



UNIVERSITÉ
TOULOUSE III
PAUL SABATIER



Rapport de Stage de M1 SOAC

2016-2017

Etude d'événements météorologiques intenses en Corse

Margaux HILT
Meryl WIMMER



Pont vers Aiti (Haute-Corse), 24/11/2016 (AFP/Pascal POCHARD-CASABIANCA)

Encadrants de stage : Dominique LAMBERT, Maître de Conférences, UPS,
et Evelyne RICHARD, Directrice de Recherche, CNRS

Remerciements

Nous remercions l'ensemble du Laboratoire d'Aérodynamique pour son accueil chaleureux.

Mais nous tenons à remercier plus particulièrement, nos encadrants,
D. LAMBERT et E. RICHARD,
pour leur aide et leur contribution lors de notre stage.

Remerciements aussi à L. LABATUT pour avoir fourni les données de Météo-France.

Sommaire

Introduction.....	5
I. Outils et données utilisés pour les simulations	6
1. Modèle numérique Meso-NH.....	6
2. Calculateur Ada de l’IDRIS	6
3. ECMWF.....	6
II. Protocole	6
III. Résultats des simulations	8
a. 14 octobre 2016 : Forte activité électrique	8
i. Comparaison qualitative aux mesures in-situ.....	8
ii. Comparaison quantitative aux mesures in-situ	9
b. 24 novembre 2016 : Phénomène de Précipitations Intenses (HPE)	10
i. Les précipitations de la matinée et du début d'après-midi	10
ii. Les précipitations de l'après-midi.....	11
iii. Comparaison des simulations.....	11
Conclusion.....	12
Bibliographie	13
Table des illustrations et tableaux.....	15
Annexes.....	16

Introduction

Chaque année, le bassin méditerranéen est le théâtre d'épisodes de fortes précipitations nommés « épisodes méditerranéens » qui peuvent causer d'importants dégâts voire des victimes.

Ces phénomènes impactent plus particulièrement les côtes du Golfe du Lion, de la Mer de Ligurie et de la Mer Tyrrhénienne. Ils surviennent dans 55% des cas, en automne (Scheffknecht, 2016). On explique la plupart de ces phénomènes de pluies intenses automnaux par l'advection par un vent de sud d'un air chaud, humide et instable, situé au-dessus de la mer, qui est la plus chaude en cette saison. Quand cet air atteint les côtes au nord, il est soulevé par l'orographie et se refroidit. De ce fait, l'air humide se condense, ce qui crée des nuages précipitants et provoque des pluies diluviennes sur les côtes. Mais, il existe d'autres phénomènes, qui, aujourd'hui, ne sont pas encore tout à fait expliqués.

Plusieurs études montrent que, en raison du réchauffement climatique, ces épisodes méditerranéens pourraient s'intensifier (Scheffknecht et al. 2017). Il est donc impératif de mieux les comprendre afin de pouvoir les prévoir et ainsi « protéger » les quelques 20 millions d'habitants vivant dans la région concernée. Dans cette optique, il est nécessaire de connaître avec précision les caractéristiques de l'air situé plus au Sud, au large des côtes françaises. Malheureusement, ces données manquent et la prévision de ces phénomènes précipitants reste encore aujourd'hui très incertaine. C'est pourquoi, un projet européen de large envergure, HyMeX¹ a été lancé. Celui-ci cherche à mieux comprendre l'évolution du cycle de l'eau en Méditerranée. Une partie de ce projet consiste à mieux prévoir les phénomènes de fortes précipitations et les crues-éclair. Le projet MUSIC², financé par l'Agence Nationale de la Recherche s'intéresse au cas des précipitations dues à la convection intense en exploitant principalement les données de la campagne de mesures Special Observation Periods (SOP1) du projet HyMeX de l'automne 2012

Pour plusieurs événements de précipitations intenses qui touchent la France, la Corse, située au sud de la Mer Ligurienne, est placée sur la trajectoire de l'air humide provenant de la mer. Elle peut être ainsi considérée comme une « sentinelle météorologique ». C'est pourquoi depuis quelques années, l'observatoire CORSICA³ veille à développer des réseaux d'observation et à améliorer les connaissances météorologiques de cette région.

C'est dans ce cadre que se situe notre étude des phénomènes météorologiques intenses en Corse. Elle fait suite aux travaux de Phillip SCHEFFKNECHT, qui a étudié, lors de sa thèse, la climatologie de ces événements. Il a aussi analysé trois cas particuliers de la SOP1 (4 septembre, 23 octobre et 31 octobre 2012).

Durant le stage que nous avons réalisé au Laboratoire d'Aérodynamique, nous nous sommes intéressées à l'étude de trois journées plus récentes : les 01 et 02 octobre 2015, le 14 octobre 2016 et le 24 novembre 2016. Nous avons comparé différentes simulations numériques de la situation météorologique de ces trois périodes.

Dans ce rapport, nous allons d'abord présenter les phénomènes étudiés ainsi que les différents outils utilisés pour réaliser ces simulations. Puis, nous comparerons qualitativement les résultats des simulations aux données des radars et pluviomètres de Météo-France⁴. Nous approfondirons ensuite ces résultats avec une analyse plus quantitative. Enfin, nous concluons.

¹ HyMeX (Hydrological cycle in Mediterranean eXperiment), <https://www.hymex.org/>

² MUSIC, (Multiscale process studies of intense convective precipitation events in Mediterranean), <https://www.hymex.org/music/>

³ CORSICA((Centre d'Observation Régional pour le Surveillance du Climat et de l'environnement Atmosphérique et océanographique en Méditerranée occidentale), <http://corsica.obs-mip.fr/>

⁴ Les auteurs remercient Laurent Labatut de Météo-France pour avoir fourni les données radar utilisées dans cette étude.

I. Outils et données utilisés pour les simulations

Lors de ce stage, différentes simulations des situations météorologiques étudiées ont été réalisées avec le Modèle Meso-NH sur le ordinateur Ada de l'IDRIS. Celles-ci ont été initialisées avec les données de l'ECMWF⁵ à 00h UTC le jour même du phénomène météorologique.

1. Modèle numérique Meso-NH

Le modèle Meso-NH est un modèle numérique français simulant les phénomènes atmosphériques de moyenne échelle. Il a été créé par les laboratoires du CNRM⁶ (UMR 3589 CNRS⁷/Météo-France) et le Laboratoire d'Aérodynamique (UMR 5560 UPS/CNRS) afin de répondre aux besoins de la recherche (Lafore et al., 1998). Il se base sur des systèmes d'équations non hydrostatiques et peut ainsi prendre en compte les phénomènes de l'échelle synoptique à la micro-échelle. Grâce à la paramétrisation physique, ce modèle peut représenter nuages et précipitations. Il peut aussi modéliser les interactions surface-atmosphère, la foudre et la pollution atmosphérique grâce à des couplages avec d'autres modèles tels que SURFEX.

2. Calculateur Ada de l'IDRIS

L'IDRIS (Institut du Développement des Ressources en Informatique Scientifique), créé en 1983, est un centre de calcul numérique du CNRS. Il met à disposition de la recherche scientifique publique des ressources informatiques pour des travaux nécessitant une haute performance de calcul. Cet institut possède deux calculateurs. Celui utilisé pour effectuer les simulations Meso-NH de cette étude est le ordinateur Ada, une machine IBM X3750 de 332 nœuds de calcul.

3. ECMWF

L'ECMWF (Centre Européen pour les Prévisions Météorologiques à moyen terme CEPMMT) est une « organisation intergouvernementale indépendante financée par 34 Etats » créée en 1975. Celle-ci réalise ses propres prévisions numériques météorologiques grâce au modèle Integrated Forecasting System (IFS). Elle met, en outre, à disposition les données et analyses des situations météorologiques sur plusieurs décennies.

II. Protocole

Pour chaque journée étudiée, nous avons, dans un premier temps, tracé les résultats des analyses de l'ECMWF avec Diaprog, l'outil graphique de Meso-NH. Ceci nous a permis de mieux comprendre les phénomènes météorologiques étudiés. Nous nous sommes, par ailleurs, aidées des images du satellite METEOSAT 10 (infra-rouge et visibles), des données SAETTA et des analyses du MetOffice. Des études détaillées se trouvent en Annexes.

SAETTA est l'acronyme de Suivi de l'Activité Electrique Tridimensionnelle Totale de l'Atmosphère). Il s'agit d'un réseau de détection des éclairs déployé par le laboratoire d'Aérodynamique sur la Corse depuis mai 2014 dans le cadre de CORSiCA. Celui-ci utilise un Lightning Mapping Array, un détecteur des décharges électriques des nuages. Il permet de visualiser en temps réel la structure des éclairs en 3 dimensions, avec une haute résolution, sur l'ensemble de la Corse ainsi que sur les environs maritimes jusqu'à 300km mais avec une résolution de plus en plus faible.

⁵ Centre Européen pour les Prévisions Météorologiques à moyen terme (CEPMMT)

⁶ Centre National de Recherches Météorologiques

⁷ Centre National de la Recherche Scientifique

Après ce premier aperçu des situations, plusieurs simulations ont été réalisées (par notre encadrant) avec des domaines spatiaux différents et des résolutions différentes. Ceci nous a permis de commencer à déterminer les paramètres les plus pertinents dans la prévision des phénomènes météorologiques caractérisant les situations étudiées.

Pour toutes les simulations, l'atmosphère a été découpée verticalement en 62 couches dont l'épaisseur varie entre 30 m au niveau du sol et 500m à son sommet avec une résolution plus fine pour les basses couches situées en-dessous de 2000m. Les différentes résolutions spatiales horizontales et autres caractéristiques sont présentées dans les tableaux ci-dessous.

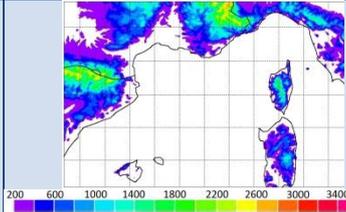
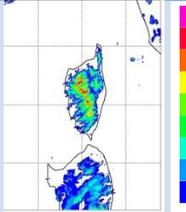
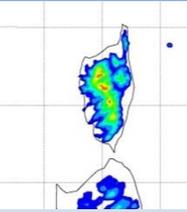
Simulation	001	N01	4.9.3
Version Meso-NH	MNH v5.1.2	MNH v5.1.2	MNH v4.9.3
Domaine	39.1°N, 0.34°E à 44.7°N, 11.66°E	40.2°N, 7.19°E à 43.8°N, 10.81°E	40.6°N, 7.20°E à 43.3°N, 10.80°E
Orographie (m)			
Résolution spatiale horizontale	2.5 km	500m	2.5 km
Durée	6h	30h	30h
Pas de temps	60s	10s	8s

Tableau 1 : Simulations du 14 octobre 2016

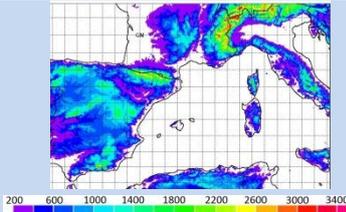
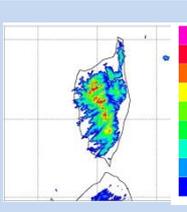
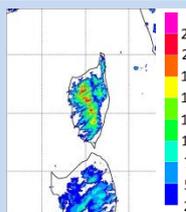
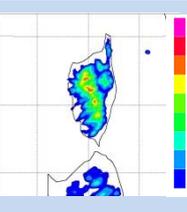
Simulation	001	Imbrication 002-Europe et002-Corse		N01	4.9.3
Version Meso-NH	MNH v5.1.2	MNH v5.1.2	MNH v5.1.2	MNH v5.1.2	MNH v4.9.3
Domaine	35.6°N, 7.22°O à 46.8°N, 15.22°E	35.6°N, 7.22°O à 46.8°N, 15.22°E	41.0°N, 7.42°E à 43.2°N, 10.41°E	40.2°N, 7.19°E à 43.8°N, 10.81°E	40.6°N, 7.20°E à 43.3°N, 10.80°E
Orographie (m)					
Résolution spatiale horizontale	2.5 km	2.5 km	500 m	500m	2.5 km
Durée	24h	24h	24h	30h	30h
Pas de temps	60s	60s	2s	10s	8s

Tableau 2 : Simulations du 24 novembre 2016

Nous allons pouvoir examiner l'évolution de la situation météorologique de la journée prévue par ces différentes simulations numériques. Pour cela, nous avons réalisé, par nous-même, avec le logiciel Diaprog, les graphes de différents paramètres météorologiques tels que la pression au niveau de la mer, le géopotential à 500hPa, les précipitations, le vent à 950 hPa, la température potentielle équivalente à 950 hPa, ...

Nous avons orienté notre étude sur la comparaison des précipitations prévues avec les mesures in-situ. Nous avons donc comparé les cumuls de pluie sur 1h et sur la journée, aux données des pluviomètres et radars de Météo-France. Pour ce qui est des radars, nous avons utilisé la mosaïque du réseau Aramis. Celle-ci comprend les radars d'Aléria (qui couvre principalement la partie orientale de la Corse) et de Collobrières (qui couvre la partie occidentale et le Cap Corse). Remarquons que nous ne pouvons pas avoir totalement confiance en les données des radars sur la partie Ouest de l'île à cause de la distance entre Collobrières et la Corse. Plus exactement, nous allons exploiter la lame d'eau sur 5 min. On peut donc en déduire les cumuls de lame d'eau sur 1h et sur toute la journée. Afin de visualiser la répartition

des précipitations observées par radar et par les pluviomètres sur la Corse, nous avons utilisé le logiciel Matlab (R2015b et R2013a).

Mais cette comparaison est plutôt subjective. Nous avons donc réalisé des comparaisons plus quantitatives. Pour cela, nous avons réalisé un programme Matlab (R2013a) permettant de calculer le cumul surfacique de précipitations des radars et simulations. La surface considérée est le plus petit domaine commun à toutes les simulations, nommé zone A (entre 41.2°N, 8.04°E et 43.2°N, 10,41°E). Ce domaine comprend la Corse et ses alentours maritimes. Pour aller plus dans le détail, nous avons ensuite décidé de nous intéresser uniquement au cumul surfacique sur la Corse. Nous avons pour cela, divisé l'île en 4 zones (fig. 1) notées : zone R pour la côte Ouest, zone V pour l'intérieur des terres, zone B pour la côte Est et zone M pour le Cap Corse. De plus, nous avons comparé les résultats obtenus aux données du réseau SAETTA.

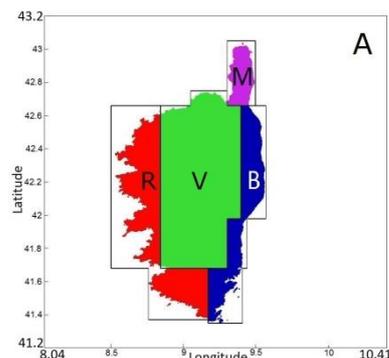


Figure 1 : Définition des zones d'étude

III. Résultats des simulations

Dans cette partie, nous allons présenter les résultats et analyses des simulations du 14 octobre 2016 et 24 novembre 2016. Nous ne présentons finalement pas le cas du médicane du 1-2 octobre 2015 par manque de temps de notre encadrant pour résoudre les difficultés rencontrées pour sa simulation.

a. 14 octobre 2016 : Forte activité électrique

Le cas du 14 octobre 2016 a été caractérisé par une forte activité électrique. La figure 2 représente le nombre d'éclairs mesurés par SAETTA entre 10h et 11h UTC. On peut y voir une forte activité électrique due à la présence d'une ligne de grain. Celle-ci a traversé la Corse d'Ouest en Est entre 10h UTC et 14h UTC. Trois simulations ont été réalisées pour ce cas. Mais la première simulation 001 n'a pas été analysée puisqu'elle ne faisait que 6h (il s'agissait d'un run de test). Nous nous sommes donc intéressées aux simulations N01 et 4.9.3.

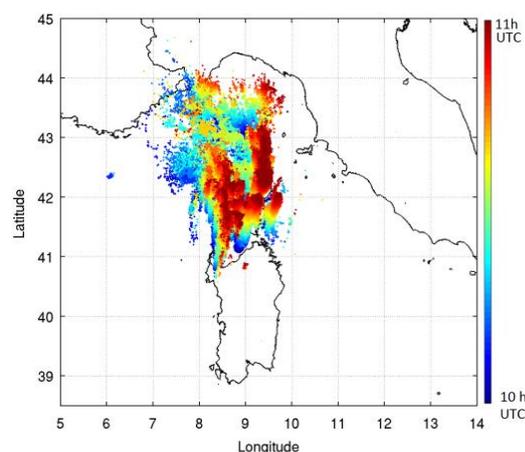
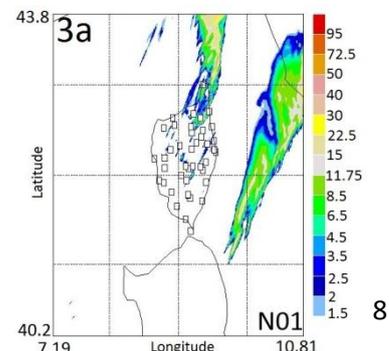


Figure 2 : Ligne de grain du 14/10/2016 entre 10h et 11h UTC

Au vu du champ de précipitations (figure non montrée), nous constatons, sur les données radars, deux épisodes de pluies. Le premier, maximal à 3h UTC, correspond à la présence de cumulonimbus au niveau du Cap Corse. Le deuxième, entre 10h et 14h UTC correspond, en revanche, à la ligne de grain.

i. Comparaison qualitative aux mesures in-situ

Le premier épisode pluvieux a bien été prédit par les simulations. Cependant, la simulation N01 prévoit des pluies beaucoup plus faibles que celles observées par les radars (17% des mesures des radars), mais correctement localisées sur la zone B. Alors que la simulation 4.9.3 reproduit des pluies beaucoup plus étendues au sud et dans les terres mais aussi plus homogènes en intensité. La fin de cet épisode pluvieux a mal été



représentée puisqu'elles étaient encore présentes en Corse à 7h UTC sur les deux simulations alors qu'elles ont, en réalité, disparu à 4h UTC.

Par ailleurs, la seconde phase de précipitations fortes de cette journée n'a pas été correctement reproduite par les simulations. Tout d'abord, la simulation N01 a bien représenté la ligne de grain à partir de 10h UTC au large de la Corse avec la même intensité que celle mesurée par le radar. Mais celle-ci passe au Nord de la Corse sans même traverser l'île. Seul le Cap Corse est touché par la ligne de grain. La simulation semble être totalement incorrecte. Cependant elle prévoit une structure précipitante de 10h UTC à 23h UTC, au large de la côte est de la Corse. Celle-ci affecte la côte entre 17h et 19h UTC. On retrouve cette même structure au même endroit sur les données radars à 14h UTC (fig. 3), mais elle fait partie de la ligne de grain qui a traversé la Corse. Il semblerait donc que cette seconde structure ait été représentée trop à l'est de l'île. De ce fait, elle n'a pas pu traverser la Corse.

La simulation 4.9.3 a également prévu la ligne de grain mais celle-ci semble traverser la Sardaigne et non la Corse. Cependant quelques précipitations sont reproduites en Corse mais avec une intensité beaucoup plus faible. Quant à la seconde structure au large de la côte Est de la Corse visible sur la simulation N01, elle est aussi présente sur la simulation 4.9.3. Mais elle est moins intense et moins bien définie.

Au vu de ces premiers résultats, il semblerait donc que la simulation N01 représente mieux les structures précipitantes. Mais dans les deux cas, les simulations n'ont pu reproduire le passage de la ligne de grain sur la Corse.

ii. Comparaison quantitative aux mesures in-situ

Nous avons aussi calculé le cumul surfacique de précipitation sur la zone A à chaque heure. Sur la figure 4a ci-contre, nous constatons, au niveau des données des radars, la présence de trois pics de précipitations : pic n°1 à 3h UTC, pic n°2 entre 9h et 17h UTC et pic n°3 à partir de 23h UTC. D'après les images satellites (figures non montrées), le premier a été provoqué par des cumulonimbus, le deuxième par la ligne de grain fortement électrique, le dernier par l'arrivée d'un front froid.

En ce qui concerne les simulations N01 et 4.9.3, nous remarquons qu'elles sous-estiment les données radars. En particulier, sur le cumul surfacique depuis 0h UTC (fig. 4b), on constate que la simulation 4.9.3 n'a reproduit que 22.8% du cumul total. La simulation N01, quant à elle, n'a représenté que 11.4% de ce cumul. On peut d'ores et déjà, constater que la simulation 4.9.3 est meilleure que N01 en termes d'intensité des précipitations.

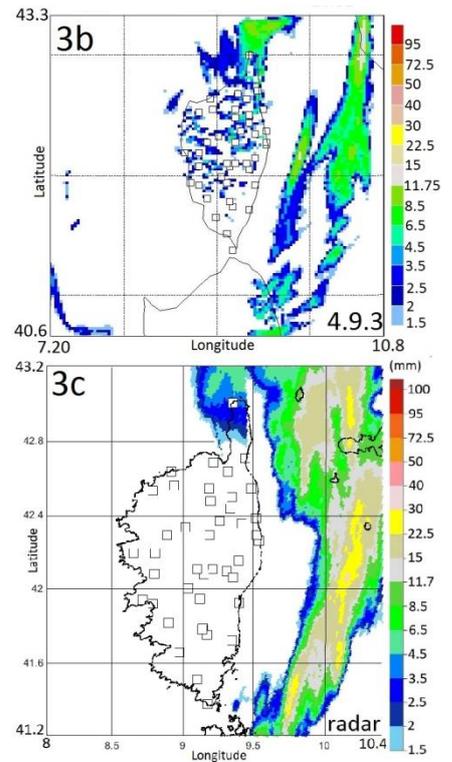


Figure 3 : Précipitation entre 13h et 14h du 14/10/2016 de la simulation N01 (3a), la simulation 4-9-3 (3b) et les radars (3c) et pluviomètres

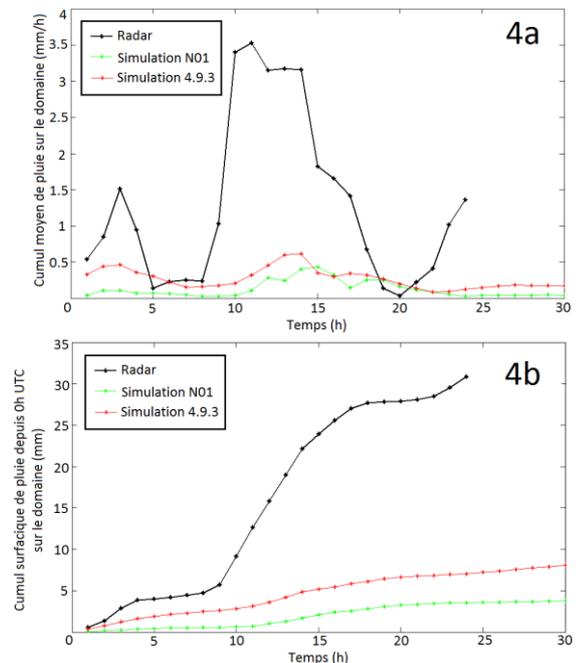


Figure 4 : Précipitations moyennes dans l'heure (4a) et depuis 0h UTC (4b) sur la zone A, le 14/10/2016

Nous retrouvons cette tendance au niveau du cumul surfacique horaire (figure 4a). Seulement 30.7% du pic n°1 de précipitations a été prévu par la simulation 4.9.3, et 7.3% par la simulation N01. Le pic n°2, quant à lui, a été recréé à 17.5% par la simulation 4.9.3 et à 12.3% par la simulation N01. Mais ce pic a été représenté en retard. La simulation 4.9.3 prévoit le pic de précipitation à 14h UTC et la simulation N01 à 15h UTC alors que le maximum a été détecté à 11h UTC. Un autre pic, à 18h UTC sur la simulation N01 et à 17h UTC sur la simulation 4.9.3, semble correspondre aux précipitations de 16h UTC. Il semblerait donc qu'à partir de 11h UTC, les simulations ne soient pas capables de reproduire les phénomènes météorologiques au bon instant. On constate un retard certain. La simulation N01 est la plus en retard. Par ailleurs, le pic n°3 de 23h UTC n'a pas du tout été estimé par les simulations. Ceci confirme que nous ne pouvons faire confiance aux simulations à partir de 11h UTC.

Au vu du cumul sur la zone A, la simulation 4.9.3 semble être plus proche de la réalité que la simulation N01.

b. 24 novembre 2016 : Phénomène de Précipitations Intenses (HPE)

Le cas du 24 novembre est qualifié de HPE puisqu'on relève un cumul pluviométrique maximal au bout de 24h de 280mm à la station Météo-France de Quercitello, et les mesures de la mosaïque radar vont au-delà de 300mm sur le flanc est des montagnes. On peut séparer la journée en deux segments : de 0h UTC jusqu'à 14h UTC, et le reste de la journée.

En effet, à partir de 3h les données in-situ indiquent une bande de fortes précipitations (30 à 100mm/h) allant de la pointe du Cap Corse (zone M) jusqu'à 41,8°N (figure 5.1a), qui s'étend à la fois sur le bord est de la zone V et l'ouest de la zone B. On relie ces précipitations à la présence de cumulonimbus au-dessus de la partie nord-est de l'île, qu'on repère aussi par leur activité électrique avec le réseau SAETTA (figure 5.1b).

D'autres pluies arrivent plus tard depuis le large à l'ouest (figure 5.1a) de la Corse et traversent l'île entre 8h et 14h UTC, dissipant par là même le système précipitant stationnaire sur le nord-est de l'île.

Dans l'après-midi, les précipitations arrivent cette-fois-ci du sud-est et traversent l'île du sud au nord de 15h UTC à 21h UTC (figure 5.2a). Elles sont liées au passage d'une ligne de grain visible sur les données SAETTA (figure 5.2b). Nous analysons comment les simulations ont représenté ces événements.

i. Les précipitations de la matinée et du début d'après-midi

Les simulations 001 et 002 indiquent bien des précipitations déjà localisées, le matin, dans le nord-est de l'île, avant l'arrivée du front pluvieux provenant de l'ouest. Sur le Cap Corse, les pluies sont d'abord très localisées, jusqu'à environ 11h. Sur le reste de l'île, les précipitations suivent un axe nord-ouest/sud-est plutôt que nord-sud comme indiqué par le radar (figure 6).

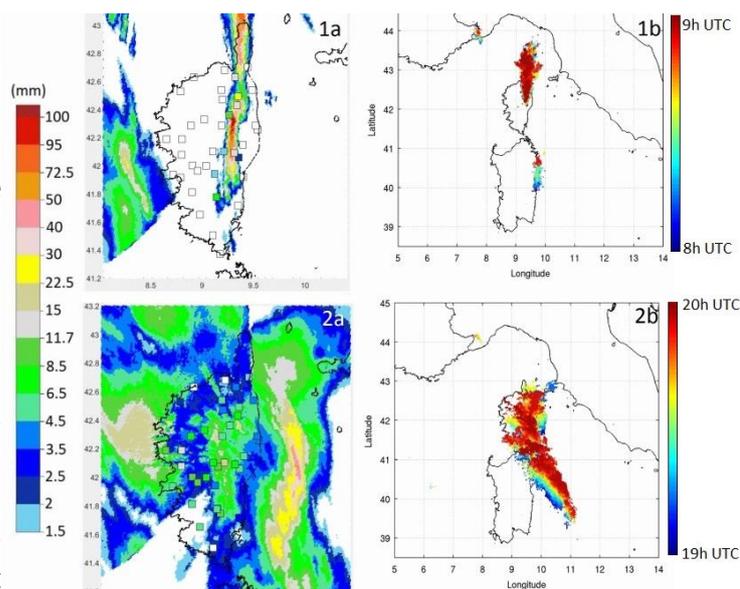


Figure 5 : Données des radars et pluviomètres de Météo-France et du réseau SAETTA à 9h (1a et 1b) et 20h (2a et 2b)

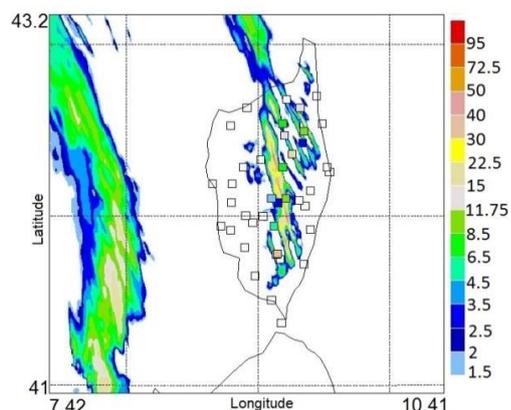


Figure 6 : Précipitation dans l'heure (5h) pour la simulation 002-Corse

Les simulations 002-Corse et N01 reproduisent les mêmes structures sur l'île, même si dans le cas de N01 l'axe se décale pour ressembler plus à celui du radar à 9hUTC. Les pluies ne recouvrent le Cap Corse qu'à partir de 11h pour 002-Corse et à 10h pour N01.

L'arrivée des pluies sur la côte ouest en fin de matinée est bien simulée par ces quatre simulations. 001 et 002-Europe les sous-estiment (2%) et les évacuent un peu trop rapidement. Il en va de même pour 002-Corse avec une sous-estimation de 80%. Par contre, la simulation N01 fait arriver ces pluies avec un retard, 10h au lieu de 8h, et elles sont alors très faibles (16%). Depuis 0hUTC, la simulation 4.9.3 place les précipitations plus à l'est et sur la mer mais est correcte sur le Cap Corse (figure 7).

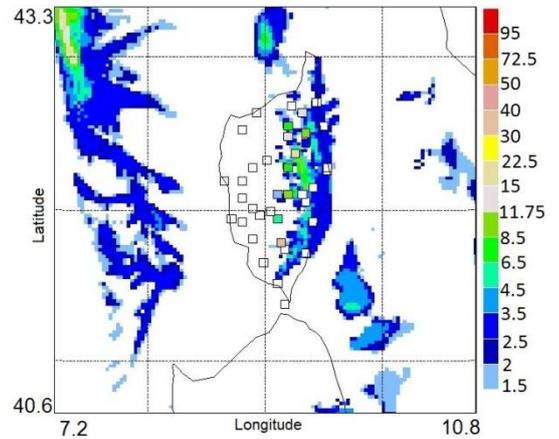


Figure 7 : Précipitation dans l'heure (5h) pour la simulation 4.9.3

Toutes les simulations indiquent des précipitations à 14h, alors que les mesures in-situ n'en indiquent plus. Ce qui n'est visible dans le domaine A que pour la simulation 002-Corse avec une surestimation à cette heure de 115 %.

ii. Les précipitations de l'après-midi

Dans l'après-midi, 001 et 002-Europe placent les pluies les plus intenses sur la mer et quelques pluies sur l'ouest de l'île. A partir de 20h les simulations sont mauvaises et n'indiquent presque plus de pluies sur la Corse. La dynamique est la même pour 002-Corse, mais pour des précipitations plus intenses, les précipitations de l'après-midi sont donc plus localisées dans le temps en s'évacuant trop tôt.

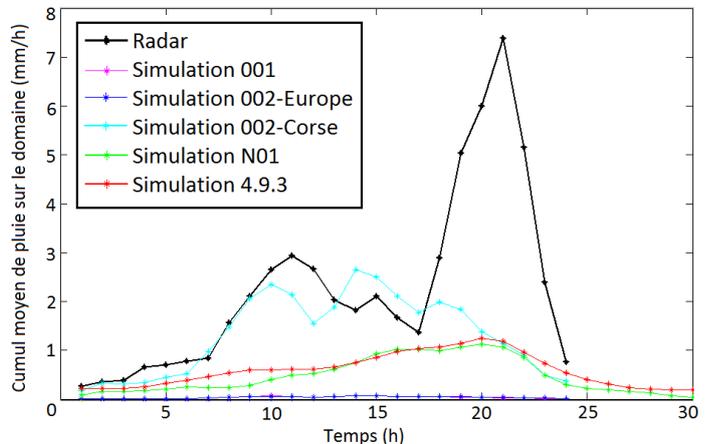


Figure 8 : Cumul surfacique de pluie sur la zone A sur une heure, lors de la journée du 24/11/2016

N01 et 4.9.3 indiquent des pluies sur l'ouest à partir de 13h puis à l'intérieur qui semblent correspondre au front du matin très en retard, les pluies du tout début d'après-midi sont donc surestimées sur la plupart de l'île. Les deux simulations sont bonnes à partir de 18h lorsque les pluies arrivent du sud, jusque 15 % pour N01 et 17 % pour 4.9.3 dans la zone A, puis les pluies s'évacuent plus rapidement que pour les observations.

iii. Comparaison des simulations

En terme de cumul, 002-corse est la meilleure simulation, avec environ 58 % des précipitations représentées au bout de 24h dans la zone A, même si elle représente mal la situation de l'après-midi. Les simulations N01 et 4.9.3 sont assez proches, mais c'est cette dernière qui semble, au niveau du cumul, être la plus pertinente (29.6 % contre 24.6 %) malgré sa plus faible résolution.

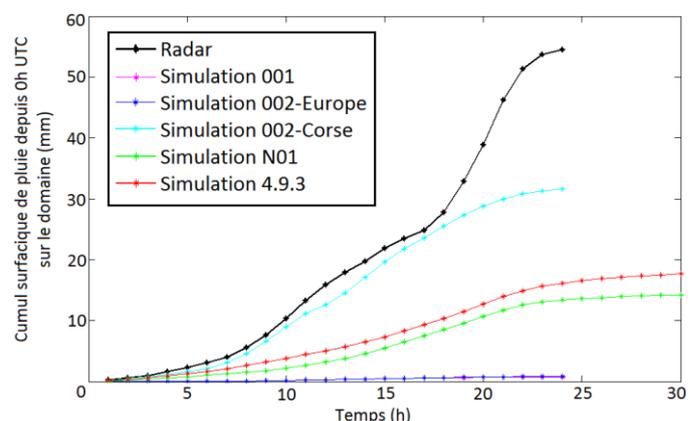


Figure 9 : Cumul surfacique de pluie sur la zone A depuis 0h UTC lors de la journée du 24/11/2016

Sur l'ensemble de la journée, les simulations 001 et 002-Europe sous-estiment grandement les précipitations, avec moins de 1.5 % (figure 9) des précipitations du domaine A. Leur domaine et leur résolution sont similaires, mais le domaine de 002-Europe est couplé à un plus petit domaine avec une résolution plus fine, celui de 002-Corse. Si en moyenne ces simulations sont équivalentes, les structures fines qu'elles dessinent et les maxima atteints sont différents, sur la Corse ainsi que sur d'autres zones du domaine comme la Sardaigne ou les Alpes. On ne peut pourtant pas dire que l'une est meilleure que l'autre par comparaison aux mesures in-situ.

Conclusion

Au cours de cette étude, treize simulations réparties sur trois phénomènes météorologiques ont été réalisées et analysées. Cela nous a permis d'appréhender l'utilisation de modèles numériques en météorologie. En effet, nous avons pu remarquer que de nombreux facteurs influencent les résultats des simulations.

Parmi eux, on compte la version de Meso-NH. Plus précisément, deux d'entre elles ont été utilisées lors de ce stage : 4.9.3 et 5.1.2. La version 5.1.2 est la plus récente et donc devrait être la plus performante. Cependant, nous avons utilisé la version 4.9.3 plus ancienne, par compatibilité avec les travaux de J.P. Pinty qui a développé un module électrique uniquement pour cette version. L'étude du cas fortement électrique du 14 octobre 2016, nous a permis de comparer la performance de ces deux versions. Ainsi, d'après nos analyses, la version 4.9.3 semble être plus en accord avec les mesures de MétéoFrance malgré la faible résolution (2,5km) de la simulation réalisée.

Par ailleurs, nous constatons avec l'étude de l'HPE du 24 novembre 2016 que l'utilisation de domaines imbriqués donne de meilleurs résultats que les domaines uniques et des conditions aux limites du domaine sur l'évolution des phénomènes simulés. C'est pourquoi nous aurions pu utiliser d'autres dates d'initialisations et/ou des analyses d'autres centres pour initialiser les simulations (par exemple celles du NCEP⁸, du MetOffice, ou encore de Météo-France).

Mais notre étude reste relativement restreinte. Nous aurions pu comparer les simulations de Meso-NH à celles du modèle AROME⁹ de Météo-France (résolution horizontale de 1,3km sur un domaine couvrant la France métropolitaine). Pour information, dans le cadre de la Special Observation Periods1 (SOP1) de HyMeX, le modèle West-MED AROME avait été mis au point en étirant le domaine d'AROME jusqu'en Méditerranée occidentale. Ce modèle n'est néanmoins plus exploité actuellement. Il aurait aussi été intéressant de le comparer au modèle Meso-NH.

Enfin, ce stage n'étant qu'une étude préliminaire, d'autres travaux pourraient être effectués par la suite. Par exemple, le cas du 24 novembre 2016 pourrait être plus approfondi par une analyse de la correspondance entre précipitations et phénomènes électriques.

⁸ National Centers for Environmental Prediction

⁹ Applications de la Recherche à l'Opérationnel à Méso-Echelle

Bibliographie

Bibliographie relative au rapport :

CORSICA, <http://corsica.obs-mip.fr/>

HYMEX, <https://www.hymex.org/>

LAFORE J.P., STEIN J., ASECIO N., BOUGEAULT P., DUCROCQ V., DURON J., FISCHER C., HEIL P., MASCART P., MASSON V., PINTY J.-P., REDELSPEGER J.-L., RICHARD E., VILA-GUERAU de ARELLANO J., *The Meso-NH Atmospheric Simulation System. Part I: Adiabatic formulation and control simulations*, 1998. Ann. Geophys. 16: 90–109.

MUSIC, <https://www.hymex.org/music/>

SCHEFFKNECHT Phillip et al, *A Climatology of Heavy Precipitation on Corsica*, Quarterly Journal of The royal Meteorological Society [à paraître].

SCHEFFKNECHT Phillip, *Characterization of Heavy Precipitation on Corsica*, [thèse] Université Paul Sabatier, 2017

Bibliographie informative :

CNRM, *HYMEX* [en ligne]. Disponible sur :

<http://www.umr-cnrm.fr/spip.php?article256> [page consultée le 16/05/2017]

CORSICA, *Objectifs Scientifiques* [en ligne]. Disponible sur :

<http://corsica.obs-mip.fr/> [page consultée le 16/05/2017]

ECMWF, *Qui sommes-nous?* [en ligne]. Disponible sur :

<http://www.ecmwf.int/fr/notre-organisation/qui-sommes-nous> [page consultée le 15/05/2017]

INSTITUT DU DEVELOPPEMENT DES RESSOURCES EN INFORMATIQUE SCIENTIFIQUE, *Missions et objectifs de l'IDRIS*, [en ligne]. Disponible sur :

<http://www.idris.fr/info/missions.html> [page consultée le 15/05/2017]

KERAUNOS, *Très fortes pluies orageuses en Corse les 1^{er} et 2 octobre* [en ligne]. Disponible sur :

<http://www.keraunos.org/actualites/fil-infos/2015/octobre/fortes-pluies-orages-tempete-corse-alpes-maritimes-var-medicane-1-2-octobre-2015.html> [page consultée le 02/05/2017]

KRUSLIN Noël, *Vigilance rouge : comment se construit le degré d'alerte*, Corse-Matin, 26 Novembre 2016 [en ligne]. Disponible sur :

<http://www.corsematin.com/article/article/vigilance-rouge-comment-se-construit-le-degre-dalerte> [page consultée le 03/05/2017]

LABORATOIRE D'AEROLOGIE, *Le Réseau CORSICA – SAETTA de détection des éclairs en 3 dimensions est opérationnel en Corse* [en ligne]. Disponible sur :

<http://www.aero.obs-mip.fr/Actualites/saetta> [page consultée le 02/05/2017]

LABORATOIRE D'AEROLOGIE, *Premiers Résultats du réseau CORSICA – SAETTA de Détection des Eclairs en 3 dimensions*. [en ligne]. Disponible sur :

<http://www.aero.obs-mip.fr/Actualites/corsica4> [page consultée le 02/05/2017]

LCI, *Mini-tornade à Ajaccio : 24 blessés dont 12 enfants dans l'effondrement d'un chapiteau* [en ligne]. Disponible sur : <http://www.lci.fr/faits-divers/mini-tornade-a-ajaccio-24-blesses-dont-12-enfants-dans-l-effondrement-d-un-chapiteau-2007691.html> [page consultée le 03/05/2017]

MESO-NH, *Meso-NH*, [en ligne]. Disponible sur : <http://mesonh.aero.obs-mip.fr/mesonh53> [page consultée le 02/05/2017]

METEO-CIEL, <http://www.meteociel.fr/> [page consultée le 02/04/2017]

METEO-FRANCE, *Les radars météorologiques* [en ligne]. Disponible sur : <http://www.meteofrance.fr/prevoir-le-temps/observer-le-temps/moyens/les-radars-meteorologiques> [page consultée le 18/05/2017]

METEO-FRANCE, *Passage d'une dépression fortement pluvieuse en Corse* [en ligne]. Disponible sur : <http://www.meteofrance.fr/actualites/29494579-passage-d-une-depression-fortement-pluvieuse-en-corse> [page consultée le 27/04/2017]

METEO-FRANCE, *Archives Cartes et Bulletins Vigilance* [en ligne]. Disponible sur : <http://vigilance-public.meteo.fr/> [page consultée le 03/04/2017]

METEO-FRANCE, *Dossier : épisode méditerranéen* [en ligne]. Disponible sur : <http://www.meteofrance.fr/actualites/28475438-dossier-episode-mediterraneen> [page consultée le 15/05/2017]

METEO-FRANCE, *Episode méditerranéen du 12 au 14 octobre* [en ligne]. Disponible sur : <https://www.meteocontact.fr/actualite/episode-mediterraneen-du-12-au-14-octobre-82339> [page consultée le 03/05/2017]

METEO-FRANCE, *Episode méditerranéen intense en cours* [en ligne]. Disponible sur : <http://www.meteofrance.fr/actualites/41550303-episode-mediterraneen-intense-en-cours> [page consultée le 03/05/2017]

METEO-FRANCE - PLUIES EXTREMES EN FRANCE METROPOLITAINE, *Évolution des pluies méditerranéennes et changement climatique* [en ligne]. Disponible sur : <http://pluiesextremes.meteo.fr/france-metropole/Evolution-des-pluies-mediterraneennes-et-changement-climatique.html> [page consultée le 15/05/2017]

METEO-FRANCE - PLUIES EXTREMES EN FRANCE METROPOLITAINE, *Fortes pluies sur la Corse* [en ligne]. Disponible sur : <http://pluiesextremes.meteo.fr/france-metropole/Fortes-pluies-sur-la-Corse.html> [page consultée le 02/05/2017]

WETTERZENTRALE, *Archiv der 00 UTC UKMO-Bracknell-Bodenanalysen (ab 27.012.1998)* [en ligne]. Disponible sur : <http://old.wetterzentrale.de/topkarten/tkfaxbraar.htm>

Crédit photo page de couverture :

AFP et Pascal POCHARD-CASABIANCA, *EN IMAGES. Des dégâts en Corse après 24 heures de violentes intempéries* [en ligne]. Disponible sur : <http://www.leparisien.fr/environnement/nature/en-images-la-corse-groggy-apres-24-heures-de-violentes-intemperies-25-11-2016-6374001.php>

Table des illustrations et tableaux

Tableau 1 : Simulations du 14 octobre 2016.....	7
Tableau 2 : Simulations du 24 novembre 2016.....	7
Figure 1 : Définition des zones d'étude.....	8
Figure 2 : Ligne de grain du 14/10/2016 entre 10h et 11h UTC	8
Figure 3 : Précipitation entre 13h et 14h du 14/10/2016 de la simulation N01 (3a), la simulation 4-9-3 (3b) et les radars (3c) et pluviomètres.....	9
Figure 4 : Précipitations moyennes dans l'heure (4a) et depuis 0h UTC (4b) sur la zone A, le 14/10/2016.....	9
Figure 5 : Données des radars et pluviomètres de Météo-France et du réseau SAETTA à 9h (1a et 1b) et 20 h (2a et 2b).....	10
Figure 6 : Précipitation dans l'heure (5h) pour la simulation 002-Corse	10
Figure 7 : Précipitation dans l'heure (5h) pour la simulation 4.9.3.....	11
Figure 8 : Cumul surfacique de pluie sur la zone A sur une heure, lors de la journée du 24/11/2016.....	11
Figure 9 : Cumul surfacique de pluie sur la zone A depuis 0h UTC lors de la journée du 24/11/2016.....	11

Annexes

Tables des Annexes

Cumul surfacique des pluies (sur une heure et depuis 0h UTC) pendant la journée du 14 octobre 2016

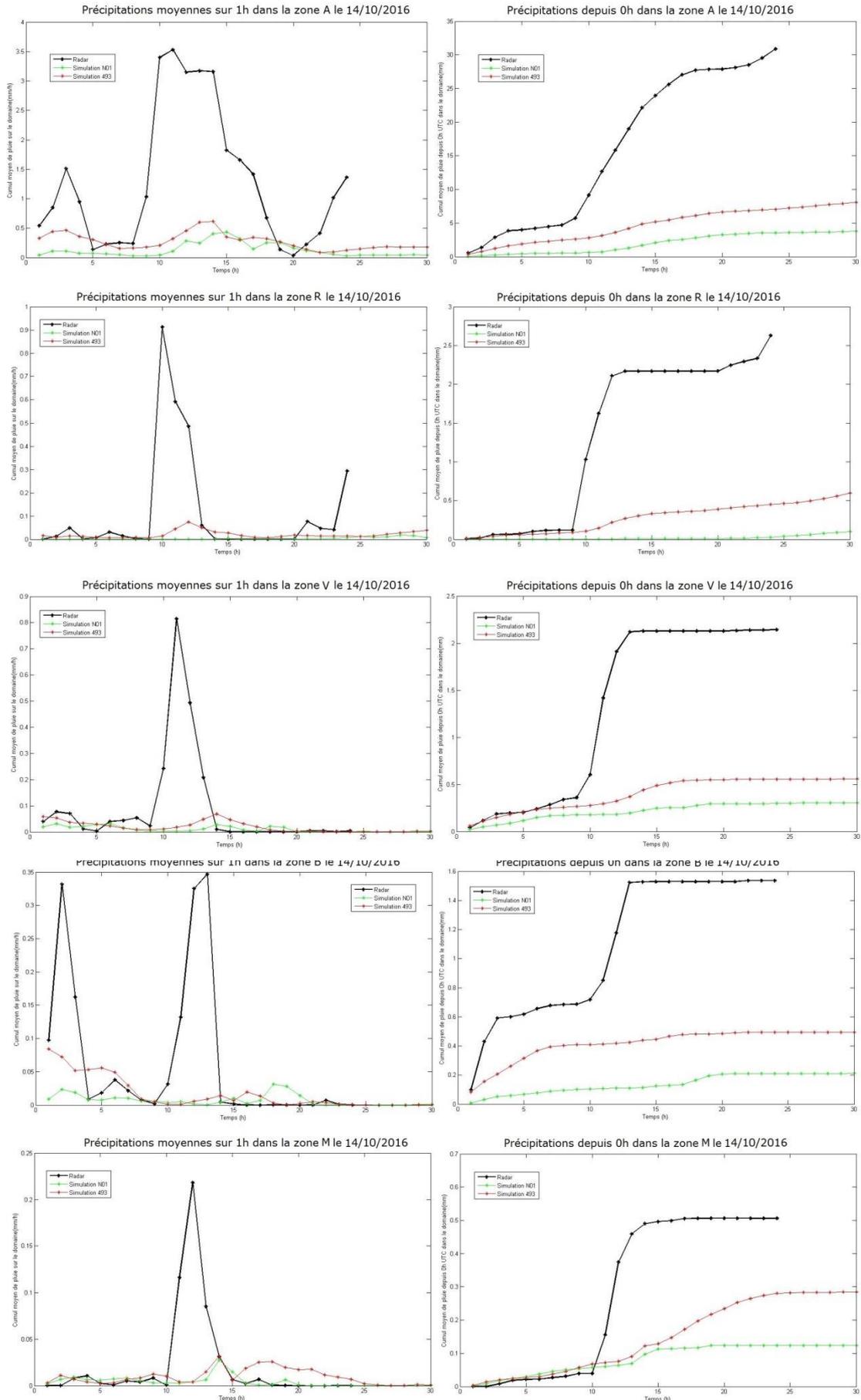
Cumul surfacique des pluies (sur une heure et depuis 0h UTC) pendant la journée du 24 novembre 2016

Etude détaillée du phénomène météorologique du Jeudi 1^{er} octobre 2015

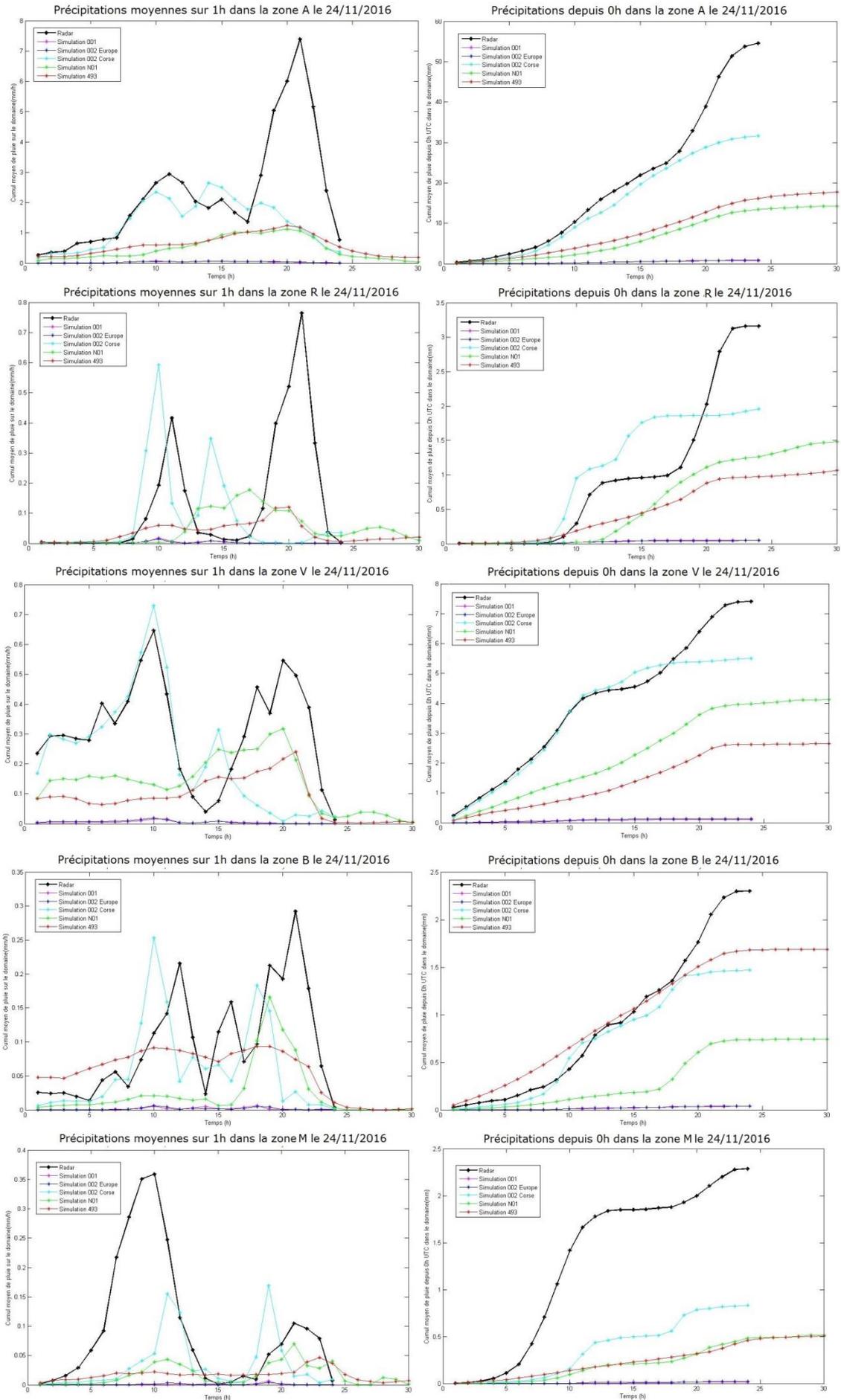
Etude détaillée du phénomène météorologique du Vendredi 14 octobre 2016

Etude détaillée du phénomène météorologique du Jeudi 24 novembre 2016

Cumul surfacique des pluies (sur une heure et depuis 0h UTC) pendant la journée du 14 octobre 2016



Cumul surfacique des pluies (sur une heure et depuis 0h UTC) pendant la journée du 24 novembre 2016



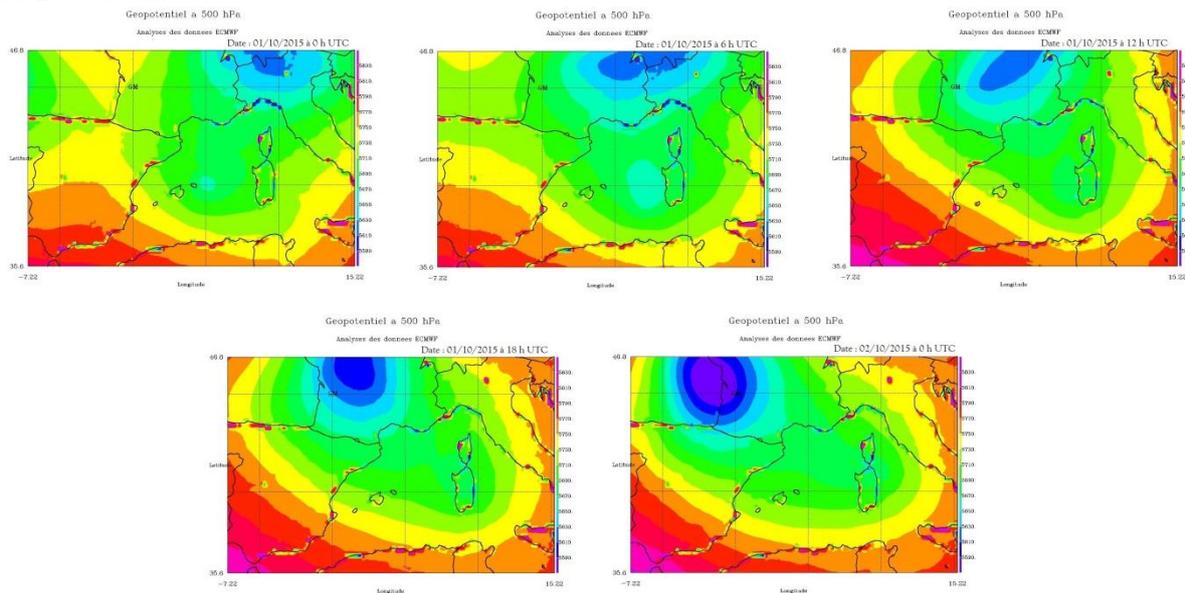
Etude détaillée du phénomène météorologique du Jeudi 1^{er} octobre 2015

Une dépression subtropicale, dénommée médicane (mediterranean hurricane) par les médias, a traversé la Corse durant la nuit du 1^{er} octobre au 2 octobre 2015. Celle-ci a provoqué de violents orages avec des vents de plus de 100 km/h, de fortes précipitations excédant à certains endroits les 300 mm de cumul sur 3 jours et d'importants dégâts matériels. Plusieurs inondations et crues ont eu lieu en plaine et sur les littoraux, obligeant certaines personnes à être évacuées en urgence.

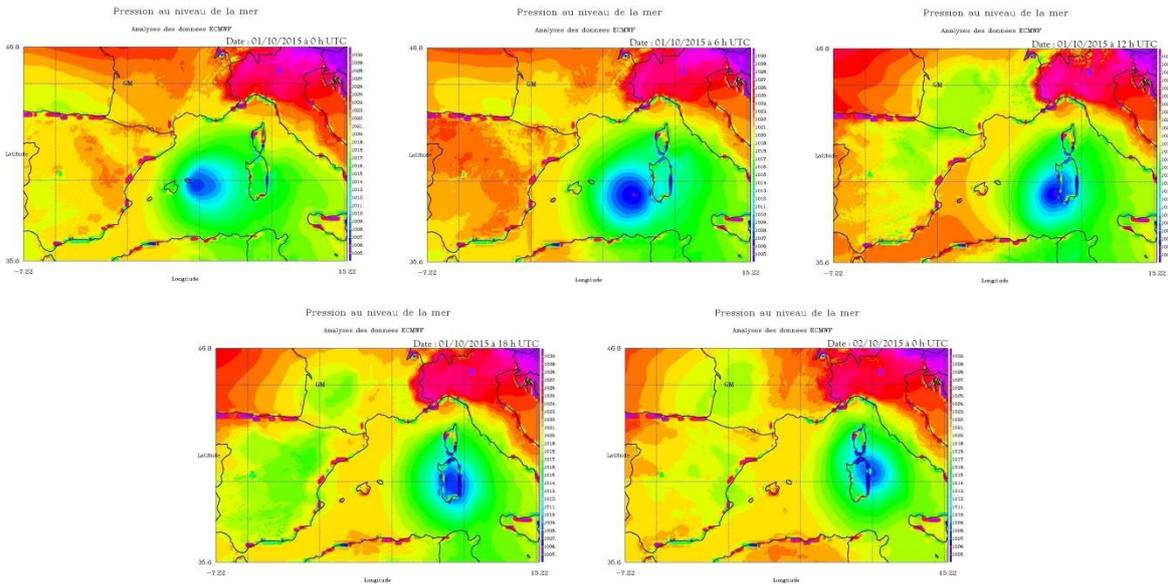
Pour l'étude de ce cas, nous avons évalué la situation météorologique du 1 et 2 Octobre 2015, grâce aux cartes d'analyses de l'ECMWF, du MetOffice et des données de Météo-France. Nous avons pour cela analysé les cartes de géopotential à 500 hPa, pression au niveau de la mer, fronts, vent et température potentielle à 950 hPa, cumul de pluie, précipitations dans l'heure et foudre.

a) Géopotential à 500 hPa et Pression au niveau de la mer

Au vu du champ du géopotential à 500 hPa des analyses de l'ECMWF, une dépression à 5590 mgp se situe sur la Suisse, le 1^{er} octobre 2015 à 00h UTC. Celle-ci va se décaler vers l'Ouest durant la journée et arriver sur la Gironde le 2 octobre 2015 à 00h UTC. Nous pouvons constater une légère anomalie à 5650 mgp située à l'Est des Baléares. Celle-ci va se déplacer vers l'Est jusqu'à atteindre la Sardaigne, le même jour à midi. Ensuite, elle va remonter la côte Est de la Sardaigne et de la Corse en direction du Nord puis se dissiper vers milieu de la journée du 2 octobre.

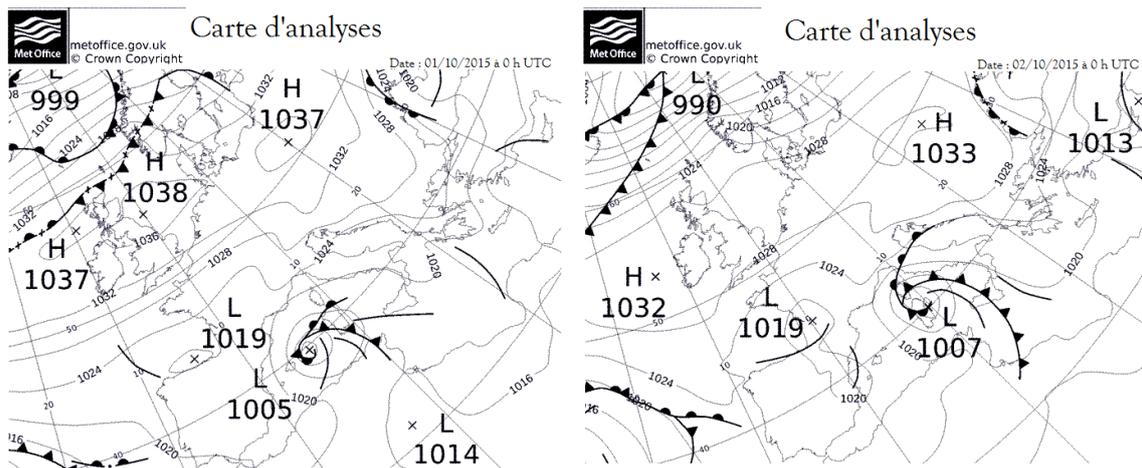


Au niveau du champ de pression au niveau de la mer des analyses de l'ECMWF, on voit nettement une forte dépression de 1005 hPa, située sur l'Est des Baléares, le 1^{er} octobre à minuit. Celle-ci, par sa position et sa dynamique, coïncide avec l'anomalie de géopotential à 500hPa. En revanche, on ne retrouve pas au niveau de la mer, la dépression à 5590 mgp au niveau de la Suisse.



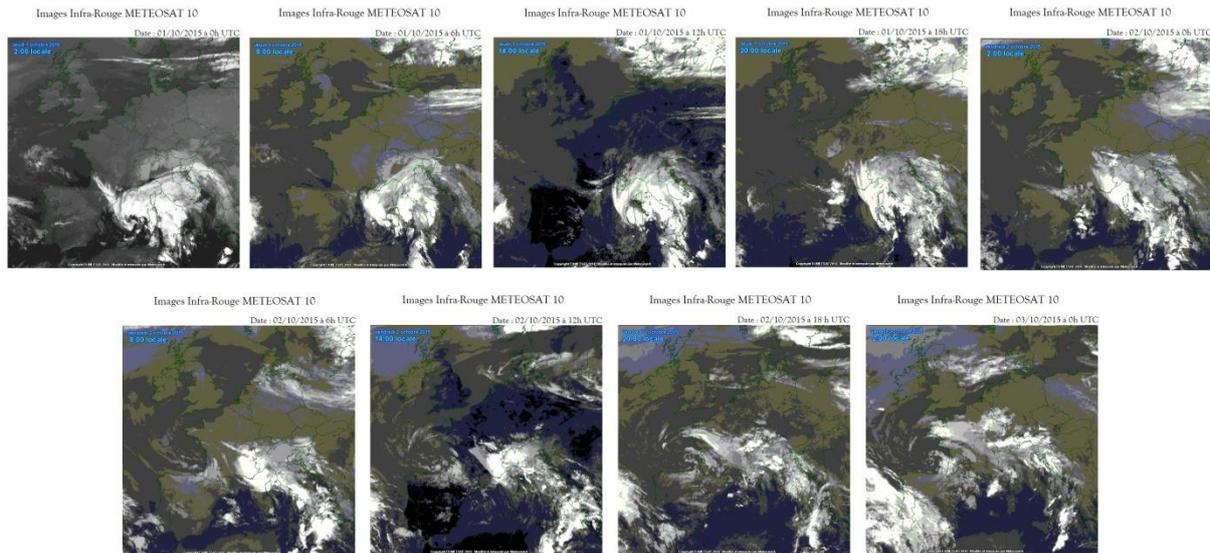
b) Frontologie

D'après les analyses du MetOffice, le 1^{er} à 00h UTC, une dépression subtropicale à cœur chaud, dite « médicane », se trouve sur la partie Ouest de la Méditerranée. Son centre est situé sur l'île de Minorque des Baléares. Elle commence à se dissiper puisqu'un front occlus est présent à l'Ouest du centre de la dépression. Le front chaud, quant-à-lui, est situé le long d'un parallèle passant par le Nord de la Sardaigne. Le front froid est situé sur le Sud de la Sardaigne avec une direction de plus en plus vers le Sud quand on s'éloigne de la dépression.



Le 2 octobre à 00h UTC, le centre du médicane se situe sur la côte Est de la Sardaigne. Le front occlus traverse l'île italienne et remonte au Nord jusqu'au large de la côte Sud-Ouest de la Corse. Le front chaud coupe la Corse selon un axe Sud-Ouest/Nord-Est, au niveau du Cap Corse. Le front froid, parallèle à l'axe Ouest-Est, se situe au Sud de l'île.

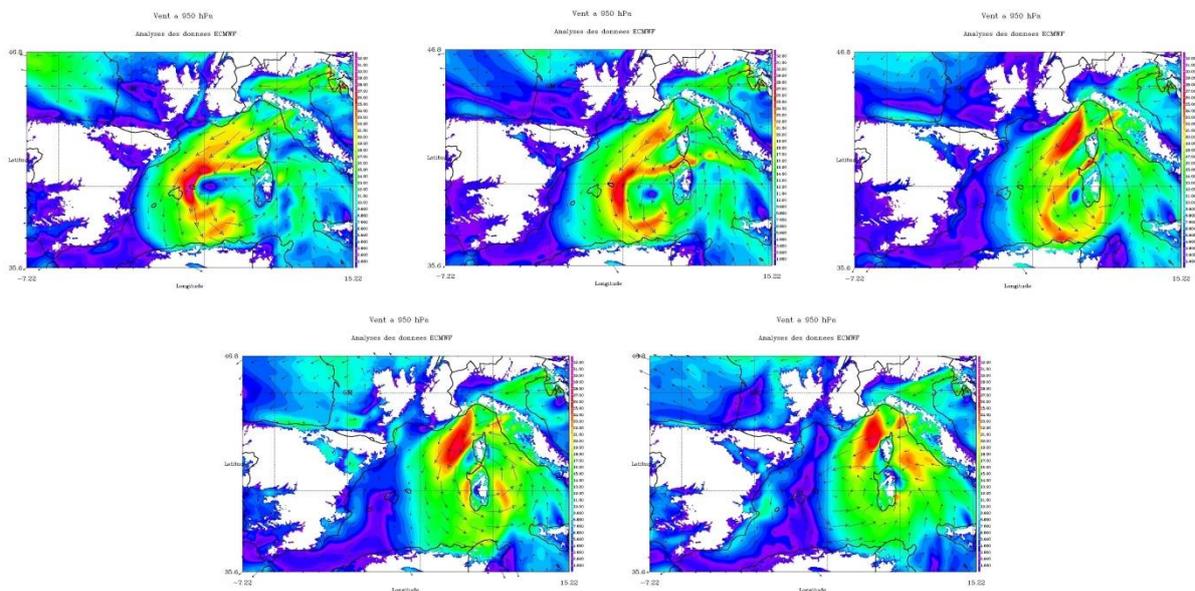
La structure des fronts est parfaitement visible sur les images infrarouges du satellite MétéoSat 10. En effet, on peut constater la présence de quelques cumulonimbus sur le Sud de la Sardaigne, c'est-à-dire à l'emplacement du front froid.



c) Vent à 950 hPa (Analyses ECMWF)

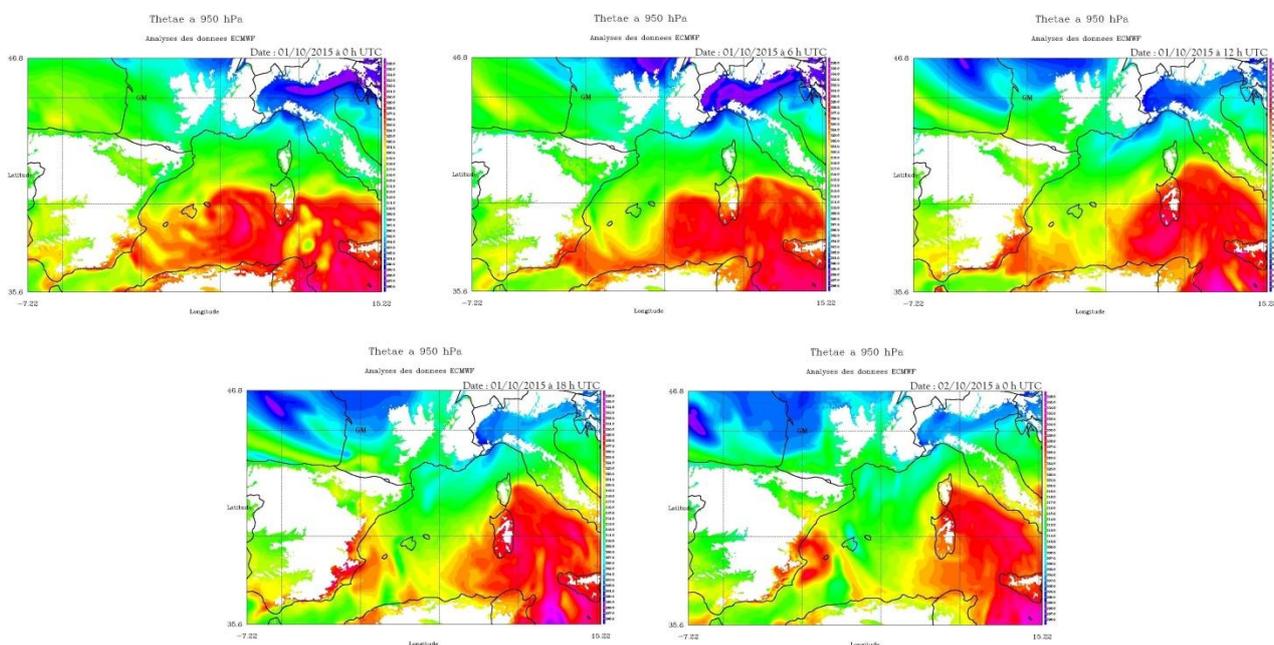
D'après les analyses de l'ECMWF, le vent à 950 hPa s'enroule autour de l'œil de la dépression située au niveau des Baléares, le 1^{er} à 00h UTC. Il atteint des vitesses allant jusqu'à 33 m/s, soit 120 km/h. A cet instant, la dépression étant encore éloignée de la Corse, le vent reste plutôt faible sur l'île jusqu'à 12 m/s, soit 43 km/h avec une direction d'Est. Au Sud de la Corse, celui-ci est légèrement plus fort (jusqu'à 20 m/s, 70 km/h), mais toujours avec la même direction. Cette augmentation de vitesse suit une ligne, du centre de la dépression (minimum de vent) au cap Sud de la Corse. Ceci semble correspondre au front chaud présent sur les cartes d'analyses du MetOffice. Au Sud de la Sardaigne, on remarque des vitesses beaucoup plus faibles, ce qui correspondrait au front froid.

Au cours de la journée, le vent change légèrement de direction. A 12h UTC, il vient du Nord-Est sur le Nord de la Corse et de l'Est sur le Sud de l'île. A 18h UTC et 00, il vient de l'Est sur l'ensemble de la Corse, puis de l'Est à 00h UTC. Au niveau de la vitesse du vent, celle-ci augmente fortement sur la partie occidentale de la Corse, jusqu'à 25 m/s, soit 90 km/h.



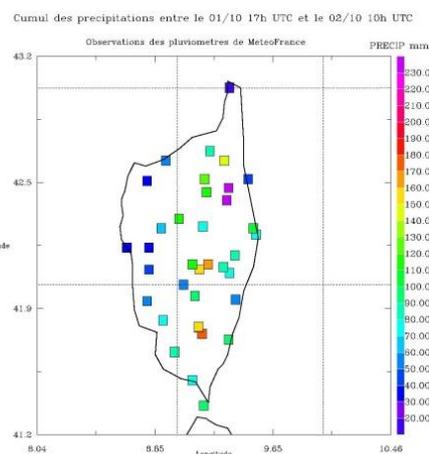
d) Température potentielle à 950 hPa (ECMWF)

Afin de mieux visualiser les fronts, nous avons aussi utilisé la température potentielle à 950 hPa des analyses de l'ECMWF. A 00h UTC, le 1^{er} octobre, un fort gradient de température potentielle traverse le Nord de la Sardaigne. Celui-ci sépare un air froid au Nord, d'un air chaud au Sud. Ceci semble correspondre au front chaud de la dépression. Au fur et à mesure de la journée, l'air chaud se déplace vers le Nord et arrive en Corse entre 12h et 18 h UTC. A 00h UTC, le 2 octobre, l'air chaud recouvre entièrement la Corse.



e) Cumul, précipitation dans l'heure et foudre

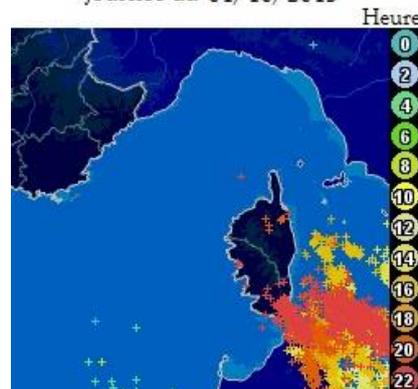
D'après les mesures des pluviomètres de Météo-France, il a plu faiblement sur toute la Corse en début de journée du 1^{er} octobre 2015. A partir de 17h, de fortes précipitations à environ 24 mm/h ont été enregistrées sur la côte Est de la Corse. Le maximum est de 48 mm/h, à 20h UTC au niveau de Quercitello, dans le Nord-Est de l'île. Vers 23h UTC, les pluies se sont déplacées vers le Sud de l'île et se sont affaiblies entre 3h UTC et 6 h UTC, le 2 octobre 2015. A 7h UTC, un nouveau maximum à 46 mm/h est relevé à Quercitello. Finalement, les précipitations vont s'amoinrir jusqu'à descendre en dessous de 8 mm/h à 10h UTC jusqu'à la fin de la journée du 2 octobre 2015.



On peut donc en conclure que l'évènement de fortes précipitations a eu lieu entre le 1^{er} octobre à 17h UTC et le 2 octobre à 10h UTC. Au total, sur cette plage horaire, on obtient un cumul de pluie n'excédant pas les 80mm sur la partie occidentale de l'île. Sur la partie orientale, le cumul dépasse les 70 mm, excepté au Cap Corse, à Solenzara et la Canonica. De plus, le maximum de précipitation cumulée se trouve à Quercitello et atteint les 236 mm.

Pour ce qui concerne la foudre, nous avons utilisé le réseau de détection de foudre SAETTA. Nous pouvons constater que les éclairs apparaissent à partir de 16h UTC sur le Sud Est de la Corse entre 5 et 10 km d'altitude. Puis, on distingue deux cellules orageuses : le réseau détecte des phénomènes électriques sur une vaste étendue sur le Sud de la Corse et une petite cellule entre la Castagniccia et le Nebbio qui va disparaître au bout de 2 heures. En revanche, la cellule du Sud va remonter vers le Nord et se dissiper à partir de 23 h UTC, pour finalement n'avoir plus aucune activité électrique à partir de 2h UTC.

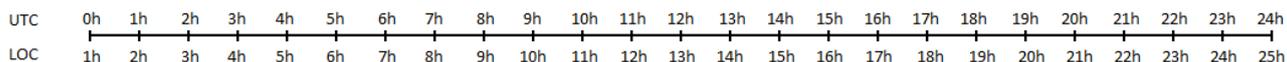
Cumul d'impact de foudre pendant la journée du 01/10/2015



f) Résumé de la journée

Dans la nuit du 1er et du 2 octobre 2015, un médicane a traversé la Corse du Sud vers le Nord de 17h UTC et 10h UTC, avant de se dissiper durant la journée du 2 octobre. Cette dépression en cours d'occlusion avait une pression au niveau de la mer de 1005 hPa et était associée à une anomalie de géopotential à 500 hPa. Lors du déplacement de la dépression, la Corse a d'abord été traversée par un front chaud dans la journée du 1^{er} octobre puis par un front froid. Ce dernier est à l'origine de cumulonimbus caractérisés par une faible activité électrique et de forts vents (plus de 90 km/h). Ces orages ont provoqué de fortes précipitations allant jusqu'à 48 mm/h, entraînant un cumul sur l'évènement jusqu'à 236 mm à Quercitello.

Cas du Jeudi 24 Novembre 2016



	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	24h
UTC	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	24h
LOC	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	24h	25h
Max de précipitations dans l'heure		24	18	20	26	36	32	40	38	38	38	40	16	14	2	4	24	30	28	12	18	18	8	4	4
Impacts de foudre																									
Frontologie																									
Nuages présents				☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁													
Vent à 950 hPa		S-E					S-E					S-E						S-O							S-O
θ _e à 950 hPa		336					336					336						336							300
Vigilance		🟡											🔴												

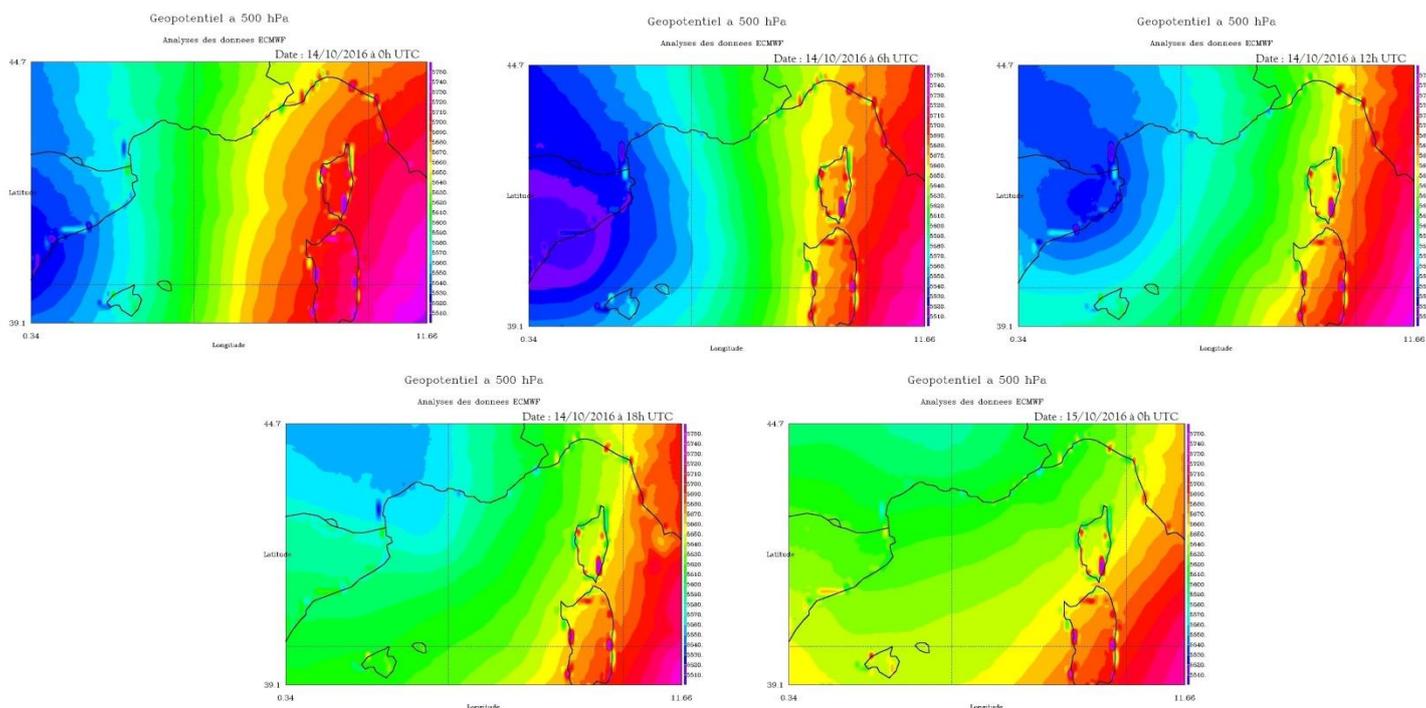
Etude détaillée du phénomène météorologique du Vendredi 14 octobre 2016

Lors de la journée du vendredi 14 octobre 2016, un épisode méditerranéen s'est produit en Mer Méditerranée occidentale. Ce phénomène a provoqué de fortes rafales de vent. De plus, de fortes précipitations se sont produites dans le Sud de la France continentale. Parallèlement, de violents orages ont éclaté en Corse causant d'importants dégâts sur l'île. Ceux-ci ont été très actifs électriquement et ont provoqué de fortes rafales de vent allant jusqu'à 150 km/h. Enfin, d'après les médias, une mini-tornade a eu lieu à Ajaccio, provoquant l'effondrement d'un chapiteau et faisant 28 blessés.

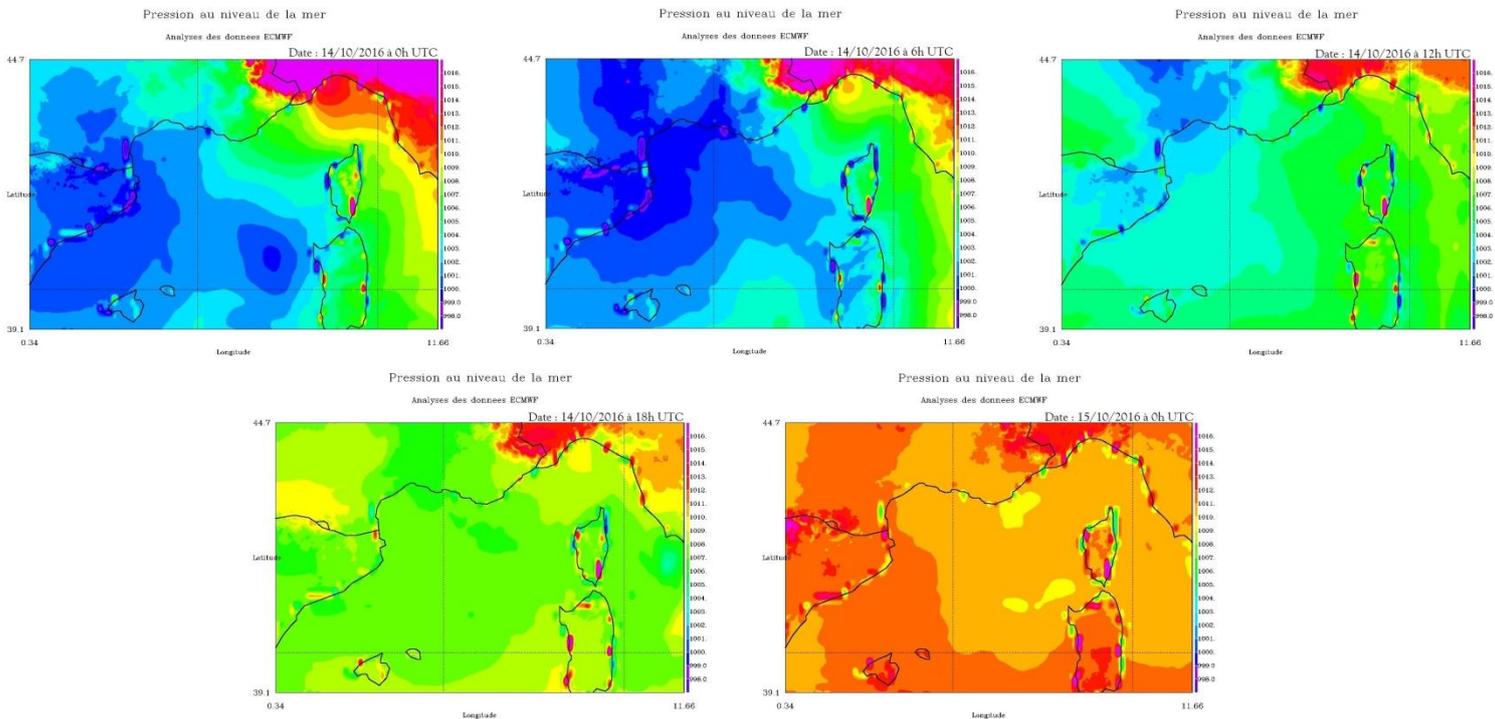
Pour l'étude de ce cas, nous avons analysé la situation météorologique de cette journée du 14 octobre 2016 grâce aux cartes d'analyses de l'ECMWF, du MetOffice et des données de Météo-France. Nous avons pour cela, étudié différents paramètres tels que le géopotential à 500 hPa, la pression au niveau de la mer, la vorticité potentielle, le vent à différents niveaux, la température potentielle à 950 hPa, le cumul de pluie, les précipitations dans l'heure et la foudre. Nous avons, par ailleurs, essayé de comprendre l'origine de ce phénomène en nous intéressant à la frontologie de la journée.

a) Géopotential à 500 hPa et Pression au niveau de la mer

D'après le champ du géopotential à 500 hPa des analyses de l'ECMWF, le 14 octobre 2016 à 00h UTC, on peut constater la situation suivante : une tempête (Brigitte) de 5400 mgp à l'Ouest de l'Irlande, un creux dépressionnaire de 5530 mgp (ou thalweg) sur la péninsule Ibérique, un anticyclone sur la Scandinavie et une dorsale sur l'Italie de 5750 mgp venant du Maghreb. De ce fait, en Mer Méditerranéenne occidentale, le gradient de géopotential est dirigé vers l'Est et les isohypses sont dirigées dans la direction méridionale. Au fur et à mesure de la journée, vers 12h UTC, le thalweg forme une goutte froide, qui se propage vers l'Est, puis remonte vers le Nord sur le Massif Central. Ainsi, à 00h UTC, le 15 octobre (le lendemain), le gradient de géopotential est orienté vers le Sud-Est. Au niveau de la Corse, aucune anomalie de géopotential n'est détectée. Seul un fort gradient orienté Ouest/Est puis Nord-Ouest/Sud-Est est présent sur l'île. Les isohypses sont donc orientées Nord-Sud, puis Sud-Ouest, Nord-Est. Comme le vent laisse les basses pressions à sa gauche, il vient donc, en théorie, du Sud, puis du Sud-Ouest.

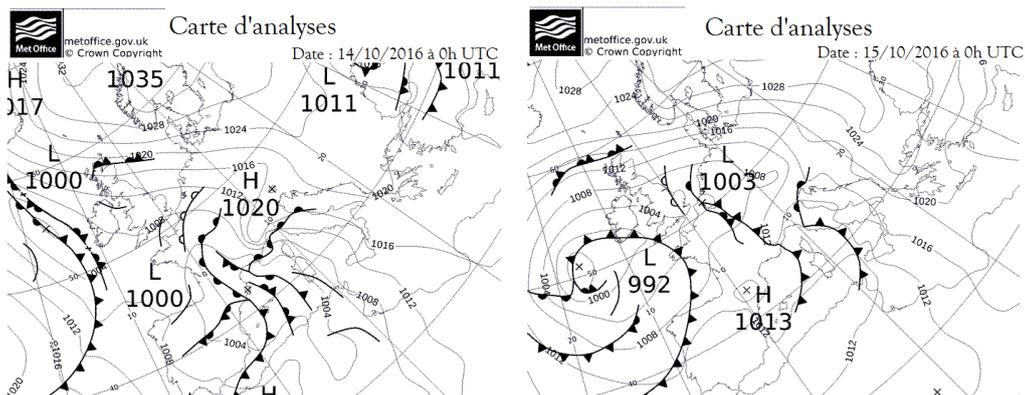


En ce qui concerne la pression au niveau de la mer, à 00h UTC, le 14 octobre 2016, de fortes pressions de 1016 hPa sont présentes sur la botte italienne (dorsale à 500 hPa), un creux de 1000 hPa se trouve sur la Mer des Baléares et une petite dépression de 1000 hPa est située au large de la Sardaigne, au Nord-Ouest. Au cours de la journée, la dépression va disparaître avant 6h UTC et le creux va s'étendre jusqu'en Sardaigne. A 12h UTC, ce dernier va remonter vers le Massif Central, laissant la place à une pression uniforme de 1012 hPa sur l'ensemble de la Méditerranée de l'Ouest. En Corse, seul un gradient de pression est présent. Celui-ci est orienté Ouest/Est puis Nord-Ouest/Sud Est, comme pour le géopotential à 500 hPa.



b) Frontologie

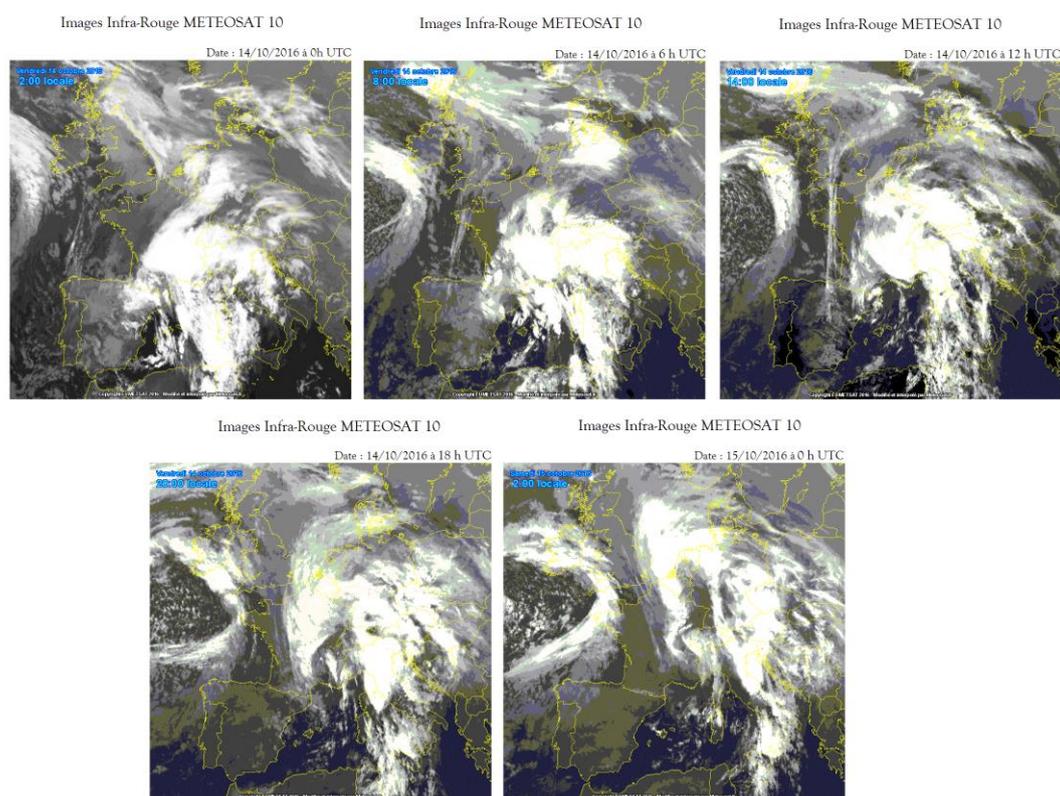
D'après les analyses du MetOffice, le 14 octobre 2016 à 00h UTC, un reliquat de dépression est situé en Mer des Baléares. On trouve donc un front froid d'axe méridional sur les Baléares, un front chaud, d'axe méridional vers le Sud-Ouest de la France, et un front occlus d'axe zonal vers l'Espagne. Un autre front occlus d'axe méridional est présent à l'Est des Baléares. Au niveau du Golfe du Lion, un front froid au Nord, aligné avec un front chaud au Sud se trouvent entre ce front occlus et la Corse et Sardaigne. Finalement, une ligne de grain se situe au large du Cap Caccia en Sardaigne jusqu'(à Carthage) en Tunisie.



En cours de journée, le front occlus au-dessus vers l'Espagne va se dissiper, ainsi que la ligne de grain. Les deux fronts froids vont balayer la Méditerranée. Le premier va traverser la Corse entre 5h UTC et 9h UTC. De plus, à 6h UTC, une ligne de grain va commencer à se former à l'Est des Baléares. Elle va ensuite, traverser la Corse entre 9h UTC et 11h UTC. Puis, un ensemble de cumulonimbus vont se former à l'Est de la Corse à partir de 11h UTC et traverser ensuite l'Italie. Par ailleurs, une dorsale de l'anticyclone situé à l'Est des Etats-Unis, va se propager jusqu'en Espagne.

C'est pourquoi, le 15 octobre 2016, à 00h UTC, un anticyclone à 1013 hPa est présent sur les Pyrénées. On trouve aussi un front froid traversant la Méditerranée du Sud des Baléares à l'Est de la Corse. Il s'agit du reste de la dépression située en Mer des Baléares. Un autre front froid est situé sur l'Italie. Pour l'étude de ce cas, nous allons nous intéresser plus particulièrement à ce dernier.

En effet, sur les images satellites infra-rouge et visible, nous constatons que ce front est accompagné de cumulonimbus qui ont traversé la Corse de 9h UTC jusqu'à 14h UTC, le 14 octobre 2016. De plus, à partir de 14h UTC, des cumulonimbus se sont formés au large de la côte Est de la Corse. Mais ceux-ci ne semblent pas avoir impactés l'île.

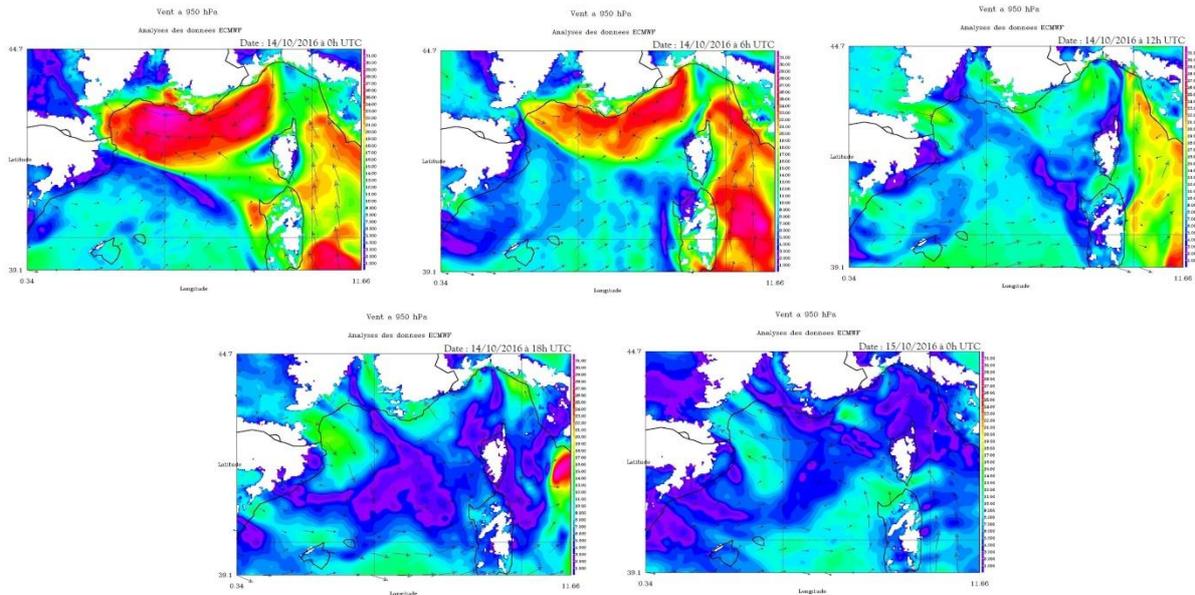


c) Vent à 950 hPa (Analyses ECMWF)

Pour ce qui est du vent à 950 hPa, à 00h UTC, on constate un fort vent (environ 30m/s soit 110 km/h) d'Est et Sud-Est dans le Golfe du Lion. Ce vent semble être le Marin, puisqu'un front chaud est situé dans le Golfe de Lion. Ce vent a, semblerait-il, provoqué un épisode méditerranéen en Hérault. Au niveau de la Mer des Baléares, le vent était faible (> 10m/s soit 36 km/h). Au large de la Corse, à l'Est, le vent est de 20 m/s soit de 72 km/h, de Sud-Est. Au large, à l'Est, de la Sardaigne, le vent est de 30m/s soit 110 km/h et de Sud. Sur les îles-mêmes, le vent est resté faible.

Au cours de la journée, le vent au niveau de la côte du Sud de la France s'affaiblit à partir de 6h UTC. Puis, le vent de Sud à l'Est de la Corse et de la Sardaigne va s'affaiblir à partir

de 12h UTC., et laisser place à un front de vent faible sur la Corse. Puis, à partir de 18h UTC, une légère Tramontane de 15m/s, soit 50 km/h, s'établit dans le Golfe du Lion. Sur le reste de la Méditerranée, le vent, d'Est, reste inférieur à 10m/s, soit 40 km/h. A 00h UTC, le 15 octobre, le vent reste aussi faible mais ce n'est plus un régime de Tramontane, mais un régime de Marin.

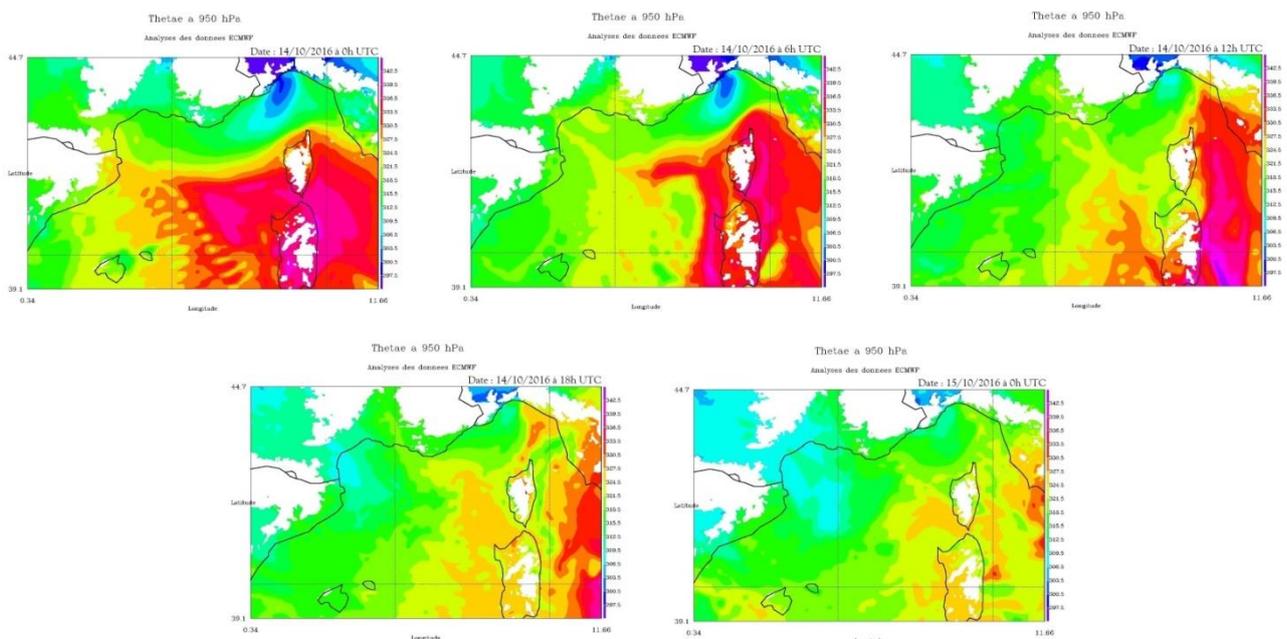


Pour retrouver les rafales annoncées en Corse par Météo-France, il faudrait regarder le vent à 10 m ainsi que les rafales.

d) Température potentielle à 950 hPa (ECMWF)

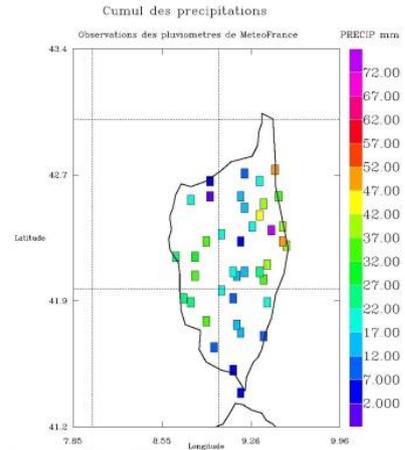
Sur la Mer Tyrrhénienne et sur la partie Ouest de la Corse et de la Sardaigne, la température potentielle à 950 hPa est supérieure à 330 K, soit 57 °C. Au niveau de la Mer des Baléares, du Golfe du Lion et de la Mer Ligurienne, cette température ne dépasse pas les 318 K, soit 45°C. Le gradient de température entre la mer Ligurienne et le Sud de la Méditerranée correspond à la présence d'un front chaud. Le gradient de température entre la Mer Méditerranée et la Mer des Baléares, qui arrive en Corse à 12h UTC, correspond aux cumulonimbus qui ont provoqué de forts vents et impacts de foudre en Corse. En effet, d'après les images satellites à 12h UTC, un groupe de cumulonimbus est présent sur la Corse. Il s'agirait d'une ligne de grain.

Au cours de la journée, l'air chaud au-dessus de la Méditerranée se déplace vers l'Est, poussé par le front froid. De ce fait, à 00h UTC, le 15 octobre 2016, la température potentielle à 950 hPa est de 327 K, soit 54 °C maximum.



e) Cumul, précipitation dans l'heure et foudre

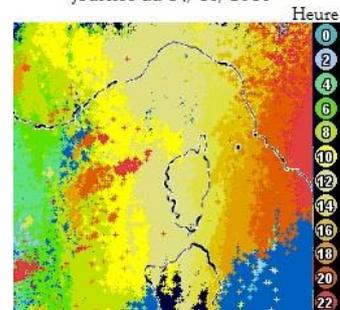
D'après les données pluviométriques de Météo-France, entre 00hUTC et 2hUTC, il a plu jusqu'à 28 mm/h, à l'Est de la Corse, plus précisément vers Aléria. Ensuite, jusqu'à 9h UTC, il n'a pas plu plus de 4 mm/h. En revanche, entre 9h et 10h UTC, des précipitations de 20 mm/h, apparaissent à l'Ouest de la Corse. Celles-ci traversent ensuite l'île en 5 h. A 12h UTC, pendant cet épisode pluvieux, un maximum de précipitation de 38 mm/h a été détecté vers Moïta. A Bastia, on note un pic de 32 mm/h à la même heure. A 13h UTC, les précipitations ont fini de traverser l'île : on relève jusqu'à 18 mm/h seulement sur les côtes Est de la Corse, entre la Canonica et Aléria. A partir de 14h UTC, les pluviomètres ne mesurent pas plus de 2 mm/h, l'épisode pluvieux est terminé sur la Corse.



Au total, cet épisode méditerranéen a entraîné des cumuls de pluies sur la journée s'échelonnant entre 17 et 37 mm/j sur l'ensemble de la Corse, excepté à Corte, en Balagne, dans le Sud et dans la région de Porto-Vecchio où on a relevé moins de 12 mm/j. Par ailleurs, quelques pics de précipitations sont mesurés. Ainsi, vers Moïta, on constate un cumul de 72 mm/j, à Quercitello, un cumul de 45 mm/j, et à Bastia, de 50 mm/j.

Ces précipitations ont été accompagnées d'activité électrique. En effet, entre 9hUTC et 14h UTC, le détecteur de SAETTA a enregistré des impacts de foudre sur la totalité de la Corse. Par ailleurs, des impacts de foudre ont été détectés entre 00hUTC et 03hUTC sur l'Est de la Corse. Ces événements semblent correspondre aux toutes premières précipitations de la journée. Enfin, entre 14h et 18h UTC, on note des impacts de foudre au large de la Corse. Ceci pourrait correspondre aux cumulonimbus qui se sont formés au large de la côte Est de la Corse ; mais qui n'ont pas impactés l'île

Cumul d'impact de foudre pendant la journée du 14/10/2016



f) Résumé de la journée

Lors de cette journée du vendredi 14 octobre 2016, une ligne de grain a traversé la Corse de 9h UTC à 14h UTC. Celle-ci s'est caractérisée par un creux dépressionnaire visible en surface mais aussi à 500hPa. Lors de la traversée du front orageux, une forte activité électrique a été détectée, ainsi qu'un vent de 70 km/h au large des côtes Est de la Corse. Les précipitations n'excédant pas les 100 mm/j, on ne peut qualifier cet épisode méditerranéen d'évènement de précipitations intenses.

Cas du Vendredi 14 Octobre 2016

UTC	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	24h
LOC	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	24h	25h	26h

Max de précipitations dans l'heure			30	20					4	4	18	24	38	18												
Impacts de foudre																										
Frontologie																										
Nuages présents																										
Vent à 950 hPa		S-E + Marin																			S-O					S-E
θ _e à 950 hPa		335						335					320								320					310

Etude détaillée du phénomène météorologique du Jeudi 24 novembre 2016

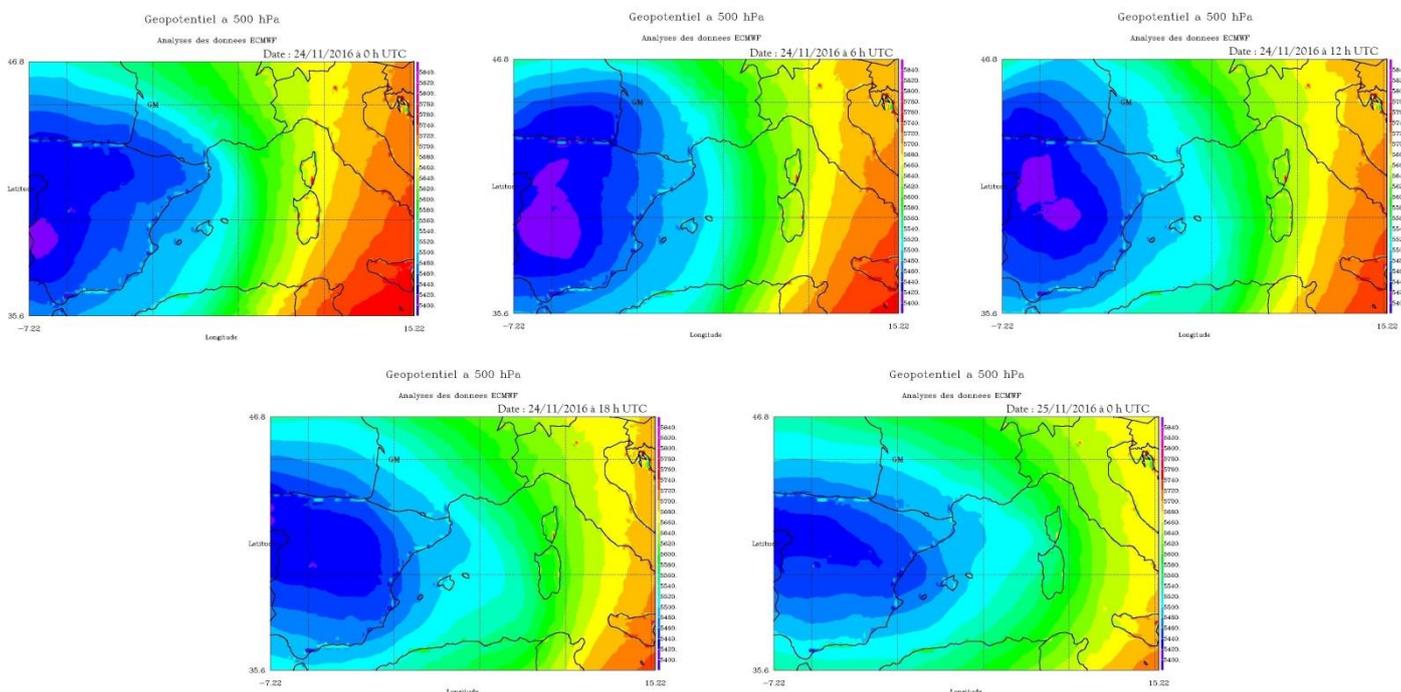
Dans la journée du Jeudi 24 Novembre 2016, un phénomène de fortes précipitations (High Precipitation Event) s'est produit en Corse, incitant les services de Météo-France à placer l'île en vigilance rouge pour pluie et inondation à partir de 11h30 et ce, jusqu'à 16h (locale) le lendemain. Une première pour cette île méditerranéenne ! En effet, lors de la matinée, plusieurs rivières sont sorties de leur lit provoquant de nombreux dégâts matériels tels que des effondrements de ponts. Heureusement, aucune victime n'a été déplorée.

Avant de comparer et d'analyser des simulations numériques de la situation météorologique, nous avons réalisé une étude détaillée du phénomène s'étant produit le 24 Novembre 2016. Pour cela, nous nous sommes intéressées aux différentes cartes obtenues grâce aux données de l'ECMWF, du MetOffice et de Météo-France. Nous avons étudié le géopotential à 500 hPa, la pression au niveau de la mer, la vorticité potentielle, le vent à différents niveaux, la température potentielle à 950 hPa, le cumul de pluie, les précipitations dans l'heure et la foudre. Nous avons également analysé les fronts afin de mieux comprendre l'origine du phénomène.

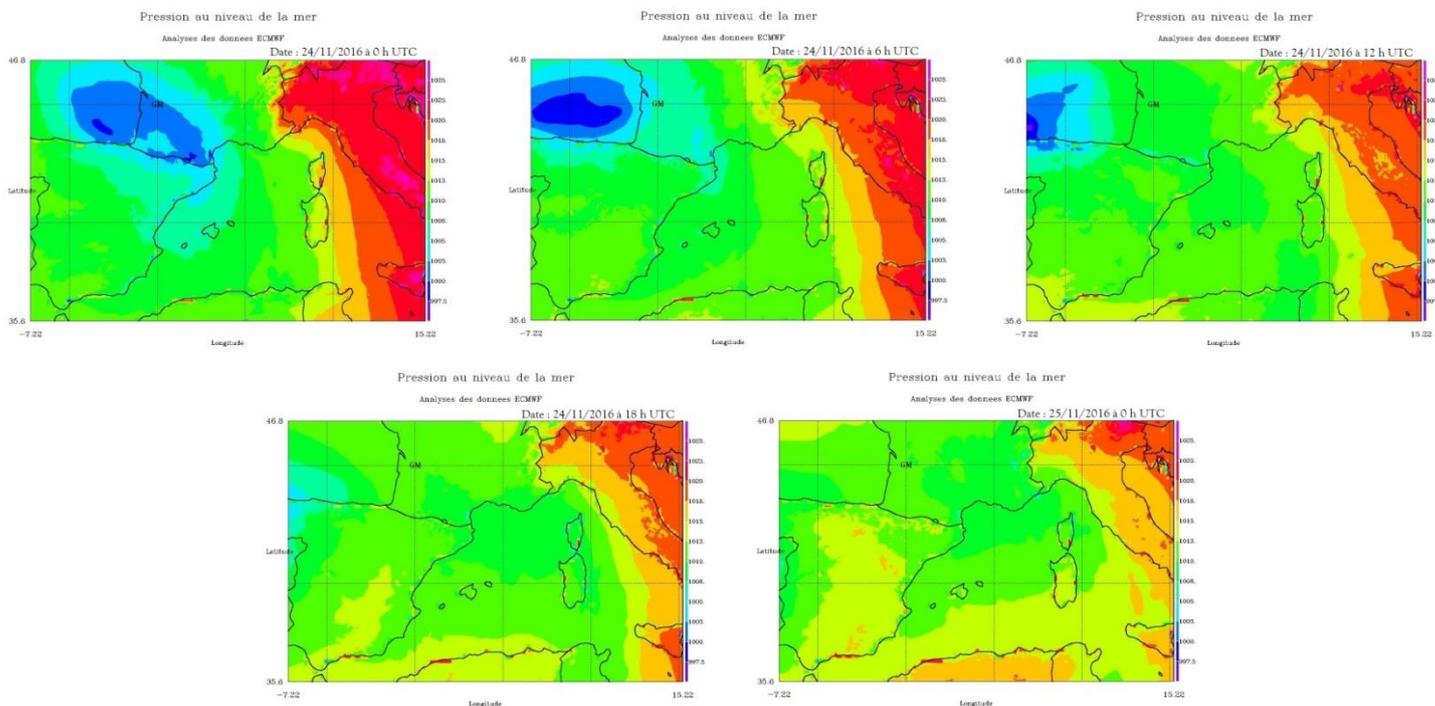
Explication de la situation météorologique de la journée à partir des analyses et mesures in situ

a) Géopotential à 500 hPa, Pression au niveau de la mer et Vorticité Potentielle

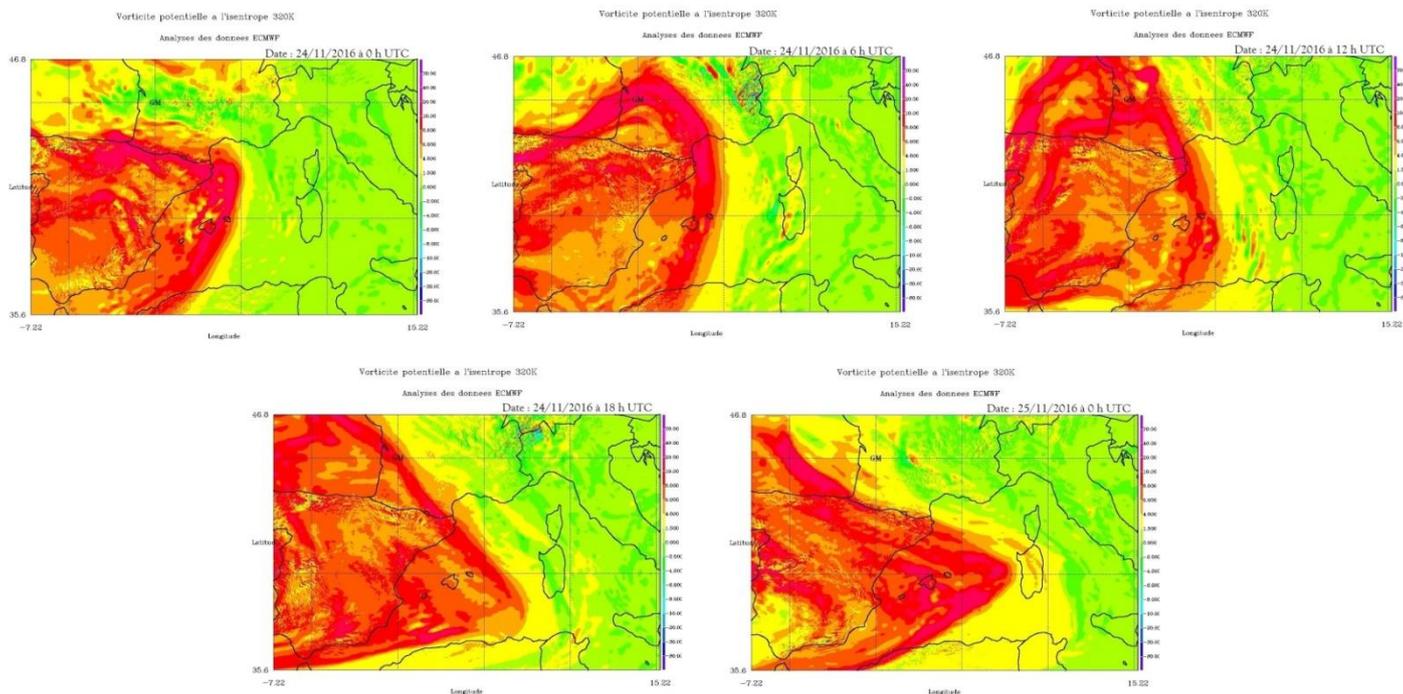
D'après les analyses de l'ECMWF, le géopotential de niveau de pression de 500 hPa, indique une dépression sur l'ensemble de l'Espagne. Le 24 à 00hUTC, son centre semble être situé sur le Portugal. Durant la matinée, le centre de la dépression se déplace vers Madrid, puis à 12h UTC, deux noyaux sont visibles sur la Castille. Ces deux noyaux dépressionnaires vont ensuite se séparer pour former une goutte froide le 25 novembre vers 12h00 UTC. Concernant la Corse, le paramètre varie entre 5640 et 5570 mgp dans la journée du 24 novembre. De plus, le gradient du géopotential est orienté Ouest-Est.



Au vu du champ de pression au niveau de la mer des analyses de l'ECMWF, nous retrouvons la dépression de 1000 hPa au niveau de la mer, avec son centre situé entre Valence en Espagne et les Baléares à 00h00 UTC le 23 novembre. Celui-ci remonte vers le Nord jusqu'à arriver sur les Pyrénées, le 24 à 00h UTC. La dépression part ensuite en direction de l'Océan Atlantique, en longeant la côte cantabrique. En Corse, on note un gradient de pression orienté Ouest-Est durant la matinée, ce qui suppose conformément à la loi de Buys-Ballot, que le vent géostrophique vient de Sud. (Nous vérifierons cette hypothèse en analysant les vents à 10m, 5000 m et 950 hPa.) Puis, à partir de 18h UTC, la pression reste uniforme et égale à 1010 hPa, sur l'Espagne, le Sud de la France, et l'Ouest de la Méditerranée, donc la Corse.

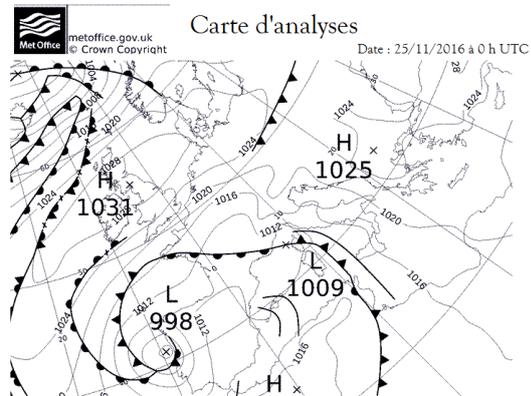
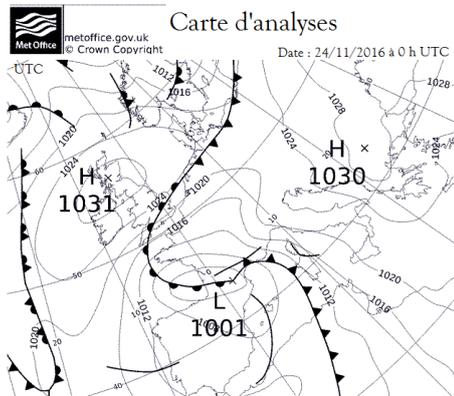


Pour mieux visualiser la dépression, nous nous sommes aussi intéressées à la vorticité potentielle à l'isentrope 320 K. Pour la journée du 24, nous pouvons constater que ce paramètre est supérieur à 1,5 PVU, ce qui correspond à un approfondissement de la tropopause, au niveau de la péninsule Ibérique. Il s'agit de la dépression. Ce creusement va se déformer en se déplaçant vers l'Est et arriver en Corse le 25 à 6h00 UTC. Cependant, à 6h00 UTC le 24, on note, d'après les analyses de l'ECMWF, la présence d'un léger creux sur la Corse.

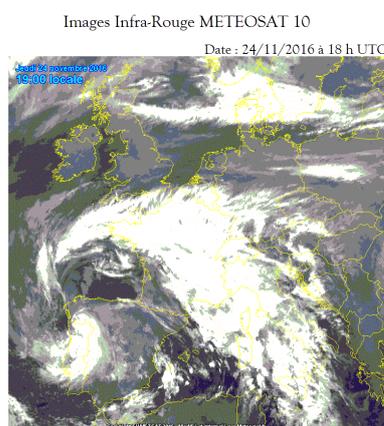
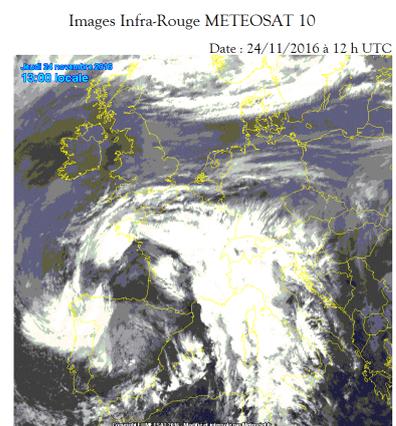
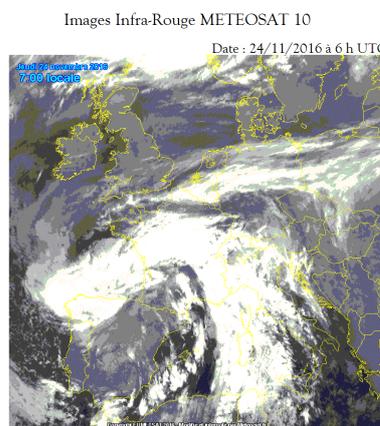
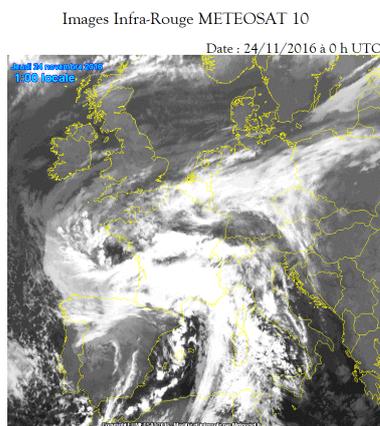


b) Frontologie

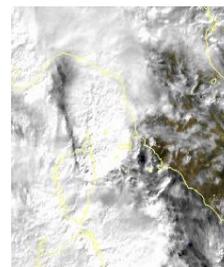
Les analyses du MetOffice du 24 Novembre 2016 à 00h UTC, confirment la présence d'une dépression de 1001 hPa sur les Pyrénées. Son front froid se trouve à l'Est des îles de Corse et Sardaigne. Le front chaud, quand à lui, part en direction des Landes. Plusieurs lignes de grain sont présentes sur le bassin méditerranéen. Une première se trouve le long de la côte Est de l'Espagne. Une seconde, d'orientation zonale, est sur le Sud de la France. Une troisième se trouve sur l'Est de la Corse et le Nord-Est de la Sardaigne.



Grâce aux images infra-rouges du satellite MétéoSat 10, nous pouvons suivre le déplacement de ces structures. Au cours de la journée, la dépression hispanique continue de s'enrouler et un front occlus apparaît le 24 novembre vers 9h UTC. Dans son enroulement, son front froid va se séparer en deux parties. Une partie de cet air froid va stationner sur la Corse tandis que l'autre va balayer la France. Puis, un front chaud va apparaître dans le Sud-Ouest de la France. Celui-ci va interagir avec le front froid stationnant sur la Corse. Ensemble, ils vont ainsi former une nouvelle dépression, qui d'après le MetOffice est de 1009 hPa, le 25 Novembre, à 00h UTC, sur le Nord-Ouest de la Corse. Son front froid coupe la Corse du Nord-Ouest au Sud-Est à partir de 20h UTC. Le front chaud, de même direction, quant à lui, traverse la France.



Par ailleurs, une ligne de grain, de direction Nord-Sud, se forme vers 8h UTC. Celle-ci traverse la Corse entre 17h UTC et 23h UTC et se trouve en Mer Tyrrhénienne, le 25 à 00h UTC, d'après les analyses du MetOffice. Elle se situe juste devant le front froid de la dépression nouvellement formée. Parallèlement, deux autres lignes de grains parallèles se forment vers 17h UTC au large des Baléares.

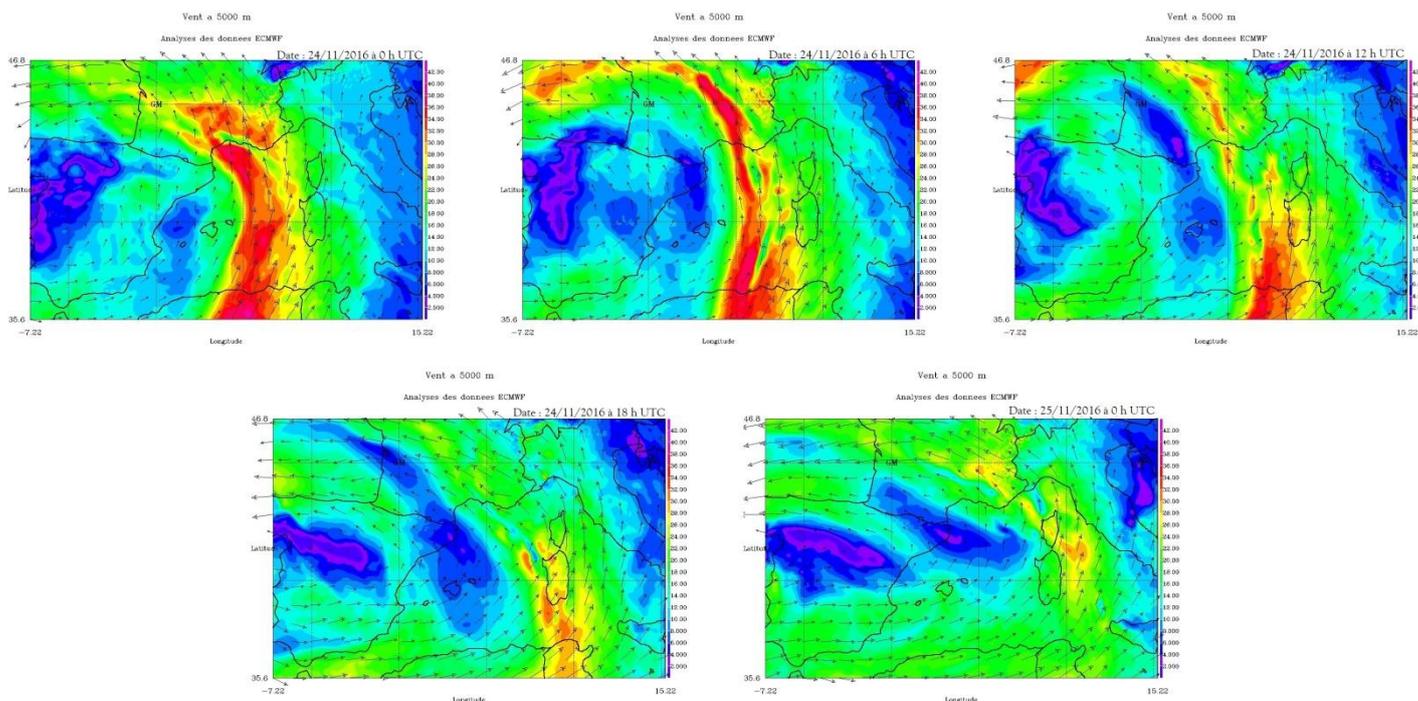


Finalement, sur les images satellites du domaine visible, nous constatons la formation d'un cumulonimbus au Cap Corse vers 9h UTC au niveau de la côte Nord-Est de l'île. Celui-ci ne semble pas être associé à une ligne de grain, mais plutôt à de la convection diurne.

c) Vent à 5000m, 10m et à 950 hPa (Analyses ECMWF)

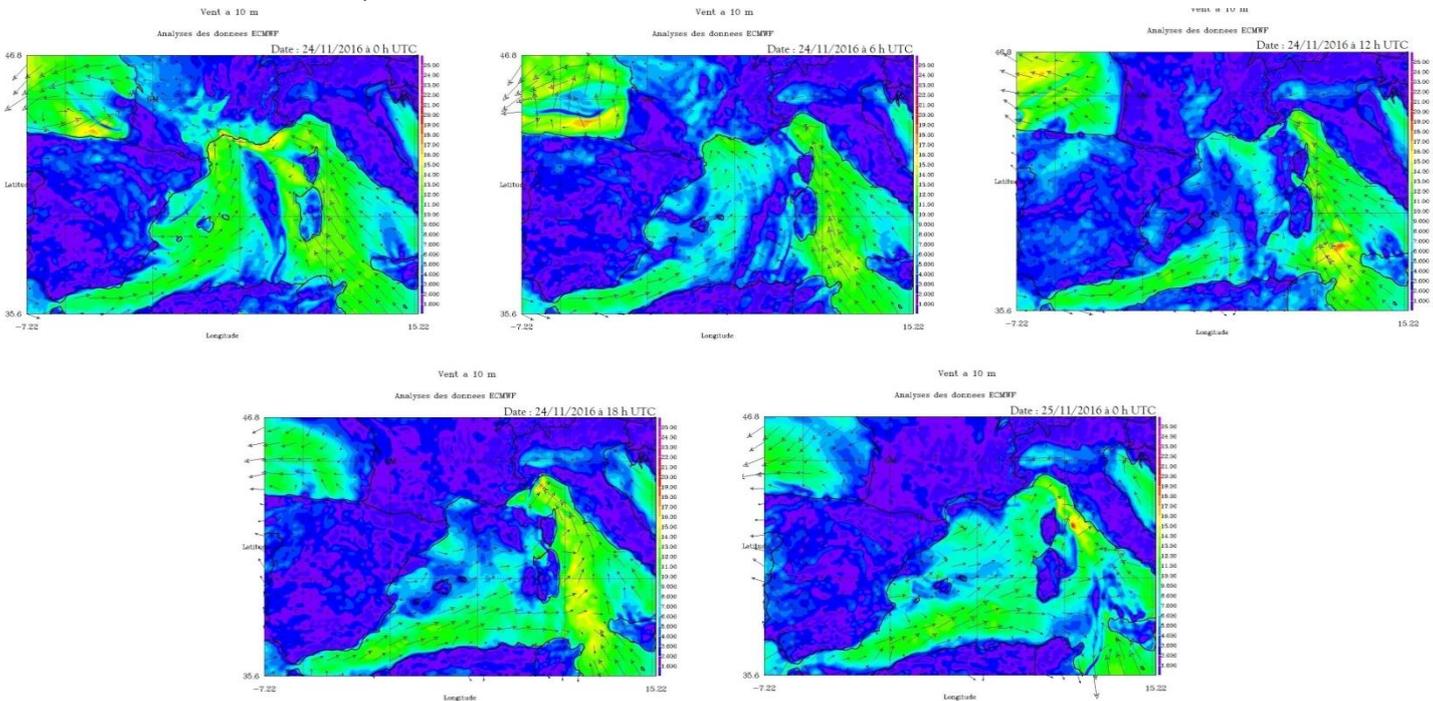
Le 24 Novembre, en début de journée, la dépression au-dessus de l'Espagne s'enroule dans le sens antihoraire et influe sur le régime de vent à 5000m. Vers les Baléares et la Sardaigne, le vent vient du Sud-Ouest et de l'Ouest sur la Mer d'Alboran. Il provient du Sud sur le Nord de la Méditerranée occidentale et donc sur la Corse. Ceci est en accord avec nos suppositions liées à l'analyse de la pression au niveau de la mer

Un maximum de vent allant jusqu'à plus de 30 m/s forme un front d'axe Nord-Sud. Celui-ci est situé entre les Baléares et la Corse à 00h UTC le 24. Ce dernier va se déplacer vers l'Est, balayer la Corse à partir de 12h UTC et se dissiper vers 18h UTC. En comparant la position de cette structure avec la frontologie, elle semble se situer à l'avant du front froid de la dépression d'Espagne. Elle correspondrait donc plutôt à la ligne de grain.

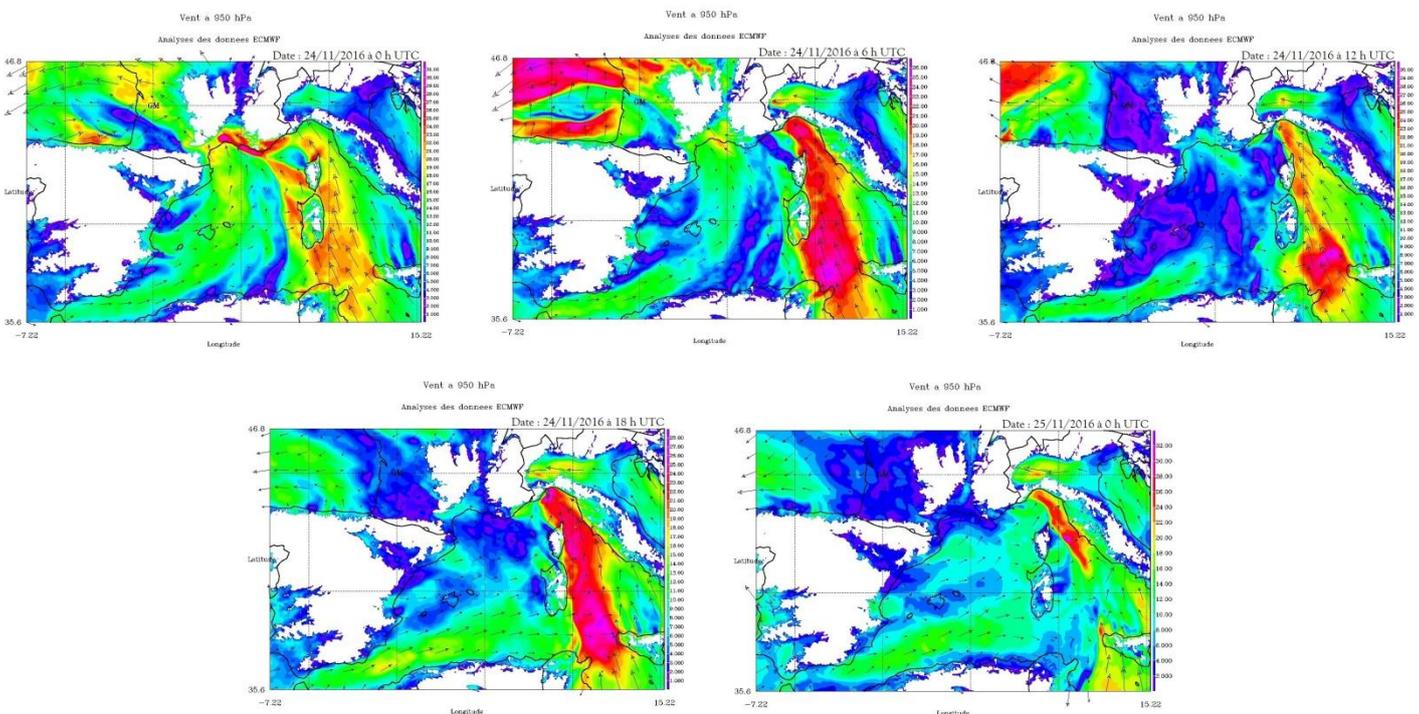


Pour ce qui est de la dynamique à 10 mètres, le 24 à 00h UTC, le vent reste plutôt uniforme et faible sur la Méditerranée (entre 10 et 13 m/s). Un vent de Sud Est souffle sur la Mer Tyrrhénienne et il y a présence du Marin (vent de Sud Est) dans le Golfe du Lion. On constate, en outre, un minimum formant un axe Nord-Sud, comme un front, entre les Baléares et la Sardaigne. Sur la Corse, le vent y est donc très faible (<5m/s). Avant le passage de ce front,

le vent avait une direction de Sud-Est à l'Est de l'île et était plutôt de Nord-Est sur la partie Ouest. Pendant le passage du front, à partir de 12 h UTC, le vent s'est affaibli entre les Baléares et la Sardaigne. Après son passage, le vent a changé de direction et est devenu de Sud-Ouest vers 18 h UTC sur la partie orientale de l'île. Ce front de vent faible à 10 m semble correspondre au front froid de la dépression d'Espagne, au vu de sa dynamique. Le lendemain, le vent est resté inférieur à 5 m/s sur l'ensemble de la Méditerranée.

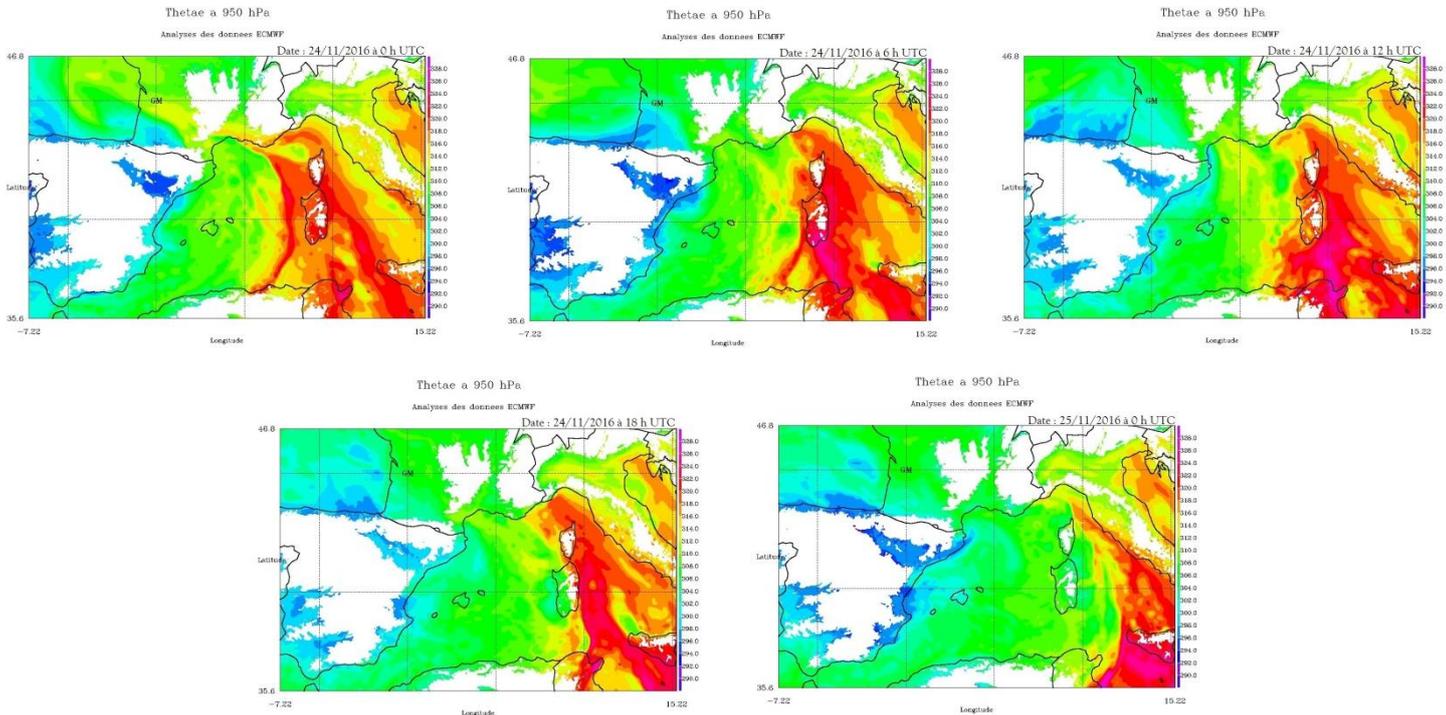


Au niveau 950 hPa, on constate la présence d'un vent de Sud sur l'ensemble de la Méditerranée occidentale, excepté en Mer d'Alboran, où le vent vient de l'Ouest. Les vents les plus forts se trouvent sur un axe partant de la Tunisie vers le Sud Est de la France, et plus particulièrement, sur la côte d'Azur. Au fur et à mesure, le vent devient beaucoup plus puissant le long d'un front qui se déplace à l'Est de la Corse. Ce front semble être en avance par rapport au front froid de la dépression. Il serait plutôt lié à la ligne de grain. Sur le reste de la Méditerranée, le vent reste faible, inférieur à 10 m/s. Le lendemain à 00h UTC, le vent est en direction de l'Est sur l'ensemble de la Méditerranée et est de vitesse inférieure à 10 m/s, excepté sur les côtes de Toscane où il atteint 30 m/s. La position de ce maximum en Toscane correspond à la présence d'une ligne de grain que la Mer Tyrrhénienne.



d) Température potentielle à 950 hPa (ECMWF)

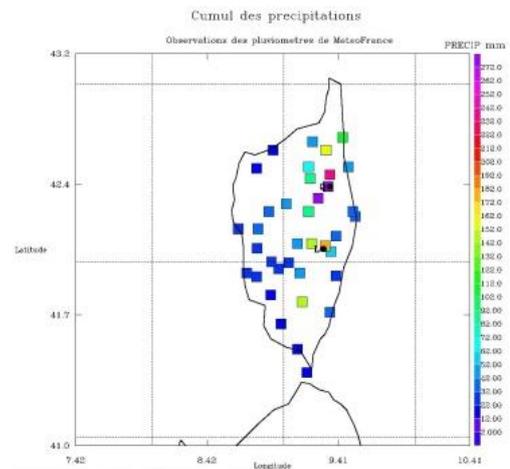
Selon les analyses de l'ECMWF, la température potentielle à 950 hPa est de 320 K, sur l'axe Côte d'Azur-Tunisie, mais de 307 K, sur la partie Ouest de la Méditerranée occidentale. Cet air plus froid semble arriver de l'Ouest. Au cours de la journée du 24 Novembre 2016, l'air froid va se décaler vers l'Est et atteindre vers 18h UTC la Corse. Il correspond donc à l'arrivée du front froid de la dépression d'Espagne. Finalement le 25, à 00h UTC, la Corse est entièrement recouverte d'un air plus froid à 950 hPa.



e) Cumul, précipitation dans l'heure et foudre

Grâce aux données des pluviomètres des stations météorologiques de MétéoFrance, nous pouvons constater des précipitations tout au long de la journée, en particulier dans la matinée, entre 4h et 11h UTC sur la côte orientale de l'île. Sur la côte ouest, les précipitations ont été beaucoup plus rares et n'ont eu lieu qu'entre 11h et 12h UTC puis entre 19h et 00h UTC. Sur la partie Est, on relève des précipitations importantes jusqu'à 40 mm/h à 7h et 11h UTC près de Quercitello, et à 10h UTC près de Luggo di Nazza. Il s'agit d'un premier épisode pluvieux. Un second a lieu entre 17h et 19h UTC avec des précipitations de 30 mm/h.

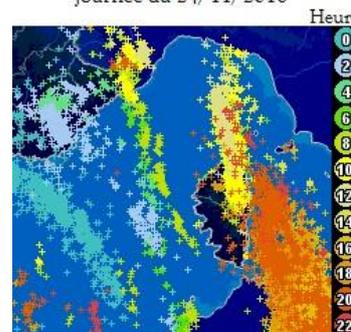
Suite à ces fortes pluies, nous obtenons de forts cumuls de pluies sur 24 h, en particulier sur la Castagniccia. En effet, on relève des maxima atteignant jusqu'à près de 280 mm/j vers Quercitello. On observe donc bien un phénomène de fortes précipitations (> 100mm/d), ce qui explique l'alerte rouge pour inondation, lancée par Météo-France.



En ce qui concerne les impacts de foudre, on a détecté entre 3h et 13h UTC, des éclairs sur le Nord de l'île. Cette activité électrique semble être liée à la présence d'un cumulonimbus à 9h UTC visible sur les images satellites. Par ailleurs, La présence de ce nuage convectif correspond, en outre, au moment des fortes précipitations. Ceci laisse supposer qu'il en est à l'origine.

De plus, des impacts de foudre ont été détectés entre 18h et 23h UTC et une averse s'est produite entre 17h et 19h UTC. Ces phénomènes correspondent à la traversée d'une ligne de grain entre 17h et 23h UTC.

Cumul d'impact de foudre pendant la journée du 24/11/2016



f) Résumé de la journée

En bilan de cette journée du 24 Novembre, un cumulonimbus s'est formé au Cap Corse en début de journée. Sa formation semble avoir été favorisée par la convection diurne, puisque celui-ci se développe particulièrement rapidement à partir du lever du Soleil. Celui-ci a provoqué de fortes précipitations jusqu'à 40 mm/h, entre 5h UTC et 11h UTC et 280 mm/j en cumul en Corse. Cette averse s'est accompagnée d'un faible vent synoptique et de quelques impacts de foudre. En soirée, une ligne de grain a balayé la Corse. Celle-ci a provoqué une nouvelle averse intense atteignant jusqu'à 30 mm/h. Des impacts de foudre ont été détectés, ainsi qu'un fort vent (30 m/s) en surface. Cette ligne de grain précédait le front froid d'une dépression naissante dont le centre se trouvait au Nord-Ouest de la Corse.

Cas du Jeudi 24 Novembre 2016

UTC	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	24h
LOC	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	24h	25h

Max de précipitations dans l'heure		24	18	20	26	36	32	40	38	38	38	40	16	14	2	4	24	30	28	12	18	18	8	4	4	
Impacts de foudre																										
Frontologie		-----										-----														
Nuages présents				☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁													
Vent à 950 hPa		S-E		S-E					S-E			S-O					S-O									
θ _e à 950 hPa		336					336			336			336					300								
Vigilance		Yellow										Red														