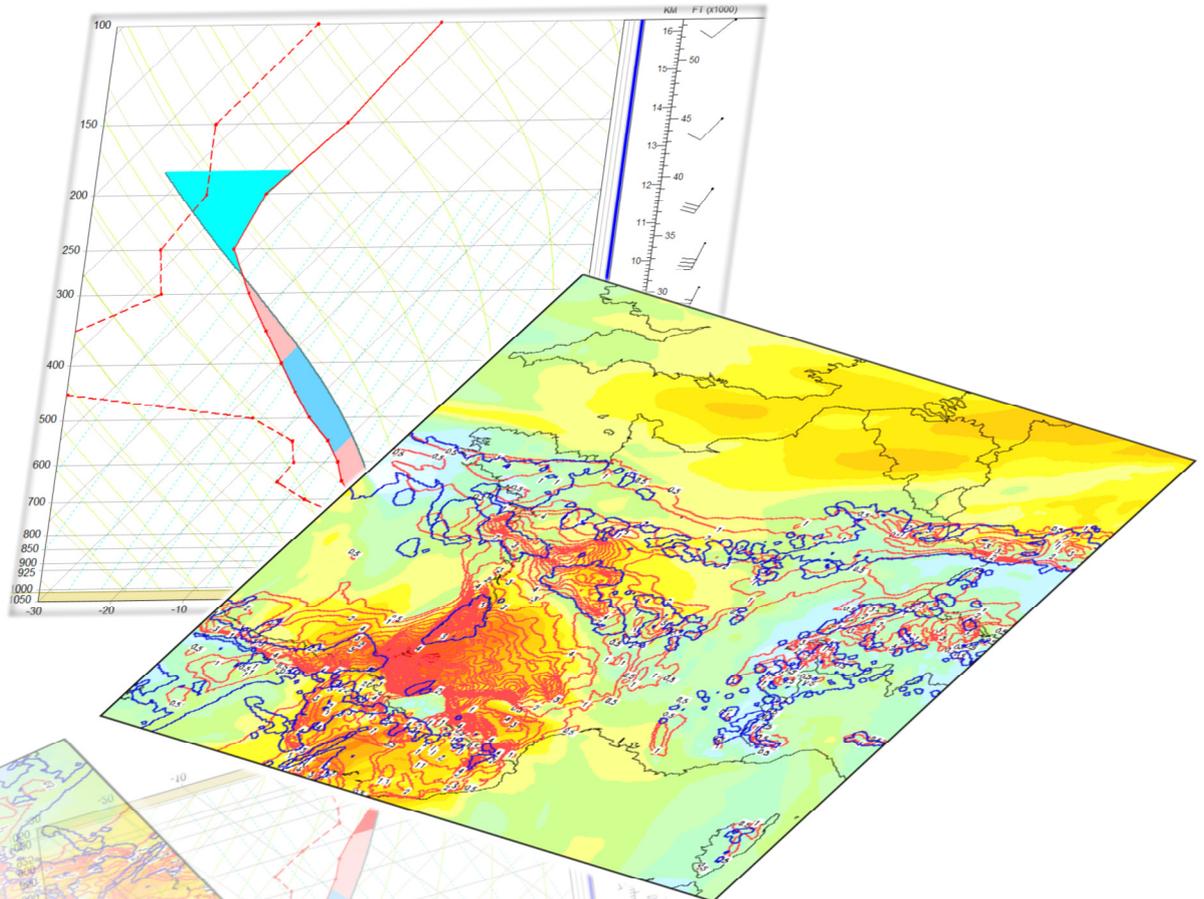


L'épisode supercellulaire du 11 mai 2009



Apports et limites du modèle WRF à haute résolution en situation convective extrême

David DUMAS
Novembre 2010
www.keraunos.org

TABLE DES MATIERES

PROPOS D'ORDRE GENERAL	3
NOTIONS ET ETAT DES CONNAISSANCE SUR LES ORAGES SUPERCELLULAIRES	4
Généralités sur les mécanismes de formation	4
Techniques de prévisions actuelles	6
<i>Définitions</i>	6
<i>Corrélations établies</i>	7
RETOUR SUR LA SITUATION DU 11 MAI 2009, VUE PAR GFS 50KM ET WRF 4KM	10
Développement d'outils de prévision	10
<i>Outils d'évaluation de l'instabilité</i>	10
<i>Outils d'évaluation des cisaillements et des vents relatifs</i>	11
<i>Outils d'évaluation des indices composites couplés à des champs de vent</i>	11
<i>Développement et test d'un indice composite</i>	13
Modélisation de la situation du 11 mai 2009 proposée par GFS 0.5°	14
Post-prévision de la situation du 11 mai 2009 par WRF 4km	18
<i>Confrontation GFS 0.5°/WRF 4km à l'observation en temps réel</i>	18
<i>Instabilité en place avant le début de l'épisode</i>	21
<i>Confrontation WRF 4km à l'observation en temps réel</i>	24
CONCLUSIONS	29

NOTA : le présent rapport ne demeure pas exhaustif quant à l'étude de tous les champs et de toutes les échéances issus du modèle WRF. Seuls les aspects les plus significatifs sont repris ici-même.

1. PROPOS D'ORDRE GENERAL

Le 11 mai 2009, un épisode orageux intense a balayé une moitié ouest de la France. Le développement simultané, en fin d'après-midi, de plusieurs supercellules rend l'épisode remarquable. Ce sont en effet pas moins de six orages supercellulaires simultanés (sept au total) qui ont coexisté le long d'une ligne de convergence des vents entre l'Aquitaine et la région Poitou-Charentes. Si aucune information faisant état de phénomène tourbillonnaire abouti n'est remontée à l'Observatoire, il n'en reste pas moins que ces orages ont occasionné des chutes de grêle et des rafales de vent dévastatrices.

En 2009, l'Observatoire ne disposait pas de modèle de prévision à haute résolution. C'est justement pour affiner la prévision des phénomènes de méso-échelle qu'une version dédiée à la prévision convective du modèle WRF résolution 8km a été développée, avec la précieuse contribution de meteorologic.net.

Le déploiement de cet outil de prévision a permis de procéder à une prévision a posteriori de la situation du 11 mai 2009, sur une résolution encore plus fine de 4km.

Le présent rapport, après avoir brossé les différents mécanismes de formation d'un orage supercellulaire, s'attachera à établir un comparatif entre un modèle classique (GFS 50 km) et un modèle haute résolution (WRF 4km).

Ainsi, l'apport du modèle à haute résolution en situation convective extrême pourra faire l'objet d'une première évaluation.

Il va de soi qu'il n'est pas ici question de juger de la performance générale du modèle WRF. Il serait pour cela nécessaire d'étudier un nombre très important de situations convectives, de les comparer les unes aux autres afin de pouvoir dresser un bilan statistique.

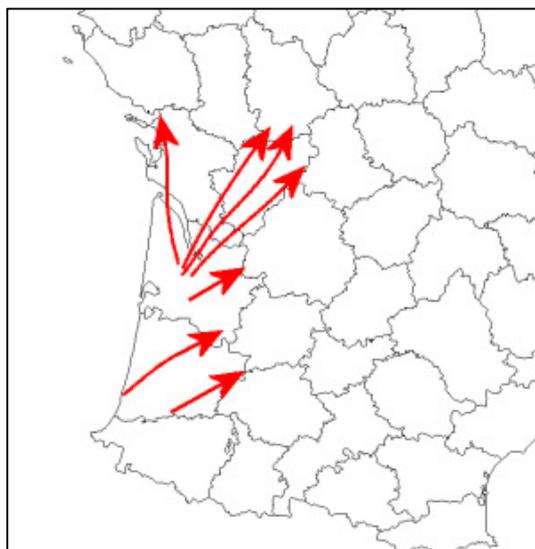


Fig 1 : trajectoire des 7 orages supercellulaires

2. NOTIONS ET ETAT DES CONNAISSANCES SUR LES ORAGES SUPERCELLULAIRES

1. Généralités sur les mécanismes de formation

La supercellule constitue sans nul doute la formation orageuse la plus complexe et la plus aboutie. S'il existe plusieurs types de supercellules (LP, HP et « classic »), elles demeurent uniques et autonomes avec une activité qui peut durer plusieurs heures. Une supercellule est identifiée comme telle lorsqu'un mésocyclone profond persiste durant au moins trente minutes. On parlera d'amorce dans le cas contraire. La condition essentielle au développement d'un orage supercellulaire tient au fait que les courants verticaux au sein du système sont décalés dans l'espace, ce qui asphyxierait la cellule dans le cas contraire (cas typique du monocellulaire). Les cisaillements de vent constituent donc une composante primordiale dans la formation de la supercellule.

Ce profil de vent cisailé incline la colonne convective d'alimentation de l'orage qui transporte une vorticité d'axe primitivement horizontal. Ainsi, en plus d'être incliné, le courant ascendant d'une supercellule est rotatif. Cet aspect rotatif, visuellement repérable, traduit la présence d'un mésocyclone.

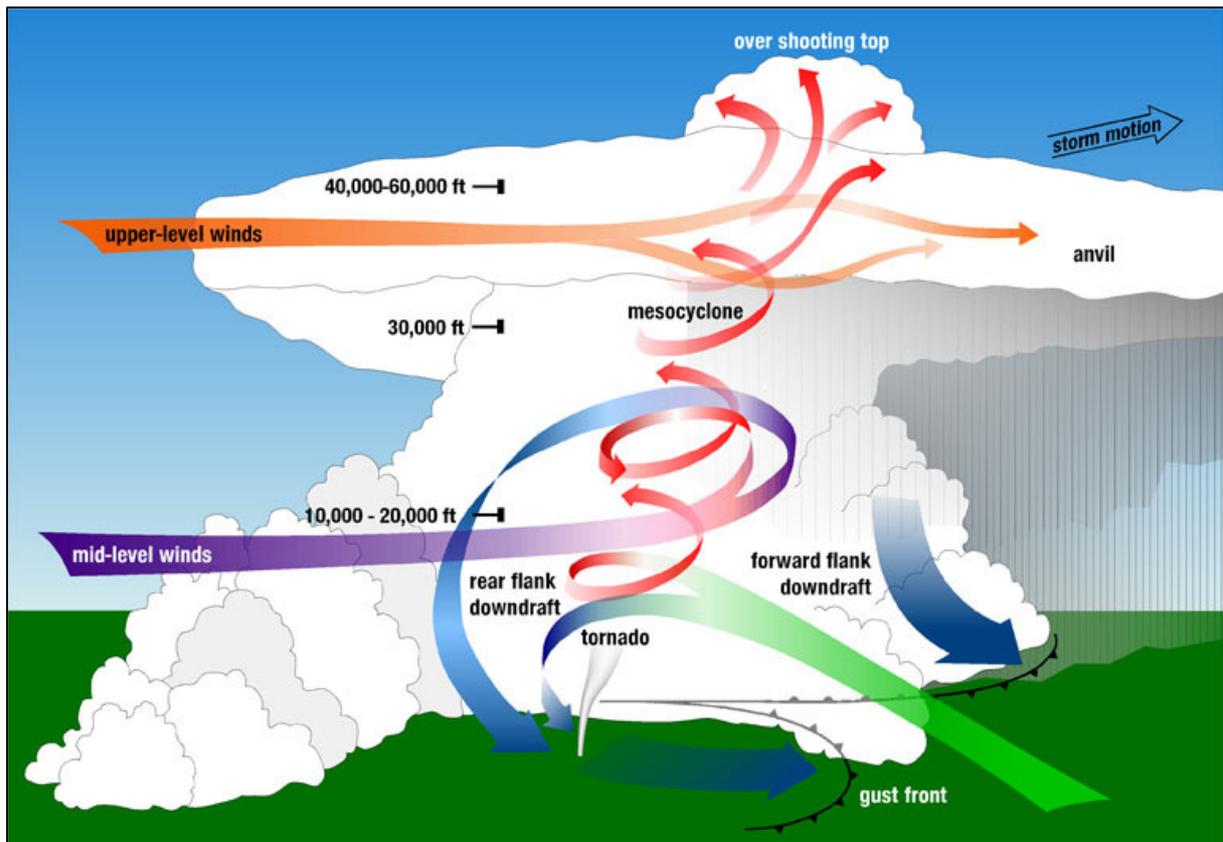


Fig 2 : Schéma de la morphologie d'une supercellule – Source NSSL/NOAA

Bien qu'une image radar Doppler soit l'outil le plus adapté pour confirmer la présence d'un orage supercellulaire, une identification peut parfois être effectuée sur l'imagerie radar traditionnelle. Cela se traduit par la présence d'un écho en crochet sur le flanc sud-est de l'orage, signe de la présence d'un pseudo front chaud (zone d'alimentation chaude) et donc d'un mésocyclone.

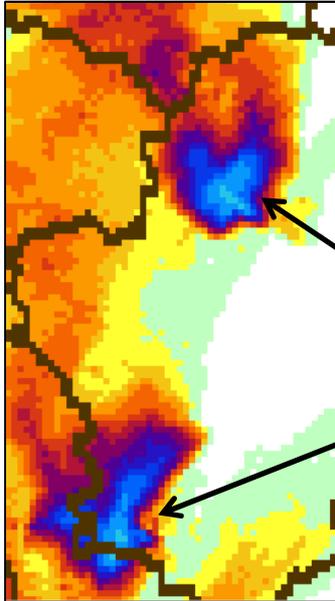
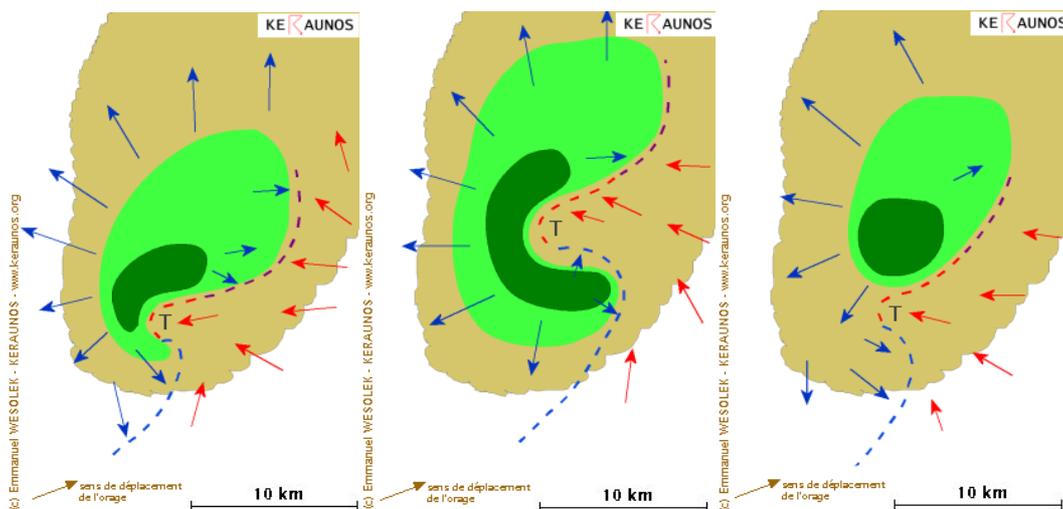


Fig 3 : Echos en crochet observés sur deux supercellules le 11 mai 2009 sur le département de la Charente.

Image radar Météo-France de 18h15 locales.

L'objet de ce rapport n'est pas d'étudier dans le détail la structure supercellulaire, mais il convient de savoir que toutes les supercellules ne présentent pas un aspect visuel sur l'imagerie radar aussi caractéristique. Si les supercellules classiques (ci-dessous à gauche) présentent un écho en crochet sur le flanc sud-est de la structure, les supercellules HP (ci-dessous au centre) incluent leur mésocyclone sur le flanc est/sud-est de la structure. Enfin, la supercellule LP (ci-dessous à droite), se développant surtout dans les environnements secs, ne présente pas de crochet sur l'imagerie radar traditionnelle (cf. Fig 4 ci-dessous)



Pour autant, toutes les supercellules sont obligatoirement dotées d'un mésocyclone parfois invisible

sur l'imagerie radar à balayage horizontal et mettent en place un système frontal de méso-échelle qui leur est propre (pseudo front chaud, pseudo front froid).

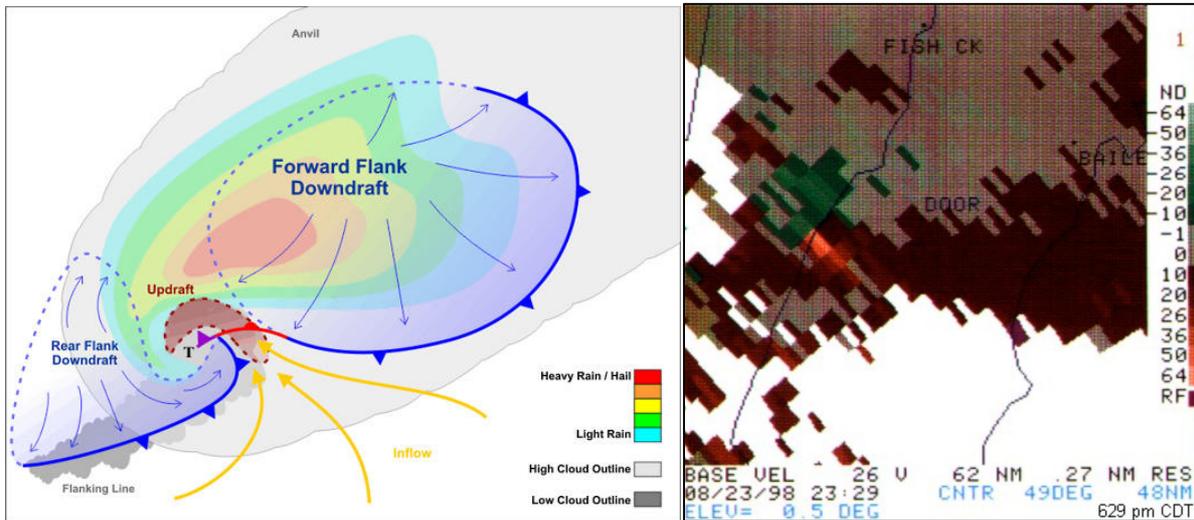


Fig 5 : schéma fonctionnel d'un phénomène supercellulaire tel qu'il est vu à l'imagerie radar (à gauche) – Source Weather Warehouse et exemple d'une imagerie radar Doppler avec signature supercellulaire évidente (net dipôle trahissant la présence d'un mésocyclone) – Source NWS Winsconsin

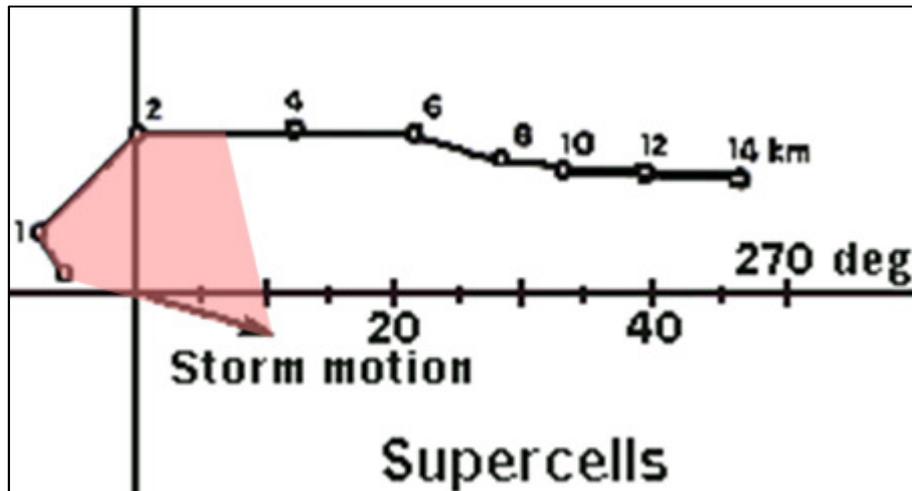
Les conditions de formation d'une supercellule sont donc particulièrement strictes et nécessitent une combinaison d'éléments parfois difficiles à réunir au même endroit, au même moment. Cet aspect, couplé à leur petite taille, rendent la prévision peu évidente à l'échelle d'une région ou d'un département.

2. Techniques de prévision actuelles

Les différentes études de chercheurs et prévisionnistes américains ont permis de mettre au point différentes techniques, aujourd'hui utilisées en prévision opérationnelle. Le travail amont de recherche s'est attelé à comprendre les mécanismes de formation des orages supercellulaires, leurs besoins et leurs facteurs d'inhibition. Ce paragraphe a donc pour objectif essentiel d'énumérer les différentes définitions des notions dont il sera question plus loin.

a. Définitions

Hélicité relative (en m^2/s^2) : [Davies-Jones et al 1990, Rasmussen et Blanchard 1998, Thompson et al 2003 et 2007] mesure du cisaillement relatif à une cellule orageuse. Une relation pourrait être établie entre une SRH 0-3 km (sur les trois premiers kilomètres de l'atmosphère) supérieure à $150 m^2/s^2$ et la genèse d'une supercellule. Graphiquement, elle correspond à une aire sur un hodographe et se trace comme suit pour la SRH 0-3 km (cf. Fig 6 ci-après) :



$$HR = - \int_0^{3km} \vec{k} \cdot \left[(\vec{V}_h - \vec{C}) \times \left(\frac{\delta \vec{V}_h}{\delta Z} \right) \right] dZ$$

K correspond à l'altitude

V_h correspond à la vitesse horizontale

C correspond à la vitesse de déplacement de l'orage (storm motion)

dZ correspond à la variation d'altitude choisie

BRN Shear (en m^2/s^2) : mesure du cisaillement profond qui repose sur une comparaison entre le vent au sol et le vent moyen sur les 6 premiers kilomètres de l'atmosphère (en m^2/s^2).

BRN (Bulk Richardson Number) : CAPE divisée par le BRN Shear. Permet de constater si une situation donnée est dominée par l'instabilité, par les cisaillements, ou par un équilibre entre les deux.

Storm relative wind (SRW) : vent relatif au mouvement propre d'une cellule convective. Plus ce vent relatif est fort, plus les ascendances vont avoir une propension à la rotation.

b. Correlations établies

La formation d'un orage supercellulaire requiert donc une combinaison d'éléments favorables en place au même endroit au même moment, ce qui n'est pas toujours évident à observer. L'instabilité de la masse d'air (CAPE) et les cisaillements de vent sont en première approche les deux facteurs indispensables à leur développement. De manière plus précise, plusieurs paramètres entrent en jeu dans la génèse d'une supercellule.

Certains d'entre eux vont conditionner le type supercellulaire (LP, classic, HP). Les supercellules les plus courantes sont de types classiques (classic), même si parfois, certaines évoluent en HP en fin de vie, dans leur phase de dissipation.

Outre l'analyse de radiosondages et hodographes, en première lecture très utiles dans la prévision du risque supercellulaire, des corrélations ont été démontrées entre instabilité, vent relatif à l'orage et hélicité relative, comme le montre le tableau en page suivante.

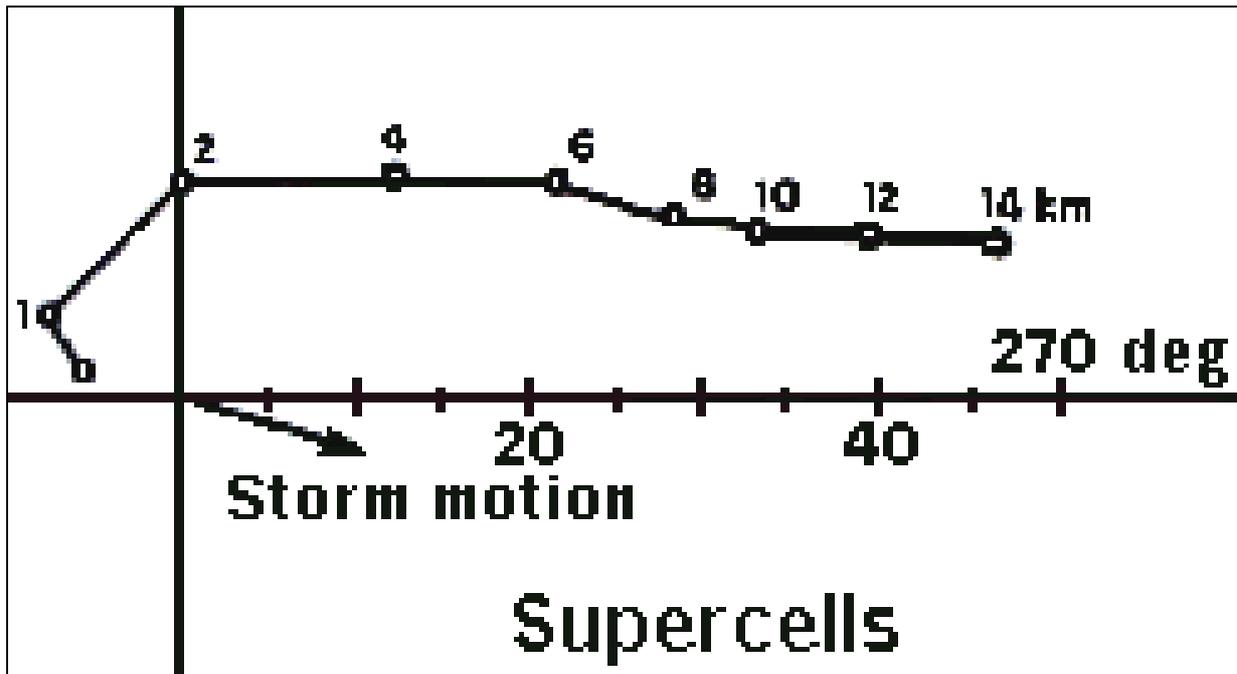


Fig 7 : hodographe type d'une situation favorable au développement de supercellules – Source NWS Louisville

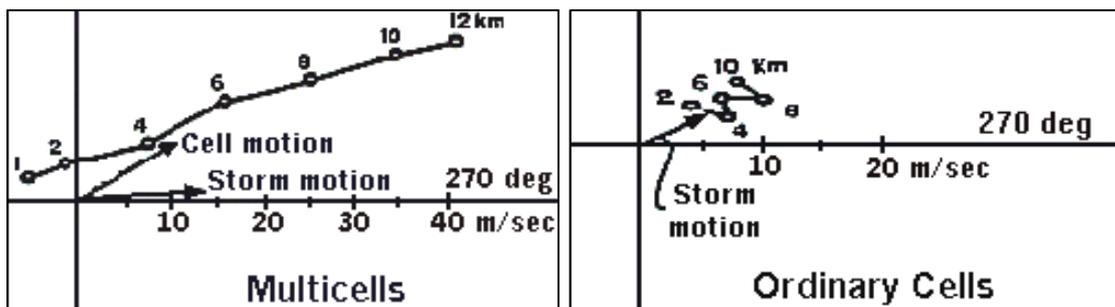


Fig 8 : hodographes types d'une situation favorable au développement de multicellules (à gauche) et de monocellules (à droite)
Source NWS Louisville

STORM CHARACTER			
SUPERCCELL TYPE:	LOW PRECIP (LP)	"CLASSIC"	HIGH-PRECIP (HP)
Cloud base height	high (>2 km)	variable (1-2 km)	low (<1.5 km)
Precipitation efficiency	low	moderate	high
Storm-relative (SR) winds (mid level: 3-6 km)	variable*	20-35 kt	<20 kt
Updraft/downdraft separation	variable*	well-separated	close together
SR helicity (low level: 0-3 km)	variable*	>250	150-250
Instability** CAPE	500-3500	1500-3500	2000-7000+
Lifted Index	-2 to -8	-4 to -10	-6 and below
Common location	near dryline	along or E of dryline	front, outflow boundary
Storm motion (vs 0-6 km mean wind)	variable	slight right mover	slow, sometimes sharply to the right

Units: Helicity in m^2/s^2 and CAPE (convective available potential energy) in J/kg. *See discussion below. **LI only measures instability at one level (in this case, the usual 500mb). If possible, always use CAPE; it measures through the entire cloud-bearing layer and is much more representative of true instability.

Fig 9 : tableau de synthèse des caractéristiques propres à chaque type supercellulaire

Les différentes études menées aux USA ont rendu possible l'élaboration du SCP (Supercell Composite Parameter), indice composite permettant d'évaluer le risque supercellulaire, et compilant l'instabilité verticale, l'hélicité en basses couches et les cisaillements profonds. Récemment, les travaux de Thompson, Edwards et M. Mead (Norman, OK) ont permis de mettre à jour l'indice en améliorant sa pertinence. L'évolution essentielle consiste à ne retenir dans l'indice que les portions efficaces de chacune de ses composantes. En d'autres termes, seule l'épaisseur d'atmosphère réellement utilisée par la cellule convective pour son alimentation est considérée dans cette nouvelle formulation du SCP. Du SCP découle par ailleurs un autre indice, l'EHI, représentatif d'une énergie, développé par Hart et Korotky, et qui couple l'instabilité à l'hélicité de basses couches.

3. Retour sur la situation du 11 mai 2009, vue par GFS 50km et WRF 4km

1. Développement d'outils de prévision

La prévision du risque supercellulaire constitue un enjeu majeur auquel l'Observatoire apporte une attention toute particulière, dans la mesure où les potentiels de grêle, violentes rafales de vent et tornades demeurent particulièrement accrus sous ce type d'orage. Ainsi, l'Observatoire exploite, grâce à la collaboration de *meteorologic.net*, une version à haute résolution du modèle WRF, sur laquelle des champs traditionnels sont exploités au gré de 4 runs par jour. En parallèle, des champs spécifiques ont été installés et développés, donc certains sont à l'heure de la rédaction de ce rapport, en phase de test.

a. Outils d'évaluation de l'instabilité

L'évaluation de l'instabilité, facteur clé dans le développement de quelconque orage, passe par l'exploitation de quatre champs différents. L'analyse de ces quatre champs revêt un intérêt fondamental dans la mesure où l'instabilité est calculée différemment, selon la parcelle d'air choisie (parcelle la plus instable pour la MUCAPE et le MULI, instabilité depuis le sol pour la SBCAPE et LI, etc).

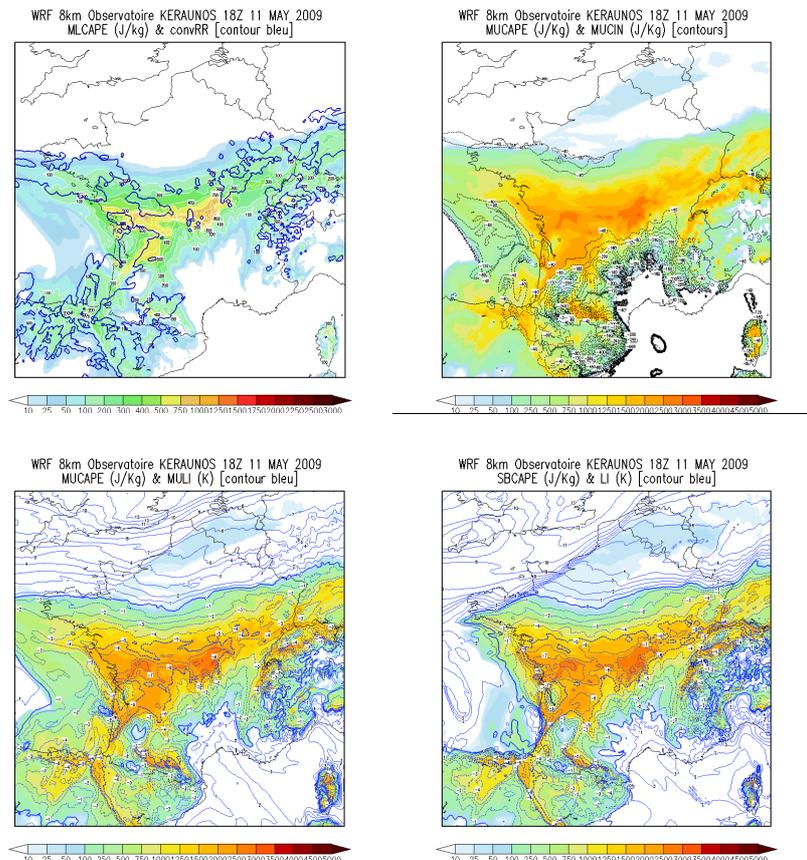


Fig 10 : exemples de champs d'instabilité issus de WRF 4 km

b. Outils d'évaluation des cisaillements et des vents relatifs

Parallèlement, l'évaluation des cisaillements mis en jeu s'avère essentielle. Pour cela, l'étude des cisaillements profonds, de l'hélicité relative, du BRN Shear, du storm motion et des vents relatifs est indispensable.

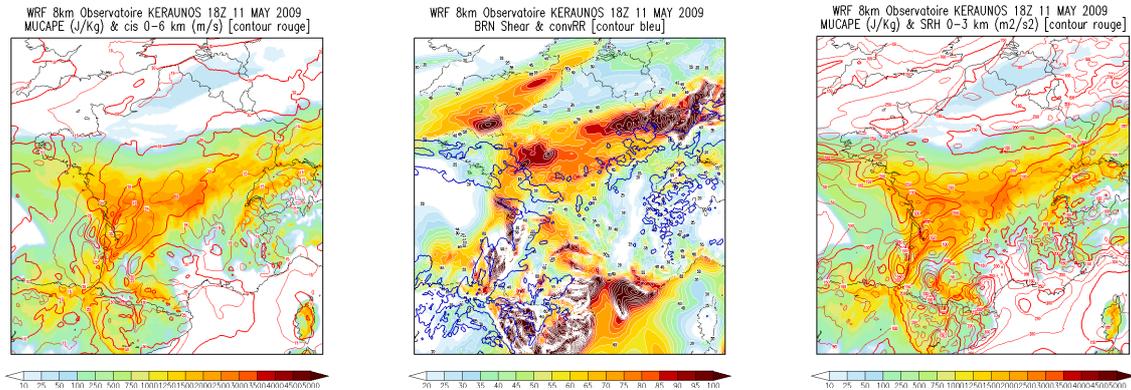


Fig 11 : exemples de champs de cisaillements issus de WRF 4 km

La mise en phase de l'instabilité et des cisaillements est capitale pour le développement de systèmes orageux et conditionne leur organisation en multi- ou supercellules. L'exploitation de champs spécifiques aux vents relatifs apporte un complément d'information non négligeable sur le potentiel supercellulaire et le type de supercellule susceptible de dominer.

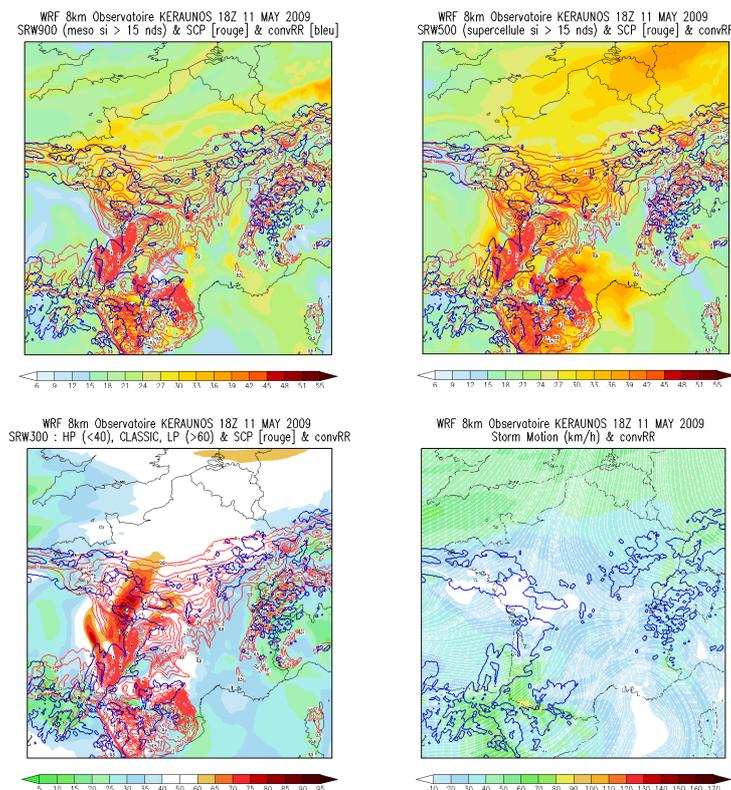


Fig 12 : exemples de champs vents relatifs issus de WRF 4 km

c. Outil d'évaluation des indices composites couplés à des champs de vent

L'intérêt majeur de disposer d'une version haute résolution d'un modèle numérique réside dans le fait de pouvoir intégrer les indices composites dans le calcul. Le SCP et l'EHI sont ainsi exploités par l'Observatoire, tout en couplant les résultats avec des champs de vent en basse couche et à 700 hPa.

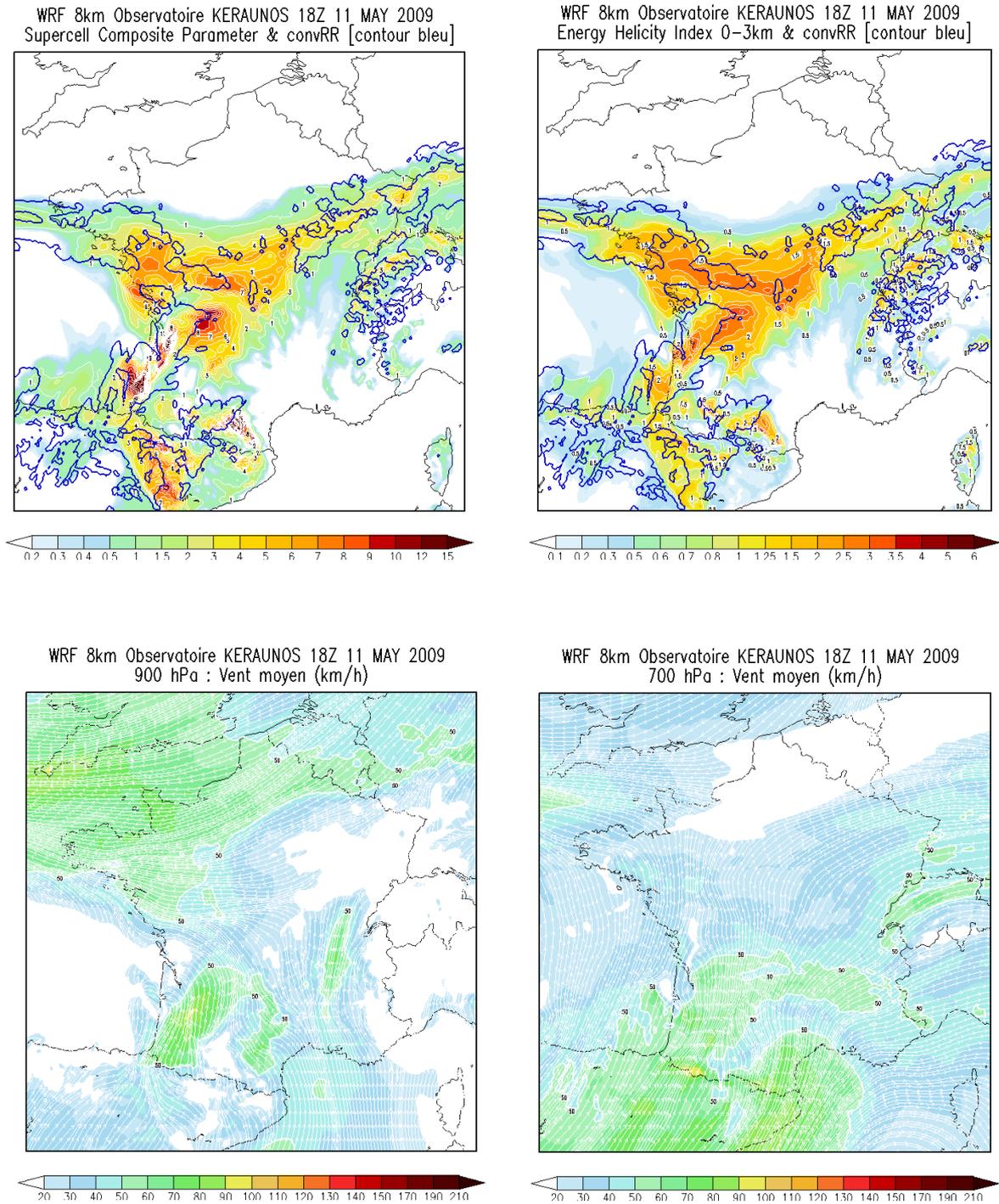


Fig 13 : exemples de champs indices composites et vents issus de WRF 4 km

d. Développement et test d'un indice composite

La prévision du risque supercellulaire passe nécessairement par le croisement de différents indices et paramètres. La mise en phase de ces différents paramètres demeure fondatrice de l'anticipation optimale du risque.

C'est la raison pour laquelle l'Observatoire s'emploie à travailler sur l'élaboration de formules prenant en compte le croisement des différentes informations issues d'indices déjà existants. Le test est effectué depuis le mois de septembre 2010, et est donc prioritairement mené, en attendant la prochaine saison chaude en France, sur l'Europe, par le biais de la version 24km de WRF.

Ce travail repose sur la prise en compte, dans un seul et même indice composite, du SCP et des vents relatifs à différents niveaux ; le but étant de faire ressortir les potentiels supercellulaires sur un seul et même indice.

WRF 24km Observatoire KERAUNOS 09Z 08 NOV 2010
Potentiel supercellule (faible/modere/fort) & RainRate [bleu]

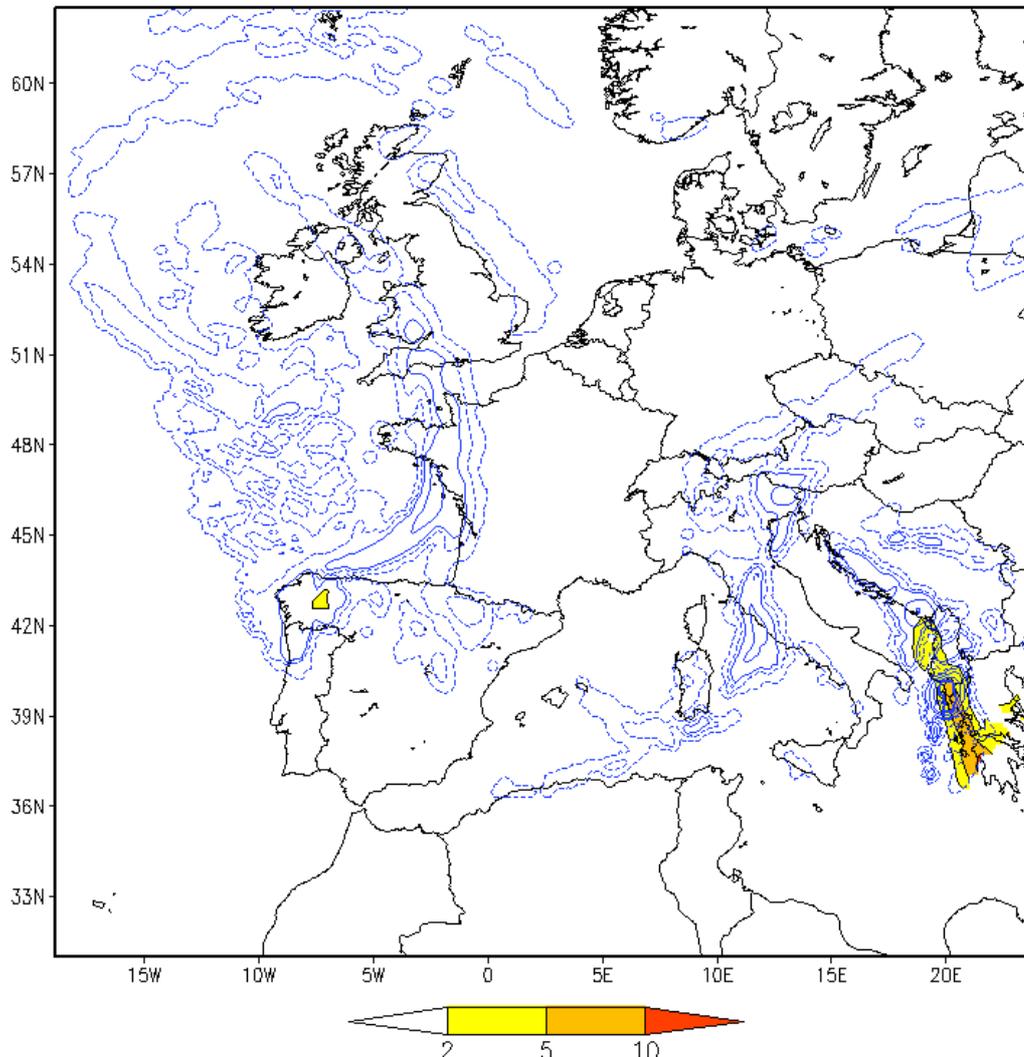


Fig 14 : exemple de champ indice composite développé par l'Observatoire

2. Modélisation de la situation du 11 mai 2009 proposée par GFS 0.5°

La configuration synoptique de ce 11 mai 2009 demeure relativement classique pour la saison.

Elle est dominée par l'enfoncement et l'isolement en cut-off d'un vigoureux thalweg d'altitude vers le Golfe de Gascogne. A l'avant, sur une bonne moitié ouest de la France, le flux qui s'est redressé au secteur sud, advecte une masse d'air douce et humide (points de rosée supérieurs à 15°C).

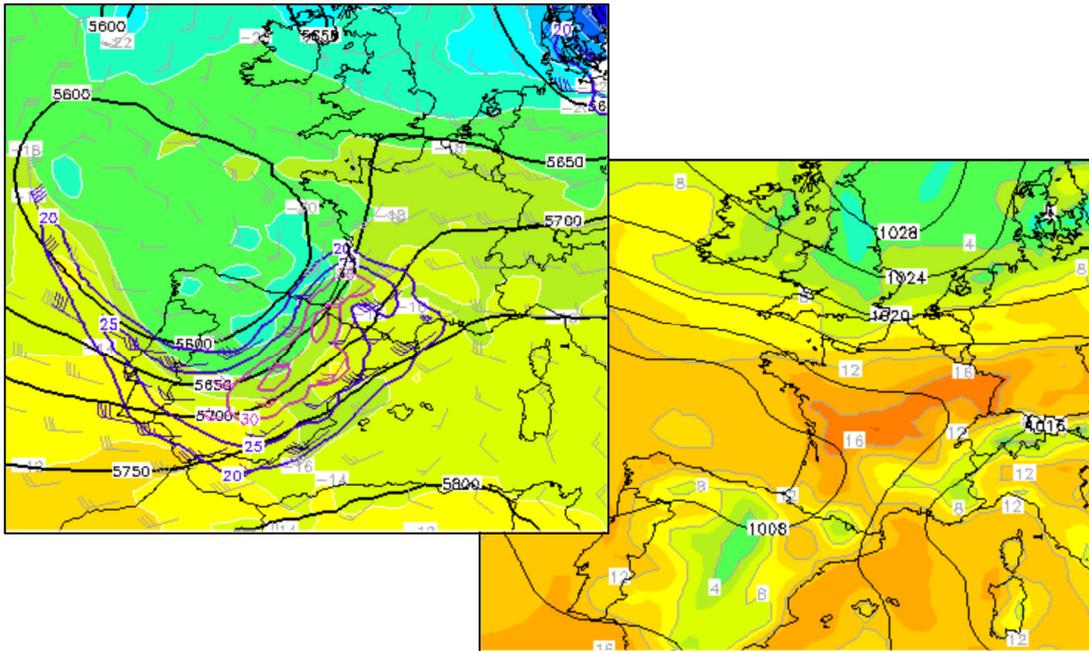


Fig 15 : GFS 11052009/12Z : Z500 + T500 + Vent (à gauche) et Pmer + Td2m (à droite) à 15h UTC – Estofex

Les champs d'altitude du modèle GFS mettent clairement en évidence une configuration dynamique d'entrée droite/sortie gauche de jet, favorisant la circulation de noyaux de divergence. Cet état de fait est couplé au sol à une convergence des vents marqués (vents d'ouest entrant par l'Aquitaine, vents de sud-est en provenance du Golfe du Lion).

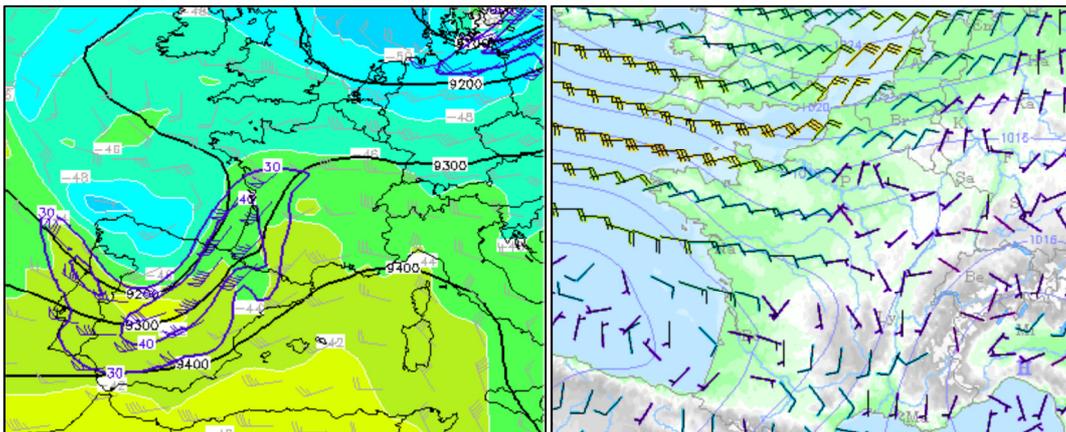


Fig 16 : GFS 11052009/12Z : Z300 + T300 + Jet (à gauche) et Pmer + Vent 10m (à droite) à 15h UTC – Estofex/Wetter3

L'expertise de la dynamique générale ne suffit évidemment pas à établir une prévision convective optimale, d'autant qu'une situation synoptique telle que celle-ci peut se rencontrer plusieurs fois par saison. Toutes ne conduisent pas à des dégradations orageuses extrêmes.

Néanmoins, les profils de masse d'air se trouvent particulièrement cisailés, aussi bien en profondeur, que dans les basses couches atmosphériques. Rappelons par ailleurs que les cisaillements de vent sont indispensables au développement et à l'entretien de systèmes orageux vigoureux.

Cela doit donc retenir l'attention du prévisionniste, dans la mesure où des valeurs de cisaillements profonds proches de 35 m/s ne sont pas banales. Ils sont qui plus est en phase avec une masse d'air instable (MUCAPE produite par le modèle GFS de 1000 J/kg en moyenne) et une hélicité relative 0-3 km supérieure à 150 m²/s².

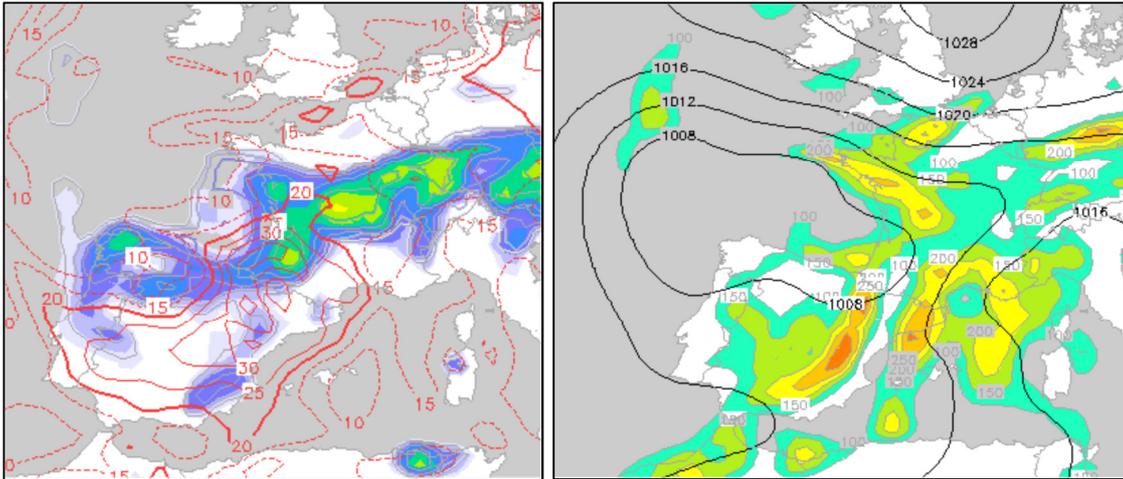


Fig 17 : GFS 11052009/12Z : MUCAPE + Cis 0-6 km (à gauche) et Pmer + SRH 0-3 km (à droite) à 15h UTC – Estofex

L'hypothèse d'une dégradation orageuse d'ampleur est confortée par l'analyse rapide des champs traditionnels produits par GFS 0.5°. Cette analyse montre que les valeurs extrêmes de cisaillements profonds sont cantonnées aux deux tiers sud de l'Aquitaine, alors que la grosse dynamique d'altitude (circulation des noyaux de divergence) s'effectue plus au nord, à partir du Poitou. Ce mauvais phasage relatif accroît la difficulté d'identification précise du risque orageux.

Parallèlement, les cisaillements de très basse couche (SRH 0-1 km) simulés par GFS 0.5° présentent des valeurs significatives du sud Bretagne au Poitou, sur une zone moins instable, mais sujette à la forte dynamique d'altitude. Les niveaux de condensation, très abaissés, sont propices à des formations de phénomènes tourbillonnaires, bien que l'instabilité semble un peu faire défaut.

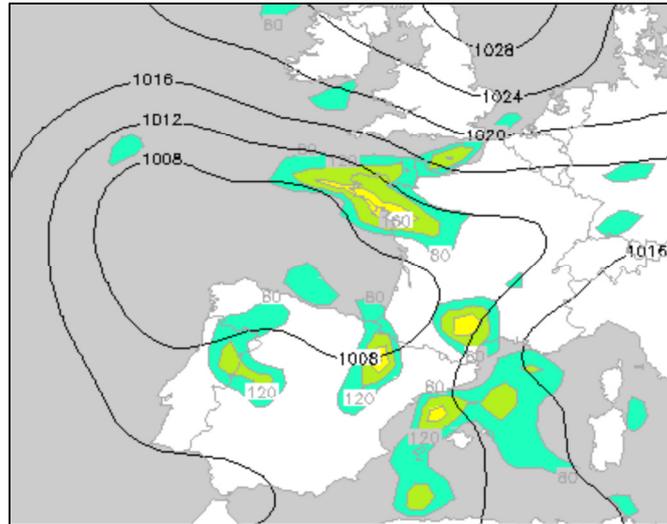


Fig 18 : GFS 11052009/12Z : Pmer + SRH 0-1 km à 15h UTC – Estofex

Tous ces éléments, croisés à la simulation du modèle européen ECMWF ont conduit à privilégier un zonage du risque orageux relativement large, en rehaussant quelque peu l'instabilité de la Bretagne au Poitou. Le risque de tornade a donc été qualifié de modéré, tout comme le risque de grêle. Il est en effet apparu qu'un risque supercellulaire élevé existait de l'Aquitaine au sud de la Bretagne (instabilité, forts cisaillements profonds et sur la couche 0-3 km sur une zone de convergence des vents marquée).

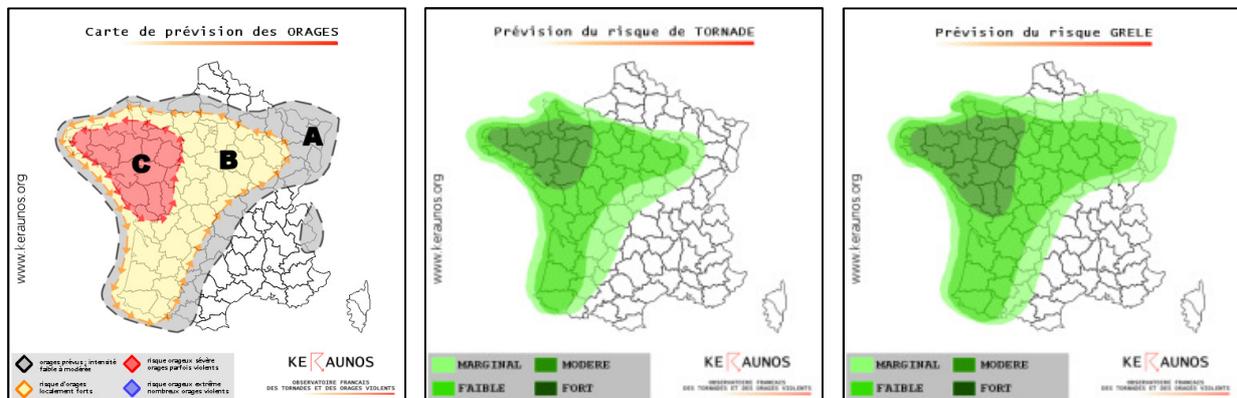


Fig 19 : prévision émise par l'Observatoire le 11 mai 2009 à 00h loc.

Prévision du risque orageux général (en haut à gauche), du risque grêle (en haut à droite) et du risque de tornade (en bas à gauche)

Dans la réalité, l'observation en temps réel a révélé un premier léger décalage des déclenchements convectifs les plus extrêmes. Les forts noyaux de divergence se sont davantage phasés à l'instabilité, par rapport à la modélisation que proposaient les runs de 00z, 06z et 12z de GFS le 11 mai 2009.

Ce décalage de quelques dizaines de kilomètres tout au plus est minime, mais conduit finalement à une appréhension biaisée du risque orageux le plus fort (dans notre cas à l'échelle d'une région).

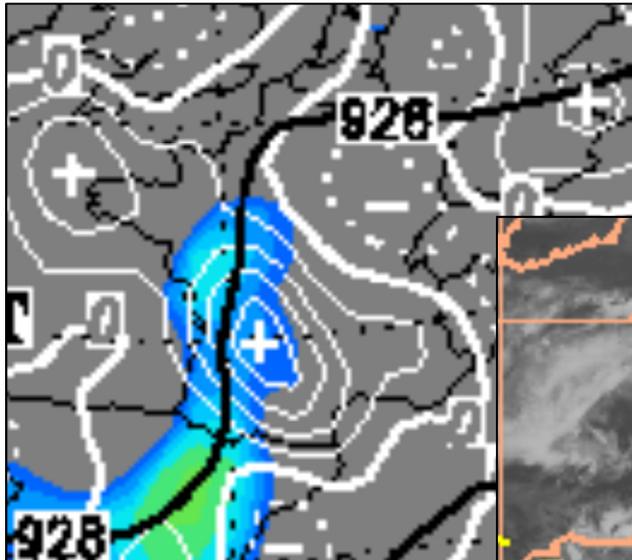
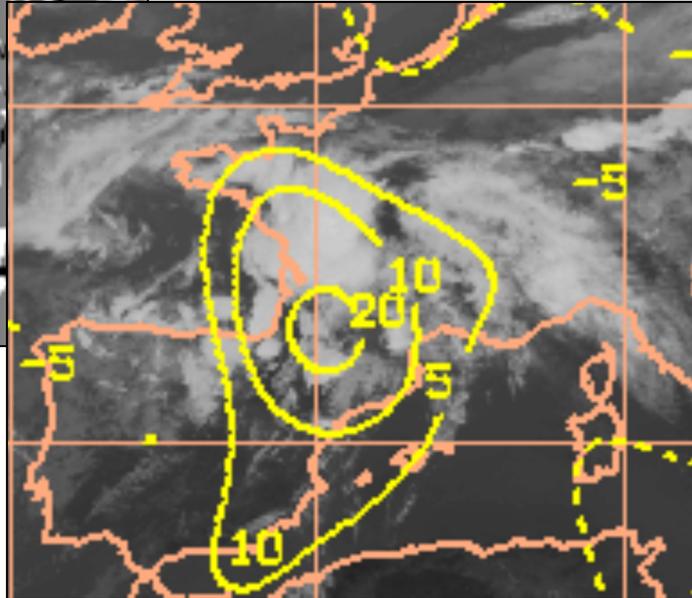


Fig 20 : GFS 11052009/18Z : Divergence à 300 hPa prévue (à gauche) et analysée (à droite) – Wetter3 / CIMSS



Dans les basses couches de l’atmosphère, la convergence des vents modélisée par GFS 0.5° reste cohérente en soirée, même si le creusement d’un minimum de méso-échelle n’a pas été correctement intégré par le calcul sur le Poitou. L’image radar montre la formation d’orages alignés le long de la convergence des vents.

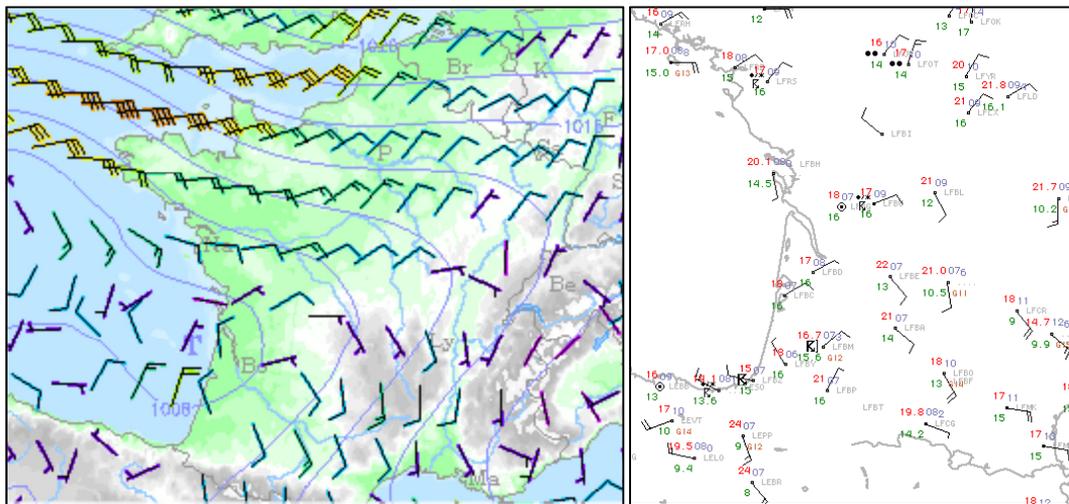


Fig 21 - A gauche : convergence des vents à 18h UTC prévue par GFS à gauche, observations au sol à 18h UTC Wetter 3 et Estofex

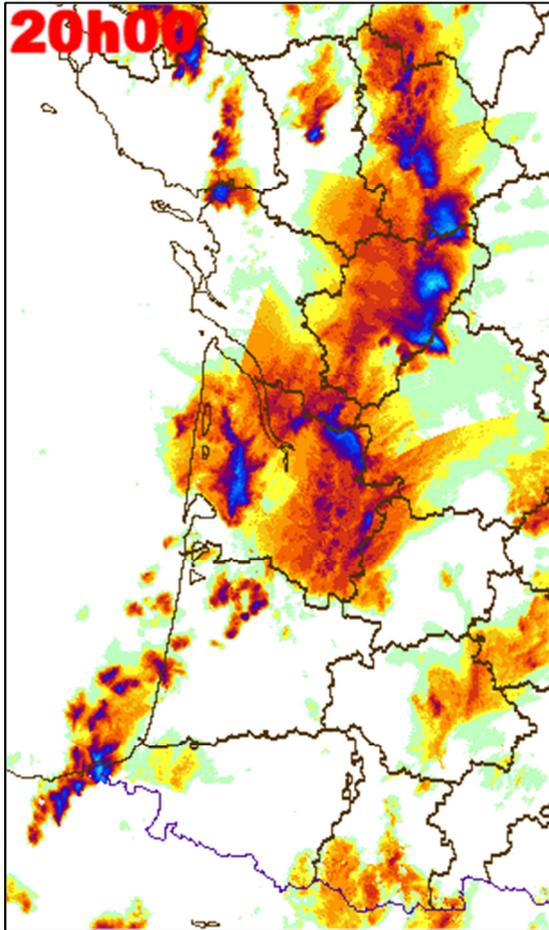


Fig 22 : Imagerie radar Météo-France à 18h UTC, mettant en évidence l'évolution des phénomènes supercellulaires en fin de vie sur la Charente.

Les structures orageuses sont alignées dans une zone de convergence de basse couche, assez proche de celle modélisée par GFS 0.5° ci-dessus.

Les erreurs de modélisation, finalement infimes à l'échelle d'un modèle à résolution 0.5°, induisent tout de même un décalage sérieux dans le zonage du risque orageux le plus important.

3. Post-prévision de la situation du 11 mai 2009 par WRF 4 km

En l'absence de la disponibilité du modèle WRF haute résolution en mai 2009, le run de 00z du 11 mai 2009 a été initié après coup, à l'été 2010. Cette initialisation se fait grâce à l'acquisition des données de GFS 00z, réanalysées.

a. Confrontation GFS 0.5° / WRF 4km à l'observation en temps réel

La situation du 11 mai 2009 est clairement dominée par la circulation de tourbillon à l'étage moyen, advecté par un flux de secteur sud devenant fortement cyclonique. C'est de la position de ces advections de tourbillon que dépend la localisation des déclenchements convectifs les plus puissants. A l'échelle synoptique, la modélisation de GFS 0.5° a clairement mis en évidence un contexte fortement divergent en altitude, conditionné par une configuration simultanée d'entrée droite/sortie gauche de courant-jet. Nous retrouvons dans l'après-midi du 11 mai 2009 cette situation caractéristique, simulée par WRF 4km à 16h UTC :

500 hPa : Tourbillon Abs ($10E-5/s$) & Z500 & Vent

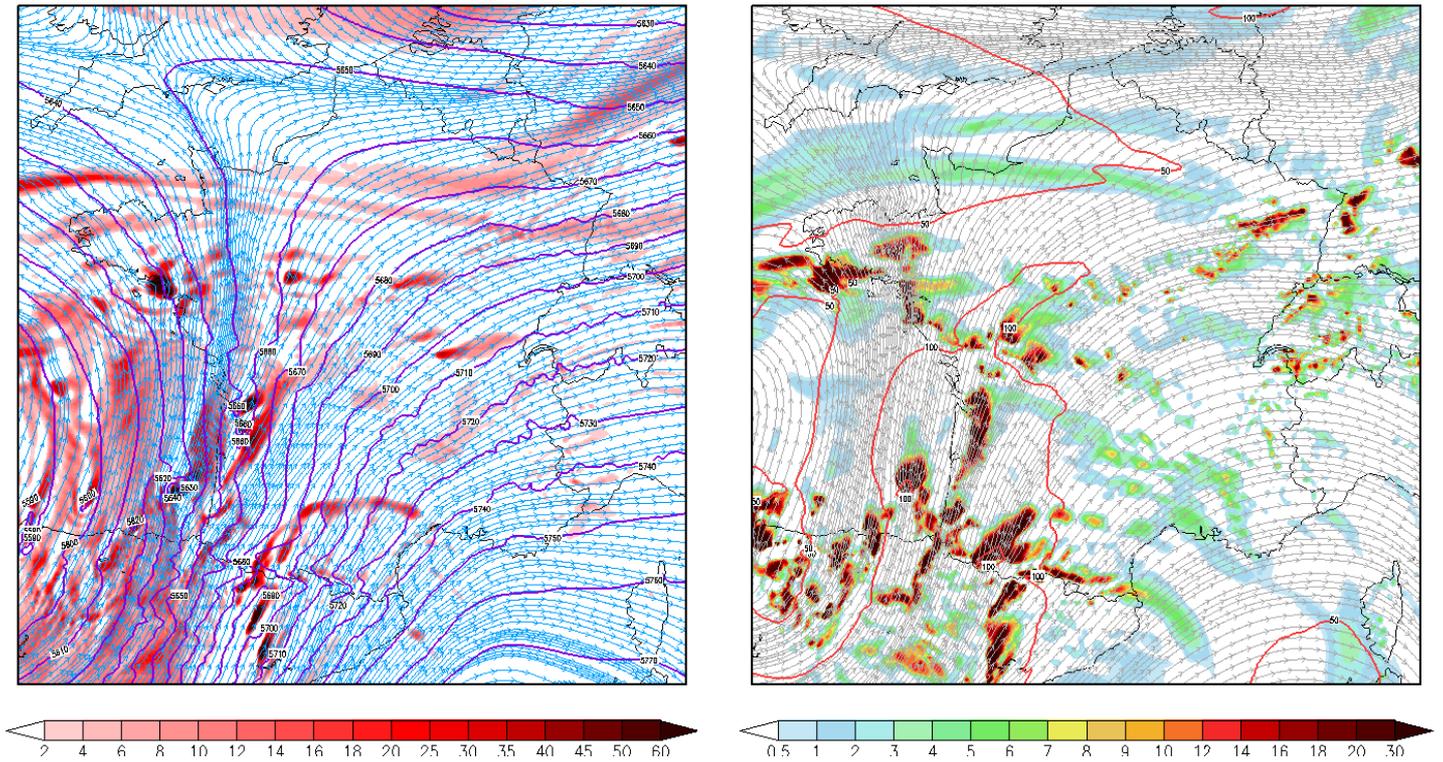
 300 hPa : Divergence ($10E-5/s$) & Vent (km/h) [contour rouge]


Fig 23 : TA 500 hPa et Divergence 300 hPa pour 16h UTC le 11/05/2009 issus de WRF 4 km

Ce n'est que plus tard en soirée vers 20 h UTC qu'une cassure de jet s'opère ; le contexte prévu devenant de plus plus divergent en altitude et convergent dans les basses couches, allant de fait jusqu'au creusement d'une méso-dépression de surface.

250 hPa : Vent moyen (km/h)

PMER (hPa) & relief

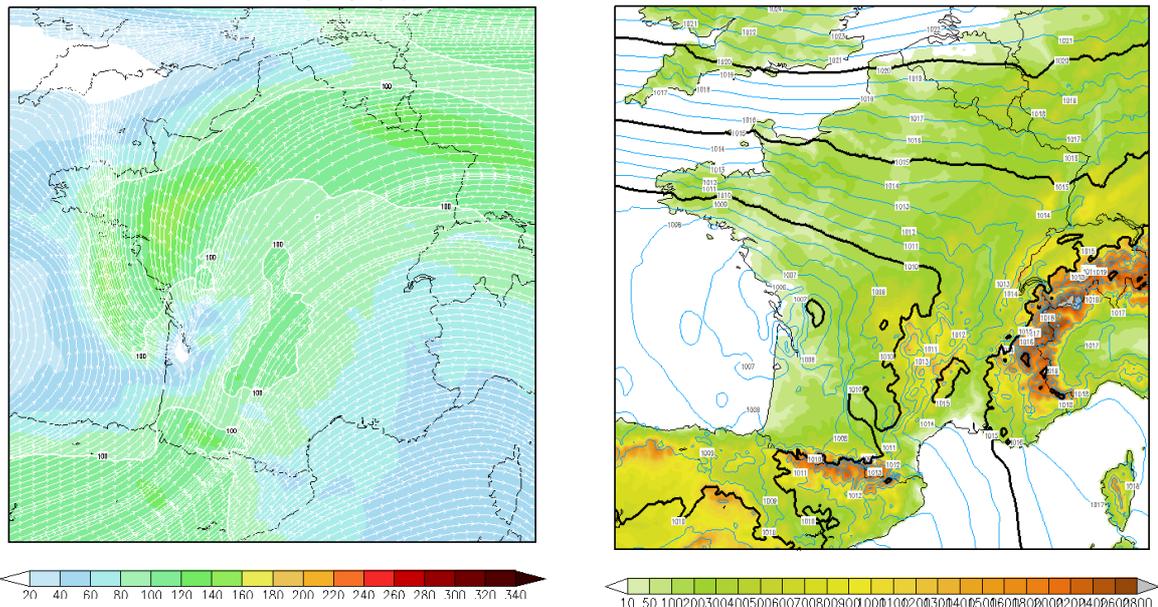


Fig 24 : Jet et Pmer pour 16h UTC le 11/05/2009 issus de WRF 4 km

Cela aboutit à la constitution d'un vigoureux jet de basse couche et d'un pseudo front-froid favorable à l'occurrence de phénomènes orageux très venteux et de structures arquées. Le champ de θ_{E850} hPa à 00h UTC le 12 mai suggère cette organisation pseudo-frontale sur le centre-ouest du pays (avec méso-dépression centrée sur les Deux-Sèvres mis en évidence par le champ de vent à 10 m). Les observations au sol ci-dessous confirment le creusement méso-dépressionnaire sur les Deux-Sèvres.

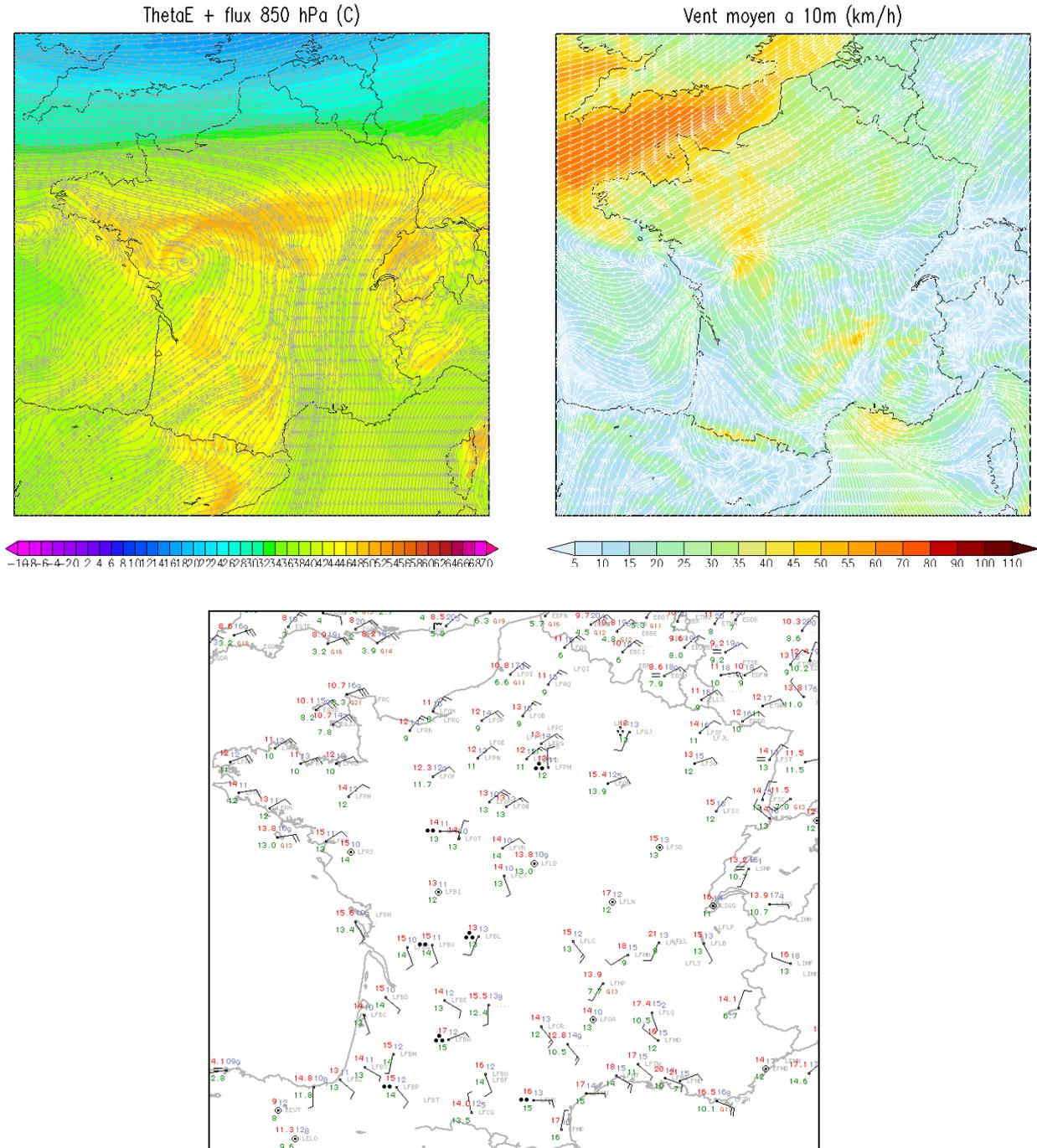


Fig 25 : θ_{E850} , vent 10 m prévus par WRF 4km et observations au sol à 00h UTC le 12 mai 2009 - Estofex

Plus tôt dans l'après-midi, à l'avant des forçages d'altitude, plusieurs supercellules se sont

simultanément développées sur le sud-ouest du pays. Le caractère remarquable de ces développements orageux pousse à une analyse plus fine de l'anticipation du modèle WRF 4 km.

S'il est clairement mis en évidence que dans la deuxième partie de l'épisode orageux de ce 11 mai 2009, le contexte synoptique (et de méso-échelle) a été relativement bien appréhendé par la simulation haute résolution de WRF, il est plus intéressant d'étudier de manière approfondie la prévision proposée pour la première partie de l'épisode, à savoir le développement de 7 supercellules le long d'un axe de convergence, tout en la comparant à celle proposée par un modèle à plus faible résolution (GFS 0.5°).

b. Instabilité en place avant le début de l'épisode

MUCAPE (J/Kg) & MULI (K) [contour bleu]

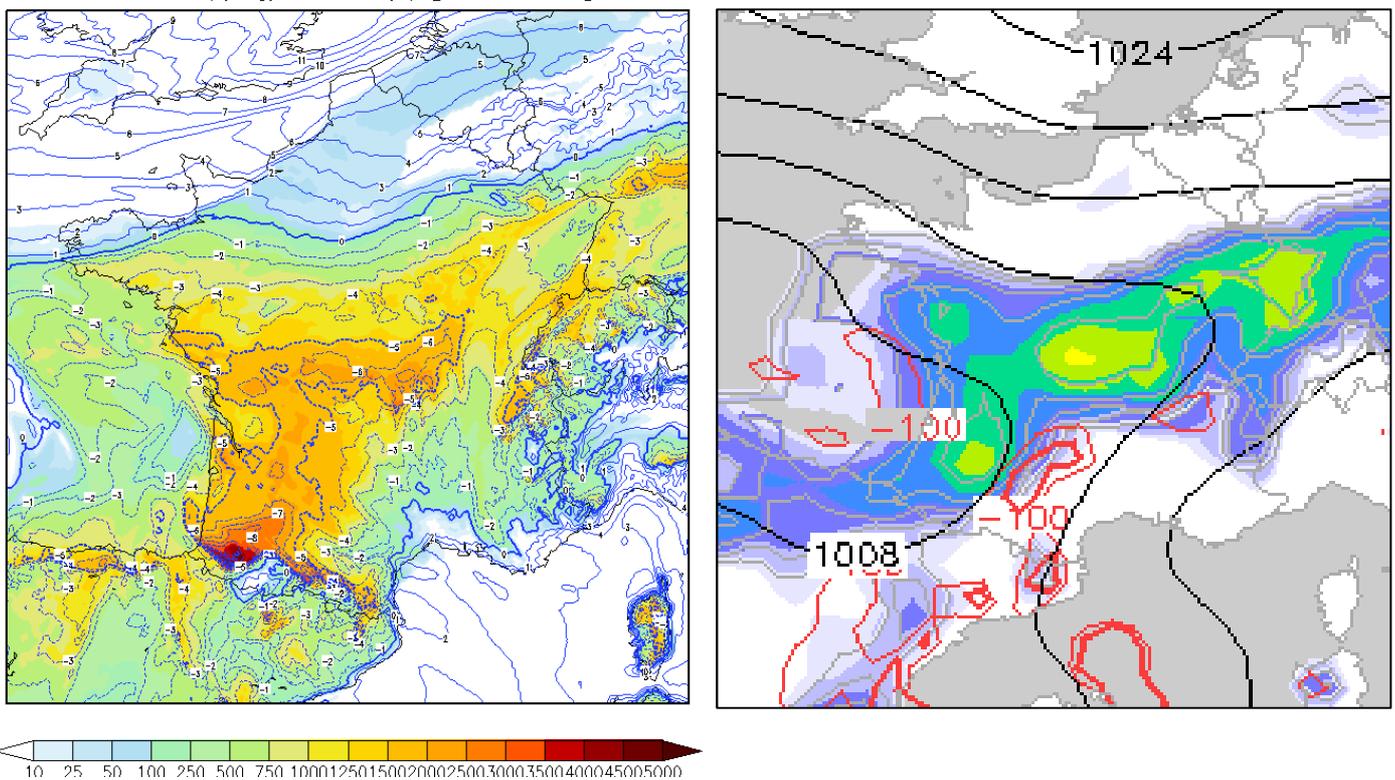


Fig 26 : MUCAPE et MULI à 15h UTC le 11/05/2009 issus de WRF 4km et de GFS

La prévision de WRF à 15h UTC (à gauche) et de GFS (à droite) est clairement divergente. L'ampleur de l'instabilité est beaucoup plus marquée sur le sud-ouest du pays sur WRF. Cet aspect est confirmé par la reconstitution du profil vertical de Bordeaux-Mérignac à 15h UTC avec les données sol observées. L'analyse du profil met en évidence une MUCAPE de 950 J/kg et un MULI de -5 °K.

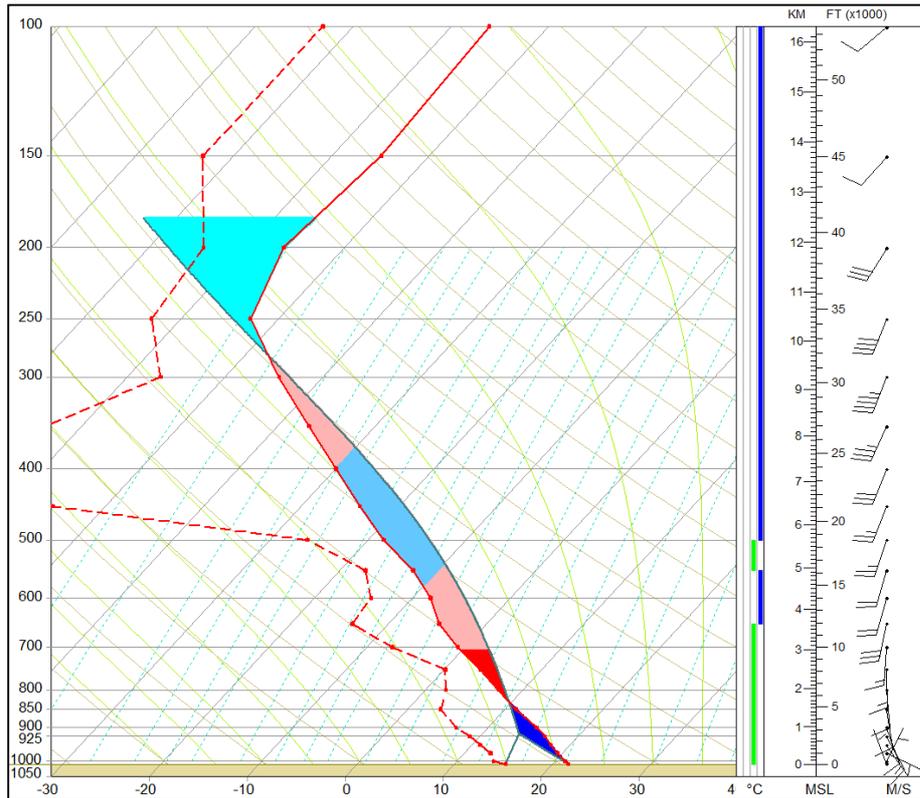


Fig 27 : Profil reconstitué à Bordeaux-Mérignac le 11/05/2009 à 15h UTC

Dans les faits, le radiosondage de Bordeaux-Mérignac mesure un point de rosée à 12h UTC de 15°C, GFS modélisant 16°C et WRF 18°C. Cette surestimation à la fois de la température et de l'humidité par WRF induit une surestimation de l'instabilité, d'autant que le radiosondage de 12h UTC met en évidence une MUCAPE de 500 J/kg contre plus de 1200 J/kg proposé par WRF. GFS semble donc mieux calé que la version haute résolution de WRF sur cet aspect-là. Toutefois, les valeurs prévues ne sont pas extrêmes, et finalement n'auront que peu d'incidences sur la prévision opérationnelle.

On note également une petite « divergence modèles » au niveau de l'ampleur des cisaillements profonds (en m/s), plus marqués sur GFS que sur WRF, comme en témoigne le comparatif des deux cartes (WRF à gauche et GFS à droite) pour 15h UTC :

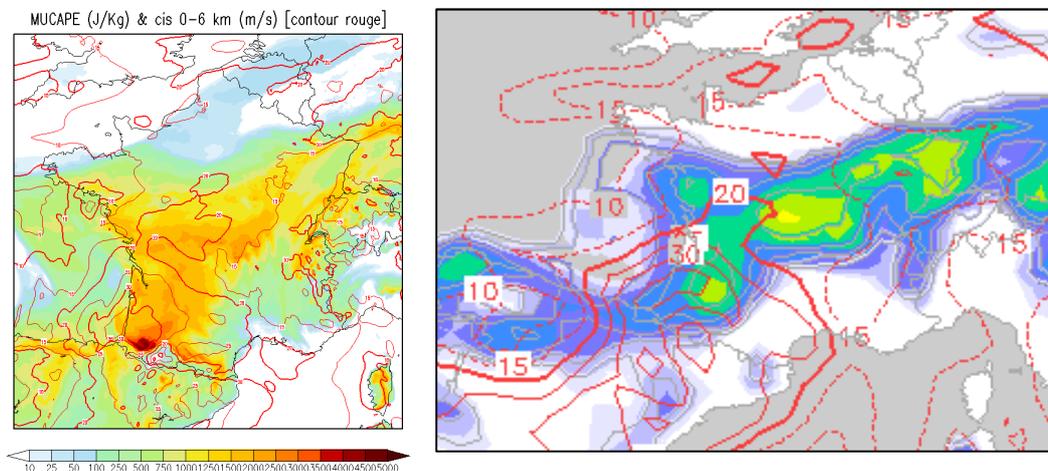


Fig 28 : MUCAPE et cisaillements profonds à 15h UTC le 11/05/2009 issus de WRF 4km et de GFS

Finalement, la dynamique plus forte proposée par GFS semble compensée par une plus forte instabilité sur WRF. Bien que faux en réalité, cet aspect permet vraisemblablement à WRF de ne pas s'orienter vers une amplification démesurée de la dégradation orageuse et de ne pas sous-estimer le risque supercellulaire.

Si l'on observe une légère différence sur les cisaillements profonds, la SRH 0-3 km semble faire l'unanimité entre GFS et WRF (150 m²/s² environ à 15h UTC sur le sud-ouest du pays) à 15h UTC :

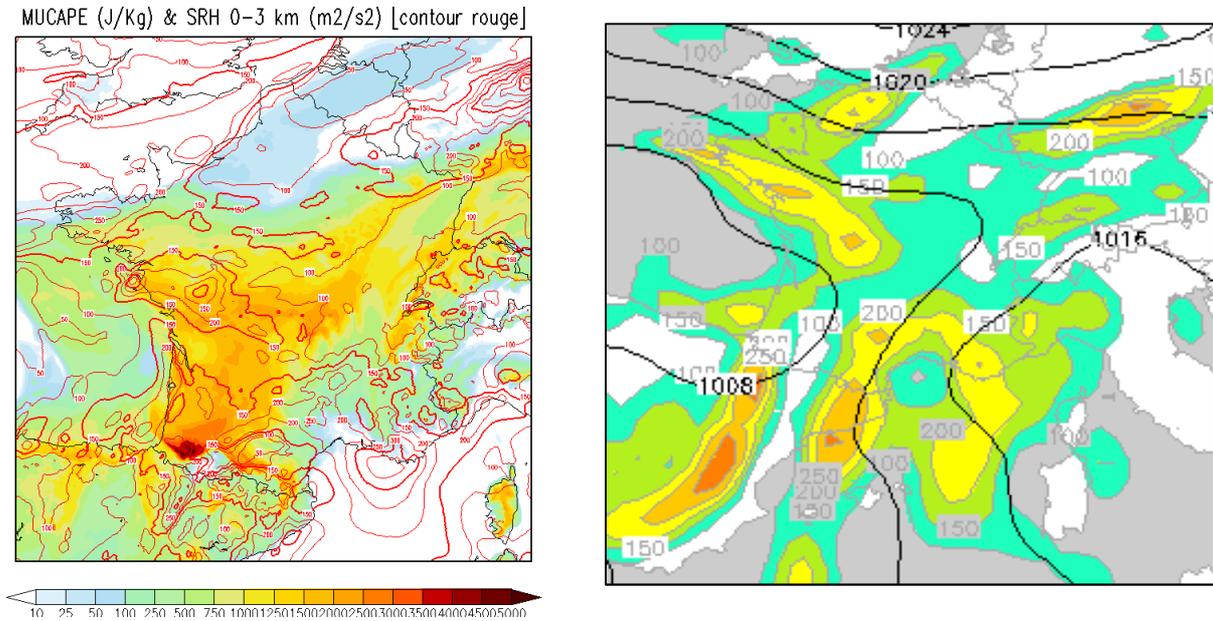


Fig 29 : MUCAPE et SRH 0-3 km à 15h UTC le 11/05/2009 issus de WRF 4km et de GFS

Néanmoins, en réalité, les vents sont orientés au nord-ouest à Bordeaux-Mérignac, ce qui induit obligatoirement une SRH 0-3 km bien plus élevée que celle qui est proposée par les deux modèles. L'hodographe de Bordeaux a été reconstitué avec les données au sol observées à Mérignac à 15h UTC. La SRH 0-3 km ressort à plus de 300 m²/s², soit le double de celle qui était prévue.

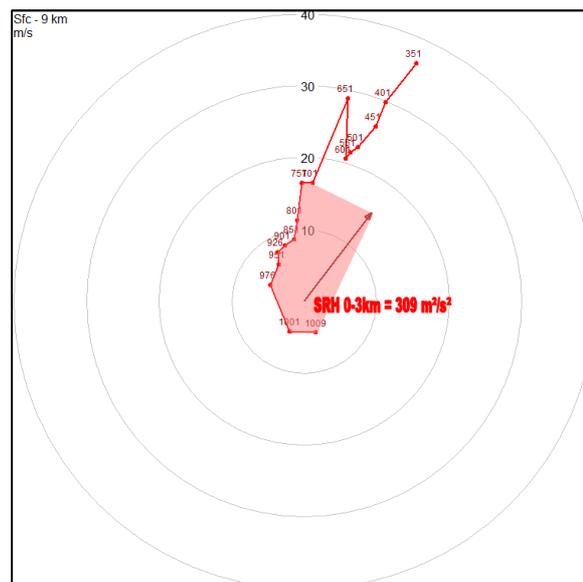


Fig 30 : hodographe reconstitué à Bordeaux-Mérignac le 11/05/2009 à 15h UTC (réalisé avec les données observées au sol sur l'aéroport de Mérignac à 15h UTC).

c. Confrontation

WRF 4km à l'observation

en temps réel

Le paroxysme de l'épisode supercellulaire, comme mentionné dans le premier paragraphe de ce rapport s'est produit vers 16h UTC. Il est donc relativement intéressant de confronter la modélisation de WRF pour 16h UTC à l'observation.

Les supercellules se sont développées simultanément selon un axe de convergence allant de Pau à Bordeaux en passant par Angoulême. La convergence simulée par WRF semble décalée vers l'ouest de quelques dizaines de kilomètres et moins bien structurée : (cf. image radar Météo-France)

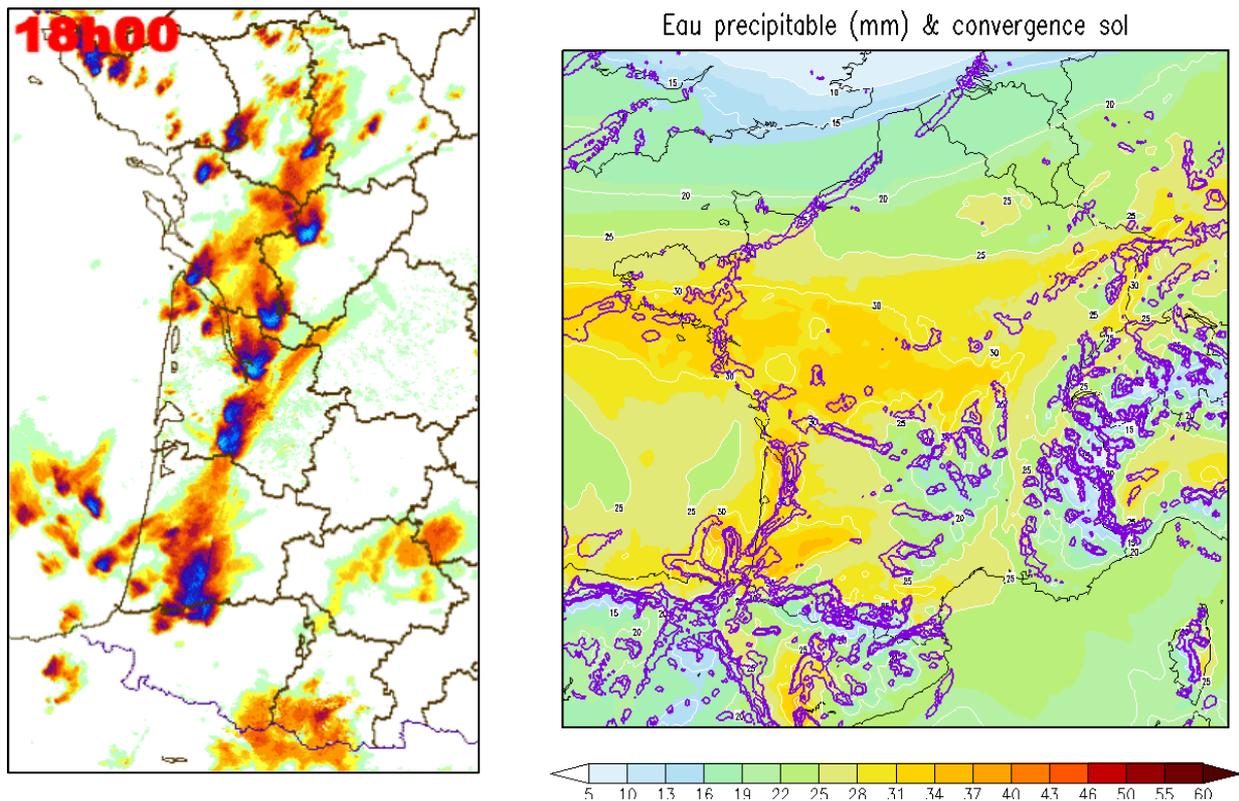


Fig 31 : image radar 16h UTC et PWAT + convergence sol à 16h UTC le 11/05/2009 issu de WRF 4km

Ce décalage peut néanmoins se traduire par un retard dans le déplacement de la convergence dans l'intérieur des terres. Cet aspect est d'ailleurs vérifié puisque la modélisation de WRF pour 18h UTC (20h locales) est en phase avec l'observation de 16h UTC (18h locales). De fait, le modèle aura un retard systématique d'environ 2h.

A 16h UTC, les valeurs d'instabilité modélisées atteignent des seuils extrêmes dépassant les 4000 J/kg sur le nord des Pyrénées-Atlantiques. Cet apport massif de chaleur et d'humidité semble s'être vérifié dans la réalité puisque les points de rosée observés à la même heure dans le secteur sont voisins de 17 à 18°C. Toutefois, les forts cisaillements sont situés plus au nord que ces fortes valeurs

d'instabilité, ce qui explique une forte réaction du SCP à partir des Landes, et non des Pyrénées-Atlantiques.

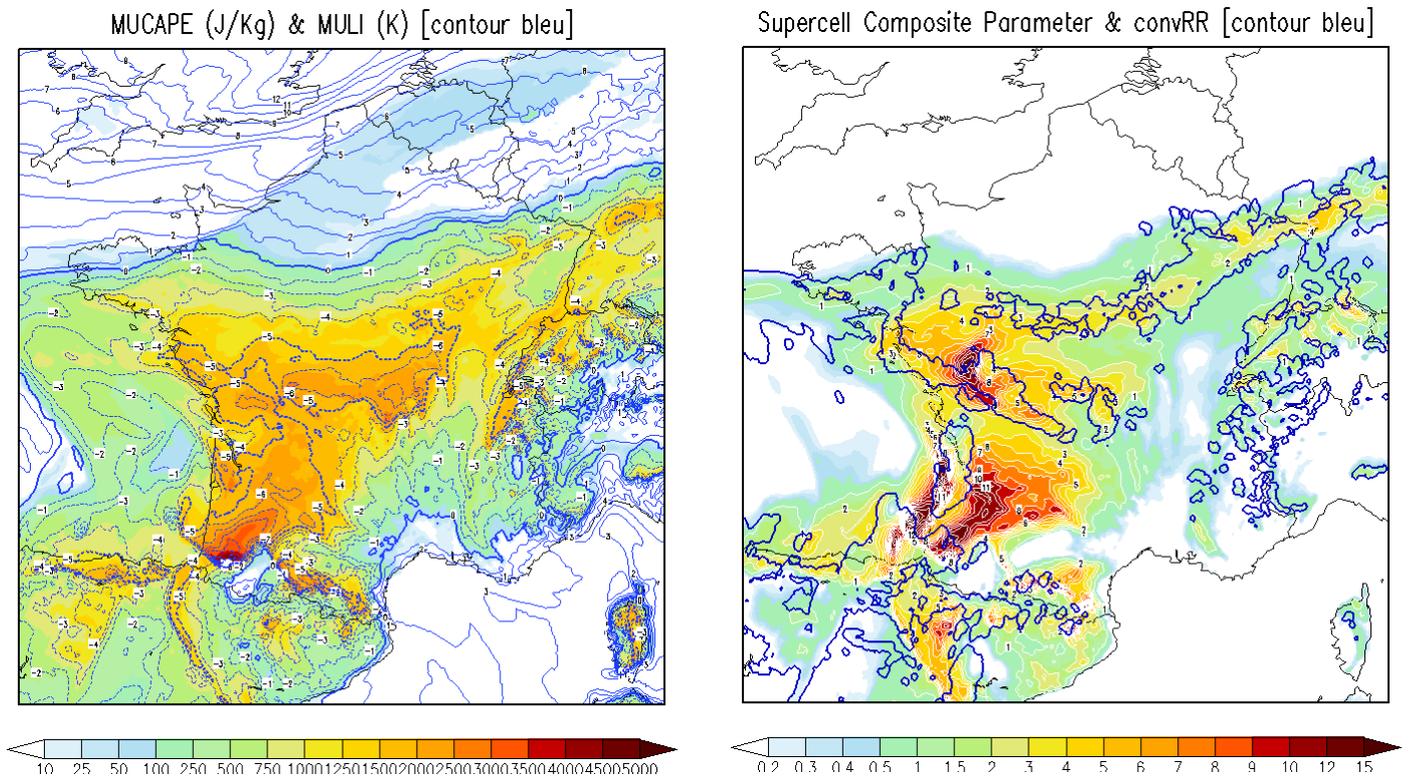


Fig 32 : MUCAPE et SCP à 16h UTC le 11/05/2009 issus de WRF 4km

Là encore, le retard pris par le modèle est marquant, dans la mesure où le passage entre les précipitations convectives et les fortes valeurs de SCP se produisent en partie sur le littoral de l'Aquitaine. Ce n'est donc que deux heures plus tard que WRF modélise un passage optimal entre forte instabilité, forts cisaillements, forte hélicité et SCP extrême.

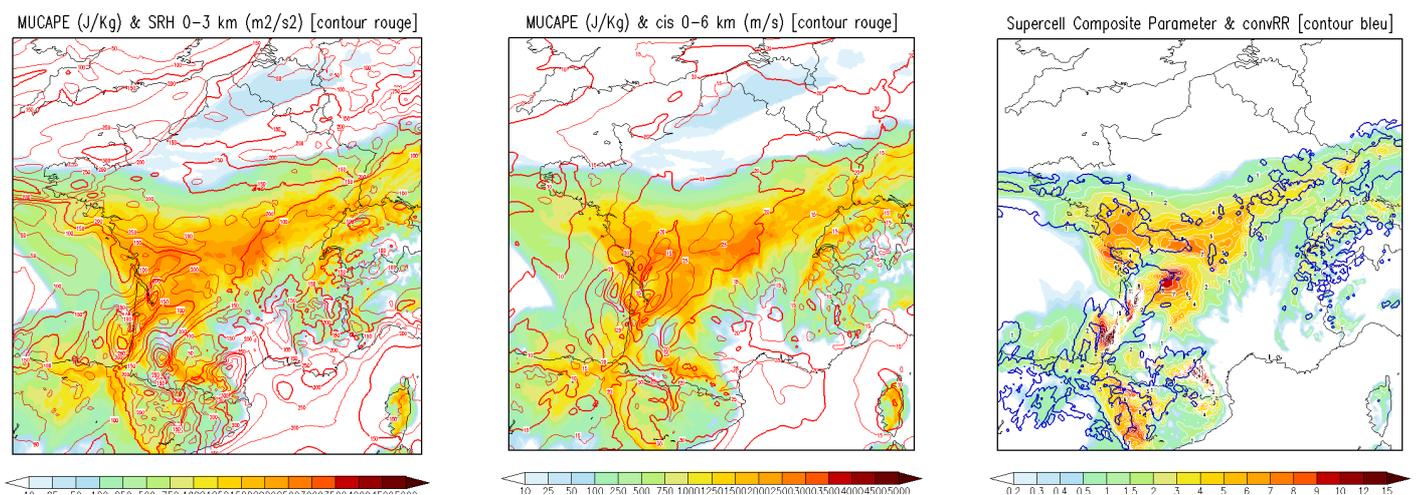
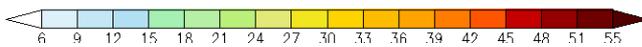
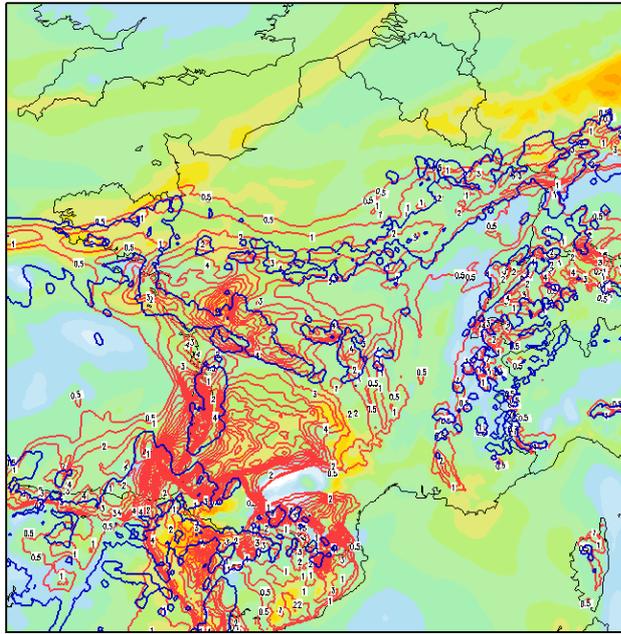


Fig 33 : MUCAPE et SRH 0-3 km + MUCAPE et cisaillements profonds + SCP à 18h UTC le 11/05/2009 issus de WRF 4km

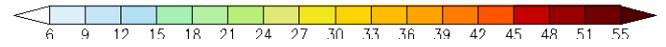
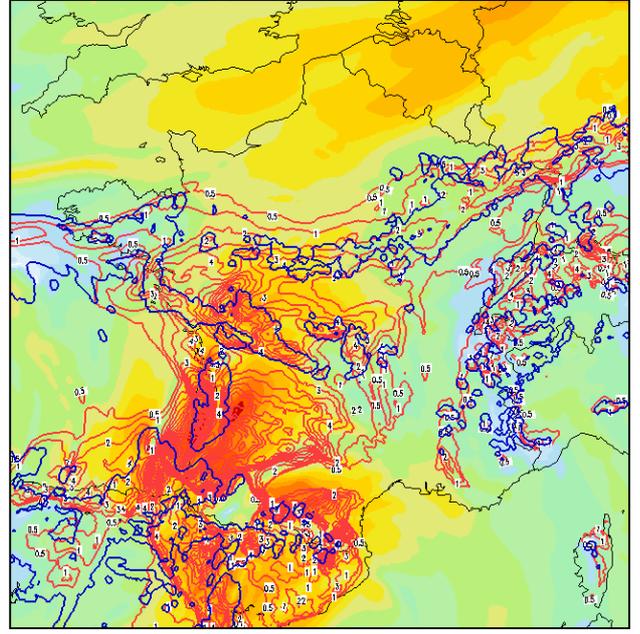
Malgré ce très léger décalage spatio-temporel, le risque supercellulaire déjà perceptible sur GFS est nettement confirmé par la modélisation de WRF.

De plus, l'étude des vents relatifs à 16h UTC conforte la réalité des faits : toutes les supercellules qui se sont développées ce 11 mai 2009 ont été de type « classic ». En effet, le SRW 300 hPa affiche des valeurs de 60 kts, voire un peu plus, ce qui est favorable à ce type de développement.

SRW900 (meso si > 15 nds) & SCP [rouge] & convRR [bleu]



SRW500 (supercellule si > 15 nds) & SCP [rouge] & convRR



SRW300 : HP (<40), CLASSIC, LP (>60) & SCP [rouge] & convRR

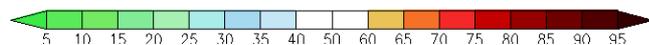
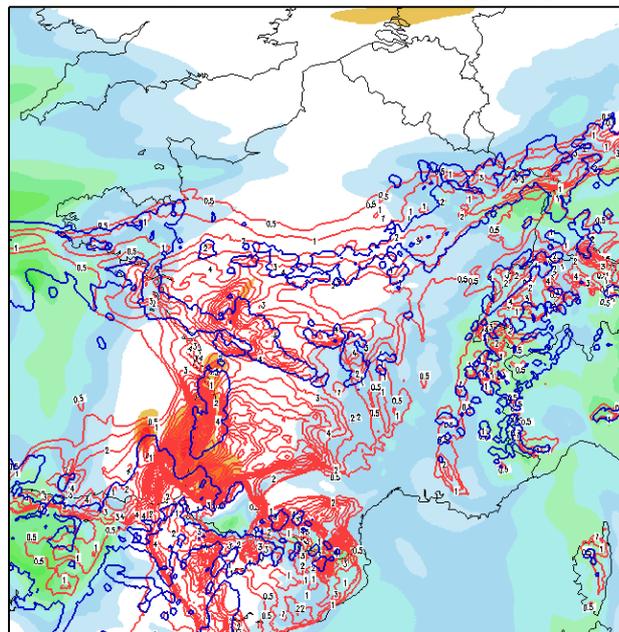


Fig 34 : SRW selon l'altitude à 16h UTC le 11/05/2009 issus de WRF 4km

Il est intéressant de noter que l'épisode supercellulaire n'a a priori donné lieu à aucune tornade. L'étude des cisaillements de très basse couche à 18h UTC explique très vraisemblablement cette observation. Les champs de SRH 0-1 km, SRH 0-500 m mettent en évidence de forts noyaux d'hélicité situés à l'avant des cisaillements profonds les plus marqués et très à l'amont des forçages d'altitude.

0-500m : SRH, cis (m/s) [rouge], hodo (deg) [vert] & convRR

MUCAPE (J/Kg) & SRH 0-1 km (m²/s²)

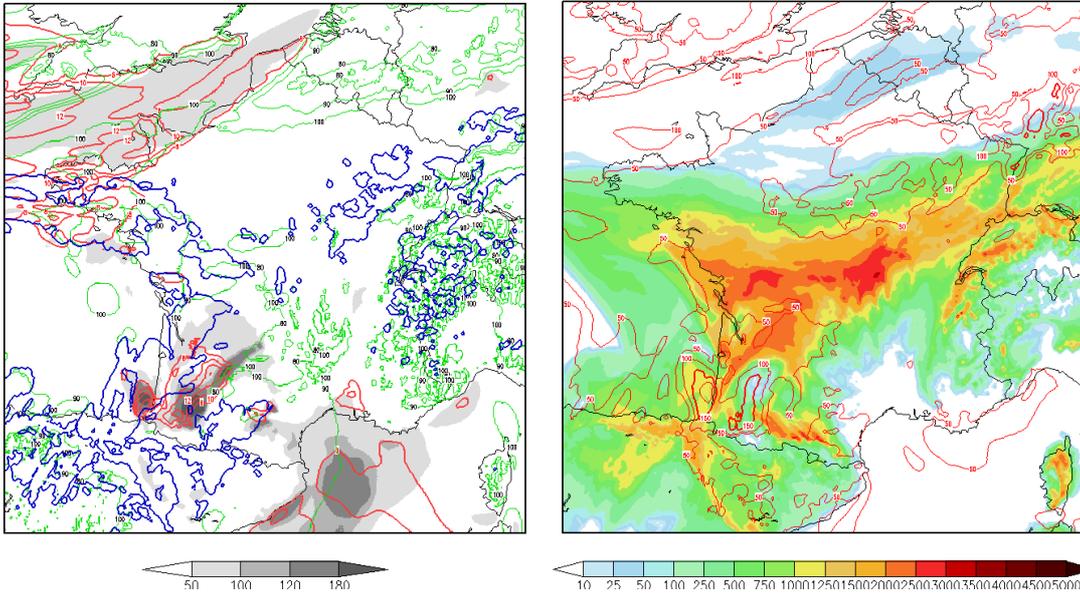


Fig 35 : SRH 0-500 m et 0-1 km à 18h UTC le 11/05/2009 issus de WRF 4km

Malgré l'absence de tornade avérée, le risque de grosse grêle, inhérent aux phénomènes supercellulaires a été globalement bien appréhendé, comme en témoignent les champs spécifiques ci-dessous. Il faut noter que plusieurs départements (Landes, Gironde, Charente) ont été durement touchés par la grêle ce jour-là.

Significant Hail Parameter & convRR [contour bleu]

CAPE -10C ~ -30C & convRR [contour bleu]

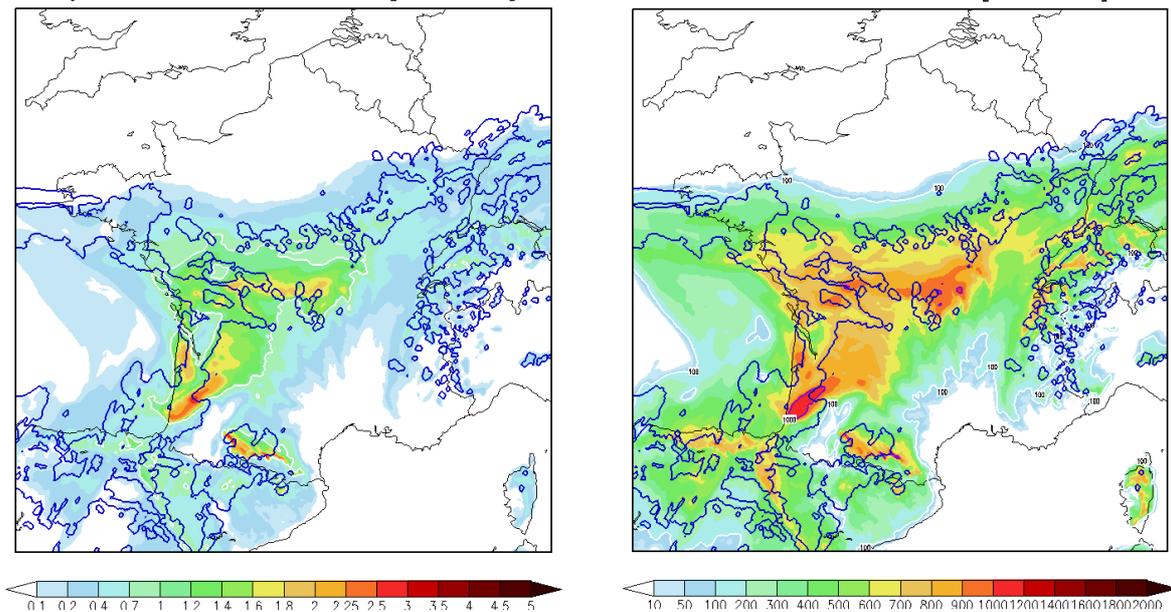


Fig 36 : SHP et CAPE Grêle à 16h UTC le 11/05/2009 issus de WRF 4km

Plus tard dans la soirée du 11 mai 2009, vers 19h UTC (21h locales), la dynamique la plus forte se décale vers les régions centrales, dans un contexte toujours fortement cisailé (cisaillements accentués par le creusement de la méso-dépression de surface).

Les champs produits par WRF à 21h UTC (pour prendre en compte son retard de 2h mis en exergue précédemment) restent tout aussi réactifs, mais un net déphasage s'opère entre les indices favorables au développement supercellulaire et la dynamique générale. L'ampleur des cisaillements mis en jeu est telle, qu'elle n'est plus favorable aux développements supercellulaires :

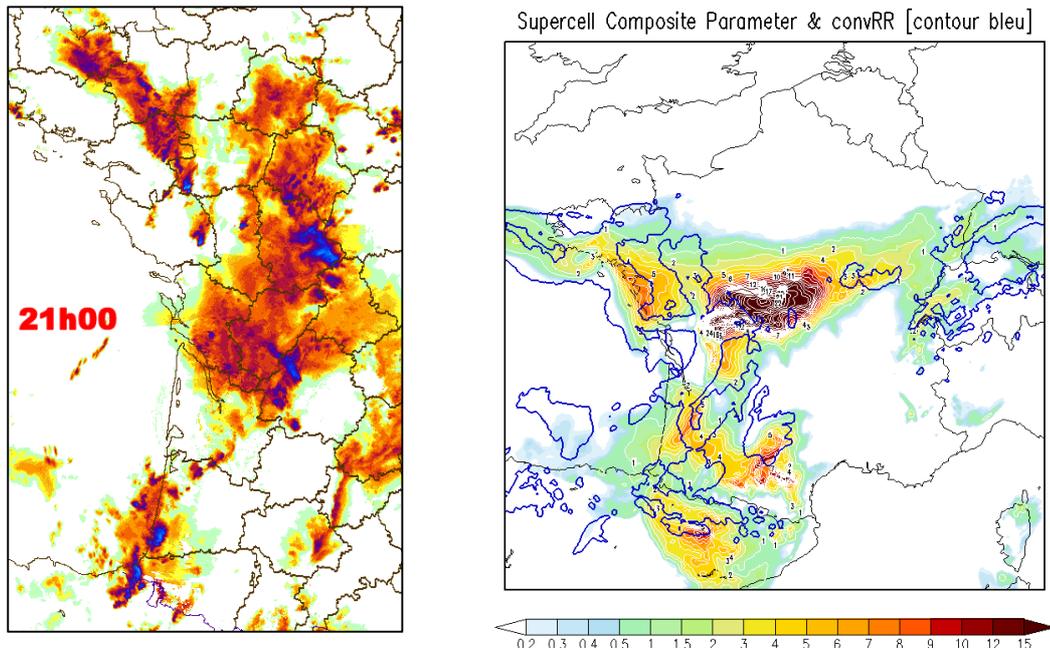


Fig 37 : image radar MF et SCP à 21h UTC le 11/05/2009 issu de WRF 4km

En première partie de nuit, la dynamique induite par le creusement méso-dépressionnaire est tel que les cellules orageuses s'amalgament en un vaste complexe convectif de méso-échelle. Malgré la réactivité manifeste des champs de vents relatifs, la prédominance d'un vaste MCS est à privilégier. Ceci est d'ailleurs conforté par le MCS Index, devenant très élevé à 21h UTC sur le Centre :

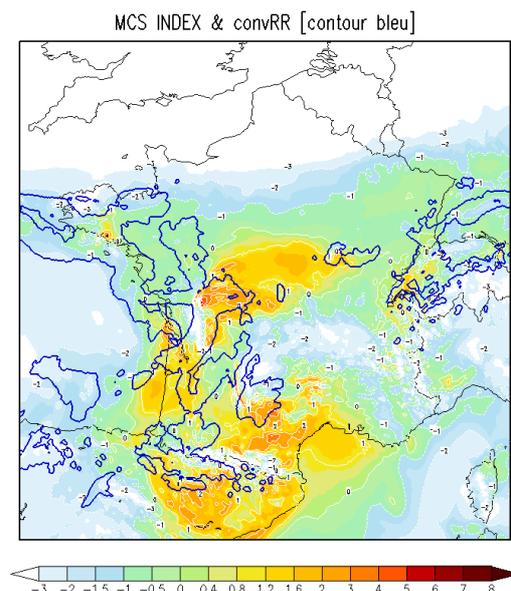


Fig 38 : MCS Index à 21h UTC le 11/05/2009 issu de WRF 4km

4. CONCLUSIONS

Les résultats de la présente étude sont riches d'enseignements. Effectivement, après avoir gardé en tête que WRF tire son analyse de GFS, nous constatons des divergences indéniables entre les deux modèles, aussi bien dans la dynamique générale que dans les phénomènes de méso-échelle.

En raison d'une surestimation nette de l'humidité de basse couche (Td de 18°C au lieu de 15°C en réalité à Bordeaux), WRF a simulé des valeurs d'instabilité trop fortes (plus de 1500 J/kg de MUCAPE). A contrario GFS a fait preuve d'une meilleure estimation de l'humidité de basse couche, ce qui lui a permis de mieux appréhender l'instabilité mise en jeu.

Toutefois, les cisaillements profonds modélisés par WRF sur l'Aquitaine sont moins extrêmes que ceux modélisés par GFS. Finalement, instabilité et cisaillements pouvant se compenser, aucun véritable biais ne semble découler de cette surestimation.

La convergence de basse couche, dont l'ampleur ne permet pas d'aboutir au creusement marqué d'une méso-dépression sur GFS, semble mieux gérée par WRF. Au niveau de la structure, nous constatons toutefois une légère anomalie, visible surtout à 15 et 16h UTC. Cette anomalie conduit à une sous-estimation massive de la SRH 0-3 km, qui est un facteur très sensible, et qui varie de fait du simple au double en raison d'une mauvaise appréhension de la direction des vents au sol le long du littoral Aquitain. Pour autant, le SCP réagit fortement sur la zone touchée par les orages supercellulaires. Bien que très légèrement en retard par rapport à la réalité (environ 2h de retard), le SCP reste sur cette situation un très bon traceur du risque supercellulaire à l'échelle régionale. De plus, l'étude des vents relatifs (SRW) montre que le modèle à haute résolution a été capable d'anticiper la nature du risque supercellulaire. Les cisaillements de très basses couches, insuffisamment phasés à la dynamique générale, ne permettent pas aux supercellules de donner naissance à des tornades abouties (bien qu'un cas suspect dans les Deux-Sèvres soit retenu en liste secondaire).

Au final, l'étude simultanée de tout un panel de champs usuels et plus spécifiques, a véritablement permis de mettre en évidence le risque supercellulaire majeur que revêtait cette situation du 11 mai 2009. Il convient d'avoir en tête qu'il est essentiel de coupler et de croiser chaque champ, afin de mieux appréhender les phénomènes violents susceptibles de se développer sous ce genre d'orage (grêle dans notre cas).

Si un modèle haute résolution peut avoir ses faiblesses (exagération de l'instabilité fréquente, position des structures dynamiques dans les basses couches parfois décalée de quelques dizaines de kilomètres), il est indéniable que l'apport au prévisionniste compense largement les biais relevés. Il appartient d'ailleurs au prévisionniste de les connaître, les déceler et les corriger.