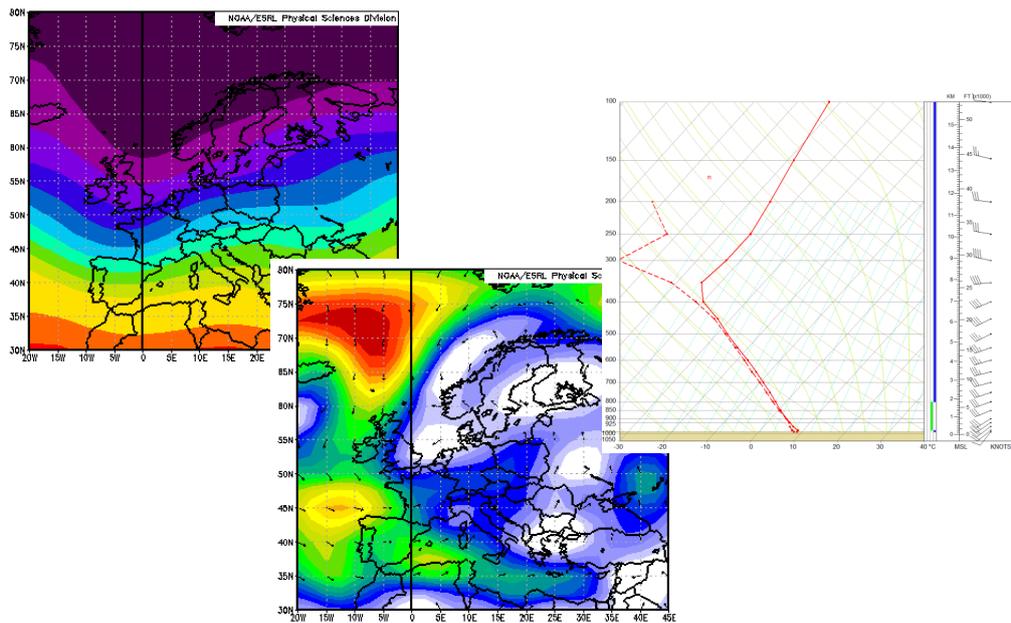


Les tornades en France en 2009

Bilan annuel des configurations météorologiques ayant généré des tornades sur le territoire français



David DUMAS
Emmanuel WESOLEK
Observatoire Français des Tornades et des Orages Violents
www.keraunos.org

1. Généralités et éléments d'introduction

L'Observatoire a recensé à ce jour, 21 tornades sur l'année 2009. Après un début d'année et une première partie de saison froide relativement pauvres en phénomènes tourbillonnaires, le printemps, et donc le début de la saison chaude, voit l'activité orageuse démarrer de manière vive et brutale.

Ainsi, la première tornade "de saison chaude" se produit le 28 Avril 2009 dans le département de la Vienne.

Deux autres cas sont classés en liste secondaire comme étant probables, mais non certains. On notera pour l'anecdote que 34 cas de tubas ont été recensés en 2009 ainsi que 14 cas de trombes marines, toutes en deuxième partie d'année.

Se produisant en mer, les cas de trombes sont vraisemblablement sous-estimés, même si le mois de Septembre s'annonce comme étant le plus riche. Le cas des trombes marines en Méditerranée fait d'ailleurs l'objet de recherches spécifiques au sein de l'Observatoire, afin d'établir de manière précise les contextes météorologiques favorables et précurseurs des formations de trombes dans cette zone géographique.

Le tableau ci-dessous reprend l'ensemble des tornades recensées par l'Observatoire pour l'année 2009.

L'intensité ne dépasse jamais le niveau EF-1. C'est d'ailleurs la première année depuis 2003 que l'intensité des tornades recensées sur une année ne parvient pas à dépasser le niveau EF-1.

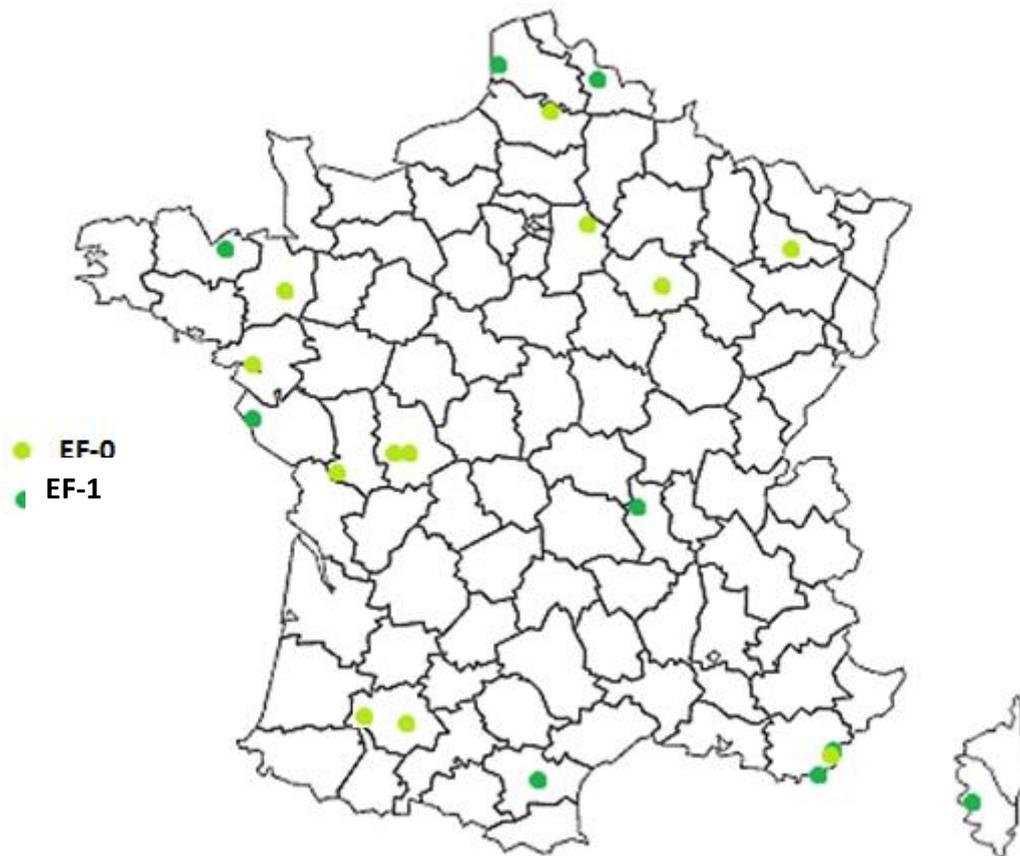
JOUR	COMMUNE PRINCIPALE	DPT	INTENSITE	DOSSIER
07/02/2009	Montégut	32	EF-0	
28/04/2009	Saint-Maurice-la-Clouère	86	EF-0	
11/05/2009	Saint-Hilaire-la-Palud	79	EF-0	
13/05/2009	La Ferté-sous-Jouarre*	77	EF-0	
15/05/2009	Grimaud	83	EF-1	
21/05/2009	Saint-Bonnet-des-Quarts	42	EF-1	
24/05/2009	Saint-Jean-de-Monts	85	EF-1	
26/05/2009	Marchiennes	59	EF-1	
07/06/2009	Vern-sur-Seiche	35	EF-0	
07/06/2009	Assevillers	80	EF-0	•
30/06/2009	Vivonne	86	EF-0	
05/07/2009	Saint-Parres-aux-Tertres*	10	EF-0	
17/07/2009	Galiac	32	EF-0	
01/08/2009	Carcassonne	11	EF-1	
04/09/2009	Rosières-aux-Salines	54	EF-0	
14/09/2009	Ajaccio	2A	EF-1	•
08/10/2009	Donges*	44	EF-0	•
04/11/2009	Camiers	62	EF-1	•
29/11/2009	La Londe-les-Maures	83	EF-1	•
29/11/2009	La Croix-Valmer	83	EF-0	•
29/12/2009	Lamballe	22	EF-1	•

* indique une incertitude sur la commune

• dossier associé disponible sur le site www.keraunos.org

100% des tornades qui se sont abattues sur le territoire français en 2009 peuvent donc être considérées comme étant de faible intensité. La dernière tornade de forte intensité remonte à 2008 avec le fameux cas dévastateur de Hautmont (59).

Les cas recensés en 2009 se répartissent sur le territoire français de la manière suivante :



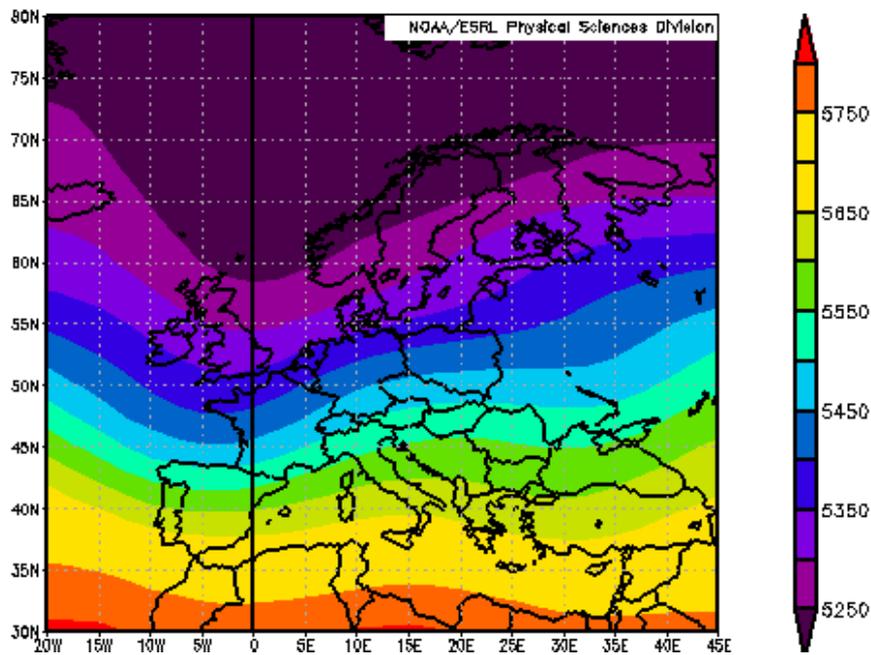
Une bande Poitou-Charentes / Pays de la Loire - Nord / Nord Est se dessine sur cette répartition des cas de l'année 2009. De même, une forte occurrence se distingue sur le bassin Méditerranée, ce qui n'a pas forcément été le cas les années précédentes.

2. Situation synoptique moyenne associée aux cas de "saison froide" en 2009

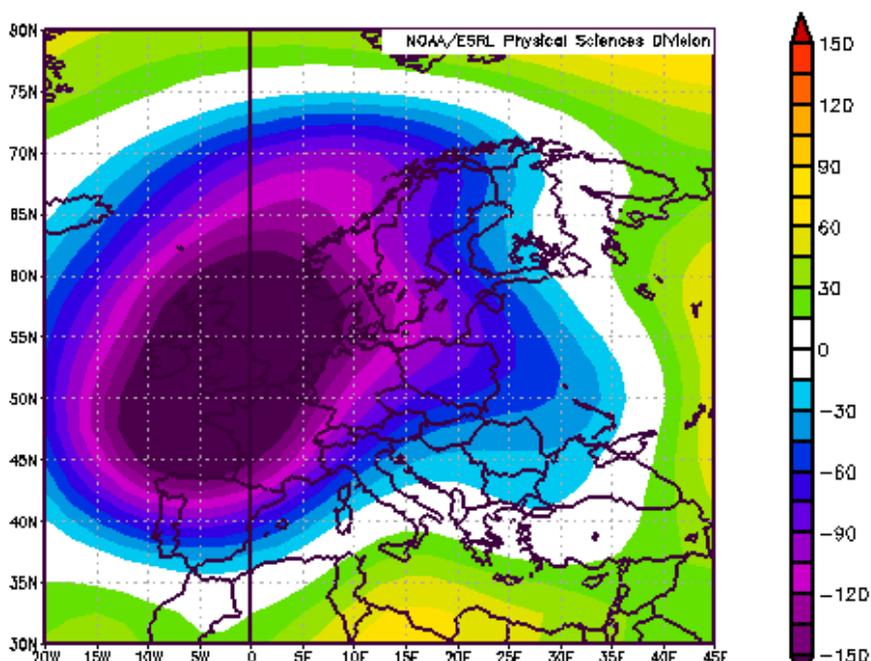
Les cartes suivantes représentent la configuration moyenne à l'échelle synoptique de plusieurs paramètres pour les jours où des tornades de type "saison froide" ont été observées sur la France en 2009. En l'occurrence, ces cartes font ressortir la situation moyenne pour les journées du 7 Février, 8 Octobre, 4 Novembre, 29 Novembre et 29 Décembre 2009 (cas de tornades de saison dite froide).

2.1. Position des centres d'action

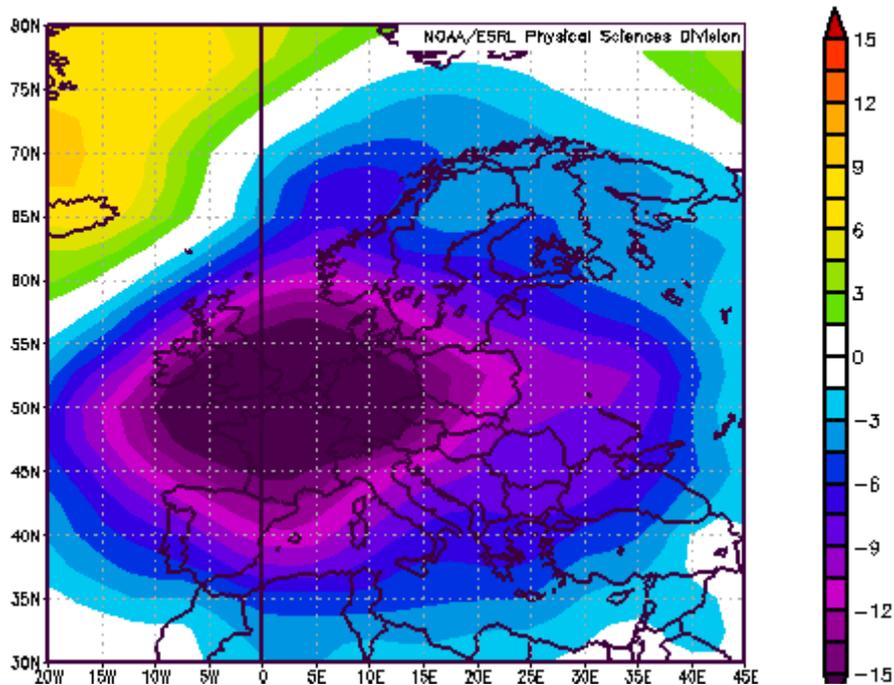
A 500 hPa, on distingue une circulation d'Ouest relativement classique, avec passage successif de thalwegs d'altitude, augurant de régimes de traîne succédant aux fronts froids perturbés.



La carte d'anomalie du géopotentiel à 500 hPa paraît plus éloquente, dans la mesure où elle traduit bien la récurrence des flux de Sud Ouest perturbés qu'a connu la France une très grande partie de l'automne 2009, dans une relative douceur. Les tornades de saison froide se sont donc produites en 2009 dans une configuration de forte anomalie négative de géopotentiel à 500 hPa ; anomalie qui plonge d'ailleurs très bas en latitude. Cela traduit parfaitement les conditions d'un flux d'Ouest à Sud Ouest dévié vers de basses latitudes, alors que les anomalies demeurent positives du Groenland au Spitzberg.



Au sol, nous retrouvons de manière significative la situation qui prévaut en altitude. Les pressions demeurent faibles sur l'ensemble de l'Europe de l'Ouest, avec une anomalie négative proche de 15 hPa sur la France. Cette anomalie se prolonge jusque sur l'ensemble du bassin Méditerranéen. Nous retrouvons donc une tendance à un régime d'Oscillation Nord Atlantique négatif (NAO -). Couplée à une récurrence des flux de Sud Ouest en altitude, il n'est donc pas surprenant de rencontrer deux cas de tornades sur la Provence sur la saison.



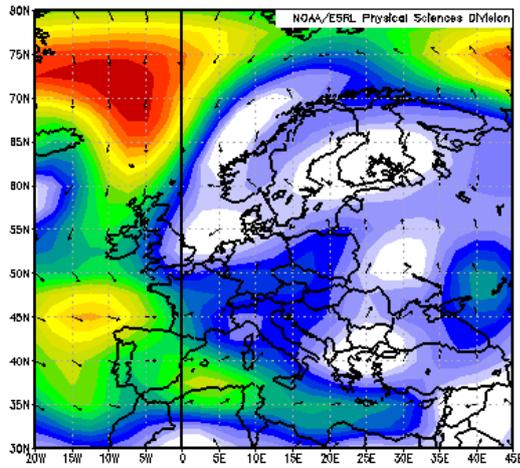
Les tornades françaises de saison froide se sont rencontrées en 2009 dans un contexte d'anomalie de pression fortement négative installée sur l'Europe de l'Ouest, en liaison avec un flux perturbé circulant assez bas en latitude, alternant flux de Sud Ouest dynamiques et traînes de Nord Ouest.

2.2 Régime des vents

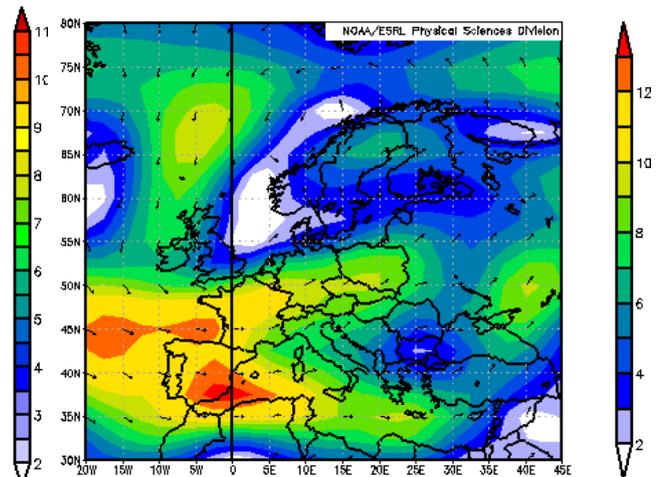
Nous retrouvons sur les cartes suivantes la déviation du jet d'altitude vers de basses latitudes (au niveau des régions Méditerranéennes). Nous observons par ailleurs un cisaillement de vitesse intéressant sur la région Méditerranéenne touchée par les tornades de saison froide (4 m/s au sol, surplombé par 8 m/s à 850 hPa puis 20 m/s à 500 hPa et plus de 35 m/s au niveau de la tropopause). Le cisaillement directionnel est peu marqué, dans un régime de Sud Ouest à tous les niveaux. Sur les régions du Nord et du Nord Ouest, touchées par des tornades, la configuration est toute autre. Les cisaillements directionnels sont plus importants. Malgré une relative faiblesse au niveau du jet de basses couches, la configuration symptomatique de sortie gauche de jet d'altitude est manifeste.

Cette analyse du régime des vents tend à vérifier les critères standards de formation de tornades dans les régions Méditerranéennes.

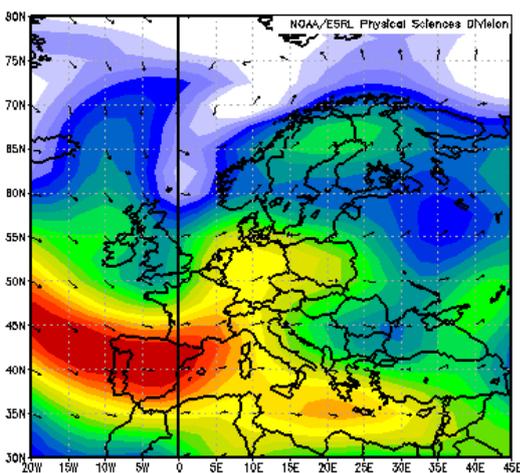
au sol :



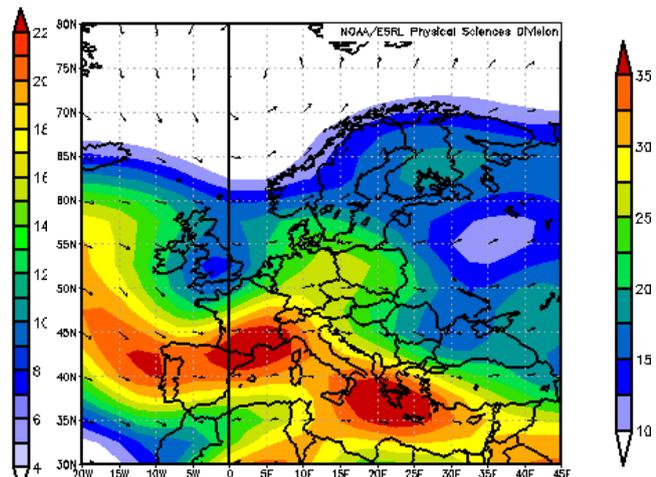
à 850 hPa :



à 500 hPa :



à 250 hPa :



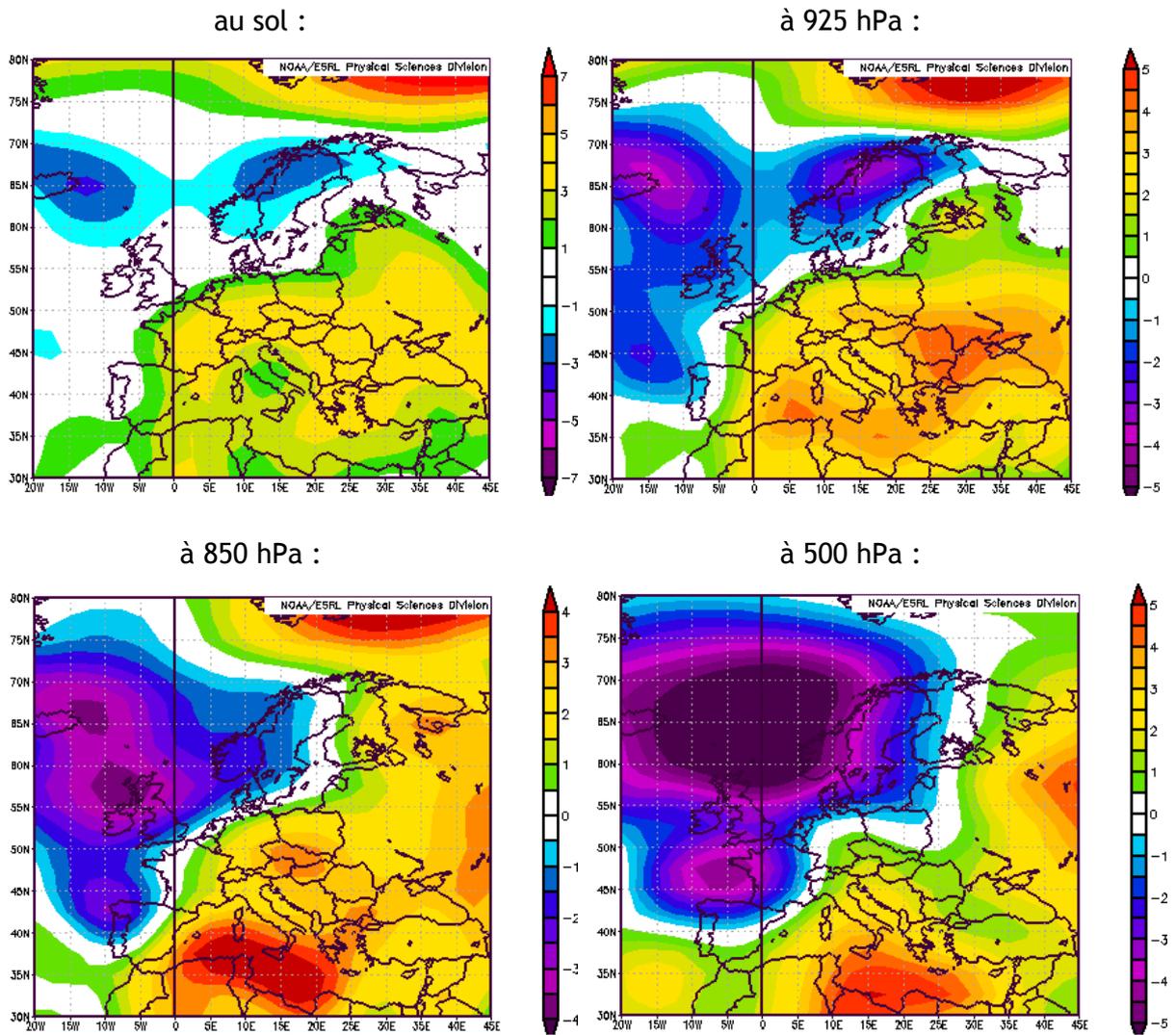
2.3 Caractéristiques thermiques des masses d'air

L'analyse des anomalies thermiques sur différentes couches de l'atmosphère pour les jours à tornades de saison froide est particulièrement intéressante.

Une anomalie chaude de 3 à 5°C est présente au sol et à 925 hPa. Elle tend même à se poursuivre jusqu'au niveau 850 hPa sur les régions Méditerranéennes, en s'amointrissant.

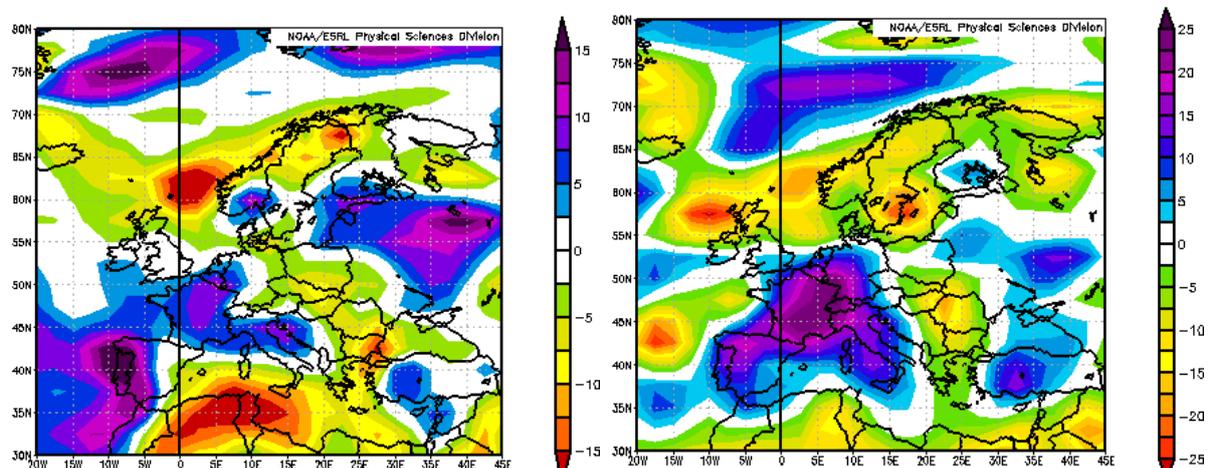
Ces couches surchauffées sont surplombées par une nette anomalie froide à 500 hPa sur la majorité du pays - anomalie qui tend à s'annuler en bordure Méditerranéenne.

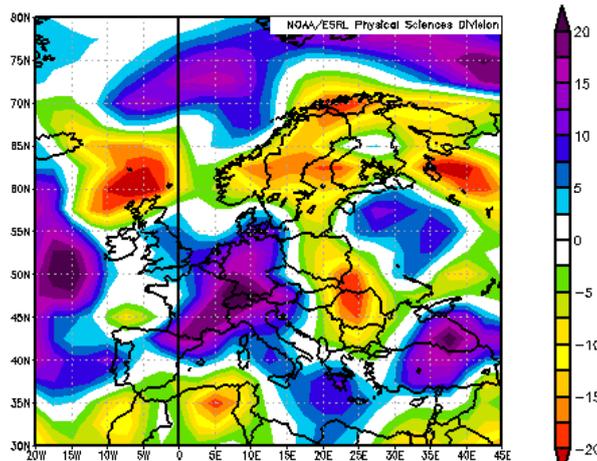
Cette configuration est typique d'un régime de Sud Ouest doux dans les basses couches, surplombé par une vigoureuse circulation froide et cyclonique en altitude.



2.3 Caractéristiques hygrométriques des masses d'air

L'analyse des anomalies hygrométriques (carte sol, 700 hPa puis 500 hPa) sur plusieurs niveaux clés met en évidence une circulation anormalement plus humide à tous les étages en région Méditerranéenne. L'anomalie se résorbe néanmoins sur le Nord Ouest à l'étage moyen.





En résumé, les tornades de type "saison froide" se sont produites en 2009 dans une configuration moyenne caractérisée par :

- une alternance de flux de Sud Ouest puis Nord Ouest, caractérisés par une circulation zonale anormalement basse en latitude, avec cœur dépressionnaire centré vers les Iles Britanniques,
- une circulation d'air doux et humide (très humide près de la Méditerranée), surplombé par de l'air froid en altitude.

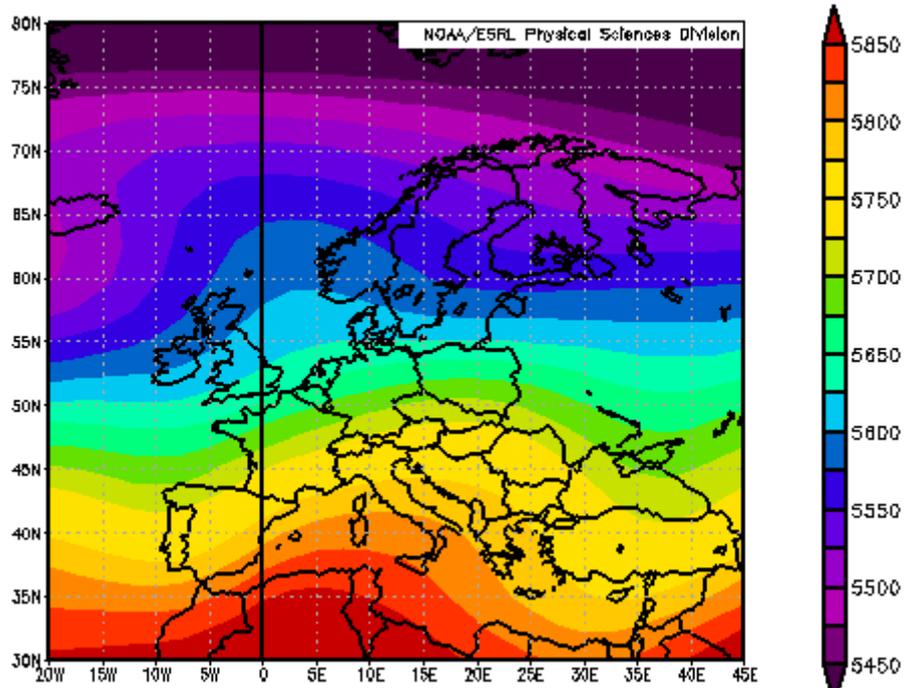
La formation de tornades en région Méditerranéenne en saison froide semble être favorisée par la circulation du jet d'altitude sur ces mêmes régions en contexte de NAO négative.

3. Situation synoptique moyenne associée aux cas "de saison chaude" en 2009

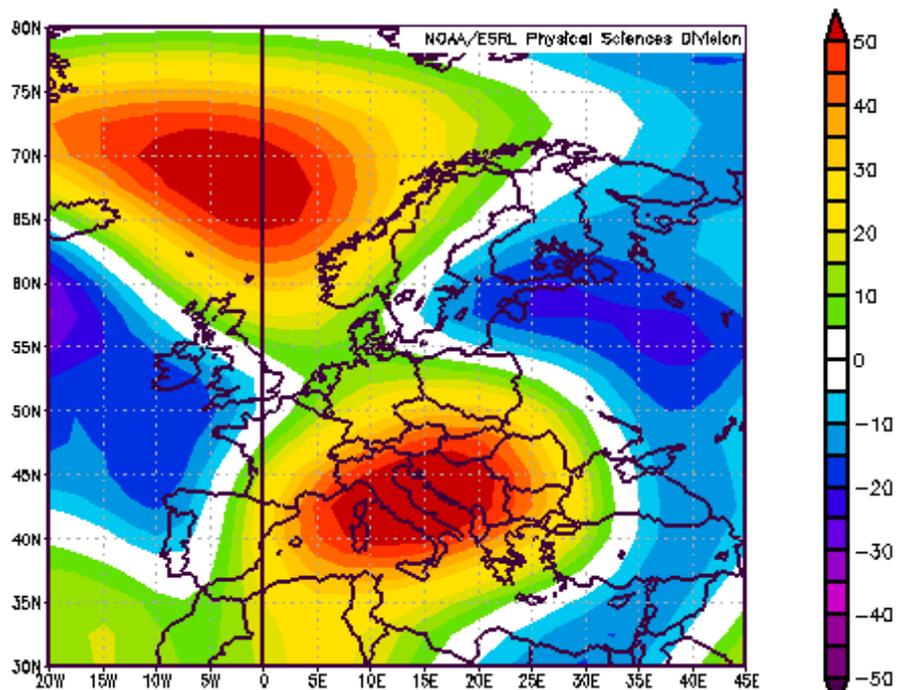
Les cartes qui suivent représentent la configuration moyenne à l'échelle synoptique de plusieurs paramètres pour les jours où des tornades de type "saison chaude" ont été observées sur la France en 2009. En l'occurrence, ces cartes font ressortir la situation moyenne pour les journées du 11, 13, 21, 24 et 26 Mai, 7 et 30 Juin, 5 Juillet, 1er Août, 4 et 14 Septembre.

3.1 Position des centres d'action

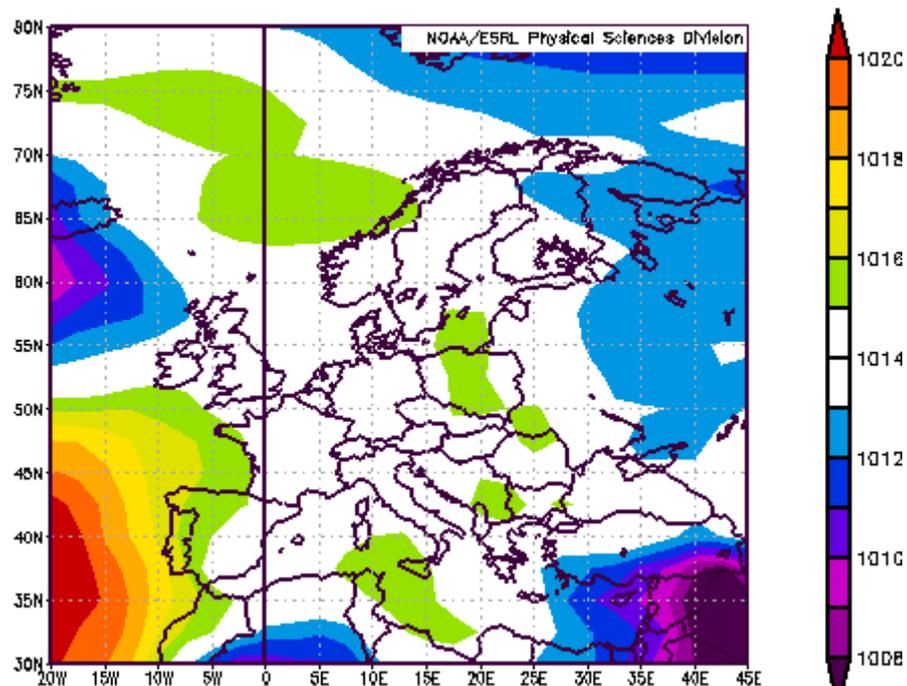
A 500 hPa, on note que les tornades de type "saison chaude" en 2009 se sont produites dans un contexte classique de flux de Sud Ouest dominé par la présence d'un thalweg d'altitude axé entre l'Irlande et l'Espagne. On remarque que cette configuration synoptique moyenne au niveau 500 hPa est extrêmement favorable aux situations de "spanish plume".



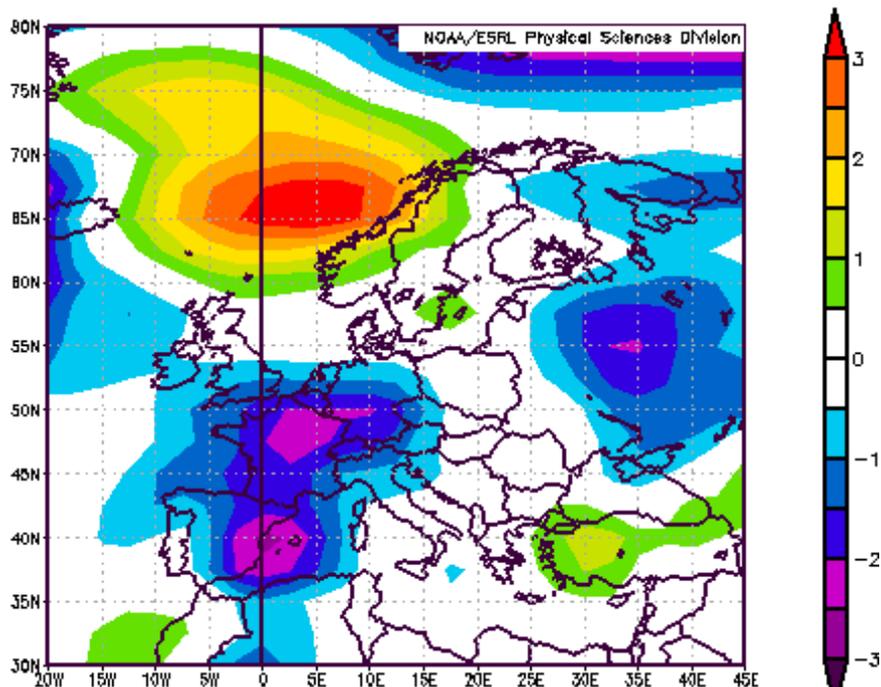
La carte d'anomalie de géopotentiel à 500 hPa met en évidence une anomalie négative sur l'Atlantique, pénétrant légèrement sur une petite frange Ouest du territoire français. A contrario, l'Est et le Sud Est du pays sont concernés par des géopotentiels anormalement élevés à 500 hPa. Cette première observation corrobore le fait que les tornades de "saison chaude" ont été majoritairement observées sur une moitié Ouest du pays, voire en région centrale, moins affectée par l'anomalie positive de géopotentiel.



Au sol, l'environnement est de nature neutre, sans anomalie anticyclonique ni dépressionnaire véritablement marquée.



Pour autant, l'anomalie de pression au sol est négative, de quelques hPa. Les tornades de saison chaude ont été observées dans des pressions au sol plus faibles que la normale. L'axe d'anomalie négative s'étire d'ailleurs de l'Espagne au Benelux, axe privilégié des déclenchements orageux dans la saison.



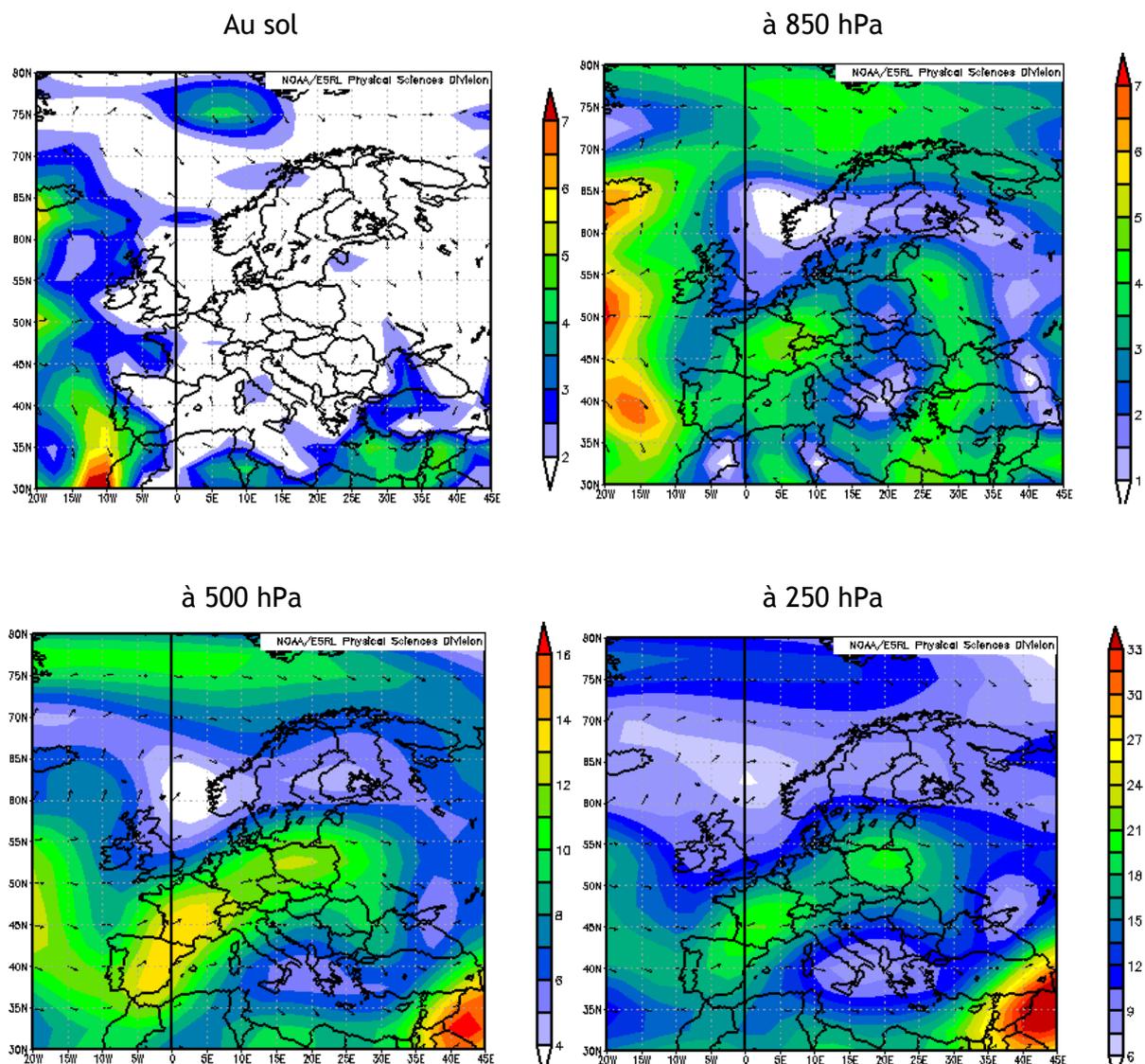
3.2 Régime des vents

En liaison avec les anomalies de bas géopotentiels présents sur l'Atlantique, nous retrouvons une circulation du jet d'altitude à même la France, les jours où les tornades de saison chaude ont frappé le pays en 2009. La tendance va même jusqu'à induire une sortie gauche de jet sur une bonne moitié Nord Ouest du pays.

Au sol, aucun régime de vent n'est établi. Les petites zones de convergence en basses couches semblent dominer.

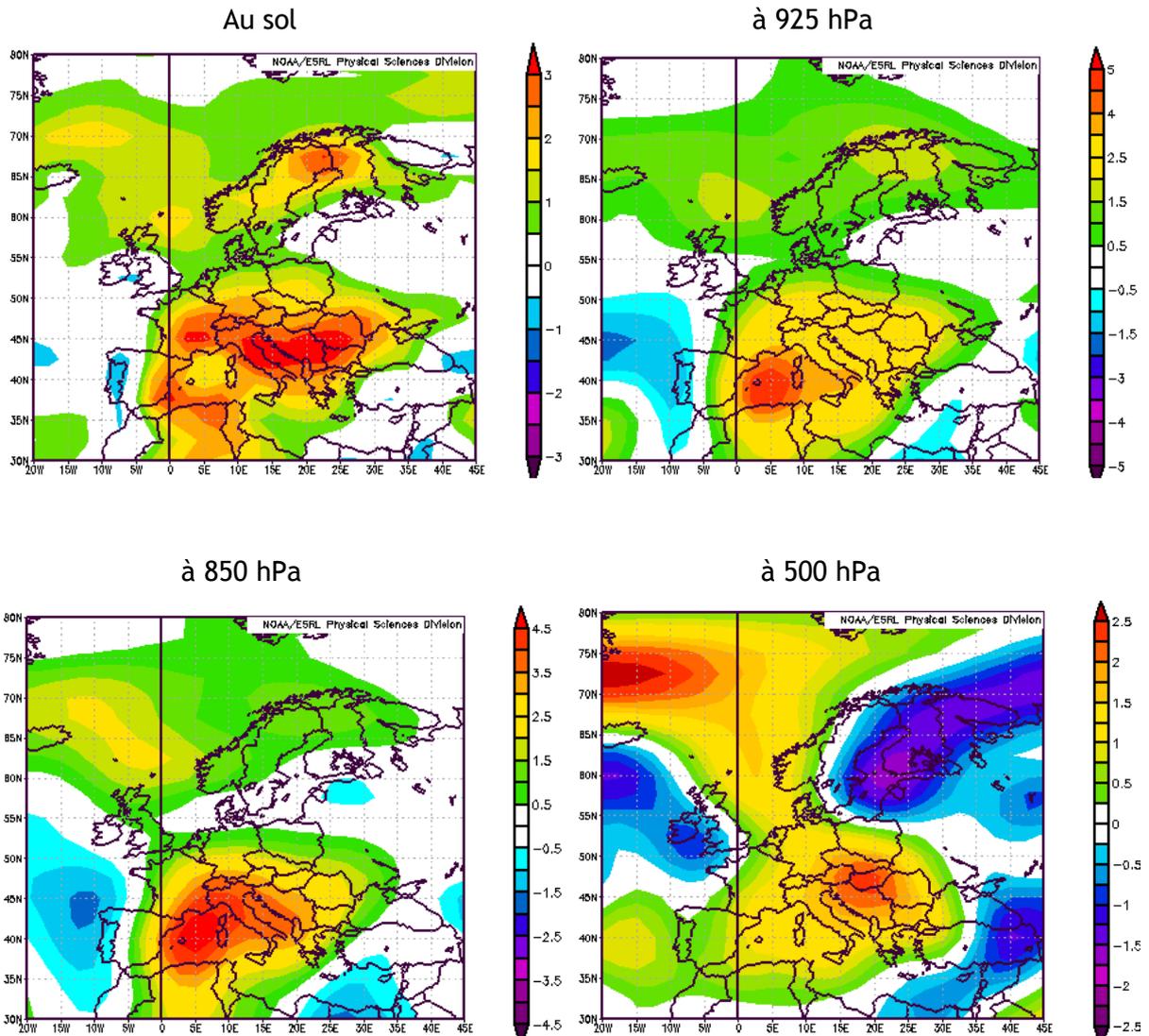
Nous observons enfin un couplage cisaillement vitesse et directionnel relativement important. Sur les régions de l'Ouest, nous remarquons des vents de Nord Ouest à 2 m/s, surplombés par des vents de Sud Ouest à 4 m/s à 850 hPa puis des vents de Sud Ouest à 13 m/s à 500 hPa surplombés par un jet d'altitude de Sud Ouest à 20 m/s.

Le cisaillement de vitesse est appréciable, tandis que le cisaillement directionnel est surtout évident dans les basses couches, élément qui semble avoir favorisé la formation de tornades.



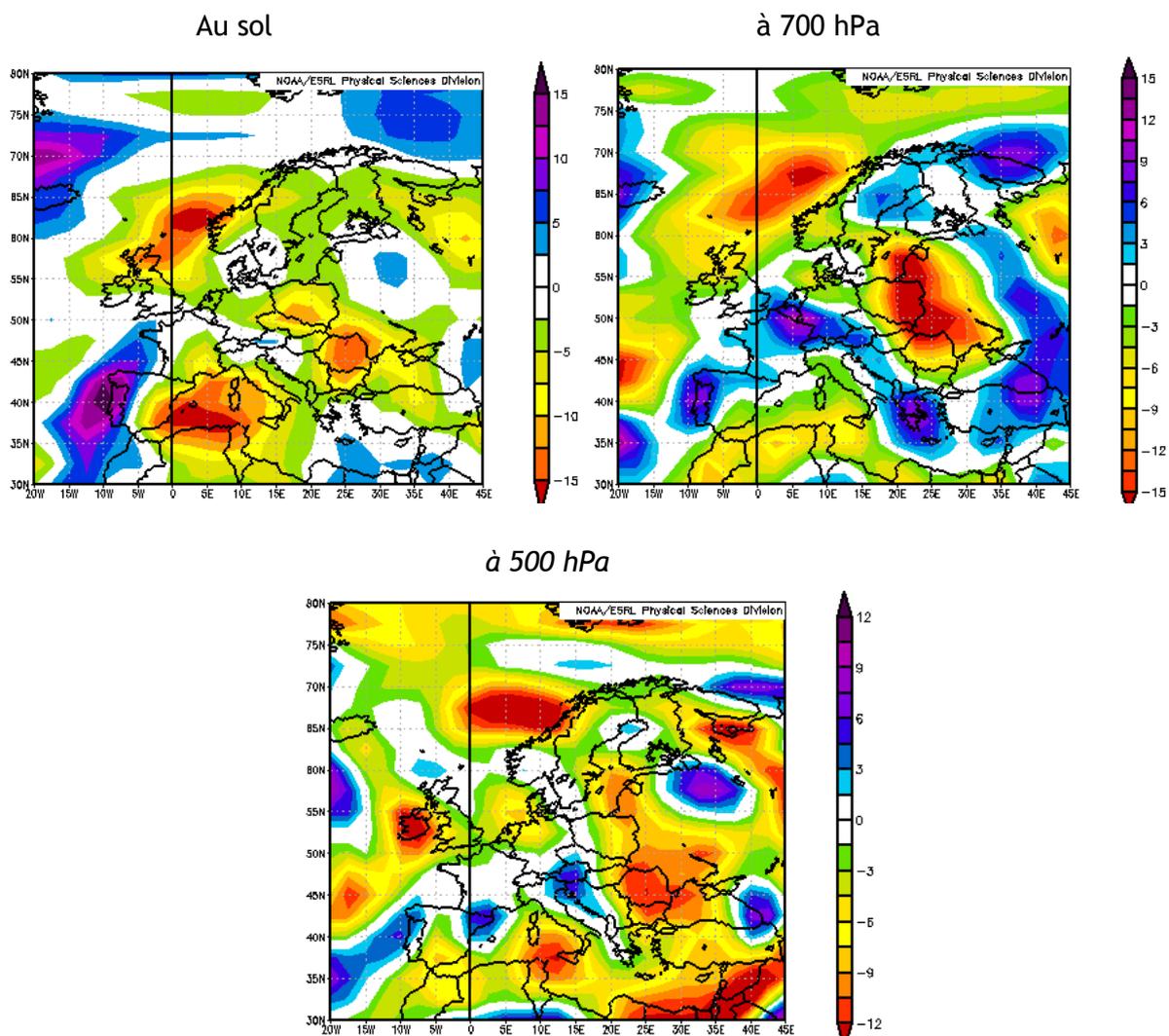
3.3 Caractéristiques thermiques des masses d'air

L'analyse des cartes d'anomalies thermiques met en évidence une surchauffe significative des basses couches jusqu'à 850 hPa sur la majeure partie du pays. En altitude, cette surchauffe tend à s'annuler, et nous retrouvons une anomalie quasiment neutre sur l'Ouest du pays. Cette situation joue évidemment en faveur de l'instabilité.



3.3 Caractéristiques hygrométriques des masses d'air

L'analyse des anomalies hygrométriques (carte sol, 700 hPa puis 500 hPa) sur plusieurs niveaux clés met en évidence une circulation anormalement plus humide sur l'Atlantique, en raison de l'anomalie basse de géopotential constatée précédemment. A l'étage moyen, on note un apport d'humidité plus important que la normale sur les régions de la moitié Nord, alors qu'au sol, l'anomalie reste neutre. On note à 500 hPa une petite anomalie positive, caractérisant des profils à intrusions sèches à l'étage moyen.



En résumé, les tornades de type "saison chaude" se sont produites en 2009 dans une configuration moyenne caractérisée par :

- des flux de Sud Ouest instables, avec une anomalie positive de géopotential positionnée sur l'Europe Centrale, facilitant l'incursion de thalwegs d'altitude par l'Atlantique,
- une circulation d'air plus chaud que la normale et plus humide que la normale sur la moitié Nord du pays,
- des cisaillements de vent la plupart du temps favorables à la formation de tornades et dans une configuration de sortie gauche de jet d'altitude.

4. Analyse synthétique des profils atmosphériques reconstitués pour les cas de tornades recensés en 2009

Les profils verticaux reconstitués demeurent des outils indispensables à la compréhension d'un phénomène tornadique, sur un point donné. Même si ceux ci ne s'avèrent pas complètement symptomatiques d'une situation à tornade, ils ont l'avantage de permettre

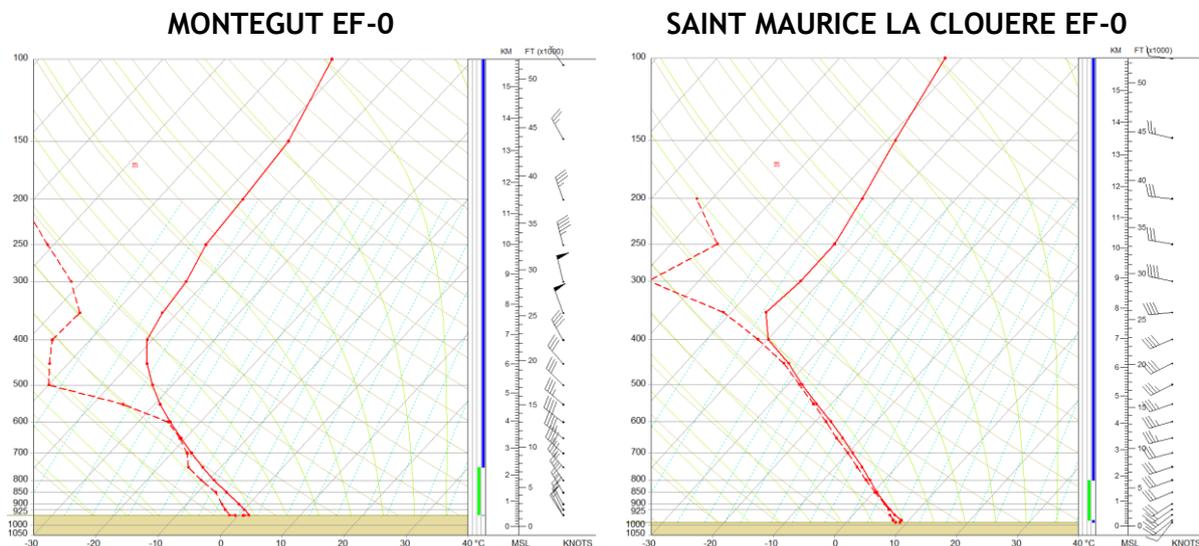
une visualisation synthétique et relativement complète du comportement de l'épaisseur atmosphérique à un moment donné, sur un point donné.

Afin d'étoffer la présente étude (comme dans l'étude de 2007), des radiosondages ont été reconstitués pour chaque cas de tornade de l'année 2009. Chacun de ces radiosondages représente donc un profil moyen de l'atmosphère dans l'environnement proche du lieu de formation des tornades. Ces reconstitutions ont le mérite de permettre une caractérisation plus précise de l'atmosphère dans un rayon de 50 km autour du point d'impact de chacune des tornades, à l'heure précise de leur formation.

Nous serons toutefois forcés de constater que chaque radiosondage reconstitué ne traduit pas obligatoirement une situation typique et favorable à la formation des tornades.

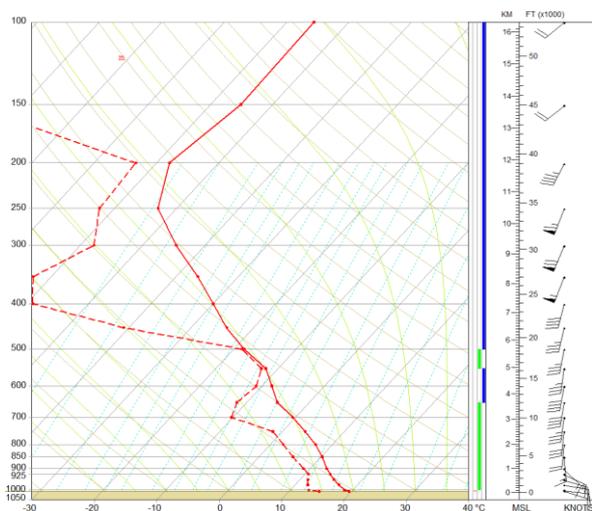
Le profil atmosphérique reconstitué de **Montégut** met en évidence, à première vue, une petite inversion de température dans les très basses couches. L'instabilité et les cisaillements ne sont par ailleurs que très peu propices au développement d'une tornade. Ce cas illustre parfaitement les limites de prévisibilité des tornades à l'échelle globale. Ce phénomène tornadique est alors très certainement influencé par des facteurs de micro-échelle locaux.

Le cas de **Saint Maurice la Clouère** est sans doute un peu plus caractéristique, dans la mesure où l'on note une faible instabilité associée à des cisaillements faibles. L'abaissement significatif du seuil de condensation a vraisemblablement joué en faveur de la tornadogénèse.

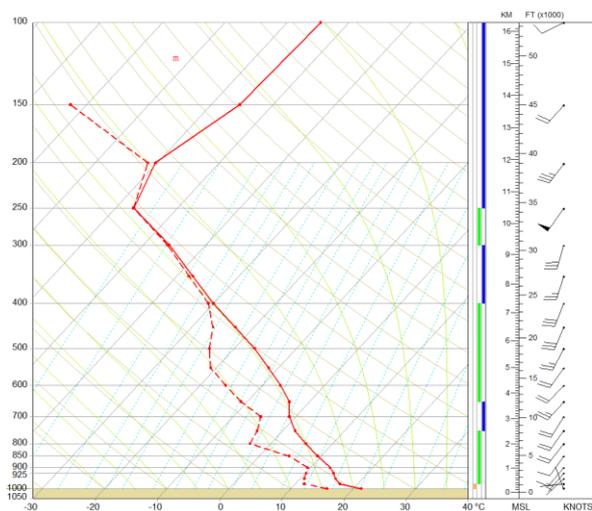


Les profils reconstitués de **Saint Hilaire le Palud** et de **la Ferté sous Jouarre** sont davantage représentatifs d'une configuration atmosphérique favorable à la tornadogénèse, dans la mesure où l'instabilité est suffisante, les seuils de condensation sont bien abaissés et les cisaillements de basses couches sont certes faibles, mais présents.

SAINT HILAIRE LE PALUD EF-0



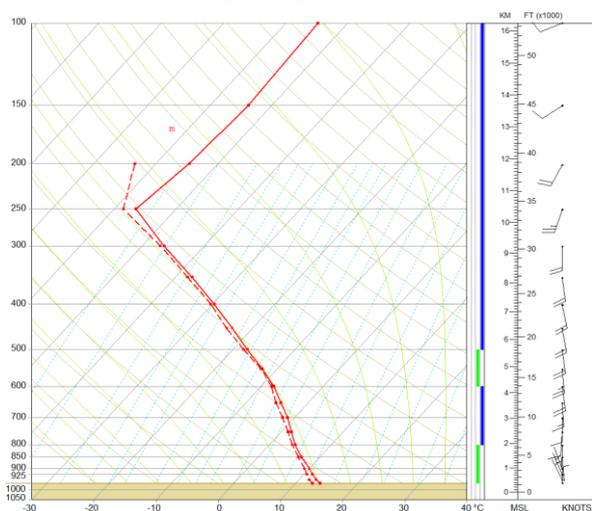
LA FERTE SOUS JOUARRE EF-0



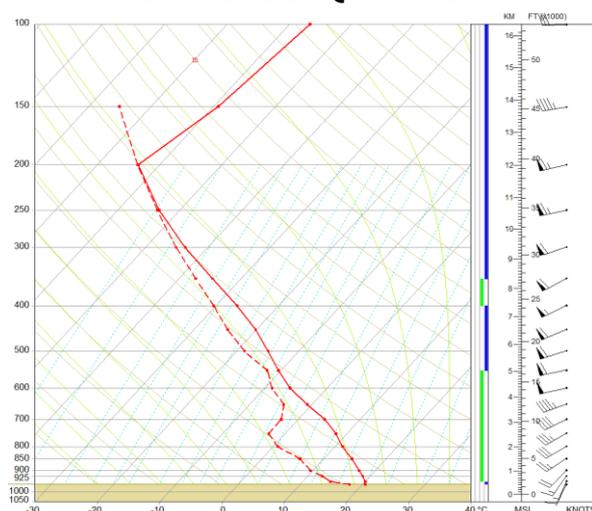
Le cas de **Saint Bonnet des Quarts** est extrêmement caractéristique d'une situation à gros potentiel supercellulaire d'une part, et tornadique d'autre part. Effectivement, avec une instabilité supérieure à 2000 J/Kg et une SRH 0-1 km de 120 m²/s², l'indice SCP atteint la valeur de 1. Le seuil de condensation particulièrement abaissé, couplé à cette forte instabilité et aux cisaillements de basses couches significatifs a favorisé la genèse de la tornade.

Comme pour certaines tornades de saison froide, le cas de **Grimaud** semble influencé par des facteurs locaux (naissance d'une trombe marine ayant touché terre, ou s'étant affaibli avant de se renforcer sur terre), influence des vents marins, topographie, etc. Le profil reconstitué ne comporte pas les éléments habituellement reconnus comme favorables aux tornades.

GRIMAUD EF-1

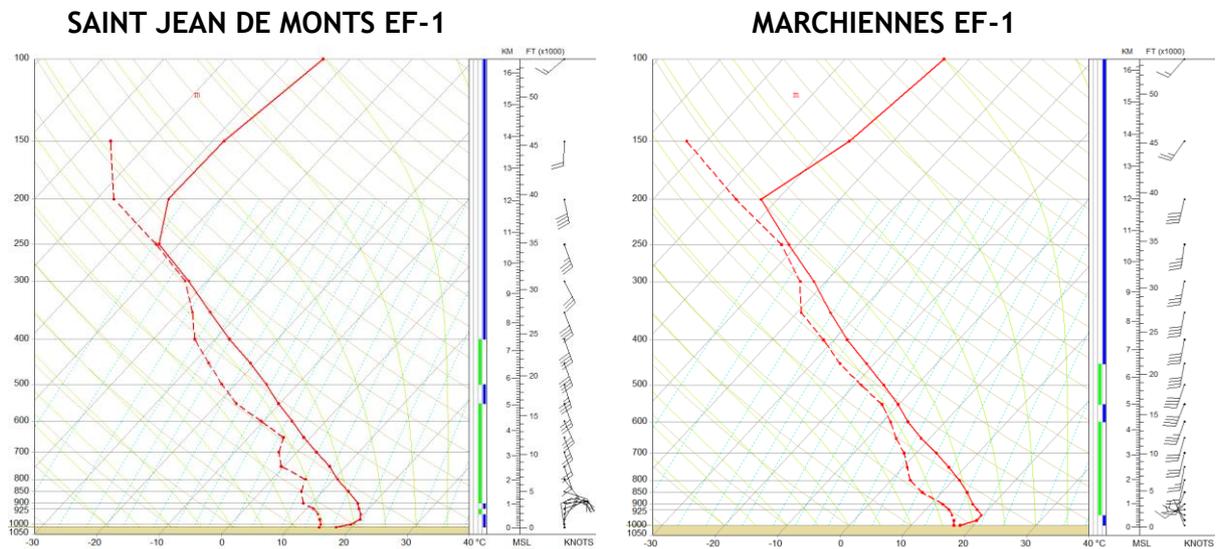


SAINT BONNET DES QUARTS EF-1

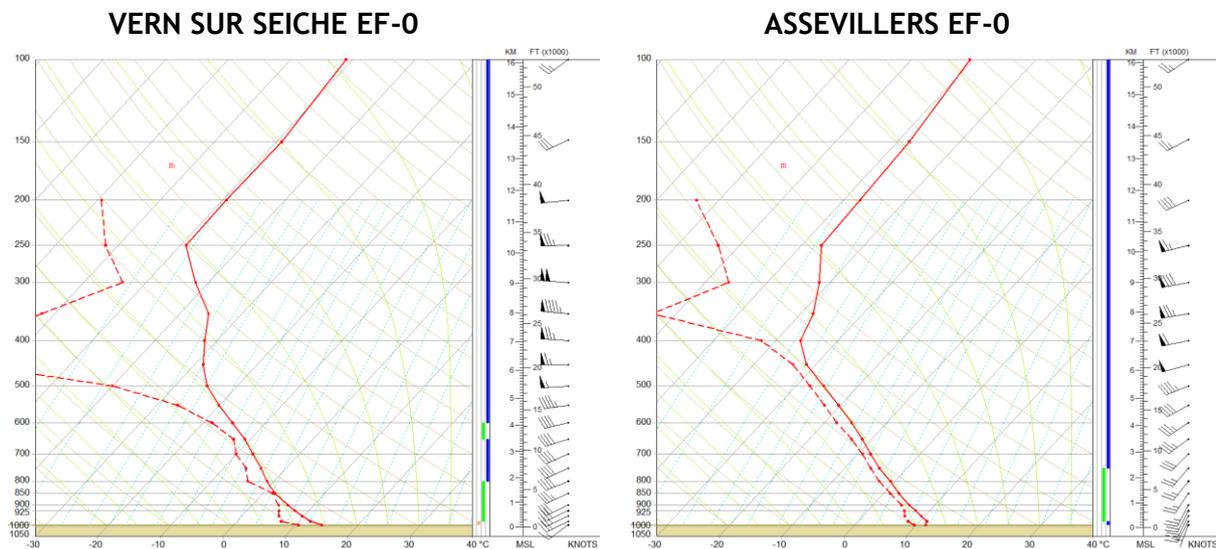


Les deux cas suivants, présentent des profils favorables à la formation de supercellules. Mais dans l'état actuel de nos recherches, le cas de **Marchiennes** n'a pas été lié

directement au passage d'un mésocyclone. Dans les deux cas, l'environnement est suffisamment instable et donc favorable à la formation d'une tornade. Si la tornade de **Saint Jean de Monts** a été favorisée par de puissants cisaillements de basses couches, celui de **Marchiennes** semble davantage aidé par une dynamique de profondeur.

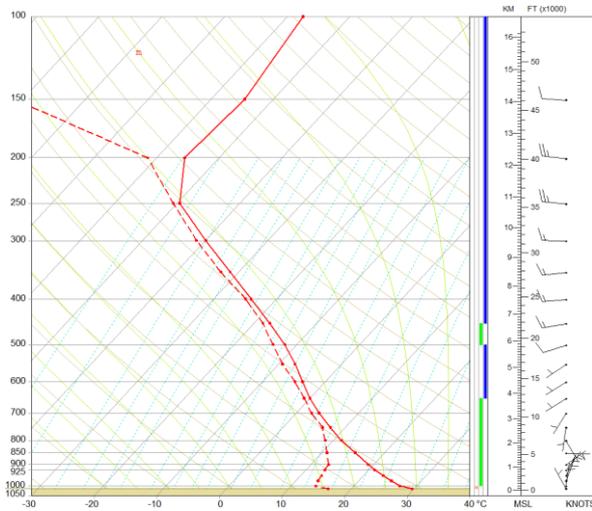
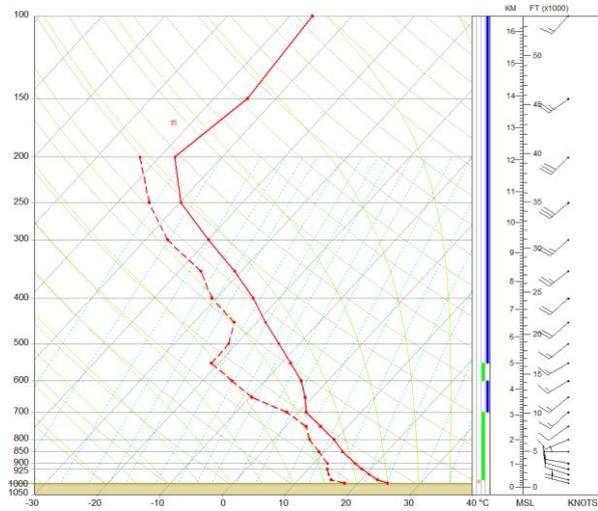


Les tornades de **Vern sur Seiche** et **Assevillers** semblent avoir pris naissance dans un environnement moyennement favorable, conditionné par une instabilité modérée mais suffisante et des cisaillements de basses couches modérés.



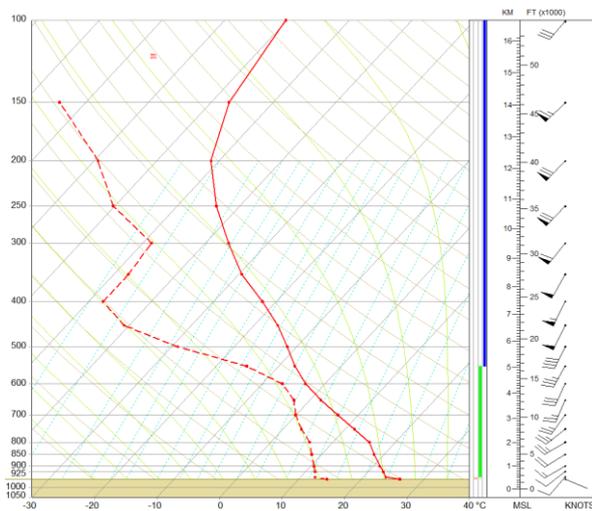
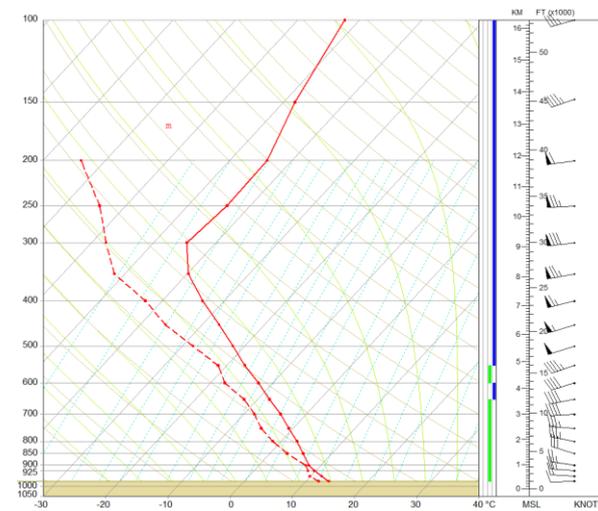
Les deux cas suivants (**Vivonne** et **Saint Parres aux Tertres**) sont atypiques, dans la mesure où malgré un environnement fortement instable et donc favorable, aucun indice n'atteint les seuils habituellement reconnus aux Etats-Unis comme favorables aux tornades.

Cela illustre à nouveau parfaitement bien les limites de la prévision de ces phénomènes à échelle réduite.

VIVONNE EF-0**SAINT PARES AUX TERTRES EF-0**

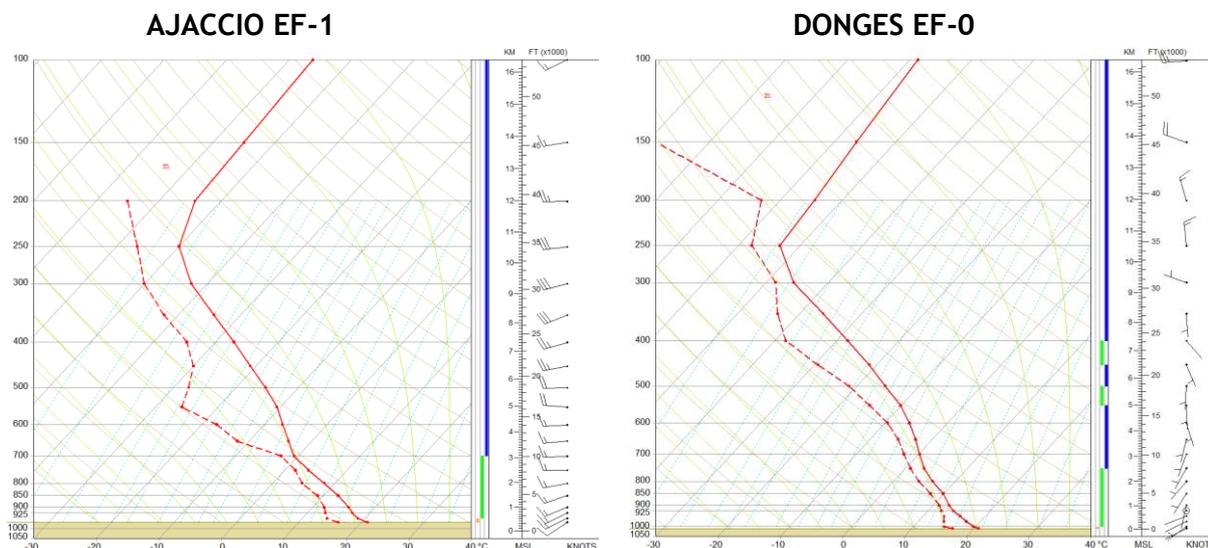
Comme les deux cas précédents, le profil reconstitué de Carcassonne ne se suffit pas à lui seul pour expliquer la formation de la tornade. Malgré une instabilité modérée, le profil semble assez sec, surtout en basses couches (seuil de condensation particulièrement élevé).

Le cas de Rosières aux Salines semble davantage favorisé par des basses couches très humidifiées, et une instabilité modérée.

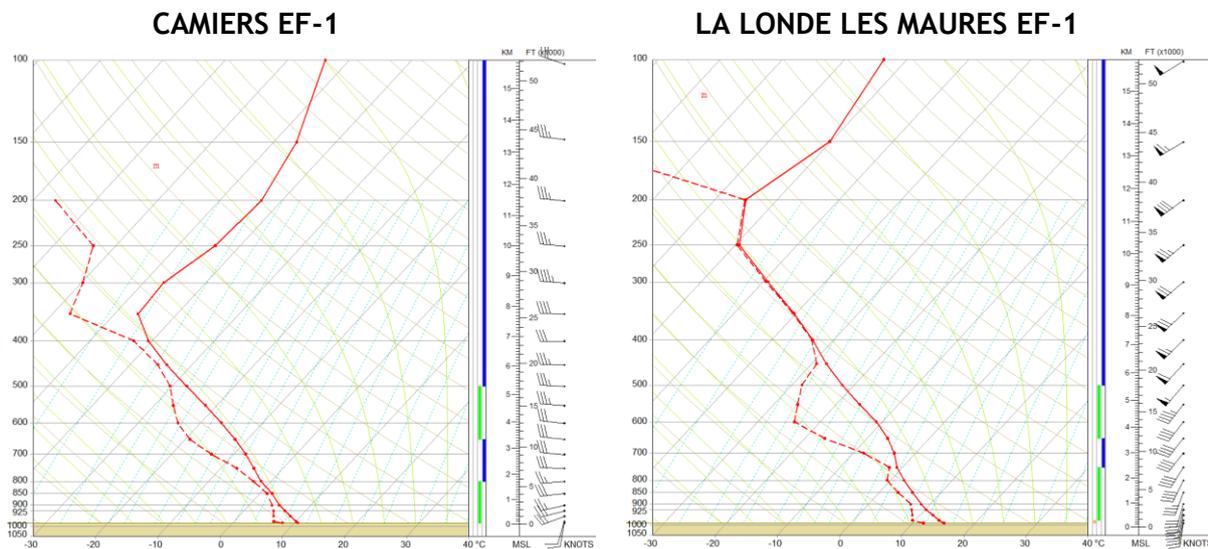
CARCASSONNE EF-1**ROSIERES AUX SALINES EF-0**

La tornade d'Ajaccio a pris naissance dans un environnement très instable et très cisailé en profondeur, bien que les cisaillements de basses couches ne soient pas particulièrement élevés. Le profil met également en évidence une humidité de basses couches importante, conjugué à une forte instabilité générale.

Le cas de **Donges**, caractérisé par une instabilité modérée et des cisaillements faibles, est vraisemblablement à rapprocher des profils habituellement associés aux situations productrices de trombes marines.

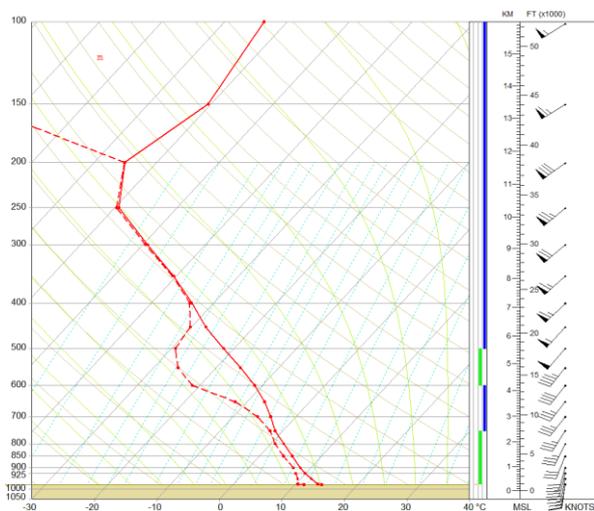


Les deux profils suivants présentent des caractéristiques typiques de situation à tornade, dans la mesure où la présence d'instabilité et des cisaillements de basses couches jouent un rôle favorable, aussi bien à **Camiers** qu'à **La Londe les Maures**.

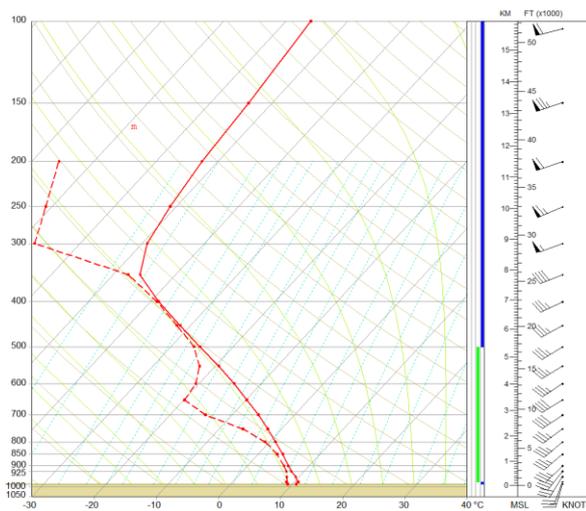


Comme les deux précédents, les cas de **la Croix Valmer** et de **Lamballe** sont typiques d'une situation à tornade de saison froide, avec une instabilité faible mais présente, et des cisaillements de basses couches juste conséquents.

LA CROIX VALMER EF-0



LAMBALLE EF-1



Les résultats chiffrés de ces profils reconstitués, issus du programme MESO-VX® développé par la société METEO-PARTNER sont disponibles ci-dessous :

	CAPE	LI	DCI	SSP	SRH 0-1KM	SRH 0-3KM	SCP	ISO 0	TROP	LCL	700-500HPA
Montégut	28	3,8	-16,1	94	25	98	0	236	6372	407	6,7
Saint-Maurice-la-Clouère	159	-0,3	1,2	864	98	112	0,1	1301	7721	248	7,3
Saint-Hilaire-la-Palud	524	-3,1	18,8	1704	60	151	2,1	2967	11863	609	6,9
La Ferté-sous-Jouarre	1461	-4	18,2	528	39	88	1	2752	11754	695	6
Grimaud	41	0,5	13	62	4	50	0	2434	10066	153	6,4
Saint-Bonnet-des-Quarts	2116	-6,3	27	7836	120	214	1,5	3195	11580	320	7,3
Saint-Jean-de-Monts	239	-1,4	22,2	2246	184	262	1,8	3565	12033	1440	6,9
Marchiennes	942	-4,1	25,1	15742	14	113	2,8	3412	11903	1032	7,1
Vern-sur-Seiche	627	-2,9	6,6	1806	91	132	0,9	1588	10159	465	6,9
Assevillers	254	-0,9	4,5	2639	96	138	0,4	1654	10127	227	7
Vivonne	1098	-3,4	29,5	1500	-8	32	0,1	3746	12171	1691	5,9
Saint-Parres-aux-Tertres	1529	-5,1	27,1	2204	-3	42	0,1	3216	11913	876	5,5
Carcassonne	439	-2,7	29,5	790	1	23	0,1	3530	13650	1483	6,8
Rosières-aux-Salines	485	-2,3	10,5	1713	-4	9	0,1	2033	8830	202	6,9
Ajaccio	1459	-4,9	26,2	4491	36	44	0,1	2633	11640	597	5,6
Donges	920	-2,6	20,2	292	5	15	0	3079	10496	533	6
Camiers	289	-1,7	4,9	543	160	186	0,4	1455	7703	315	7,8
La Londe-les-Maures	314	-2	10,5	142	112	168	0,6	2114	11496	417	7,2
La Croix-Valmer	327	-1,7	10,9	566	78	136	0,5	1989	11406	354	6,9
Lamballe	101	-0,9	8	917	126	158	0,1	1868	8811	623	6,3

CAPE : énergie convective (J/Kg)

Li : indice de soulèvement (°C)

DCI : indice composite conjuguant instabilité générale et humidité de basses couches

SSP : indice composite conjuguant instabilité et cisaillements profonds

SRH : mesure du cisaillement des vents relativement au mouvement des cellules orageuses

SCP : indice composite utilisé pour déterminer le risque de supercellules

ISO 0 : altitude de l'isotherme 0°C (m)

TROP : altitude de la tropopause (m)

LCL : niveau de condensation par soulèvement (m)

700-500 HPA : gradient thermique 700 > 500 hPa

Les résultats précédents confirment que quelques cas de tornade semblent davantage influencés par des facteurs locaux peu prévisibles que par une dynamique atmosphérique globale ou de méso-échelle. Pour autant, certains cas restent typiques d'une dynamique atmosphérique caractéristique : Saint Bonnet des Quarts, Saint Jean des Monts, Ajaccio, etc.

En 2009, les tornades se sont majoritairement manifestées dans des conditions plutôt typiques et donc quelque peu prévisibles, surtout en deuxième partie de saison froide (fin d'année).

La majeure partie des cas constatés en saison chaude se sont également produits selon une configuration favorable associant flux de Sud Ouest humides et instables, cisaillements de vent significatifs dans les basses couches et/ou en profondeur et configuration de sortie gauche de jet avec divergence d'altitude et intrusions sèches à l'étage moyen.

Plusieurs cas de la saison chaude semblent néanmoins être davantage le fruit de facteurs locaux que d'une dynamique atmosphérique globale, même si aucun cas n'écarte réellement l'influence de la dynamique globale.

Toutefois, le couplage clé "instabilité-cisaillements-humidité" n'a semble-t-il jamais été suffisant en 2009 pour occasionner la formation de tornades de plus forte intensité puisque nous n'avons jamais dépassé l'intensité EF-1.

En résumé, une année 2009 riche en phénomènes tornadiques, qui sont toutefois restés d'une faible intensité.

Ceci confirme enfin que si la plupart des cas de tornades sont aujourd'hui de plus en plus prévisibles au niveau de la notion de "risque", ils restent influencés dans de nombreux exemples par des facteurs locaux peu connus, donc peu modélisables pour le moment et de fait imprévisibles.
