

Rapport de stage

Diagnostic de densité d'éclairs dans le cy46t1 du modèle Arome

Kamal EL KAROUNI  
Direction de la Météorologie Nationale

Encadré par

Yann SEITY  
CNRM/GMAP  
METEO-FRANCE

Du 03/09/2019 au 03/10/2019

## Introduction

Les orages sont des phénomènes météorologiques caractérisés par une forte variabilité spatiale et temporelle. De ce fait, il demeure très difficile de prévoir exactement leur localisation, leur intensité et leur durée de vie. Plusieurs efforts sont consentis afin d'évaluer la densité d'éclair de foudre en se basant sur les différentes espèces microphysiques. Des schémas de diagnostic d'éclair de foudre sont développés en se basant sur les rapports de mélange des différentes espèces microphysiques, y compris la grêle et le graupel issus des différents schémas microphysiques, utilisés actuellement dans les NWP.

Dans son article, Eugene W. McCaul Jr et al., a proposé trois approches pour l'estimation de densité d'éclair, lesquelles sont basées sur les différentes espèces microphysiques existantes dans un nuage. La première approche prend en compte la vitesse verticale et les rapports de mélange du graupel et de la grêle à un niveau de  $-15\text{ °C}$  degrés (région de phase mixte) :

$$F_1 = f[(wq_g)_m] \quad (1)$$

avec :

$F_1$  : taux de flash cumulé,  
 $w$  : vitesse verticale,  
 $q_g$  : rapport de mélange de graupel (et de la grêle),  
 $f$  : est un coefficient de dépendance fonctionnelle.

Et l'indice  $m$  attaché au flux impliquant une évaluation au niveau  $-15\text{ °C}$ , dans la région en phase mixte.

La deuxième approche consiste à prendre en considération plusieurs espèces microphysiques, qui en plus de la grêle et du graupel, tient compte de la neige et de la glace nuageuse :

$$F_2 = h \left[ \int \rho(q_g + q_s + q_i) \right] dz \quad (2)$$

avec :

$F_2$  : taux de flash cumulé.  
 $\rho$  : densité de l'air local,  
 $q_g$  : rapport de mélange de graupel (et de la grêle),  
 $q_s$  : rapport de mélange de la neige,  
 $q_i$  : rapport de mélange de la glace,  
et  $h$  est un coefficient de dépendance fonctionnelle.

Des études de calibration, basées sur les prévisions du modèle WRF et les observations issues du réseau foudre, ont montré que les paramètres  $f$  et  $h$  peuvent être pris comme une simple proportionnalité linéaire.

La dernière approche est une combinaison des deux précédentes explicitées antérieurement.

Cette paramétrisation a été utilisée dans le modèle Arome **cy40t1** par ZMAG et les résultats trouvés étaient encourageants, l'objectif du stage était d'apporter ce schéma de diagnostic de flash cumulé dans le cycle 46t1 et d'évaluer les prévisions d'impact foudre dans certaines situations convectives.

La première partie de ce rapport est consacrée aux différents changements effectués dans le code pour importer ce schéma dans le modèle Arome **cy46t1** ainsi que les différentes paramétrisations dans la nameliste.

La deuxième partie est dédiée à l'étude des résultats obtenus à partir des simulations sur deux situations convectives relatives aux 04 juin 2016 et 09 juillet 2019.

## **I. Apport du code du cycle 40t1 dans cy46t1 :**

La méthode de calcul de la densité des éclairs a été préparée par Christoph Wittmann, le code est réalisé par le ZMAG et est devenu opérationnel dans le cy40t1.

La liste des programmes récupérés est :

adiab/cpg\_dia.F90  
adiab/cpg.F90  
dia/cpcfu.F90  
fullpos/hpos.F90  
fullpos/sufpcfu.F90  
module/ptrgfu.F90  
module/yomafn.F90  
module/yomcfu.F90  
phys\_dmn/apl\_arome.F90  
phys\_dmn/diagflash.F90  
phys\_dmn/mf\_phys.F90  
setup/suafn1.F90  
setup/suafn2.F90  
setup/suafn3.F90  
setup/sucfu.F90

En ce qui concerne les namelistes dans cy40t1 :

namelist/namafn.nam.h  
namelist/namfpc.nam.h

Dans le cy46t1, les programmes modifiés après l'apport du schéma de calcul de la densité d'éclair sont :

adiab/cpg\_dia.F90  
adiab/cpg.F90  
dia/cpcfu.F90  
fullpos/endpos.F90  
fullpos/fpdiagflash.F90  
fullpos/hpos\_cfu.F90  
fullpos/hpos.F90  
fullpos/phymfpos.F90  
fullpos/sufpc.F90  
fullpos/sufpcfu.F90  
module/ptrgfu.F90  
module/yomafn.F90  
module/yomcfu.F90  
module/yomfa.F90  
module/yomfpc.F90  
phys\_dmn/apl\_arome.F90  
phys\_dmn/diagflash.F90  
phys\_dmn/mf\_phys.F90  
setup/suafn1.F90

setup/suafn2.F90  
setup/suafn3.F90  
setup/sucfu.F90  
setup/sufa.F90

En plus des namelistes dans cy46t1 :

namelist/namafn.nam.h  
namelist/namcfu.nam.h  
namelist/namfpc.nam.h

Le pack modifié se trouve sur prolix : /home/gmap/mrpm/elkarounik/pack/cy46t1bflash

La variable NMTFLASH, dans lanameliste (permet de choisir la méthode utilisée dans le calcul de la densité d'éclair ; selon la valeur de NMTFLASH dans NAMCFU, la méthode correspondante s'active dans le programme phys\_dmn/diagflash.F90.

➤ NMTFLASH=1

Basée sur la formule 1, codée dans le programme comme suit :

$$F_1 = CALFLASH1 * K_1 * ZT * 0.5 * (PQG_{lev-1} + PQG_{LEV} + PQH_{lev-1} + PQH_{LEV}) * VW$$

avec :

**CALFLASH1** : facteur de calibration pour la densité de l'éclair pour le moment pris égal à 1.

**K<sub>1</sub>** : facteur de calibration pour la densité de l'éclair défini dans *EUGENE W. MCCAUL JR. et All* ( $K_1=0,042$ ).

**ZT** : regroupe les tests nécessaires pour se situer à l'intérieur du nuage avec des températures inférieures à -15 °C.

**VW** : vitesse verticale.

**PQG**: rapport de mélange de graupel (g/kg)

**PQH**: rapport de mélange de la grêle (g/kg)

➤ NMTFLASH=2

Basée sur la relation 2 et codé dans le programme comme suit :

$$F_2 = CALFLASH2 * K_2 * ZT * (PDELP_{LEV}/RG) * (PQI_{LEV} + PQS_{LEV} + PQG_{LEV} + PQH_{LEV})$$

**CALFLASH2** : facteur de calibration pour la densité de l'éclair pour le moment pris égale à 1.

**K<sub>2</sub>** : facteur de calibration pour la densité de l'éclair définit dans *EUGENE W. MCCAUL JR. et All* ( $K_2=1.75E-5$ ).

**ZT** : regroupe les tests nécessaires de se trouver à l'intérieur du nuage avec des températures inférieures à -15 °C.

**PQI**: rapport de mélange de la glace (g/kg)

**PQS**: rapport de mélange de la neige (g/kg)

**PQG**: rapport de mélange de graupel (g/kg)

**PQH**: rapport de mélange de la grêle (g/kg)

**PDELP**: l'épaisseur de la couche (Pa)

➤ NMTFLASH=3

$$F_3 = 0.95 * F_1 + 0.05 F_2$$

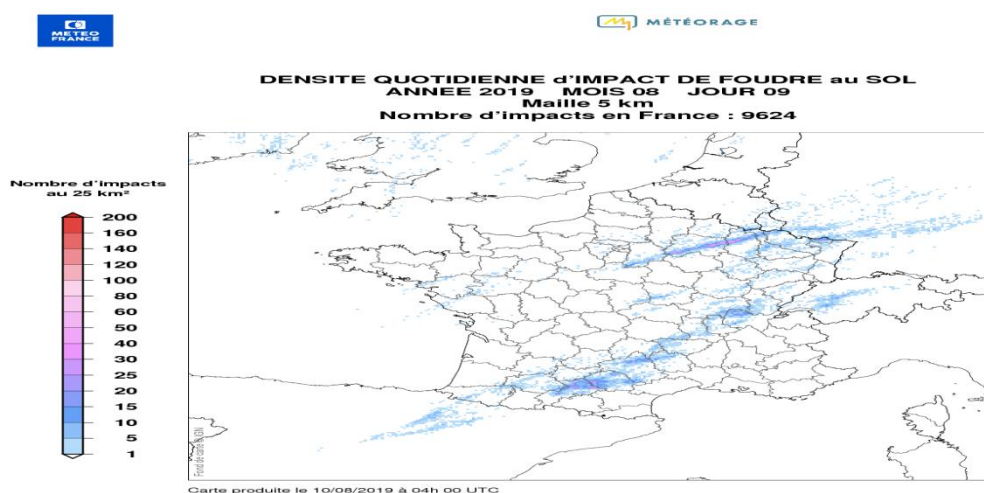
Après avoir importé le code du cy40t1 dans le cy46t1, des simulations ont été effectuées sur deux cas d'étude le 04/06/2016 sur un domaine AROME ALPE avec une résolution de 1.3km et le deuxième le 09/08/2019 sur le sud de la France avec une résolution de 1.25 km.

Pour trouver les bonnes valeurs des deux paramètres  $K_1$  et  $K_2$ , une étude doit être réalisée sur des situations convectives. Dans Mccaul et All, le paramètre  $K_1$  représente le coefficient de corrélation entre les impacts de foudre détectés et le maximum de flux de graupel prévu par le modèle sur un choix des situations convectives. Concernant le paramètre  $K_2$ , il représente le coefficient de corrélation entre les impacts foudre détectés et l'intégration de glace nuageuse.

NB : Une fois les deux paramètres  $K_1$  et  $K_2$  sont calculés, on aura plus besoin des deux autres CALFLASH1 et CALFLASH2

## II. Étude de cas : 09/08/2019

Concernant cette étude de cas, la situation météorologique était caractérisée par l'instabilité orageuse, localement importante, notamment sur le Sud et l'Est de la France. Durant cette journée, on remarque qu'il y a assez d'impacts de foudre, enregistrés sur le pays, et les régions d'Alpins ont les plus touchées par cette instabilité avec des valeurs dépassant les 25 impacts /25km<sup>2</sup> par endroit.



### *Impacts foudre observés durant la journée du 09 Aout 2019*

Le domaine de simulation était sur le Sud-Ouest de la France (figure 1). Qui a été intéressé par l'instabilité orageuse avec des impacts localement importants, dépassant parfois les 40 impacts par 25Km<sup>2</sup>, enregistrés par METEORAGE dans les régions de Haut Garonne et Tarnet Garonne.

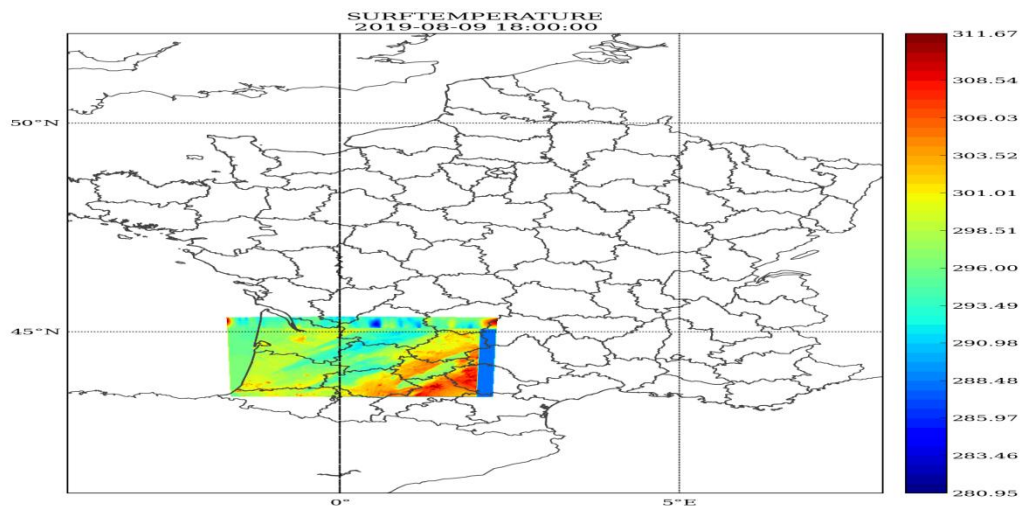


Figure 1: champs de température à la surface.

Durant la journée du 09/08/2019, le champ de diagnostic de la grêle issue du modèle au cours de l'après-midi à partir de 14h, montre qu'il y a une risque très importante d'avoir de la grêle moyenne sur les régions de haute Garonne et le Tarnet Garonne avec des quantités qui pourront atteindre les 35 kg/m<sup>2</sup>. Aussi, on note un faible risque d'avoir de petits grêlons sur la moitié Ouest (figure 2).

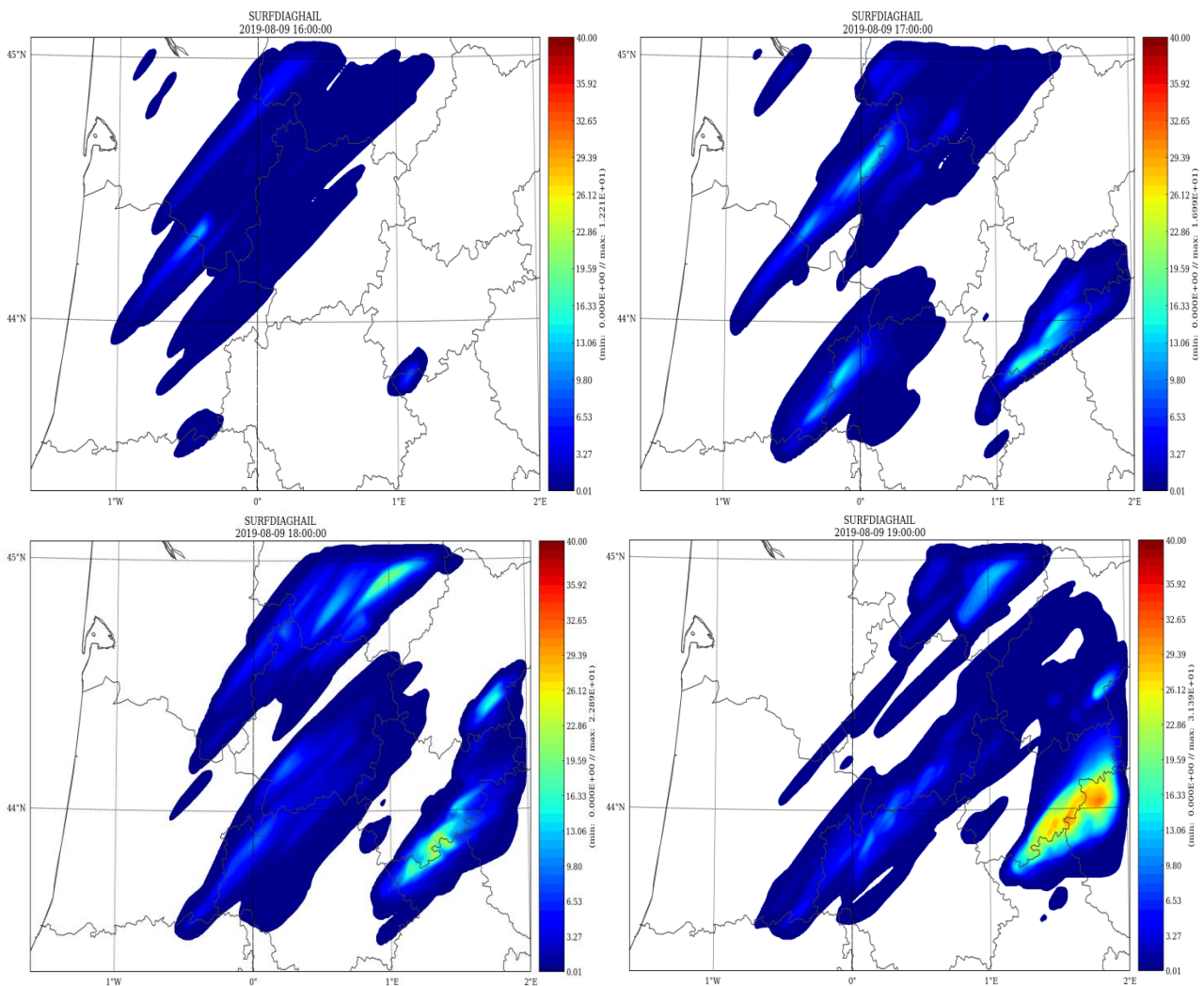
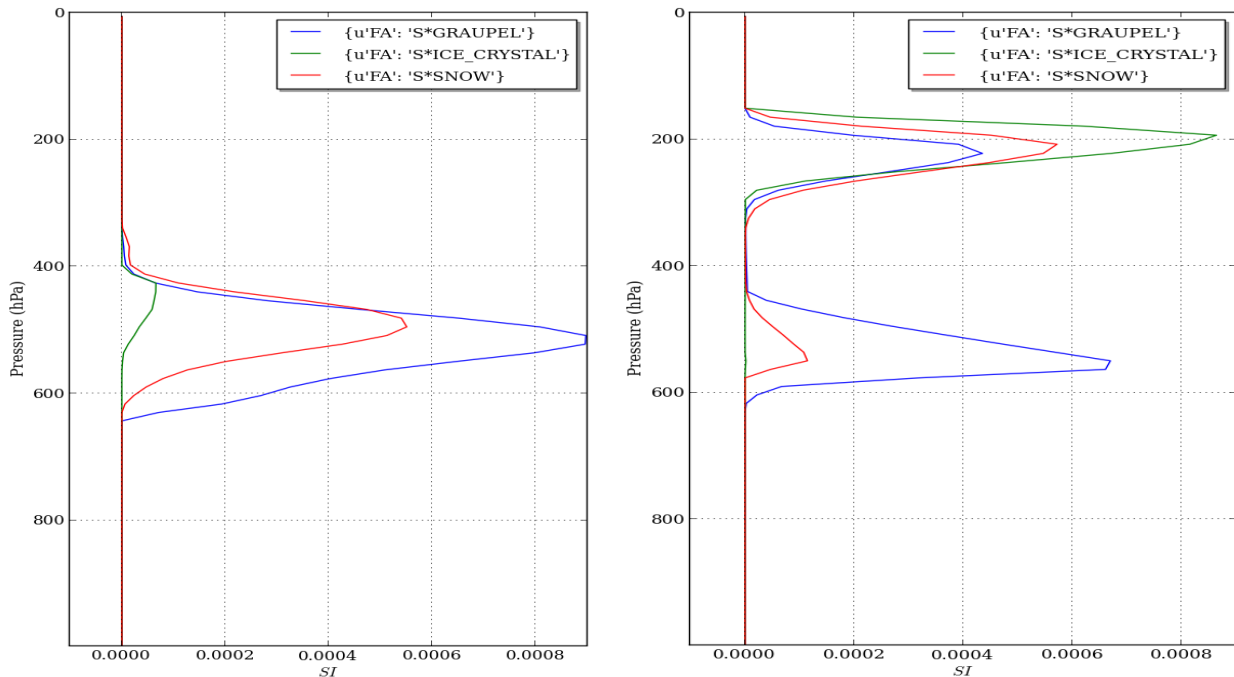


Figure 2: Grêle prévue à la surface à 16h (haut à gauche), 17h (haut à droite), 18 (bas à gauche) et à 19h (bas à droite) le 09/08/2019.

En examinant les profils verticaux des rapports de mélanges des différentes espèces microphysiques, et de la température (figures 3 et 4), on constate que le modèle a prévu du graupel, des cristaux de glace ainsi que la neige mêlée entre 17h et 18h dans les couches supérieures entre 600et 400hpa. On remarque aussi la présence des espèces microphysiques à des températures assez basse (-15 °C) en haute altitude, ce qui permet de réaliser les tests utilisés pour avoir le diagnostic de flash cumulé. En plus, la température est relativement élevée en surface, ce qui a pu accentuer de plus l'instabilité, on note que l'inversion de température observée au niveau de la surface est remarquée juste pour les échéances de 17h et 18h.

*On note que ces profils verticaux ont été faits pour le point où le modèle a prévu le maximum des impacts foudres prévues.*



*Figure 3: Profil vertical des espèces microphysiques 17 h (à gauche) et 18h (à droite)*

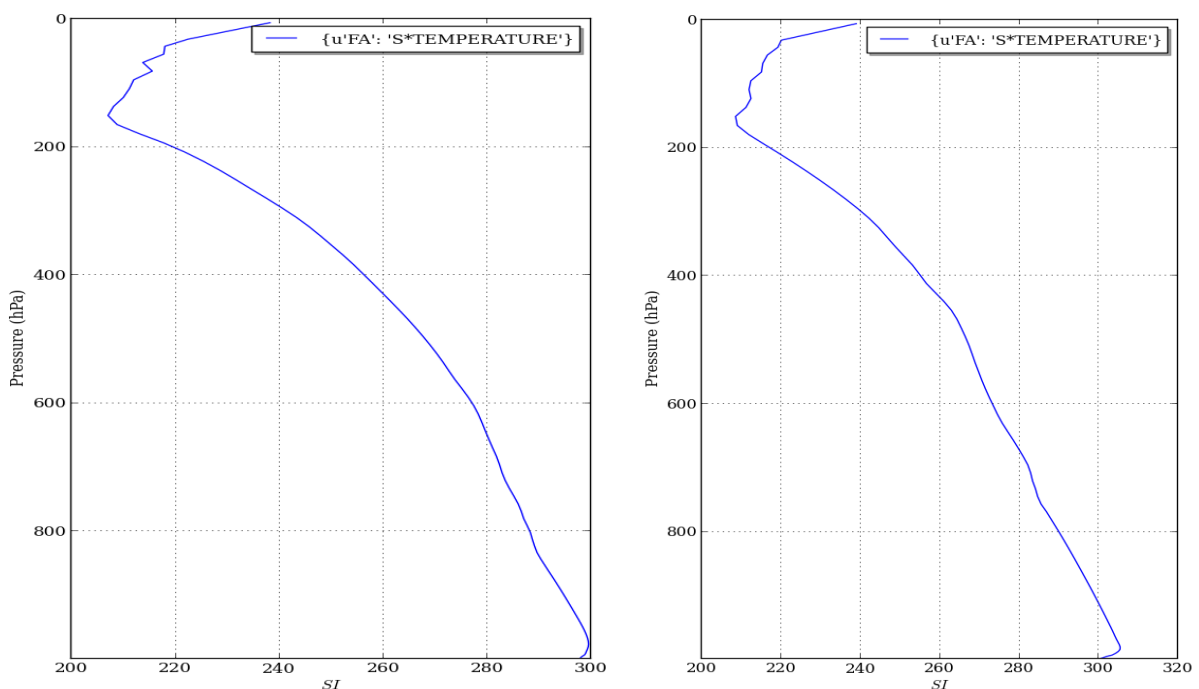


Figure 4 : Profil vertical de température à 17 h (à gauche) et 18h (à droite).

✓ Pour NMTFLASH=1 c'est à dire qu'on active l'utilisation de la formule (1) basée sur la vitesse verticale, la grêle et le graupel.

L'analyse des prévisions de flash cumulé par le modèle montre que les premiers impacts de foudre sont prévus dès 16h avec une densité relativement importante entre 18h à 19h et n'excédant pas les 6 impacts par heure par maille (figure 5). Si on la compare avec l'observation, on constate qu'on a, en générale, une bonne localisation des impacts prévus, avec un maximum, qui se situe sur la haute Garonne alors que les impacts observés se situent entre la haute Garonne et le Tarnet Garonne.

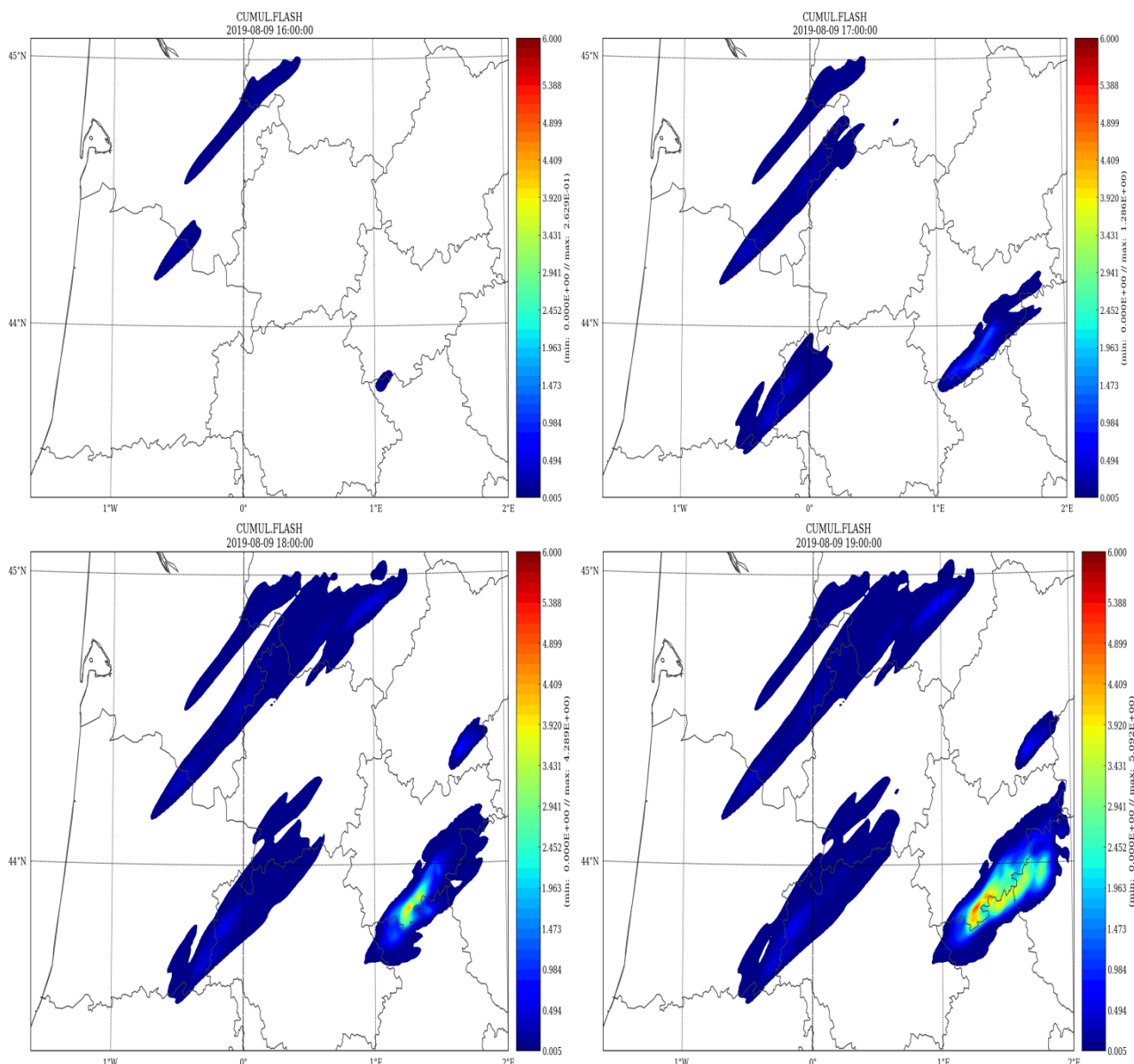


Figure 5 : densité d'impact cumulé prévue par le modèle à 16h (haut à gauche), 17h (haut à droite), 18 (bas à gauche) et à 19h (bas à droite) le 09/08/2019.

L'estimation des impacts foudre observés, durant cette journée du 09/08/2019, sur le domaine du modèle était de l'ordre de 2481 et le nombre d'impacts prévus par le modèle était de l'ordre de 2118.



- ✓ Pour NMTFLASH=2 basée sur la formule 2 :  
Les résultats trouvés donnent de faibles impacts en générale, sur presque l'ensemble du domaine, avec toutefois une légère accentuation, qui ne dépasse pas les 2 impacts par maille, sur la région de Sud-Est, ce qui reste loin de l'observation (figure 6).

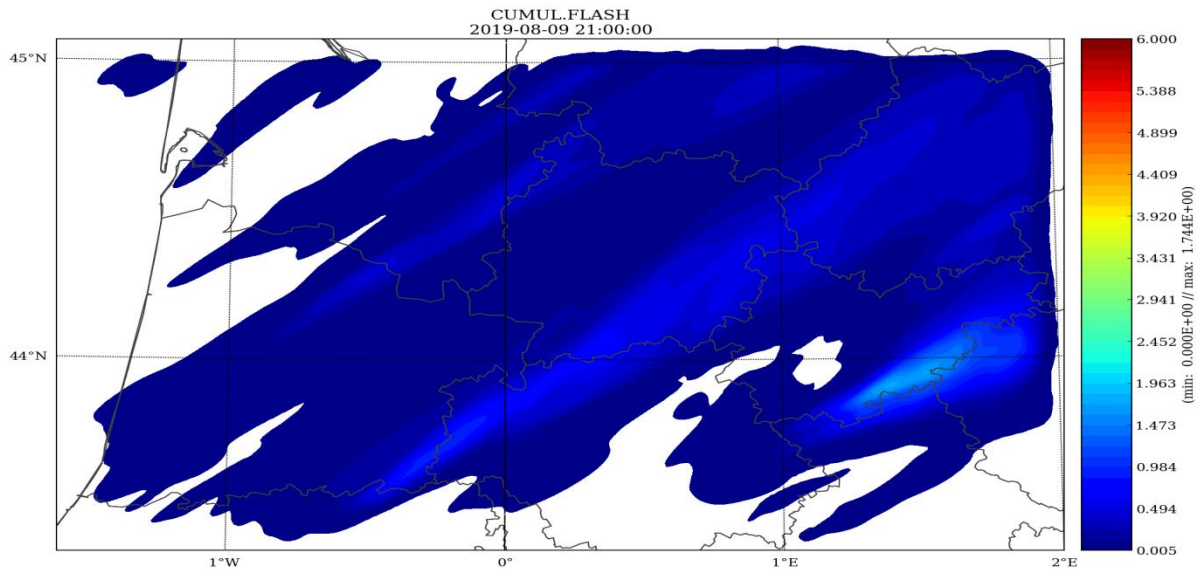
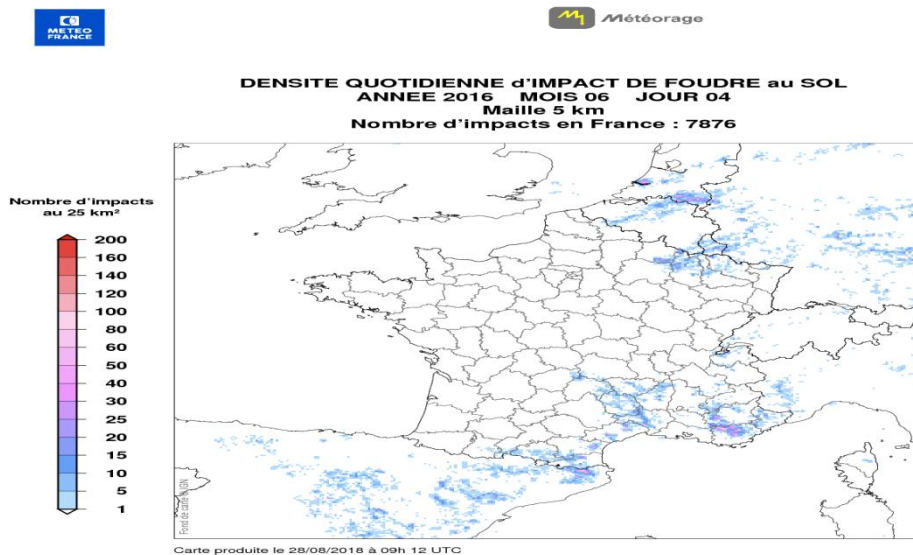


Figure 6: densité d'impact cumulée prévue par le modèle pour 21h.

### III. Étude de cas : 04/06/2016

Durant cette journée, le Sud-Est de la France a été intéressé par des développements des amas nuageux instables. Une forte instabilité locale est remarquée sur l'extrême Sud-Est du pays avec plus d'une quarantaine d'impacts observés par 25 Km<sup>2</sup>(figure ci-dessous).



Impacts foudre observés durant la journée du 04 Juin 2016

La simulation est effectuée en utilisant le modèle Arome sur les Alpes avec une résolution de 1.3 km (figure 7). Durant cette journée l'instabilité était importante sur les régions des reliefs Alpains.

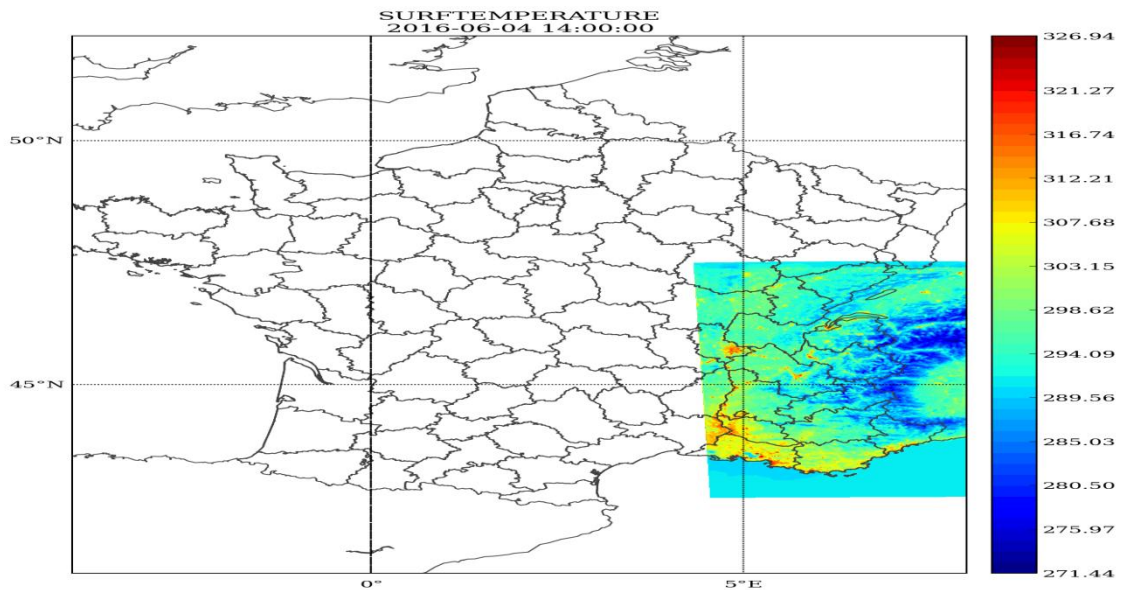


Figure 7: champs de température à la surface.

En analysant le champ de graupel cumulé en surface prévu par le modèle, durant l'après midi, on remarque qu'il y a des quantités relativement importantes du graupel pendant l'après-midi sur les reliefs, ces quantités ont atteint  $14 \text{ kg/m}^2$  dans certaines zones, comme le cas des Alpes à l'ouest de la Suisse (figure 8). En ce qui concerne le diagnostique de la grêle, le modèle a prévu un risque importante d'avoir de la grêle moyenne sur quelques endroits sur les reliefs et une faible risque sur une large zone à l'ouest (figure 9).

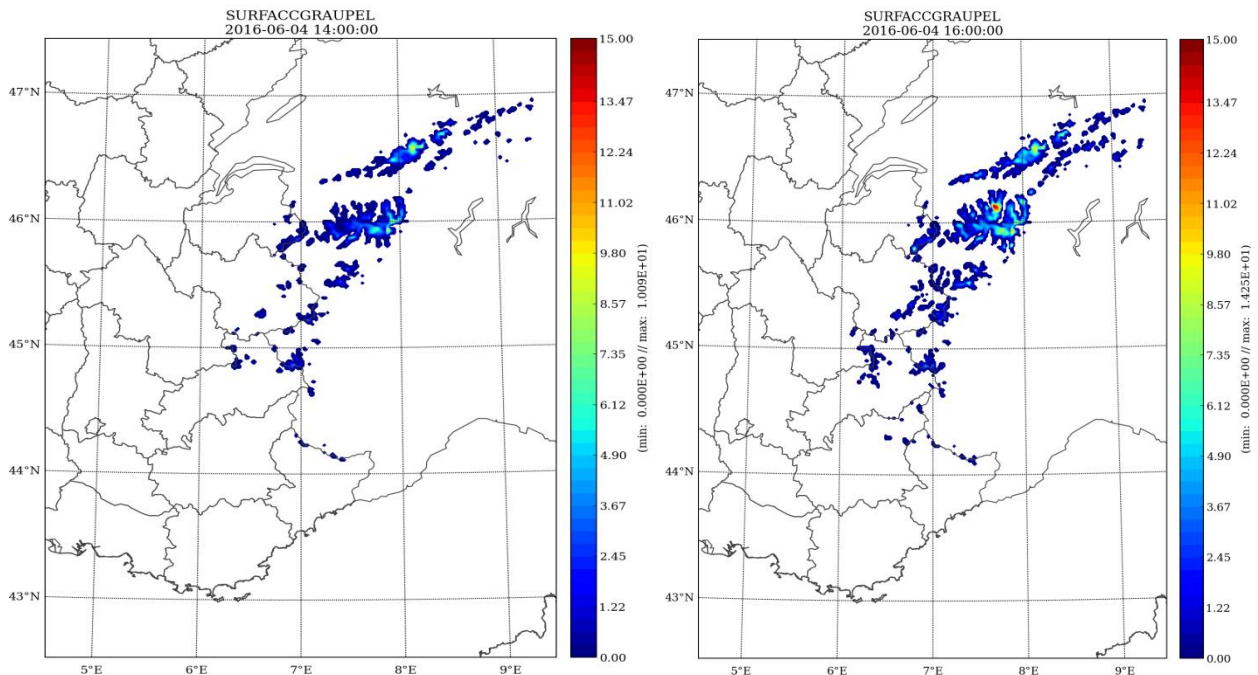


Figure 8 : Graupel cumulé à la surface à 14 (à gauche) et à 16h.

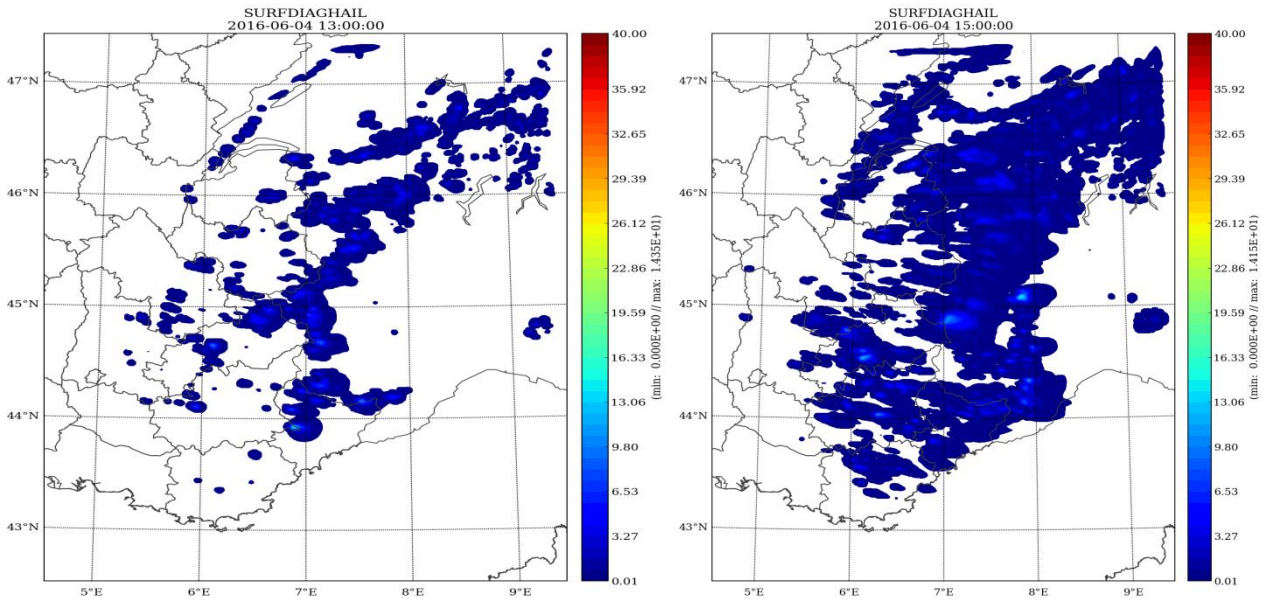


Figure 9 : Grêle à la surface à 13 (à gauche) et à 15h.

Le profil vertical des rapports de mélange, des différentes espèces microphysiques (figures 10), ainsi que celui de la température, montre l'existence de la grêle et du graupel sur une étendue verticale importante de 700hPa jusqu'au 200hPa, avec un maximum entre 600hPa et 500 hPa où la température était inférieure à moins 15 °C, ce qui montre que ces amas nuageux prévus ont une extension verticale très importante.

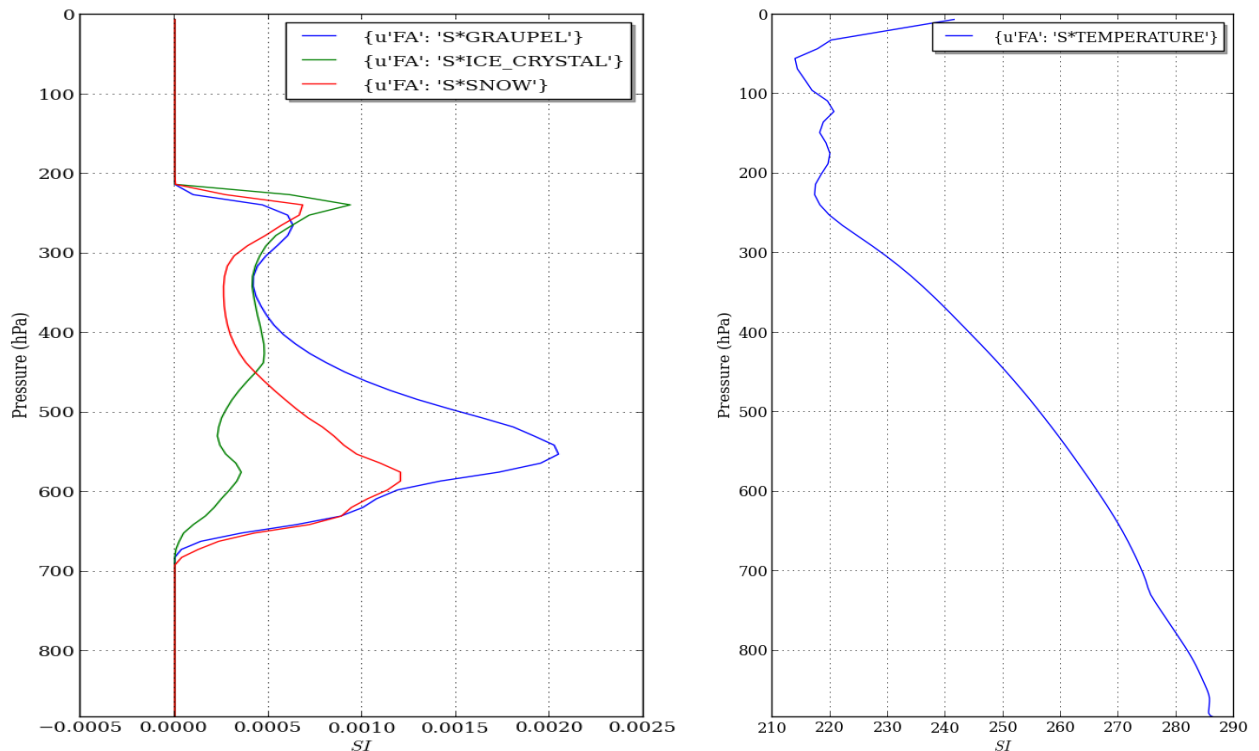


Figure 10: Profil vertical des espèces microphysiques et de température à 13 H.

✓ Pour NMTFLASH=1 : on active l'utilisation de la formule (1) basée sur la vitesse verticale et le graupel.

On remarque que le modèle a prévu des impacts foudre sur le Sud-Est de la France, avec un maximum d'impacts sur les Alpes (de l'ordre de 2.5 par maille) (figure 10). On remarque que durant l'après-midi, l'activité orageuse prévue par le modèle devient plus importante au fil des heures. En comparant les prévisions de flash cumulé avec les impacts de foudre détectés par METEORAGE, on note une légère différence en terme de localisation. En effet, l'activité orageuse importante a été observée dans la région du VAR alors que le modèle a prévu plus de l'activité sur les régions des Alpes.

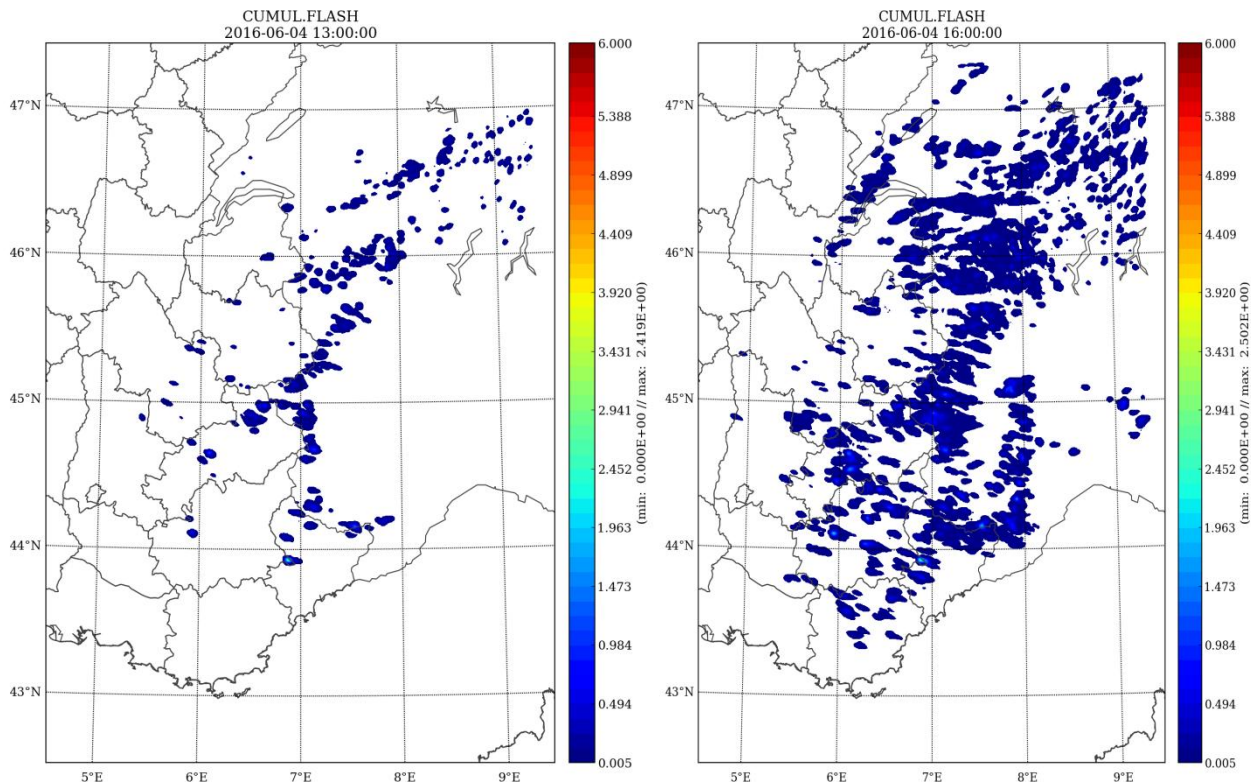


Figure 11 : densité d'impact cumulée prévue par le modèle pour 13h (à gauche) et pour 16h (à droite).

- ✓ Pour NMTFLASH=2 basée sur la formule 2 :  
Les prévisions issues du modèle donnent de faibles densités d'éclair sur presque l'ensemble du domaine avec des valeurs ne dépassant pas un impact par heure/par maille, ce qui reste loin de la réalité (figure 12).

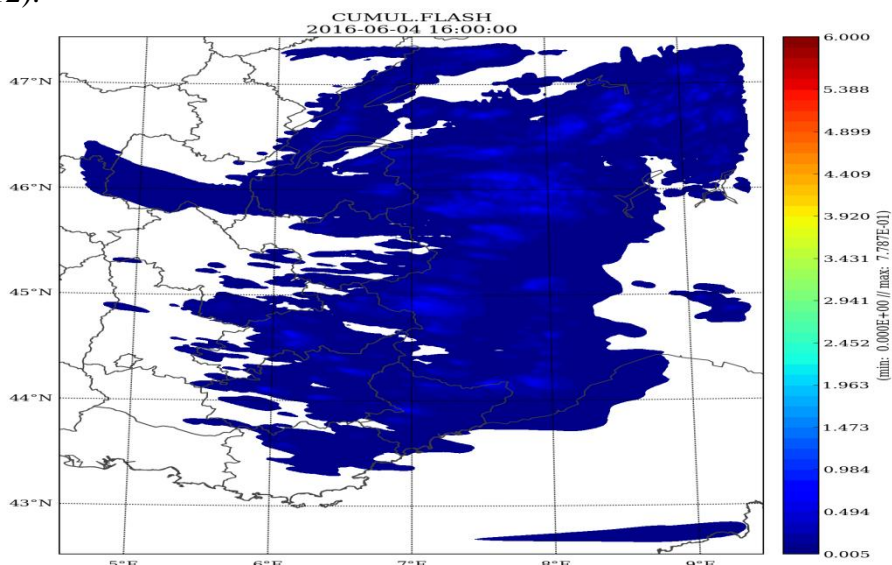


Figure 12 : densité d'impact cumulée prévue par le modèle pour 16h

## Conclusion

Durant ce stage, il était question d'importer le schéma de diagnostic de flash cumulé dans le cycle 46t1. Ce schéma est mis en œuvre dans le cycle 40t1 par Christoph Wittmann dans ZMAG, Le code est basé sur le travail d'Eugene W. McCaul Jr et all (2009).

Après avoir introduit les différents changements nécessaires dans le code, une évaluation a été effectuée sur deux situations durant lesquelles l'instabilité orageuse a été observée.

Une paramétrisation a été réalisée dans le modèle afin de permettre le choix de la formule de calcul du diagnostic de flash. Celle-ci est issue des trois approches proposées par Eugene W. McCaul Jr et All (2009), lesquelles sont basées sur une étude statistique.

La première permet d'estimer le nombre d'impacts en se basant sur la vitesse verticale, le rapport de mélange du graupel et celui de la grêle, la deuxième reliant directement le nombre d'impacts avec les rapports de mélange des différentes espèces microphysiques alors que la troisième est une pondération entre les deux formules.

Les résultats trouvés pour les deux cas d'études, montrent que la première formule permet de mieux prévoir, en termes de densité et de localisation, les impacts foudre. Néanmoins, une étude de calibration doit être effectuée pour chaque région (ou pays) pour améliorer ces résultats, cela concerne les variables ZK1 et ZK2 prises directement des travaux effectués par Eugene W. McCaul Jr et all (2009).