

# Rapport de Stage

## **Évaluation des modifications sur la Microphysique de AROME**

Wafa KHALFAOUI  
INM, Tunisie

Encadrée par  
Yann SEITY

CNRM/GMAP  
METEO-FRANCE

01/09/2015 -28/09/2015

## **Sommaire**

### **Introduction**

#### **I. Impacts des modifications introduites à ICE3 & ICE4**

1. Cadre général
2. Étude de cas - 13/08/2015
3. Étude de cas - 31/08/2015

#### **II. Ajout de diagnostics pour ICE4 & Comparaison avec le réseau d'observations de grêlimètres**

1. Cadre général
2. Modifications du Code
3. Étude de cas - 28/06/2015
  - 3.1 Comparaison avec les observations
  - 3.2 Analyse DDH

### **Conclusions & Perspectives**

### **Référence**

---

### ***Introduction***

Une dépendance de la microphysique au pas de temps a été observée sur des simulations AROME et Méso-NH en particulier pour les champs microphysiques cumulés à la surface, dont notamment la grêle. Afin de réduire cette dépendance au pas de temps, des modifications ont été apportées au code par Sébastien RIETTE et ont été testées principalement en 0 D (S. RIETTE 2014).

L'objectif de ce stage est d'évaluer ces modifications sur des situations météorologiques marquées par d'importantes chutes de grêles afin d'étudier l'impact de ces changements sur le comportement du modèle. Cette évaluation s'articule sur deux parties.

La première partie sera consacrée à l'étude de l'impact des modifications en comparant une expérience avec les modifications relatives à ICE3, une expérience avec l'activation de ICE4 et une expérience de référence au cours des deux situations orageuses du 13/08/2015 et du 31/08/2015.

La deuxième partie sera dédiée à l'ajout de diagnostics relatifs à la grêle afin de pouvoir vérifier, par rapport aux données d'observations, les prévisions du modèle après les modifications introduites lors de la situation orageuse du 28/06/2015. On mènera aussi dans cette partie une analyse DDH pour les différentes expériences.

## I. Impacts des modifications introduites à ICE3 & ICE4

### 1. Cadre général

Afin d'évaluer les modifications relatives à ICE3 et ICE4, on a lancé deux simulations sur deux dates récentes (13/08/2015 et 31/08/2015) qui ont été marquées par des chutes de grêles. Pour chaque simulation, on a lancé une expérience avec ICE3 modifié, une expérience en activant ICE4 et une expérience de référence avec le modèle Arome opérationnel pour pouvoir comparer les résultats. La table 1 ci-après présente les expériences utilisées pour les deux simulations.

Table 1: Expériences utilisées pour les simulations du 13 et 31 août 2015

	<i>Expériences</i>		<i>Binaires</i>
	<i>Dates</i>		
	<i>13/08/2015</i>	<i>31/08/2015</i>	
<i>Référence</i>	69Z7	69Z8	al40_arome-op2HR.35
<i>ICE3 modifié</i>	69YR	7EBE	Sur beaufix:
<i>ICE4 activé</i>	7E94	7EBF	/home/gmap/mrpm/khalfaouiw/pack/ICE4.09/bin/MASTER

Vu que le champ de grêle ne figure que dans l'expérience où on a activé ICE4, on a calculé et comparé pour les trois expériences le maximum sur la journée du champ diagnostic "SURFDIAGHAIL" qui renseigne sur le contenu en graupel intégré sur la verticale à une échéance donnée. Les scripts qui ont permis ce calcul se trouvent dans hendrix sous le path /home/khalfaouiw/AROME\_MICROPHYS/scripts.tar :

- *diag\_extract* : extraction pour chaque échéance de 'SURFDIAGHAIL' et sauvegarde sous format netcdf
- *diag\_max.py* : calcul du maximum de SURFDIAGHAIL (DIAG\_MAX) sur toute la journée

Les épisodes de chutes de grêles ont été accompagnés par des rafales de vent, et comme le modèle Arome opérationnel a été en mesure de bien prévoir ces rafales, on a voulu voir ce que ICE3 modifié et ICE4 ont prévu en terme de rafales. Pour ce faire, on a calculé le maximum de rafales sur la journée pour les trois expériences. Les scripts nécessaires à ce calcul se trouvent dans hendrix sous le path /home/khalfaouiw/AROME\_MICROPHYS/scripts.tar :

- *raf\_extract* : extraction pour chaque échéance des champs 'CLSU.RAF.MOD.XFU' et 'CLSV.RAF.MOD.XFU' et sauvegarde sous format netcdf
- *raf\_max.py* : calcul du maximum de rafales (RAF\_MAX) sur toute la journée

## 2. Étude de cas - 13/08/2015

La situation du 13 août 2015 a été marquée par de forts systèmes orageux; principalement sur la Normandie, le Nord et la Languedoc; qui ont produit de fortes précipitations, des chutes de grêles et de fortes rafales de vent qui ont pu causé par endroit des dégâts matériels (toitures endommagées, inondations).

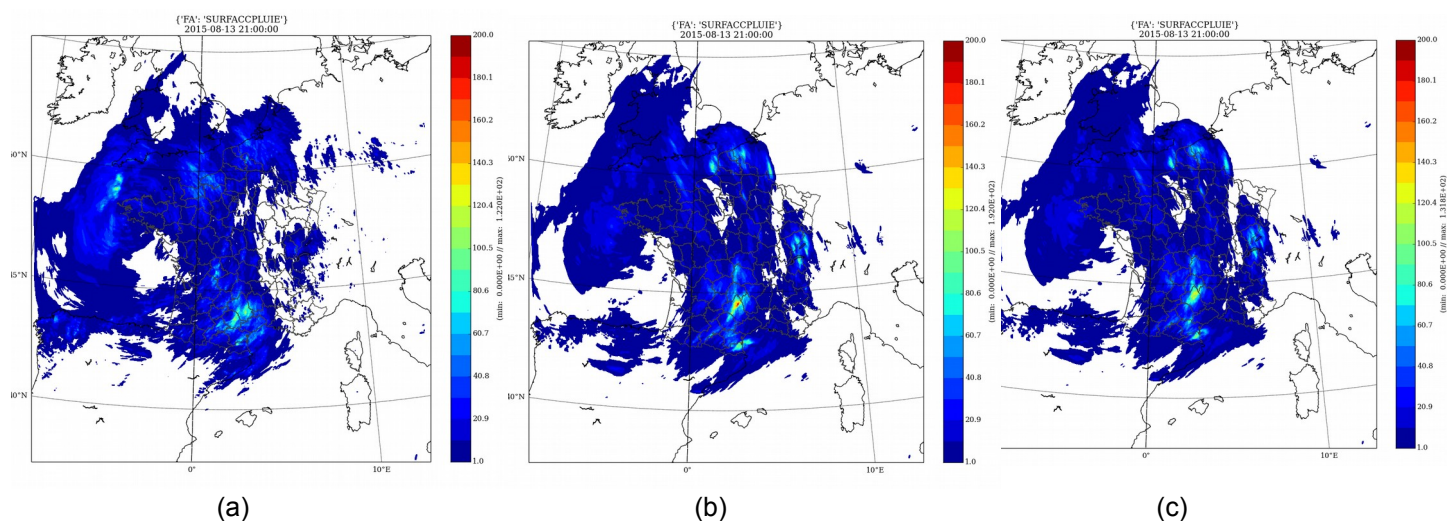


Figure1: Pluie cumulée de 3h à 21h le 13/08/2015 de Arome opérationnel (a), ICE3 modifié (b) et ICE4 (c)

ICE3 modifié a prévu des précipitations plus importantes (maximum de 192 mm) que ICE4 (maximum de 132 mm) et Arome opérationnel (maximum de 122 mm) surtout sur le Sud (Figure 1). Pour les rafales de vent, bien qu'on a des différences au niveau de la localisation entre ICE3 modifié/ICE4 et Arome opérationnel, les trois expériences donnent des maxima avoisinant les 130 km/h (Figure 3.2).

Concernant DIAG\_MAX, ICE3 modifié et ICE4, qui ont des résultats très proches en terme de localisation et d'intensité, surestiment DIAG\_MAX (presque le double) par rapport à Arome opérationnel (Figure 3.1). Il semble y avoir beaucoup plus de graupels dans la version modifiée d'ICE3 que dans la référence.

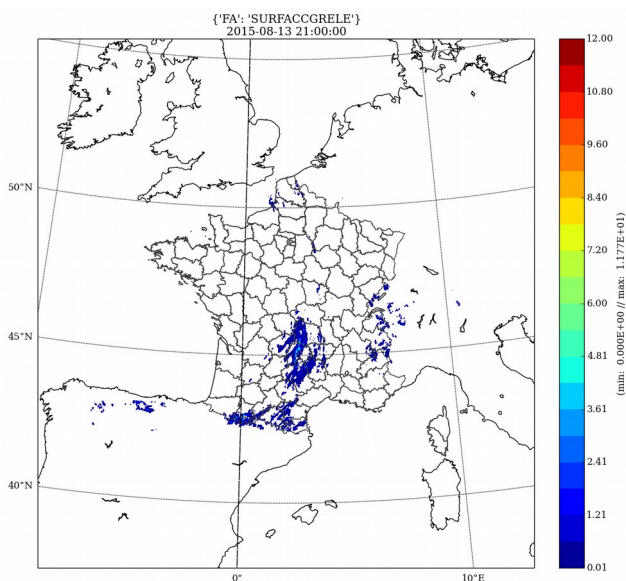
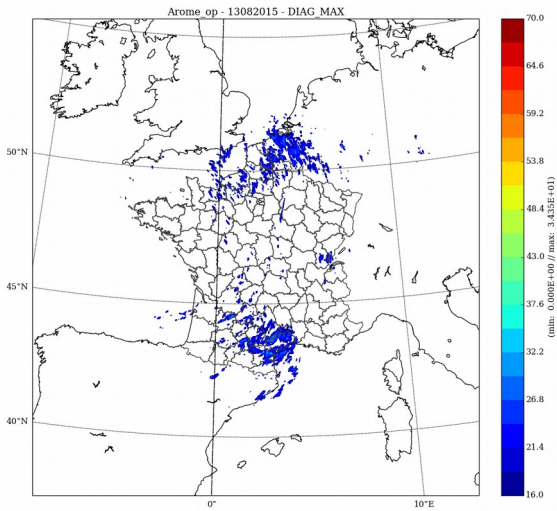
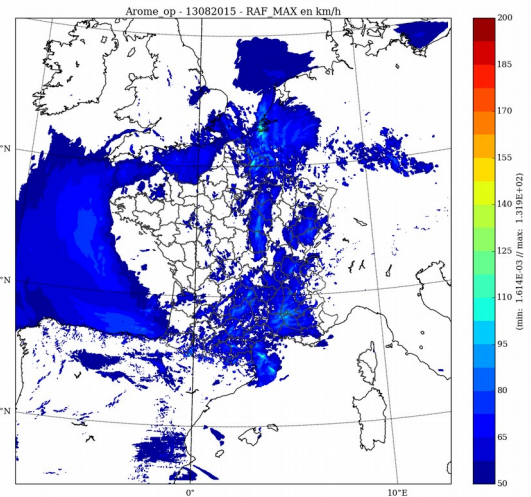


Figure 2: Grêle cumulée à la surface de 3h à 21h le 13/08/2015 dans ICE4

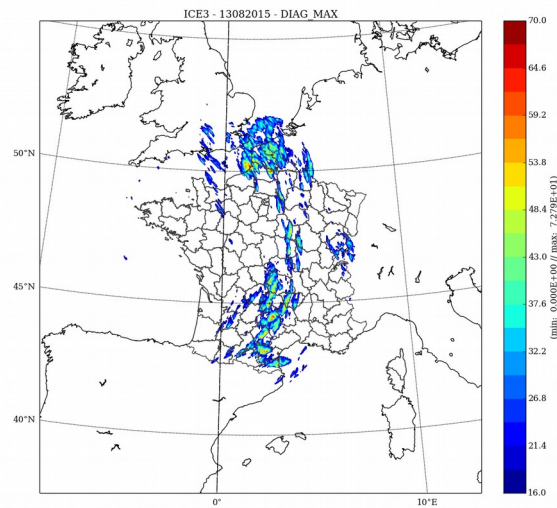
(1.a)



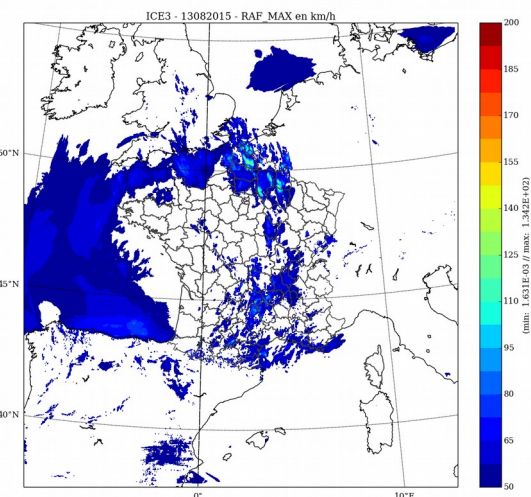
(2.a)



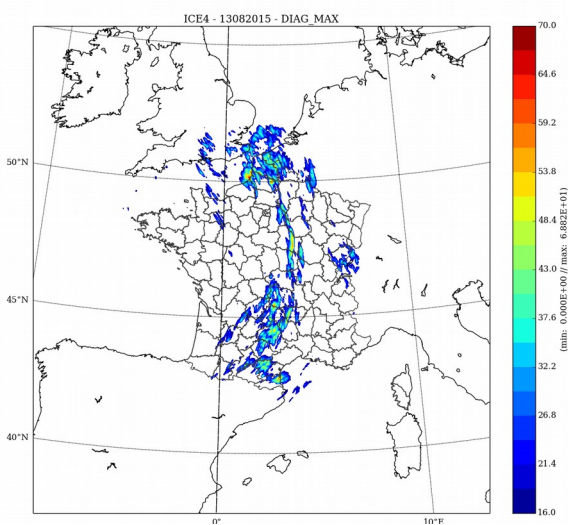
(1.b)



(2.b)



(1.c)



(2.c)

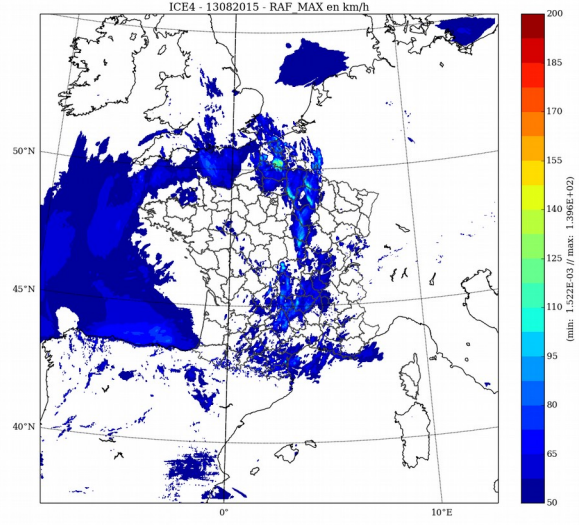


Figure 3: DIAG\_MAX (1) et RAF\_MAX (2) (P18 du réseau3h) à 21h le 13/08/2015 de Arome opérationnel (a), ICE3 modifié (b) et ICE4 (c)

### 3. Étude de cas - 31/08/2015

La situation du 31 août 2015 a été caractérisée également par de forts systèmes orageux qui ont traversé l'Aquitaine, le Midi-Pyrénées, Languedoc-Roussillon, et l'Auvergne. Ces orages ont été accompagnés par de fortes précipitations, des chutes de grêles et de fortes rafales de vent qui ont causé par endroit des dégâts matériels et humains notamment dans la région de Montauban.

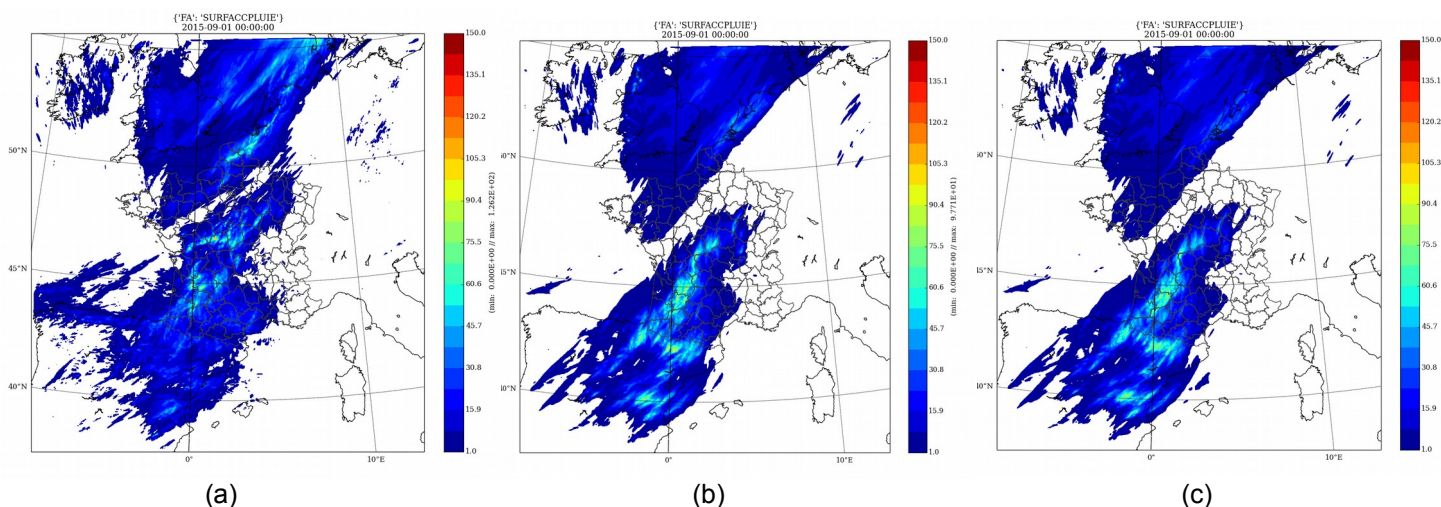


Figure 4: Pluie cumulée de 6h à 24h le 31/08/2015 de Arome opérationnel (a), ICE3 modifié (b) et ICE4 (c)

Pour la pluie cumulée en surface, bien que Arome opérationnel a prévu un maximum plus élevé (un maximum égal à 126 mm) par rapport à ICE3 modifié (un maximum égal à 98 mm) et à ICE4 (un maximum égal à 85 mm), il n'en demeure pas moins que ces deux derniers (ICE3 modifié et ICE4) ont donné des quantités plus importantes en moyenne (Figure 4). Les rafales de vent les plus intenses ont été prévues dans le sud-ouest par ICE4 avec un maximum de 200 km/h contre 180 km/h avec ICE3 modifié et 150 km/h avec Arome opérationnel (Figure 6.1).

Comme ça a été le cas pour la situation du 13/08/2015, ICE3 modifié et ICE4 ont donné des résultats similaires en intensité et en localisation et ont prévu presque deux fois plus de DIAG\_MAX que Arome opérationnel (Figure 6.1). Les différences remarquables de ICE3 modifié et ICE4 par rapport à Arome opérationnel, surtout en ce qui concerne DIAG\_MAX, incitent à investiguer les processus qui ont causé de tels écarts. Ainsi, pour la simulation du 28/06/2014, on a lancé des DDH afin d'identifier les processus qui étaient à l'origine de ces différences.

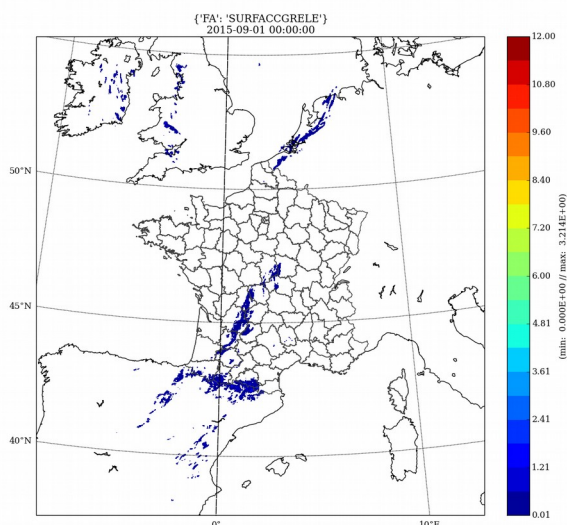
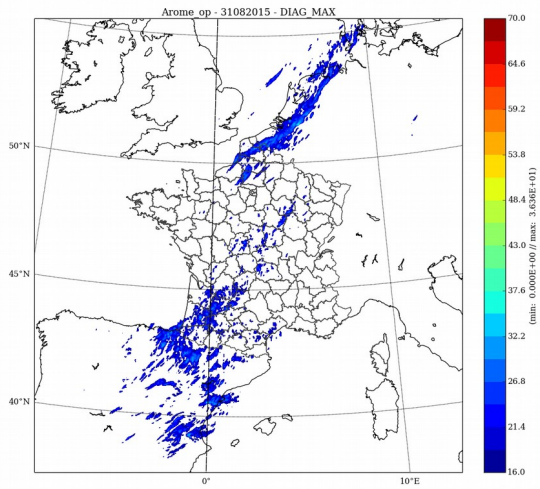
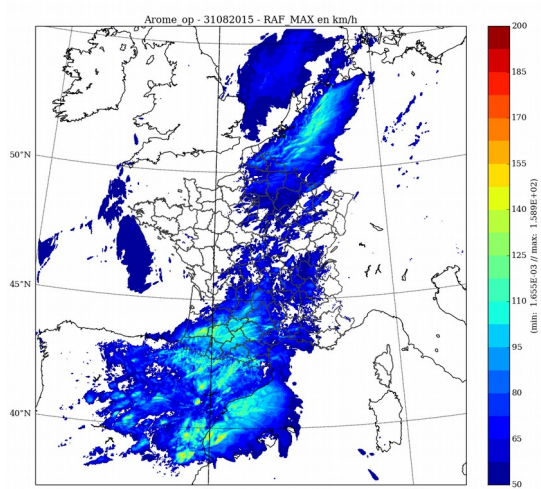


Figure 5: Grêle cumulée à la surface de 6h à 24h le 31/08/2015 dans ICE4

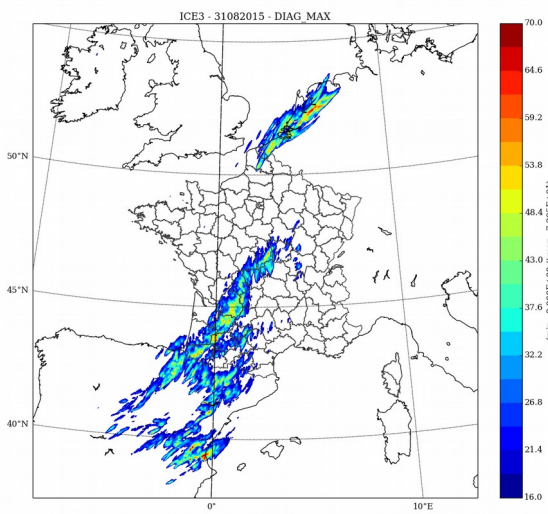
(1.a)



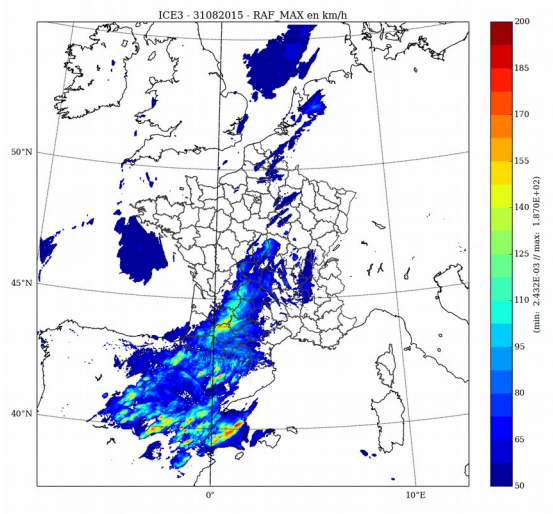
(2.a)



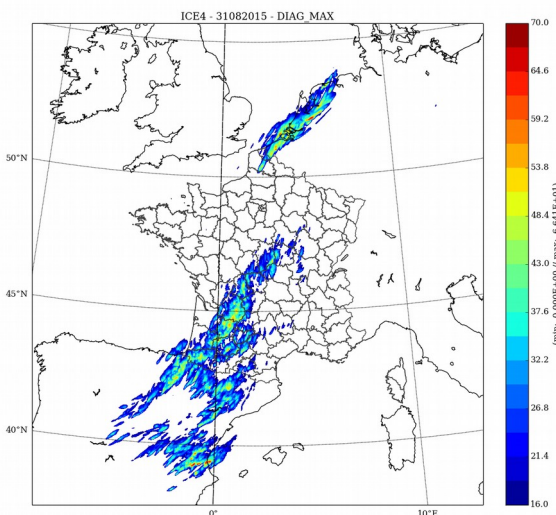
(1.b)



(2.b)



(1.c)



(2.c)

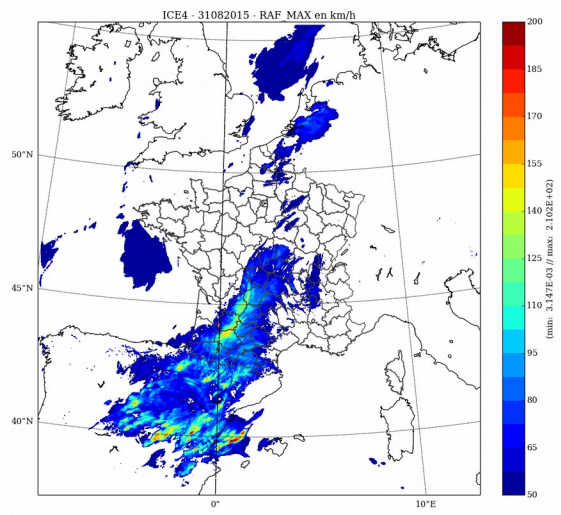


Figure 6: DIAG\_MAX (1) et RAF\_MAX (2) (P18 du réseau 6h) à 24h le 31/08/2015 de Arome opérationnel (a), ICE3 modifié (b) et ICE4 (c)

## II. Ajout de diagnostics pour ICE4 & Comparaison avec le réseau d'observations de grêlimètres

### 1. Cadre général

Pour pouvoir comparer les résultats de nos simulations avec les données d'observations de grêlimètres, on a dû intégrer dans le code des diagnostics pour calculer le nombre, l'énergie cinétique, le diamètre, la vitesse et la masse de la grêle.

Les données d'observations de grêlimètres utilisées ont été fournies par l'ANELFA. Vu la contrainte de la disponibilité des observations, on a dû lancer la simulation sur la date du 28/06/2014.

La table 2 ci-après présente les expériences avec DDH et les expériences avec ajout de diagnostics.

Table 2: Expériences utilisées pour les simulations du 28 juin 2014

28/06/2014	Expériences	Binaires	INPUTS
Expériences avec DDH	Référence	69ZX	al40_arome-op2HR.35
	ICE3 modifié	69ZW	Sur beaufix : /home/gmap/mrpm/khalfaouiw/ pack/ICE4_modified.09/bin/MA STER
	ICE4 activé	69ZU	Sur beaufix: /home/gmap/mrpm/khalfaouiw/ pack/ICE4_DIAGS_MAX.09/bi n/MASTER
Expériences avec Diagnostics	ICE4 activé	69ZZ	

Couplage : 68YY \*  
Analyse+ IAU : 68YW \*  
(\* Expériences faites par Pierre BROUSSEAU)

Pour les DDH, les graphiques ont été fait à 17H, l'heure où on a commencé à enregistrer des chutes de grêles importantes (Pour le 28/06/2015, les enregistrements de chutes de grêles ont commencé à 16h20 et ont fini à 20h30)

### 2. Modifications du Code

Les modifications de code nécessaires à l'ajout de diagnostics ont été prises d'une version du code Meso-NH fournie par Christine LAC. Les routines qui ont été modifiées sont schématisées dans la Figure 7. Les diagnostics ajoutés sont présentés dans la table 3.

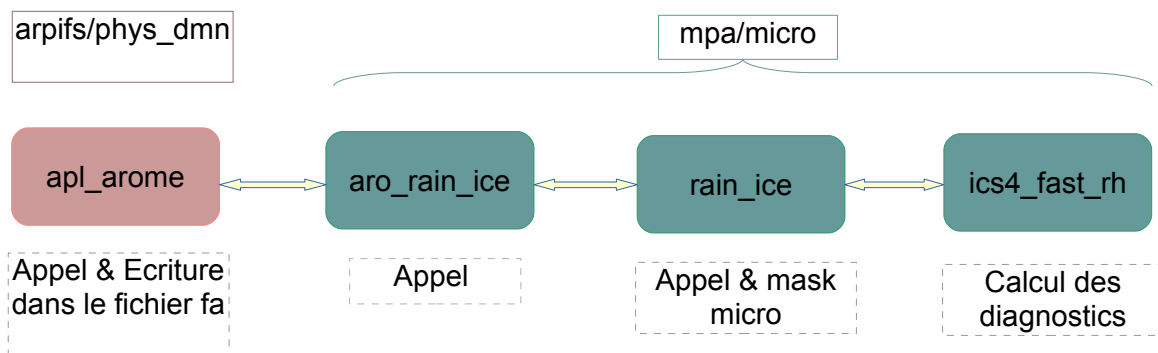


Figure 7 : Schéma des routines modifiées



Table 3: Récapitulatifs des diagnostics ajoutés au code

Diagnostiques	Champs en output	Définitions
PNH	S001HAILDIAGS	nombre total de la grêle
PNH5	S002HAILDIAGS	nombre des grêlons dont le diamètre > 5 mm
PECH	S003HAILDIAGS	énergie cinétique totale
PECH5	S004HAILDIAGS	énergie cinétique des grêlons dont le diamètre > 5 mm
PDH	S005HAILDIAGS	diamètre
PDH5	S006HAILDIAGS	diamètre des grêlons > 5 mm
ZVH	S007HAILDIAGS	vitesse
ZMH5	S008HAILDIAGS	Masse des grêlons dont le diamètre > 5 mm

### 3. Étude de cas - 28/06/2015

#### 3.1 Comparaison avec les observations

On a dû cumuler sur les pas de temps (dans la routine apl\_arome) les variables se rapportant au calcul de nombre, masse et énergie cinétique (PNH,PNH5,PMH5,PECH et PECH5) pour avoir des quantités comparables aux données d'observations.

Comme les données d'observations dont on dispose ne couvrent que la région Sud, on a extrait les outputs sur un domaine s'étalant de 42,5 à 48,5 Nord et de -1,5 à 6 Est et qui comprend tous les grêlimètres qui ont enregistrées des chutes de grêle le 28/06/2014.

Pour les trois diagnostics (nombre, masse et énergie cinétique), ICE4 a décalé vers le sud-est la zone de chute (Figures 8, 9 et 10). Dans la Figure 8, on remarque que ICE4 sous-estime le nombre total de grêle par rapport au nombre total observé. En effet alors qu'on a enregistré un maximum de 9706, ICE4 a prévu un maximum de 3186.

En ce qui concerne la masse, sans tenir compte du décalage spatiale dans la localisation, ICE4 a donné un maximum au alentour de 5kg/m<sup>2</sup>, une valeur qui n'est pas loin de la valeur maximale enregistrée (égale à 4,6 kg/m<sup>2</sup>) (Figure 9).

Toutefois, l'énergie cinétique calculée par ICE4 est très faible comparée aux observations. Alors que les grêlimètres ont enregistré une moyenne de 85 kg.m<sup>2</sup>s<sup>-2</sup> et un maximum de 936 kg.m<sup>2</sup>s<sup>-2</sup>, les valeurs calculées par ICE4 ont une moyenne de 1.442e-05 kg.m<sup>2</sup>s<sup>-2</sup> et un maximum de 3.253e-02 kg.m<sup>2</sup>s<sup>-2</sup> (Figure 10). Ce rapport, presque égal à 3 e05 peut être expliqué par les valeurs très faibles de vitesses de chute calculées par ICE4 ainsi que la différence dans le nombre total de grêle entre les données d'observations et les sorties de modèle.

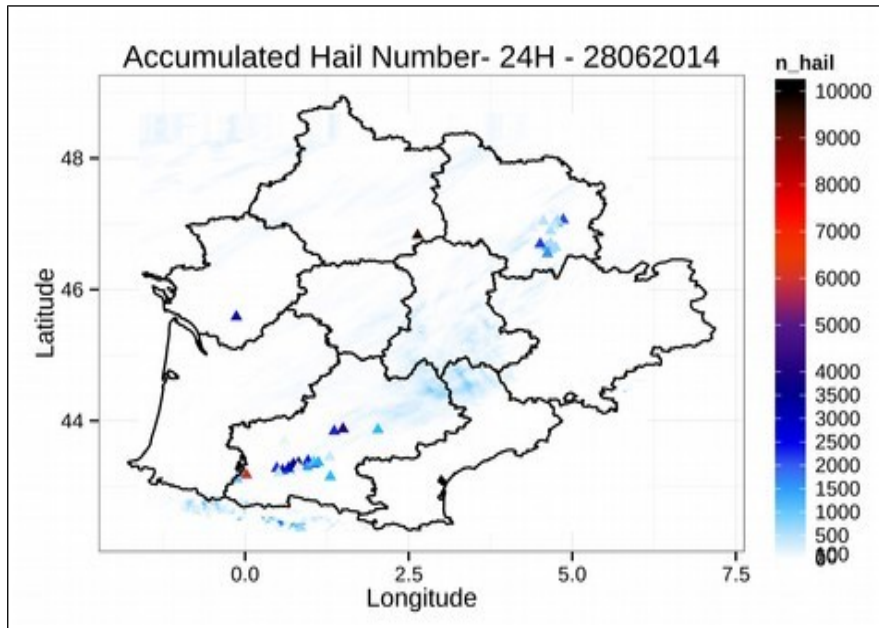


Figure 8: Comparaison entre le nombre total de grêle enregistré et le nombre de grêle prévu par ICE4

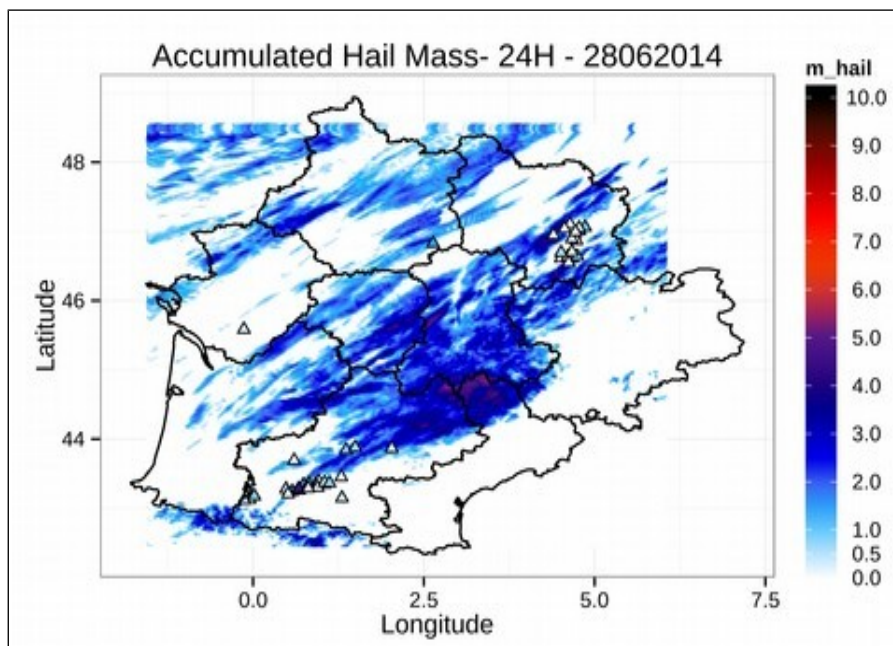


Figure 9: Comparaison entre la masse totale de grêle enregistrée et la masse de grêle prévue par ICE4

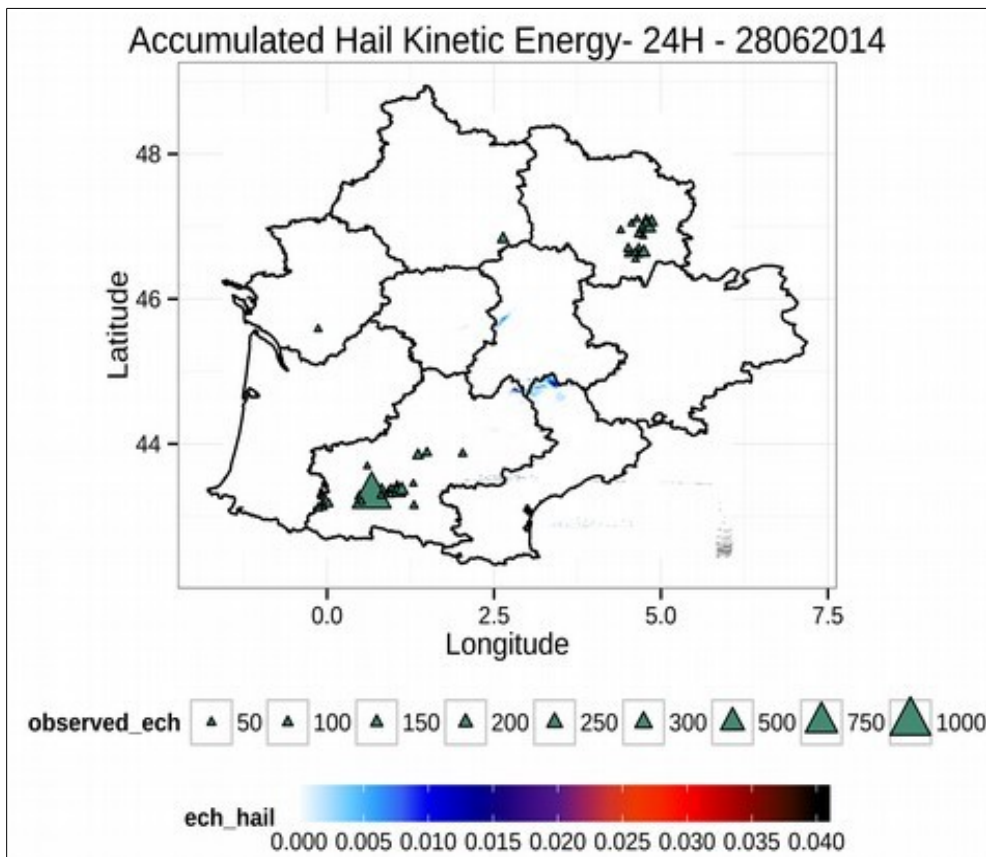


Figure 10: Comparaison entre l'énergie cinétique totale de grêle enregistrée et l'énergie cinétique prévue par ICE4

Par ailleurs, on doit mentionner que ICE4 produit des paquets de valeurs négatives près des bords supérieur et inférieur du domaine (Figure 11) en calculant les diagnostics. On a essayé de remédier à cette anomalie en initialisant les variables diagnostics à zéro hors du masque MICRO mais cela n'a pas eu d'incidence sur les valeurs négatives. Plus d'investigations semblent être nécessaires pour résoudre ce problème.

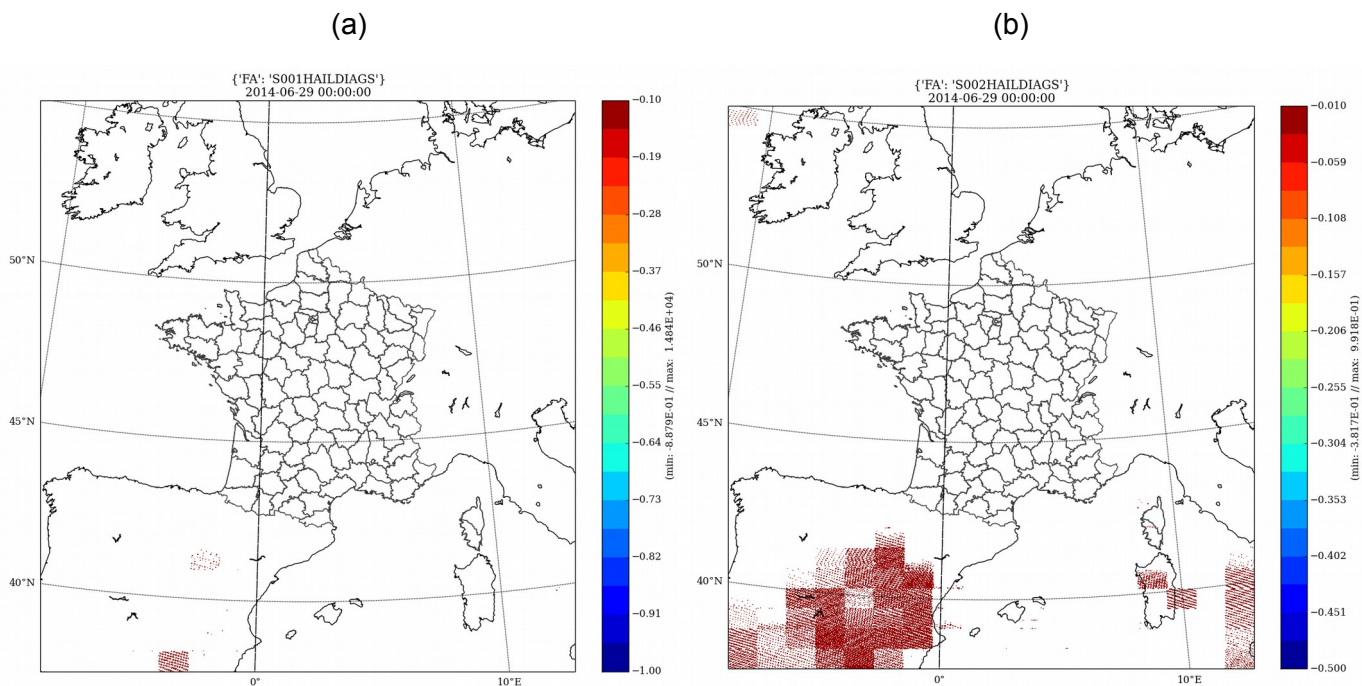


Figure 11 : Les valeurs négatives produites par ICE4 dans le calcul du nombre total de grêle (a) et l'énergie cinétique totale (b)

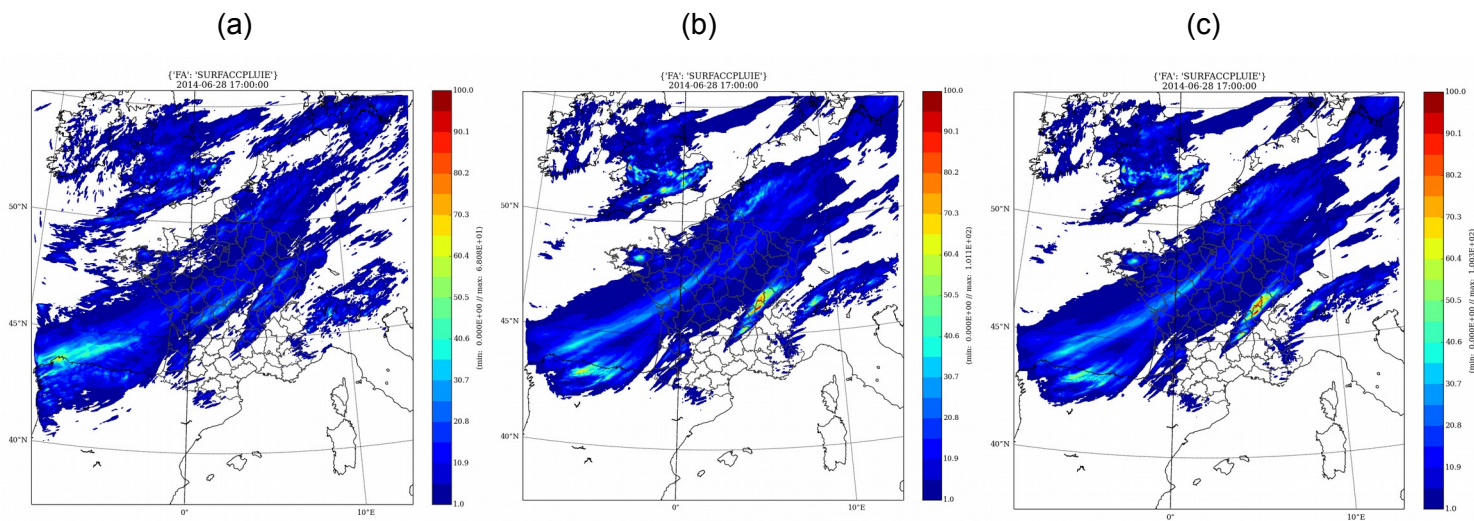


Figure 12 : Pluie cumulée de 0h à 24h le 28/06/2014 de Arome opérationnel (a), ICE3 modifié (b) et ICE4 (c)

### 3.2 Analyse DDH

En examinant les profils verticaux (Figure 13) et les bilans de la température et des variables microphysiques (Figures 14 et 15) pour les trois expériences, on remarque que les différences les plus importantes, entre d'une part ICE3 modifié et ICE4 et d'autre part Arome opérationnel, sont notées pour QL et QI. En effet, sur les profils verticaux à 17H, QL et QI sont presque nulles pour aussi bien ICE3 modifié que ICE4 qui n'est pas le cas pour Arome opérationnel (Figure 13). De même, dans la Figure 13 des bilans de QI et QL, le processus d'ajustement semble ne pas intervenir dans ICE3 modifié et ICE4 alors qu'il est bien présent dans Arome opérationnel. Il semblerait que QL et QI ont été consommées dans la création de la grêle et/ou la pluie (Figure 12) dans ICE3 modifié et ICE4 au dépend de la formation de nuage; ce qui a été vérifié en examinant le champ de 'SURFNEBUL.TOTALE' qui été nul pour ICE3 modifié et ICE4 et non nul pour Arome opérationnel. Afin de voir à quel moment QL et QI sont devenues nulles, on a tracé l'évolution de leurs profils verticaux de 01H à 17H dans ICE3 et dans Arome opérationnel (Figure 17) et on a remarqué que les variables diminuent progressivement. Ces comportements nécessiteraient de plus amples investigations.

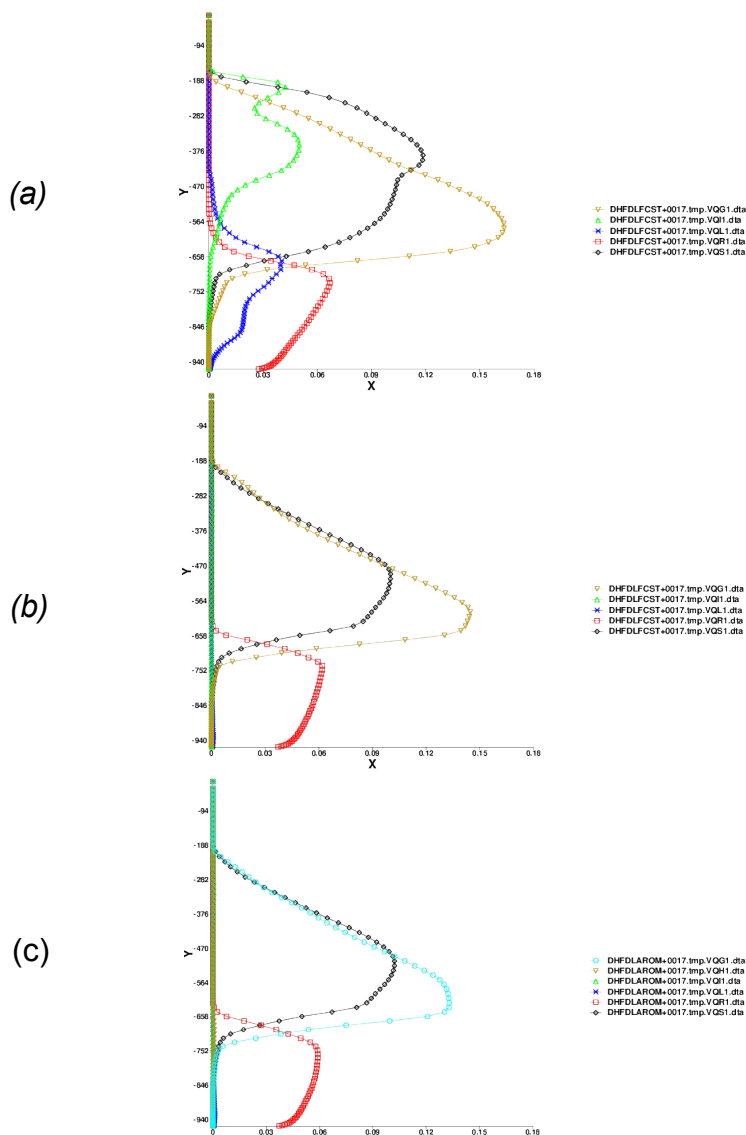


Figure 13: Profil vertical des variables microphysiques VQL1, VQI1, VQS1, VQR1, VQG1 et de la température VCT1 à 17H le 28/06/2014 dans Arome opérationnel (a), ICE3 modifié (b) et ICE4 (c)

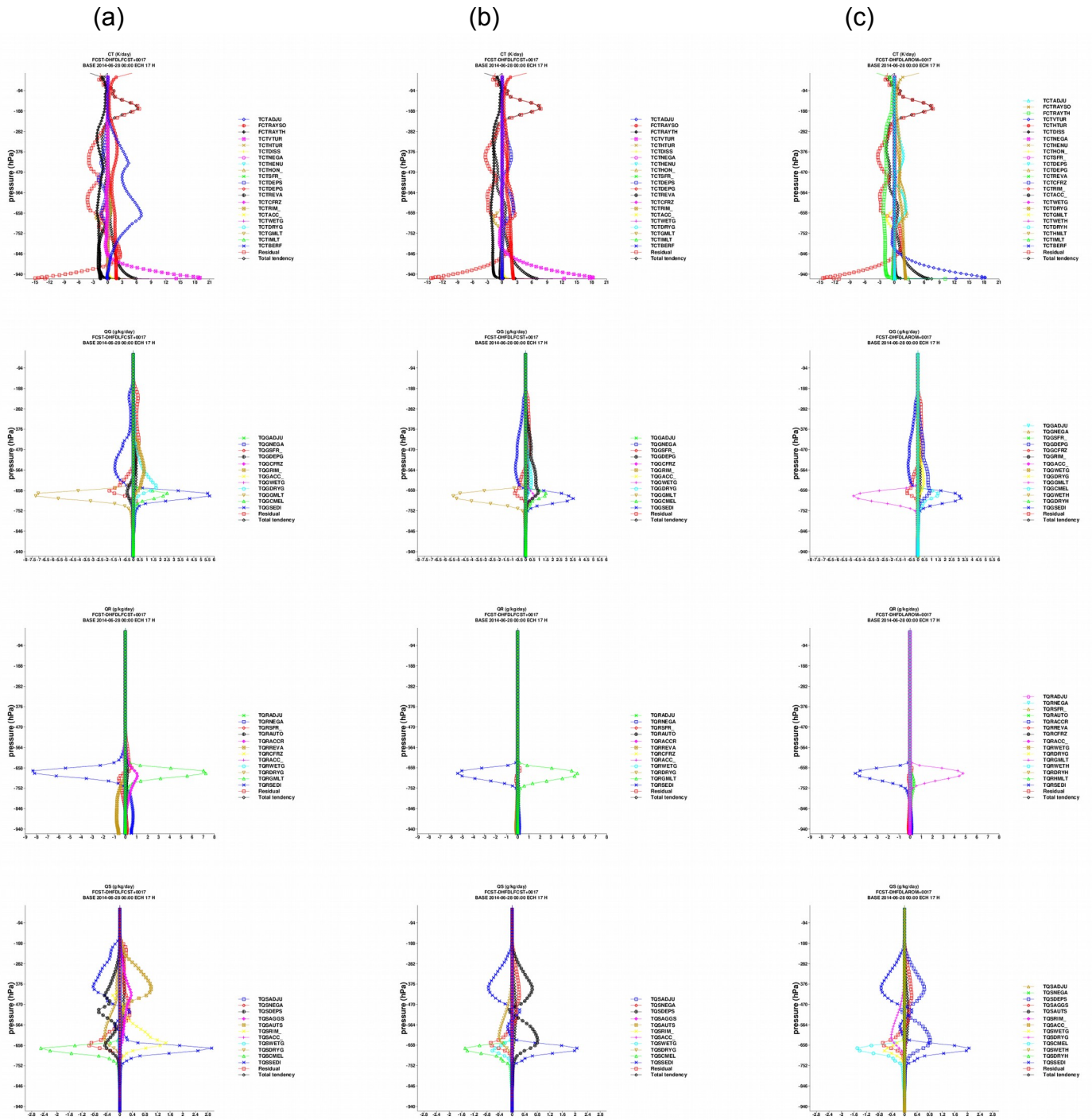


Figure 14: Bilans de la température QT des variables microphysiques QG, QR et QS à 17H le 28/06/2014 dans Arome opérationnel (a), ICE3 modifié (b) et ICE4 (c)

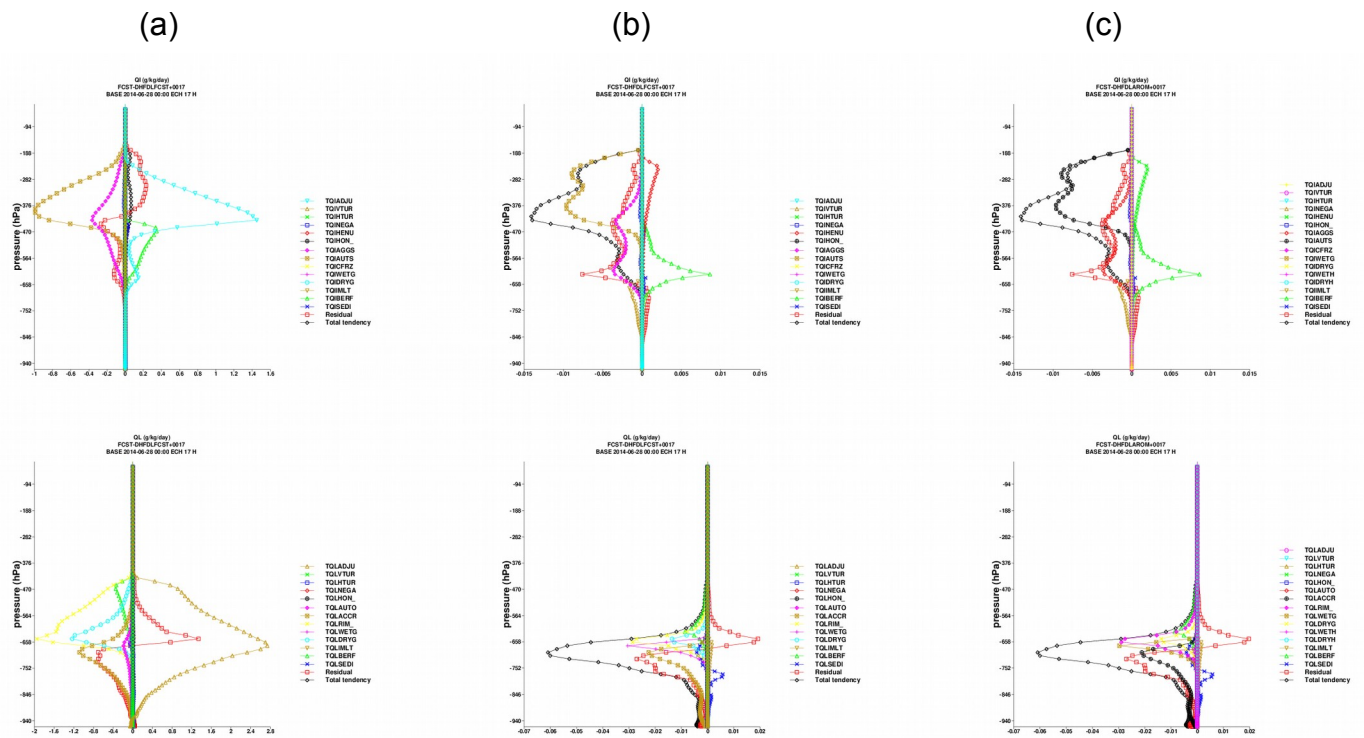


Figure 15: Bilans des variables microphysiques QI et QIL à 17H le 28/06/2014 dans Arome opérationnel (a), ICE3 modifié (b) et ICE4 (c)

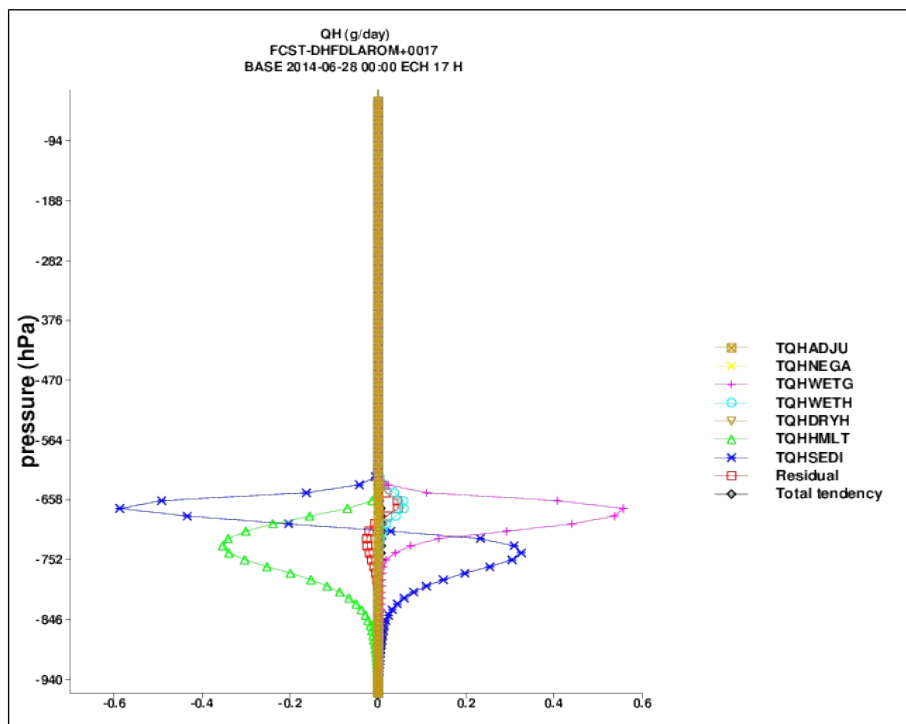
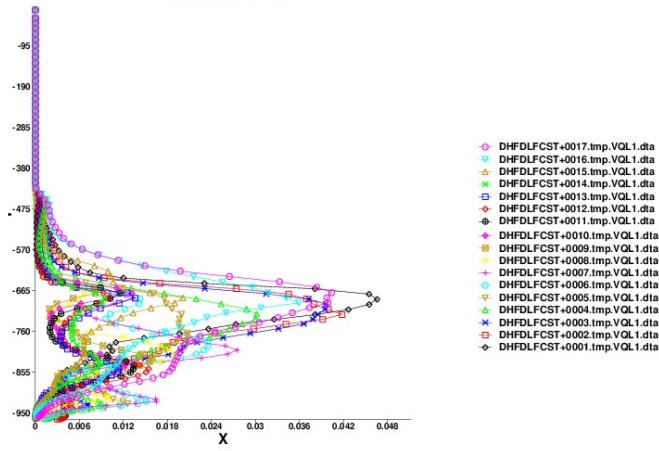
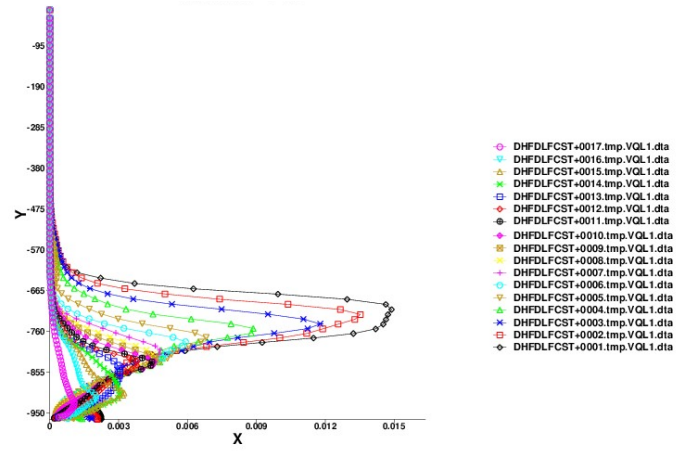


Figure 16: Bilan de la variable microphysique VQH1 à 17H le 28/06/2014 dans ICE4

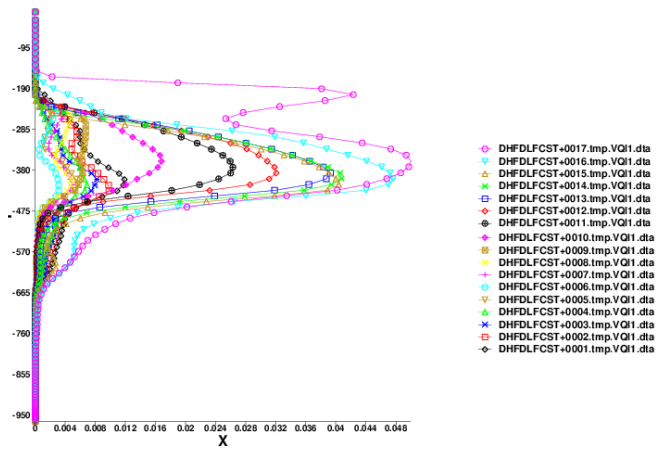
(1.a)



(1.b)



(2.a)



(2.b)

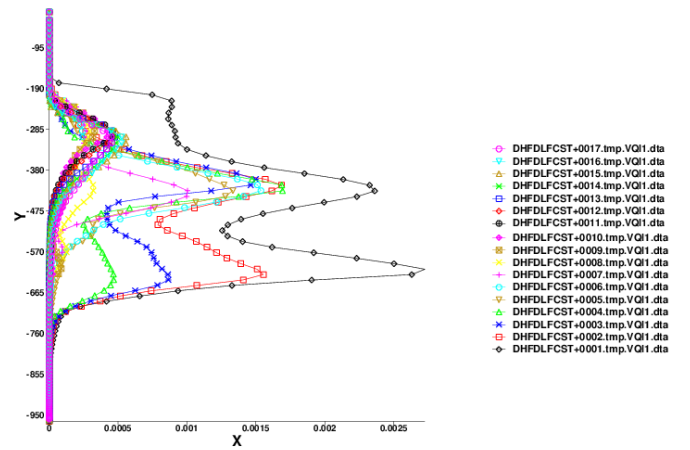


Figure 17: Evolution du Profil vertical des variables microphysiques VQL1 (1) et VQI1 (2) de 01H à 17H le 28/06/2014 dans Arôme opérationnel (a) et ICE3 modifié (b)



## **Conclusions & Perspectives**

Durant ce stage, on a évalué les modifications apportées par Sébastien RIETTE à la microphysique du modèle Arome afin de réduire la dépendance au pas de temps. L'évaluation, qui s'est basée sur l'étude de l'impact des modifications sur des situations grêligènes, s'est faite en deux parties.

Dans la première partie, on a comparé, par le biais de deux situations marquées par des chutes importantes de grêle, une expérience avec ICE3 modifié, une expérience avec ICE4 activé et une expérience de référence avec Arome opérationnel. Cette comparaison a mis en exergue une différence conséquente dans la quantité de précipitations prévue par ICE3 modifié et ICE4 d'une part et Arome opérationnel d'autre part ce qui nous a incité à faire une analyse DDH dans la suite.

Dans la deuxième partie, on a conduit des expériences avec des DDH après avoir intégré dans le code des changements relatifs à l'ajout de diagnostics pour le calcul du nombre, de la masse, de l'énergie cinétique, du diamètre et de la vitesse de la grêle afin de pouvoir élaborer une comparaison avec le réseau d'observations de grêlimètres de l'ANELFA. La confrontation avec les données d'observations ont permis de déceler la difficulté de ICE4 à estimer l'énergie cinétique de la grêle qui serait liée à la sous estimation du nombre ainsi que la vitesse de chute de la grêle. D'autre part, ICE4 produit des paquets de valeurs négatives aux bords supérieur et inférieur du domaine, ce qui demande d'autres explorations. En ce qui concerne les DDH, une anomalie liée à l'inaction du processus d'ajustement microphysique nécessite plus d'investigation pour comprendre la quasi-disparition de QL et QI.

Je tiens à adresser ma profonde gratitude à Yann SEITY pour la qualité de l'encadrement, pour toute l'aide qu'il m'a apportée et pour cette initiation à la microphysique. Je tiens à remercier également toute l'équipe de GMAP pour l'accueil et l'accompagnement durant ce stage.

### **Référence:**

S. RIETTE (2014): Modifications pour réduire la dépendance au pas de temps dans la microphysique