

Résumé de la thèse :

**Sources et transports d'humidité pour les évènements de  
pluies intenses en région méditerranéenne :  
caractérisation et assimilation à mésoéchelle de radiances satellitaires infrarouges**

Les régions côtières de la mer Méditerranée sont régulièrement touchées par des épisodes de pluies intenses. Les cumuls de précipitations peuvent y dépasser 150 mm en 24h et atteindre plus de 300 mm en 6h. Ces précipitations intenses sont souvent à l'origine de crues rapides dévastatrices au lourd bilan humain et matériel, comme ce fut le cas par exemple en novembre 1999 dans l'Aude, en septembre 2002 dans le Gard ou plus récemment, en juin 2010 dans le Var.

L'étude de nombreux épisodes de pluies intenses a montré qu'un de leurs ingrédients météorologiques majeurs est le transport d'humidité vers les côtes. Celui-ci fournit notamment la vapeur d'eau nécessaire aux systèmes fortement précipitants pour former les cumuls de précipitations considérables relevés lors de tels épisodes. Afin de progresser dans la compréhension et la prévision des épisodes de pluies intenses, il est donc primordial d'améliorer notre connaissance de leur alimentation en humidité ainsi que sa représentation dans les modèles numériques utilisés pour la prévision du temps. C'est ce à quoi je me suis attachée dans mon travail de thèse.

Dans un premier temps, j'ai documenté les propriétés de l'alimentation en humidité des systèmes fortement précipitants méditerranéens en identifiant son origine et les caractéristiques de son transport à l'aide de simulations numériques d'un ensemble représentatif d'épisodes de pluies intenses. J'ai adopté une stratégie multi-échelles en réalisant, pour chaque épisode, de deux simulations : une première simulation à 2.5km de résolution horizontale, échelle à laquelle la convection est résolue explicitement et l'impact du relief est finement pris en compte, et une seconde simulation à méso-échelle (domaines imbriqués de 40km et 10km de résolution horizontale). La première simulation permet de disposer d'une représentation réaliste des systèmes précipitants et de leur alimentation à court terme, tandis que la seconde simulation vise à décrire l'origine et le transport de l'humidité sur une période plus longue où l'évolution des masses d'air est essentiellement régie par les conditions de plus grande échelle. Une double approche combinant d'une part des analyses lagrangiennes du flux par rétro-trajectoires, et d'autre part une étude plus intégrée dans le temps et dans l'espace avec l'évaluation de bilans en eau, a été suivie. Sur un ensemble de 10 épisodes de pluies intenses sur le Sud-Est de la France, diverses sources d'humidité ont été identifiées et leur contribution respective caractérisée.

Il est ainsi apparu que l'humidité alimentant les systèmes fortement précipitants provient essentiellement, d'une part de l'évaporation de la Méditerranée dans les deux derniers jours avant l'épisode, et d'autre part du transport sur plus de 3-4 jours d'humidité provenant de sources lointaines extérieures à la Méditerranée – dans l'océan Atlantique et en Afrique tropicale. L'humidité de ces sources lointaines est transportée dans les 5000 premiers mètres de l'atmosphère. Elle descend davantage dans les basses couches en arrivant sur la Méditerranée, suivant des courants subsidents de grande échelle ou sous le vent du relief côtier. Elle se dirige ensuite vers les côtes françaises en suivant deux branches de transport privilégié au-dessus de la Méditerranée, au large des côtes espagnoles ou le long de la Sardaigne et de la Corse. Au cours de ce transport marin, l'évaporation de la Méditerranée contribue à humidifier davantage la masse d'air dans la couche limite. Cet apport de la Méditerranée est particulièrement important lorsqu'avant les épisodes, des conditions

anticycloniques prédominant, transportant plus lentement la masse d'air humide vers les côtes.

J'ai ensuite cherché à améliorer la description de l'humidité dans les modèles de prévision numérique du temps à échelle convective. Ces modèles, de résolution horizontale kilométrique, sont en effet les mieux à même de simuler correctement les phénomènes météorologiques convectifs tels que les épisodes de pluies intenses méditerranéennes. Cependant, pour cela, ils doivent disposer d'une description fine de l'état initial de l'atmosphère. Le flux d'alimentation en humidité des systèmes fortement précipitants méditerranéens provenant de la mer, il apparaît donc essentiel de disposer d'une bonne description initiale du champ d'humidité sur la Méditerranée. C'est ce que permet l'assimilation de données, en combinant de manière optimale des observations et une connaissance *a priori* de l'état de l'atmosphère (généralement, le résultat d'une prévision antérieure). Je me suis donc intéressée à l'assimilation des observations satellitaires, les seules mesures régulières de l'atmosphère au-dessus de la mer. Je me suis focalisée sur l'assimilation des mesures des nouveaux sondeurs infrarouges hyperspectraux IASI et AIRS qui permettent d'observer l'humidité jusqu'en basses couches et plus précisément qu'auparavant.

J'ai proposé et mis en œuvre de nouveaux opérateurs d'observation plus réalistes pour l'assimilation des mesures de ces sondeurs dans les modèles de prévision numérique à échelle convective. Ces nouveaux opérateurs agrègent l'information modèle contenue dans le champ de vue des instruments pour simuler « l'équivalent-modèle » de leurs observations. L'analyse statistique des simulations des équivalents-modèle IASI et AIRS avec les nouveaux opérateurs montre une amélioration dans la bande spectrale vapeur d'eau grâce au filtrage des gradients d'humidité de fine échelle qui ne peuvent pas être détectés par les instruments. Cette amélioration devrait notamment permettre d'assimiler davantage d'observations et ainsi impacter favorablement l'analyse de l'état initial de l'atmosphère. Les nouveaux opérateurs sont actuellement en cours d'implémentation dans le modèle opérationnel à échelle convective de Météo-France, AROME.

Les résultats de ces travaux de thèse sont particulièrement utiles pour préparer la campagne expérimentale HyMeX (Hydrological cycle in the Mediterranean EXperiment) qui porte sur l'observation du cycle de l'eau en Méditerranée avec un volet sur les épisodes de pluies intenses.