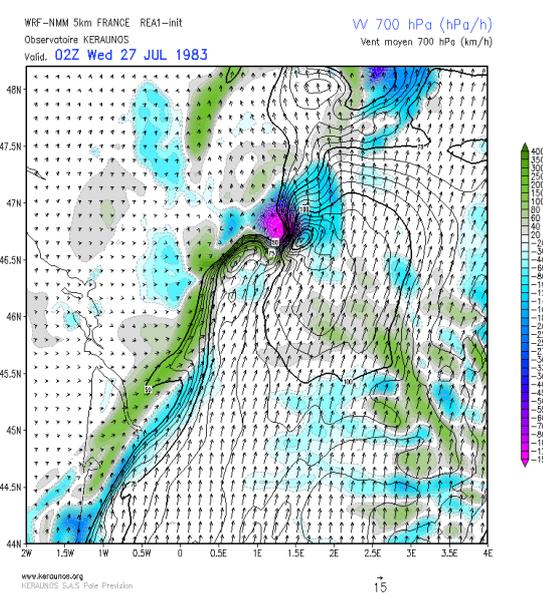
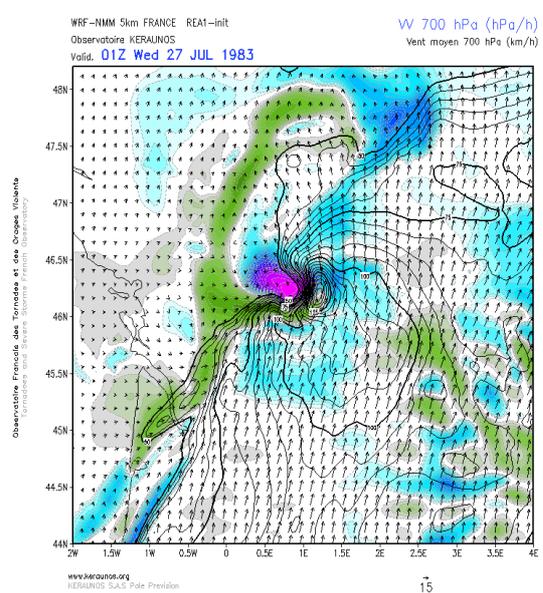
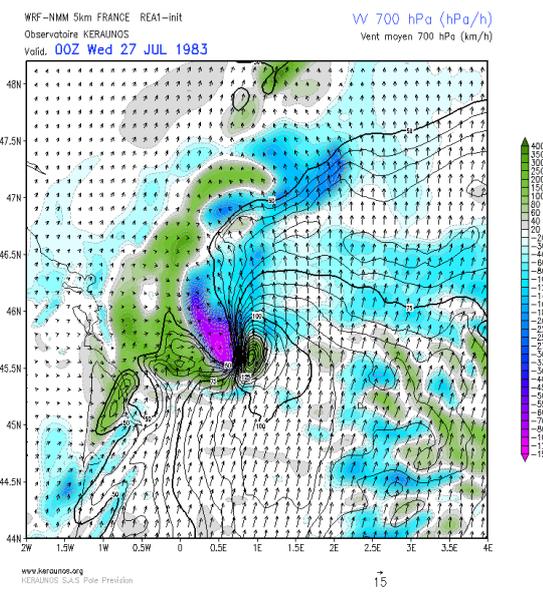
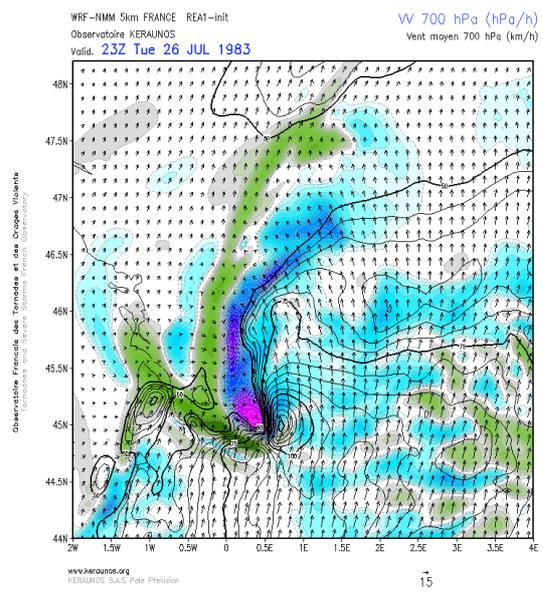


Fig. 115 : vitesses verticales et vent moyen à 700 hPa entre le 26 juillet à 23Z et le 27 juillet à 04Z.



Outre cette très puissante dynamique simulée par le modèle, l'analyse fine des profils verticaux modélisés par WRF-NMM confirme les premières conclusions issues de l'analyse des radiosondages effectués par ballon-sonde à la mi-journée. On remarque en effet que le système orageux se propage cette nuit-là dans un environnement doté d'une très forte DCAPE, ce qui vient confirmer l'existence d'un potentiel de courants descendants particulièrement intenses.

On trouve d'ailleurs ici la trace des courants descendants les plus puissants sous la forme d'un noyau de faible DCAPE, que le modèle simule sous une forme graduellement plus arquée, sur un front large d'environ 50 kilomètres. La correspondance avec les caractéristiques réelles du derecho mérite d'être soulignée.

Il est par ailleurs intéressant de noter que le réservoir de DCAPE se reconstitue juste après le passage des orages dans la simulation du modèle. Ce point est validé par le radiosondage de Bordeaux réalisé le 27 juillet à 02h locales ; ce dernier affiche en effet une DCAPE de 1.266 J/kg, ce qui est tout à fait remarquable pour une situation nocturne post-orageuse.

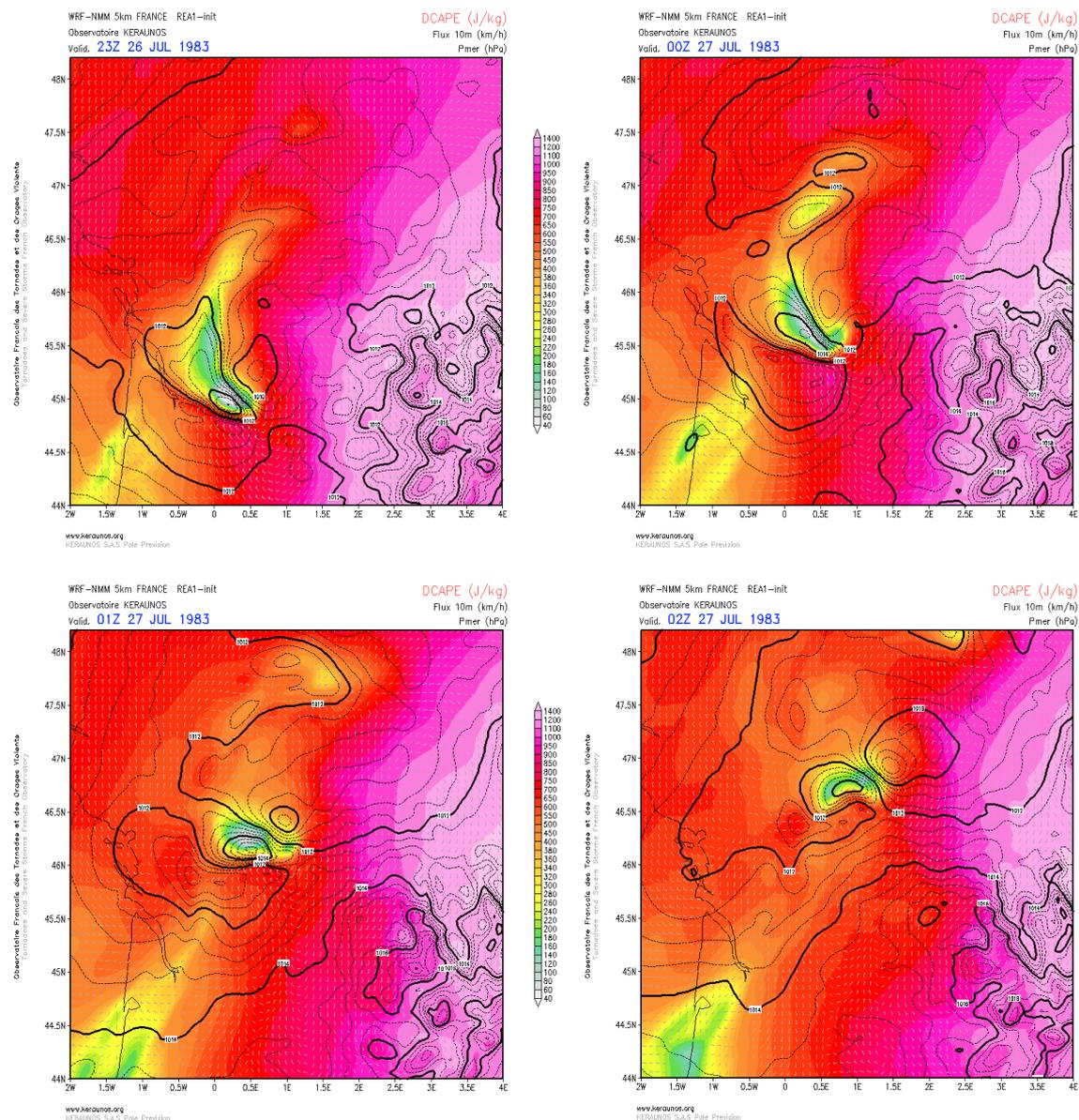


Fig. 116 : DCAPE, Pmer et vent 10 m entre le 26 juillet à 23Z et le 27 juillet à 02Z.



La coupe verticale, réalisée en suivant la longitude 0.5 E, est instructive dans la mesure où elle permet de visualiser le système convectif par la tranche lors de son passage dans les environs de Champagne-Mouton, en Charente. On y voit notamment apparaître une très forte subsidence sur le flanc sud du MCS, associée à un jet de basses couches dont le cœur se situe vers 500 mètres d'altitude. Il est surplombé par une advection sèche qui progresse depuis l'étage moyen vers l'étage inférieur.

Même s'il est probable que la simulation diffère sous certains aspects avec la réalité de l'époque, il apparaît néanmoins clairement que le modèle génère une configuration tout à fait typique d'un système convectif très dynamique, associé à un courant descendant particulièrement intense et excessivement venteux. Cet élément est parfaitement cohérent avec les phénomènes observés cette nuit-là entre Charente et Vienne notamment.

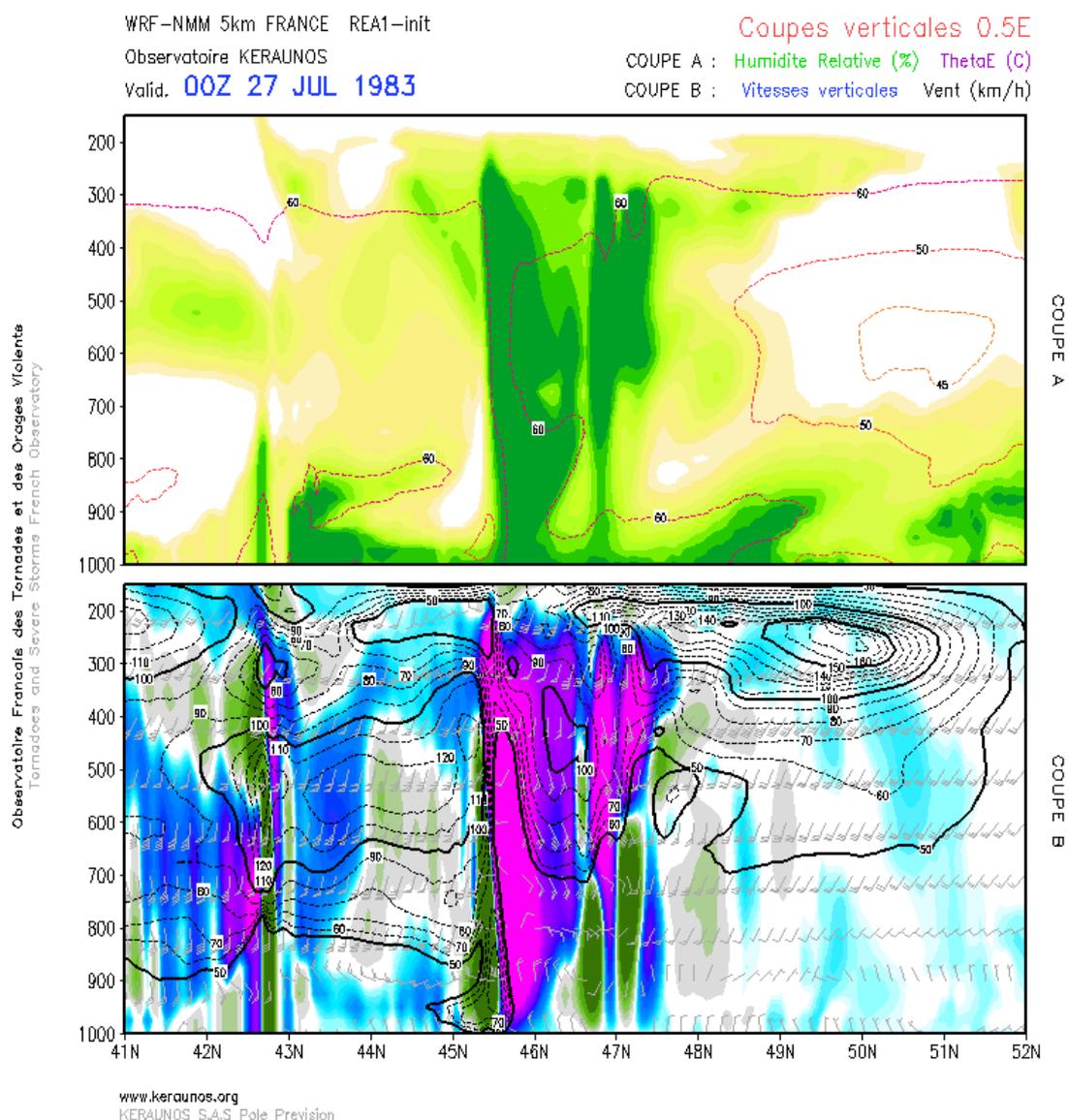


Fig. 117 : coupe verticale sur la longitude 0,5°E, le 27 juillet à 00Z.

6.5.6 Analyse du potentiel de tornades

La genèse des tornades nécessite ordinairement la conjonction d'une forte instabilité et d'une forte hélicité relative dans les basses couches. Comme on l'a vu, le réservoir d'instabilité est considérable le soir du 26 juillet sur les régions balayées par le MCS. En revanche, l'hélicité relative s'avère peu marquée sur l'épaisseur 0-2 km. C'est du moins ce qui ressort de la modélisation réalisée avec WRF-NMM, qui vient ici confirmer les mesures réalisées par le ballon-sonde de Bordeaux quelques heures plus tôt.

Ainsi, les champs de SRH sur l'épaisseur 0-500 mètres n'affichent en moyenne que de très faibles valeurs dans l'environnement pré-orageux. Seul un noyau de valeurs modérées ($> 100 \text{ m}^2/\text{s}^2$) est positionné à l'est du système, à l'écart de la zone concernée par les mouvements verticaux les plus violents. Cet élément est intéressant car il permet d'établir que les profils verticaux étaient peu propices à la formation de tornades mésocycloniques dans la portion la plus active du système orageux.

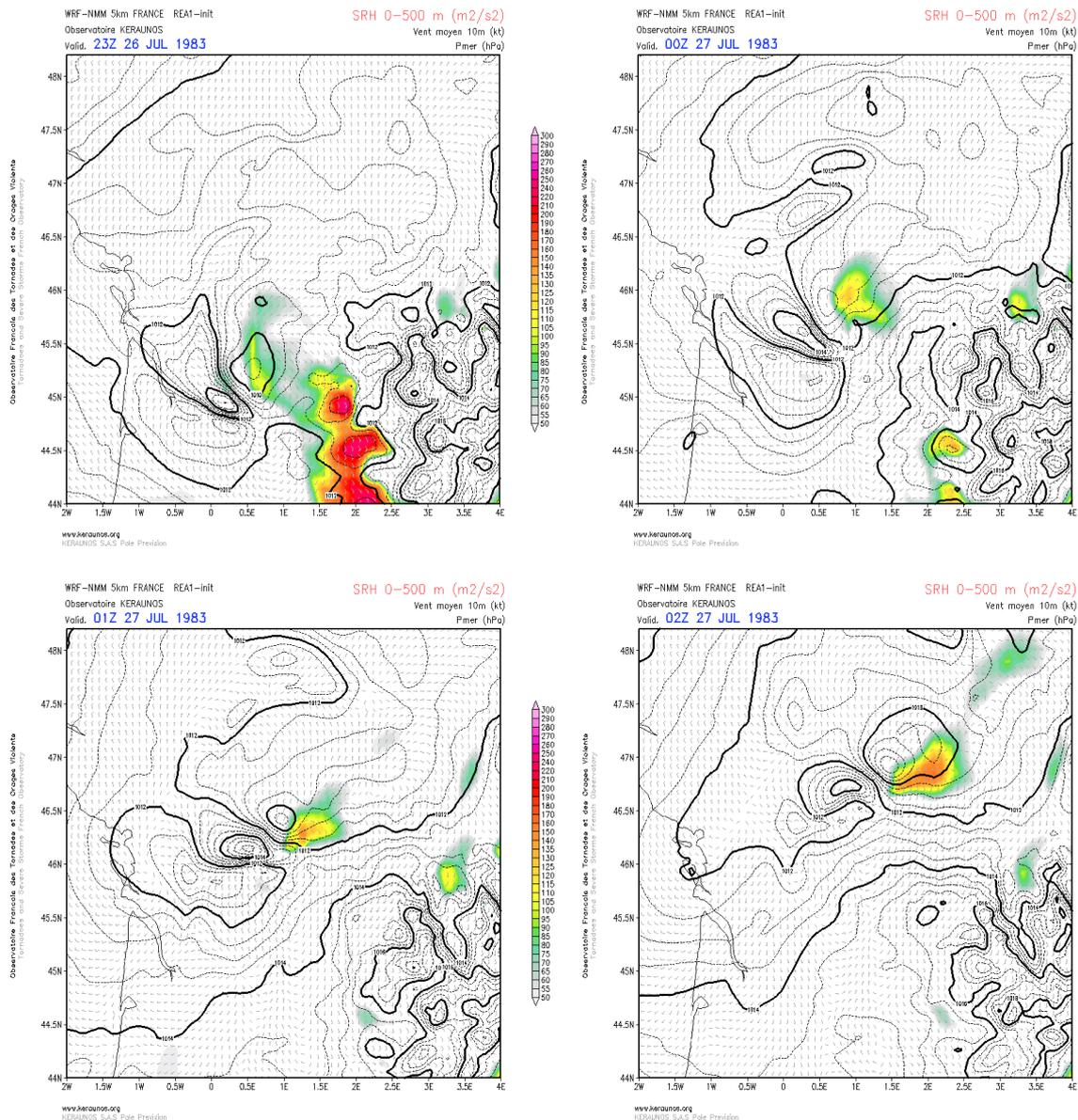


Fig. 118 : SRH 0-500 m, Pmer et vent 10 m entre le 26 juillet à 23Z et le 27 juillet à 02Z.



En revanche, même si les conditions n'apparaissent pas réunies pour supporter la formation de mésocyclones de basses couches, il est vraisemblable que la présence d'une hélicité modérée entre 2 et 3 km d'altitude a pu conduire à la formation ponctuelle de mésocyclones à l'étage moyen. WRF simule en effet des valeurs de SRH 0-3 km ponctuellement élevées en périphérie nord et est du système orageux principal.

Il est donc vraisemblable que le MCS ait été précédé et environné de structures de type supercellulaire, même en présence d'un environnement de très basses couches peu enclin à supporter des transitions en phase tornadique.

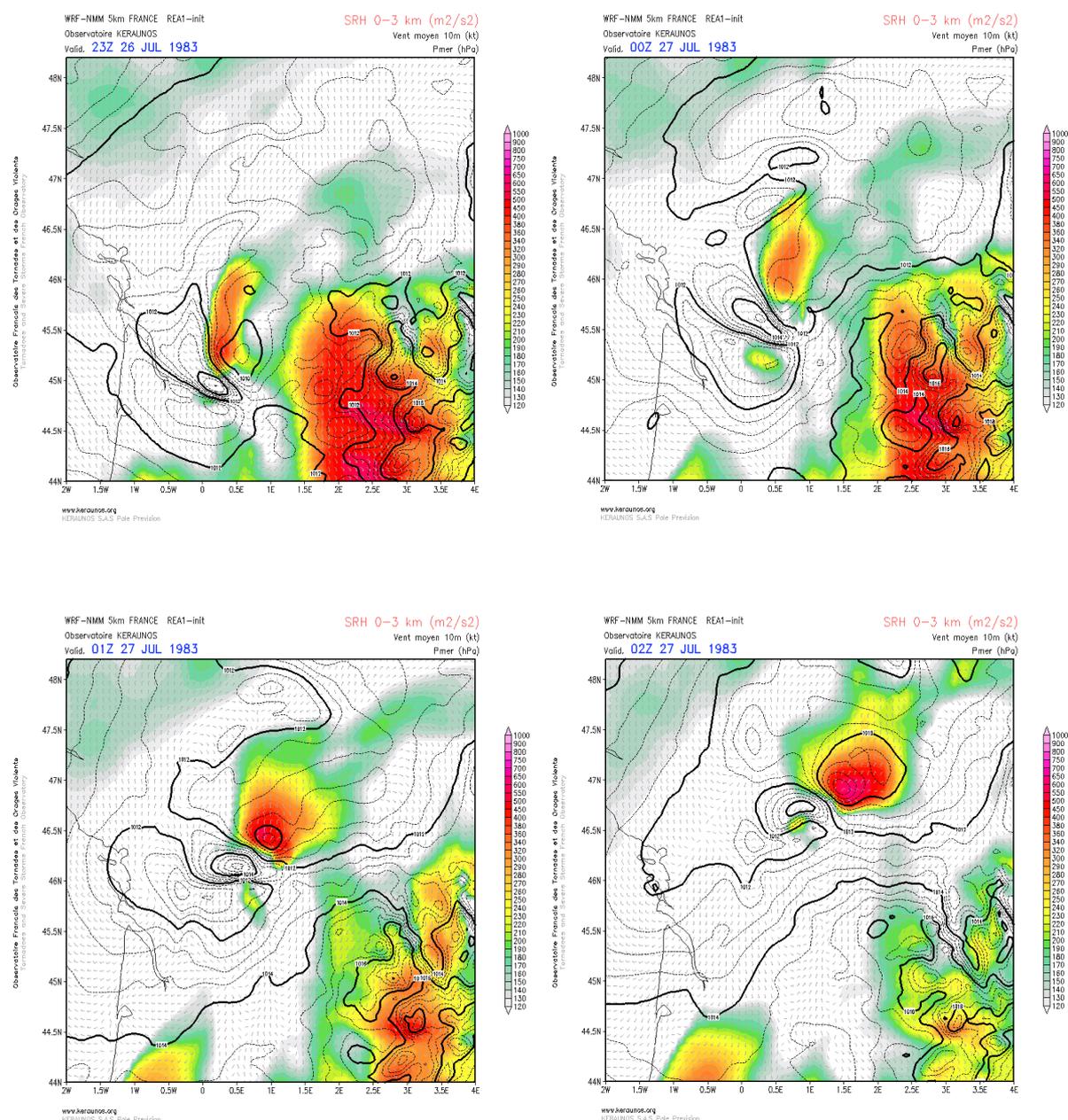


Fig. 119 : SRH 0-3 km, Pmer et vent 10 m entre le 26 juillet à 23Z et le 27 juillet à 02Z.



6.5.7 Synthèse sur les profils verticaux dans les environnements pré-orageux et orageux

Afin de visualiser de manière synthétique l'ensemble des éléments thermiques, hygrométriques et dynamiques qui viennent d'être passés en revue, deux profils verticaux ont été réalisés à partir des simulations de WRF-NMM en haute résolution. Le premier profil (ci-dessous à gauche) représente l'environnement pré-orageux, dans lequel est venu s'alimenter le MCS. Le second profil (à droite) représente l'environnement orageux, sur le bord d'attaque du courant descendant principal. Les hodographes associés sont présentés en-dessous, et les analyses chiffrées en page suivante.

Le profil pré-orageux fait apparaître un potentiel convectif sévère, avec menace pluvieuse et venteuse très élevée. La structure d'hodographe est typique des potentiels mixtes, à la fois supercellulaires et multicellulaires, avec néanmoins une hélicité de basses couches minimale, peu encline à supporter des développements durables et significatifs de tornades. Le profil orageux présente pour sa part une intrusion sèche à l'étage moyen inférieur, surplombée par une épaisseur très instable jusqu'à 10 km d'altitude. L'hodographe, très allongé, confirme la présence de vents violents sur toute l'épaisseur de l'atmosphère, avec des cisaillements intenses mais une hélicité relative qui demeure modeste. On y trouve les caractéristiques d'un environnement orageux intense, générateur de courants descendants violents et préférentiellement organisés en ligne.

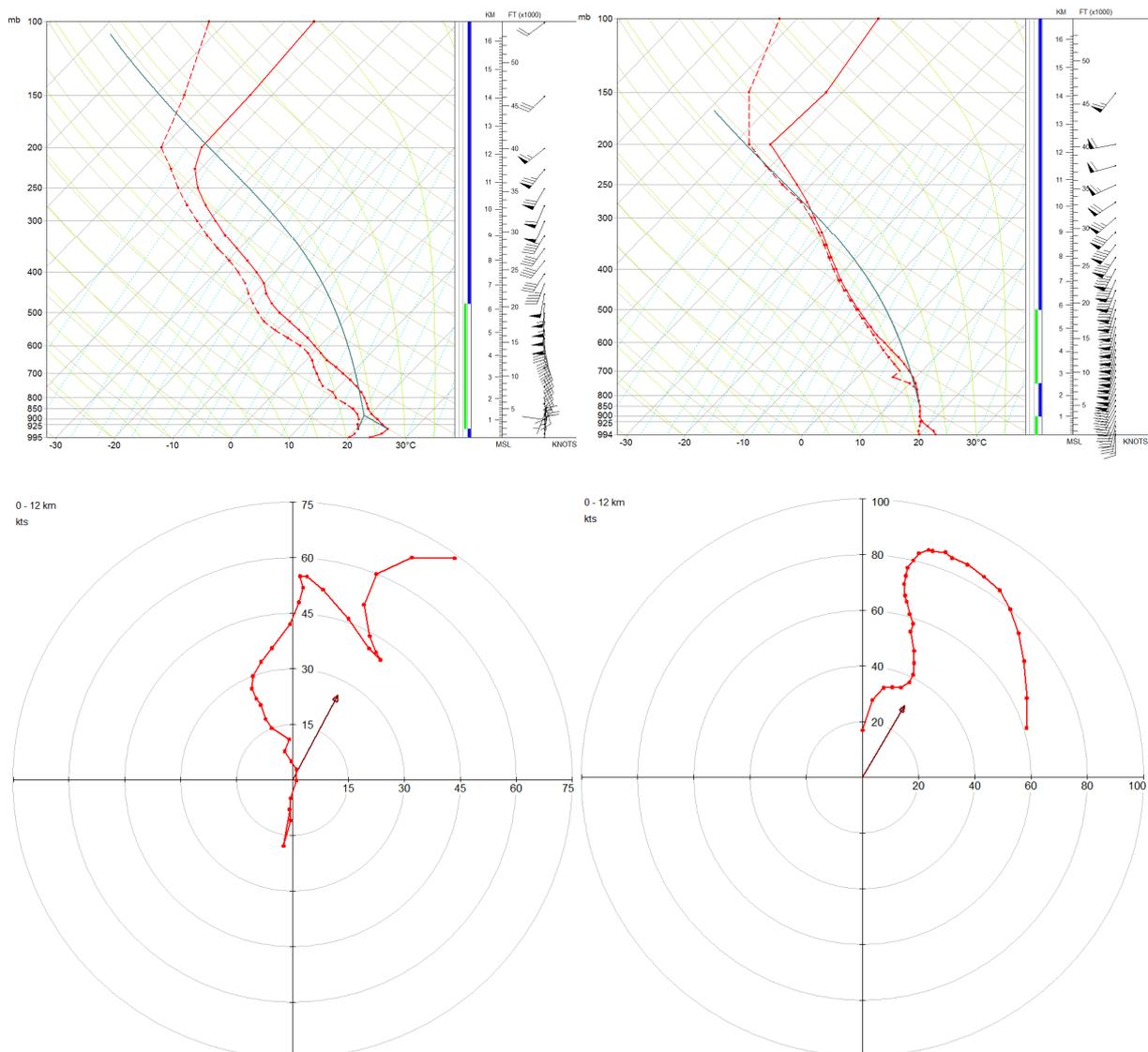
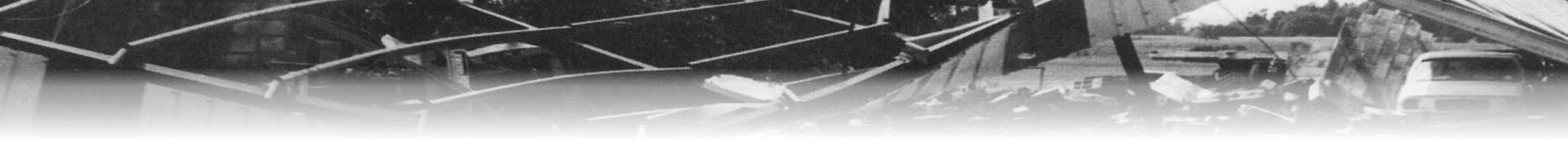




TABLEAU 4 : Analyse des profils issus du reforecast de WRF-NMM 5 km, pour la nuit du 26 au 27 juillet 1983

La gamme de couleurs indique si la valeur indiquée est considérée comme faible (vert), modérée (orange) ou élevée (rouge). La couleur blanche indique une valeur non significative ou non propice.

paramètre	unités	Environnement pré-orageux	Environnement orageux
Altitude de la tropopause	mètres	12.096	12.142
Altitude de l'isotherme 0°C	mètres	4.148	4.098
Niveau d'équilibre	mètres	12.231	9.704
Altitude du L.C.L.	mètres	1.063	1.349
Eau précipitable	mm	50,4	53,0
INSTABILITE			
KO Index	-	-16,0	-8,2
K Index	-	42,9	40,4
MULI	K	-10,0	-5,0
MLLI	K	-9,0	-4,0
MUCAPE	J/kg	3.038	796
MLCAPE	J/kg	2.655	623
MUCIN	J/kg	-46	-6
DCAPE	J/kg	1.167	0
CISAILLEMENTS ET HELICITE			
Cisaillements 0-6 km	m/s	32,4	35,5
S.R.H. 0-500 m	m ² /s ²	-10	59
S.R.H. 0-1 km	m ² /s ²	3	43
S.R.H. 0-2 km	m ² /s ²	32	65
S.R.H. 0-3 km	m ² /s ²	70	61
VITESSE DU VENT			
à 1.000 mètres	km/h	1	65
à 2.000 mètres	km/h	21	83
à 3.000 mètres	km/h	45	113
INDICES COMPOSITES			
Supercell Composite Parameter	-	8,8	1,0
Significant Tornado Parameter	-	0,06	0,17



Conclusion

L'étude menée ici, à la fois au travers d'une compilation des témoignages de l'époque, d'une expertise détaillée des dommages, d'une analyse des relevés et observations météorologiques et d'une modélisation numérique à haute résolution (reforecast), permet de considérer sous un jour nouveau cet épisode orageux d'ampleur exceptionnelle.

Les enseignements sont riches et permettent notamment d'établir les conclusions suivantes :

1 – l'épisode orageux, dans son ensemble, s'est développé dans une configuration de « spanish plume » remarquablement dynamique et instable. Il s'est traduit, sur l'ouest de la France, par trois offensives orageuses successives, la première et la troisième se distinguant plus particulièrement par leur sévérité et leur ampleur.

2 – l'épisode du soir du 25 juillet s'est déclenché en lien avec un système convectif de méso-échelle (MCS), qui a eu pour particularité très vraisemblable de développer un minimum dépressionnaire à l'étage moyen, autour duquel l'ensemble du système est entré en rotation (MCV). Ce MCS a balayé toutes les régions qui s'étirent du Poitou-Charentes jusqu'au Nord – Pas de Calais.

3 – les dommages observés au passage de ce MCS ont été causés d'une part par des pluies diluviennes, et d'autre part par des rafales descendantes organisées sous la forme de plusieurs macrorafales. Certaines d'entre elles ont généré des vents estimés entre 150 et 180 km/h, notamment dans la région de Niort. Les dommages observés présentent les caractéristiques habituelles des vents linéaires violents et divergents. Aucun dégât recensé ne permet de conclure à un éventuel phénomène de tornade à proximité ou en périphérie de ces rafales descendantes.

4 – la seconde offensive orageuse s'initie dès le milieu de nuit du 25 au 26 juillet dans le Golfe de Gascogne. En abordant la Charente-Maritime, les premières cellules orageuses présentent vraisemblablement un comportement supercellulaire, puis viennent fusionner en un MCS qui se dissipe en milieu de journée du 26 juillet sur le bassin Parisien. Les dommages causés par ces orages sont essentiellement consécutifs à des chutes de grêlons de diamètre estimé supérieur à 5 cm. De fortes pluies sont signalées, mais il n'est pas fait part de vents violents sous cette dégradation matinale.

5 – la troisième et dernière offensive orageuse de cet épisode s'initie le mardi 26 juillet sur le nord de l'Espagne. Tirant parti d'une dynamique d'altitude particulièrement intense et d'une instabilité très forte, l'activité orageuse se propage en soirée sur le sud-ouest de la France. Elle prend alors une tournure explosive et conduit à la formation d'un MCS extrêmement actif et aux dimensions considérables, qui remplissent temporairement les critères d'un MCC, sans toutefois les valider suffisamment longtemps pour pouvoir considérer ce système comme tel. Ce système convectif balaie en fin de soirée et cours de nuit toutes les régions qui s'étirent de l'Aquitaine jusqu'au Nord – Pas de Calais. Comme la veille, il présente les signes d'une rotation cyclonique générale et constitue un très vraisemblable Mesoscale Convective Vortex (MCV).



6 – ce système orageux provoque de nombreux dommages liés à la violence des pluies et à la sévérité des rafales de vent. La zone concernée par des rafales destructrices s'étire dans un couloir long de 450 km et large de 50 km. Cette caractéristique permet de considérer que ce MCS remplit les critères d'un derecho, ce qui confirme l'exceptionnelle sévérité de cet épisode orageux.

7 – dans ce contexte, il est probable que le système orageux se soit composé d'une vaste ligne de précipitations intenses, de forme arquée (bow echo), greffée sur une dépression de méso-échelle. La constitution de ce système arqué a pu être précédée de développements supercellulaires, notamment sur l'Aquitaine. Compte tenu des profils verticaux en présence, des structures supercellulaires transitoires ont également pu se développer en périphérie du bow echo, notamment sur son flanc oriental ainsi qu'au nord du système.

8 – l'analyse des dommages met en évidence une zone concentrée de dégâts sévères, de forme linéaire, au sein de laquelle les plus fortes rafales sont estimées proches de 200 km/h. Ces rafales extrêmes, et les dommages qu'elles ont provoqués, ont été causés par un phénomène de macrorafale, lui-même composé d'une multitude de microrafales dont certaines ont présenté des structures en rotor, à l'origine de couloirs de dommages linéaires parfois extrêmes et spectaculaires.

9 – enfin, aucun dommage explicite de tornade ne peut être identifié, ni au sein de cette zone de dommages sévères, ni en périphérie proche ou même lointaine. Certes, on ne peut, de manière théorique, exclure l'éventualité que des tourbillons brefs aient pu se former dans ce type de contexte, dans la mesure où les bow echos peuvent parfois générer, notamment à leurs extrémités, des cisaillements violents occasionnellement producteurs de mesovortex tornadiques. Néanmoins, cette possibilité théorique n'a pas valeur de preuve et aucun élément objectif ne permet de démontrer l'occurrence d'une ou de plusieurs tornades au cours de cet épisode, et ce en dépit de l'impression de « tornade » exprimée par de nombreux témoins et journalistes.



Remerciements

Nous remercions tout particulièrement Jean-Philippe Forestier pour son implication dans le cadre des recherches d'archives de presse dont il est l'initiateur pour cet épisode.

Nous remercions également Jérémy Gaultier pour sa contribution à la modélisation de cet épisode orageux par la mise en œuvre du modèle WRF.

* * * * *

© KERAUNOS – Tous droits réservés. Reproduction interdite, même partiellement.

Juillet 2013

