

MODELISATION AROME

Diagnostiques & Amélioration de la
prévision de la grêle

Auteur : Rachid ABOUBI

Encadré par : Yann SEITY

juin 2010

Remerciements

Je remercie Yann SEITY pour son accompagnement, ses explications et ses conseils. J'ai été très touché par sa disponibilité à chaque fois que j'ai eu besoin de quoi que ce soit même si cela sortait du cadre du stage. A toi spécialement merci énormément.

Un grand merci à Jean-Pierre PINTY, du Laboratoire d'Aérodynamique de Toulouse, pour ses explications. Deux heures de votre temps précieux nous a suffi pour ouvrir plusieurs axes de développement.

Je remercie, également, Claude Fischer pour son intérêt et son suivi de l'avancement de ce stage et Eric ESCALIER pour son soutien en informatique, .

Merci à Jean Maziejewski pour son assistance, et ses nombreux services. Tu es certainement incontournable et les stagiaires du GMAP comptent beaucoup sur toi.

Je remercie toute l'équipe GMAP au sein de laquelle j'ai passé les six semaines de ce stage.

Table des matières

INTRODUCTION	4
I. LA GRELE DE L'OBSERVATION VERS LA PREVISION PAR AROME.....	5
I.1. La campagne 2009 d'ANELFA.....	5
I.2. Etude Préliminaire sur les données récoltées lors de la campagne 2009 d'ANELFA.....	7
I.3 LA PREVISION NUMERIQUE DE LA GRELE PAR LE MODELE AROME.....	9
I.3.1 AROME.....	9
I.3.2 La grêle dans le schéma ICE4.....	9
II. RESULTATS & DIAGNOSTICS.....	9
II.1 Méthodologie de travail	9
II.2 Les expériences SPLITxII.1 Méthodologie de travail	10
II.3 Les expériences DUMMY.....	12
II.4 Les expériences XRTMIN.....	13
II.5 Les expériences HagG.....	14
II.6 Expériences en fonction du spectre dimensionnel et du terme source de la grêle.....	16
CONCLUSION.....	19

INTRODUCTION

Au long de ce stage j'ai souvent fait une analogie entre le passage de l'échelle synoptique à la méso-échelle avec le fameux passage de la physique classique à la physique quantique, ce passage à une échelle plus fine et conquérir de nouvelles dimensions qui nous paraît en premier lieu un immense désordre qui ne respecte plus les lois conventionnelles. C'était pour moi la première fois que je travaille avec le modèle de méso échelle AROME. Mon but était de voir et d'améliorer le comportement d'un paramètre-phénomène qui est assez mal connu, vu sa rareté dans le temps et dans l'espace, et mal prévu par le modèle. Dans sa version opérationnelle, le schéma microphysique de AROME ne prévoit pas la grêle. Néanmoins, le schéma ICE4 de Méso-NH (qui prévoit explicitement la grêle) est implémenté dans AROME et peut être activé. En l'état, au début de ce stage, l'activation du schéma ICE4 conduit à des prévisions trop fréquentes de grêle. En effet, en examinant les prévisions de la grêle par le modèle, pour les jours où on a observé ce phénomène, j'ai pu remarquer une large présence de grêle qui s'étale parfois sur toute la carte tracée alors que la réalité de l'observation révèle toute autre chose : la grêle est un phénomène « relativement » rare, en le comparant à d'autres hydrométéores tel que la pluie, rare dans le temps et dans l'espace.

Dans mon présent rapport que j'ai subdivisé en deux paragraphes, j'ai consacré le premier paragraphe pour parler de la grêle en dehors de la modélisation (à savoir la grêle observée lors de la campagne 2009 d'ANELFA). J'ai également inséré quelques mots dans ce paragraphe pour définir le modèle de prévision méso échelle AROME et pour parler succinctement de la microphysique de la grêle dans le modèle. Le deuxième paragraphe est un résumé de mon travail de modélisation : j'ai rapporté au début de ce paragraphe les changements que j'ai apportés au modèle dans le but d'améliorer la prévisibilité de la grêle, j'ai surtout touché en premier lieu aux différents seuils qui permettent :

- le déclenchement des processus liés à la grêle,
- l'accroissement de la grêle au détriment du grésil,
- la reconversion de la grêle en grésil,
- le contenu en eau et en particules nuageuses.

J'ai également fait un jeu de comparaison en changeant le nombre de fois qu'on appelle le schéma microphysique par pas de temps (MICROSPLIT). Enfin, et ayant trouvé que les changements précités ne donnent pas les résultats escomptés, j'ai touché aux paramètres de base qui définissent la concentration de la grêle (spectre dimensionnel).

Dans la deuxième partie du deuxième et dernier paragraphe j'ai montré et analysé les différents résultats trouvés.

I. LA GRELE DE L'OBSERVATION VERS LA PREVISION PAR AROME

La grêle est un hydrométéore souvent observé en présence de cumulonimbus, c'est un phénomène que nous pouvons lier alors à une grande extension verticale avec diverses régions de températures (positives, négatives et même très négatives). L'histoire d'un grêlon, avant son atterrissage forcé par son poids relativement grand, est très riche car il peut balayer différentes zones de nuages assez différentes en composante hydrique (vapeur d'eau, gouttelettes, cristaux de glace, grésil) et en énergie de son environnement (différence de température, différence de vitesse verticale ..). Lors de son passage d'une zone assez humide avec des températures négatives mais proche de 0°C, le grêlon gagne de volume avec une couche très transparente puisque la congélation de l'eau est assez lente et laisse échapper les petites bulles d'air, alors qu'à des températures très négatives, l'air n'a pas le temps d'échapper et le grêlon voit former autour de sa surface une couche assez opaque. Le grêlon peut subir des ascendances et des subsidences successives avant d'atteindre un poids assez important permettant à la force de gravité de lui donner une vitesse de chute positive pour arriver jusqu'au sol, et dans son chemin vers la surface de la terre il rencontre des températures positives qui vont essayer de le détruire et le convertir en pluie. Selon la taille du grêlon il peut arriver au sol en tant que grêlon qui peut casser la pare-brise d'une voiture ou la toiture d'une usine de Peugeot (La grêle endommage l'usine Peugeot de Sochaux par L'EXPRESS.fr avec AFP, publié le 10/06/2010) ou peut détruire tout un champs d'arbres fruitiers, ou tout simplement fondre totalement pour arroser les champs d'agriculture ou nettoyer les impuretés qui se sont agglomérés sur les voitures ou sur les toitures des maisons comme toutes autres pluies utiles.



Quelques images de grêlons capables d'engendrer des dégâts lourds, selon la littérature le plus gros grêlon aurait un diamètre de presque 16cm et un poids d'environ 600g (ces images sont prises des sites de Météo France et d'ANELFA)

La grêle est un phénomène relativement rare, par rapport aux autres hydrométéores, dans le temps et dans l'espace. Toutefois, quelques régions ayant un potentiel économique important grâce à l'arboriculture, souffrent des dégâts causés par ce phénomène difficilement prévisible, car son apparition surtout le printemps coïncide avec la floraison et l'apparition des premiers grains de fruits qui sont facilement détruits par la grêle, et même pendant l'été, une grêle assez grande peut endommager les fruits facilement sans parler des autres dégâts matériels (brise de glace, dommages aux chaussés et routes ...etc).

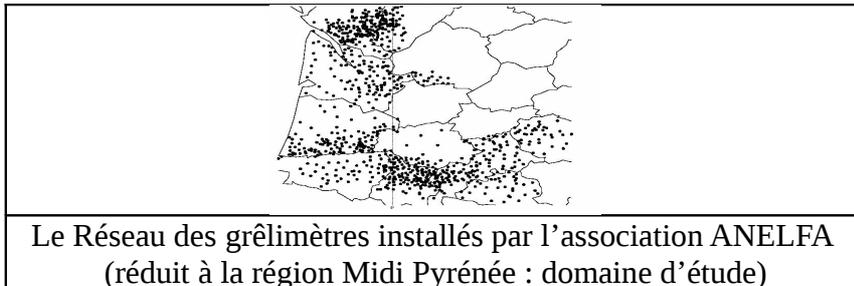
I.1. La campagne 2009 d'ANELFA

L'ANELFA est une association fondée à l'initiative d'un groupe d'agriculteurs, d'agronomes, de physiciens et d'élus en 1951, ses deux objectifs principaux sont :

1. développer les recherches scientifiques dans le domaine de la physique des nuages et de la modification du temps,

2. perfectionner une méthode de traitement des orages afin de réduire les dégâts causés par la grêle.

Je ne vais pas discuter le point de vue scientifique de la lutte anti-grêle mais ce qui m'intéresse c'est que cette association a mis en service un réseau important de grêlimètres pour observer la grêle. De tels données m'ont permis de voir l'allure de la distribution de la grêle, et aussi de choisir les dates de mes expériences. Certes l'observation et le suivi de la grêle nécessitent une campagne de mesure et un grand investissement vu son caractère local et imprévisible.

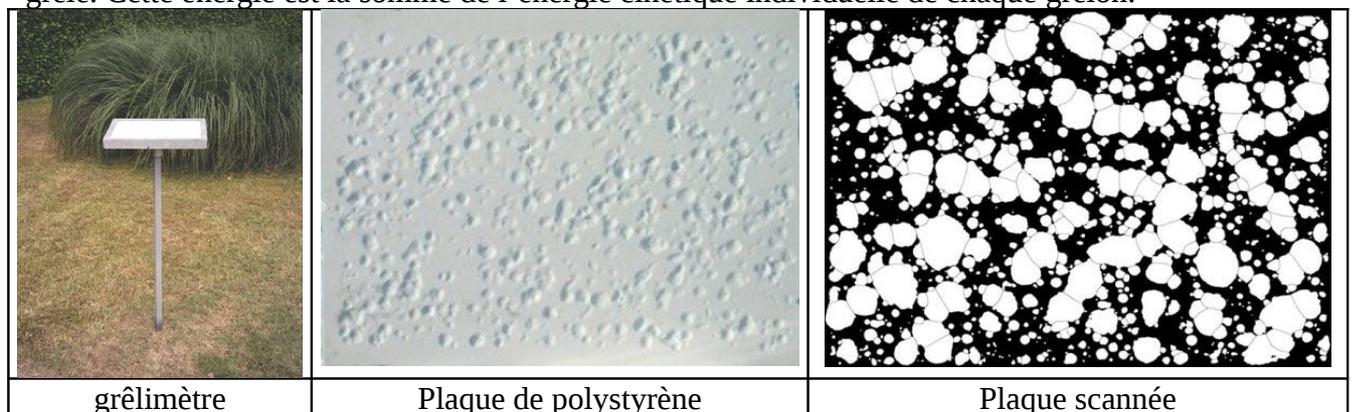


Un réseau assez dense mais je note la quasi absence de mesure dans le Nord Est du domaine, et vu le caractère très local de la grêle, des jours de grêle seront sans doute absents du calendrier des données mesurées.

Le grêlimètre : (d'après le site d'ANELFA <http://www.anelfa.asso.fr>)

Le grêlimètre est un appareil simple mis au point par des chercheurs canadiens, qui permet d'enregistrer la trace des impacts de grêlons arrivant au sol. Il est constitué d'un piquet métallique de 1,50 m de haut supportant une tôle horizontale sur laquelle est disposée une plaque de polystyrène extrudé de 30 cm x 40 cm peinte en blanc. Après la chute de grêle, les impacts de grêlons sont rendus visibles par un encrage en noir de la plaque au rouleau d'imprimerie. Le dépouillement est effectué par scanner, et un étalonnage permet de déterminer le diamètre de chaque grêlon à l'origine d'un impact. On peut ensuite déterminer par cumul le nombre de grêlons tombés dans différentes gammes de dimension à partir de 5 mm de diamètre, le nombre total des grêlons, la masse correspondante, l'énergie cinétique ...

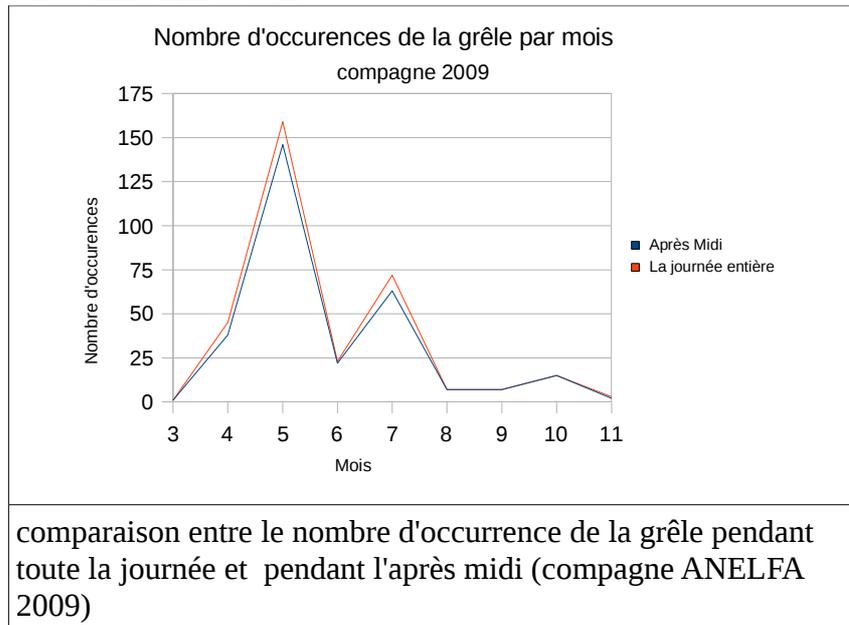
Parmi les paramètres les plus significatifs d'une chute de grêle, on note le diamètre des plus gros grêlons, le nombre total de grêlons de diamètre supérieur à 7 mm (donc susceptibles de provoquer des dommages aux végétaux), et surtout l'énergie cinétique globale de la chute de grêle. Cette énergie est la somme de l'énergie cinétique individuelle de chaque grêlon.



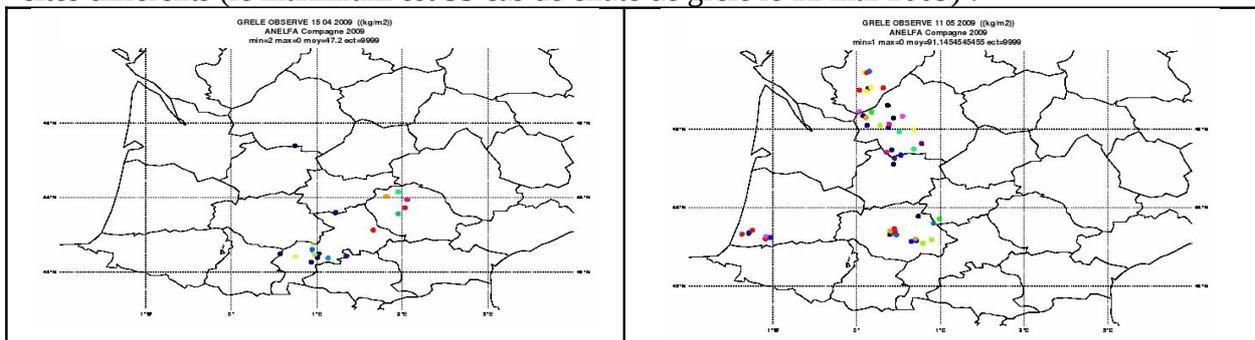
I.2. Etude Préliminaire sur les données récoltées lors de la campagne 2009 d'ANELFA

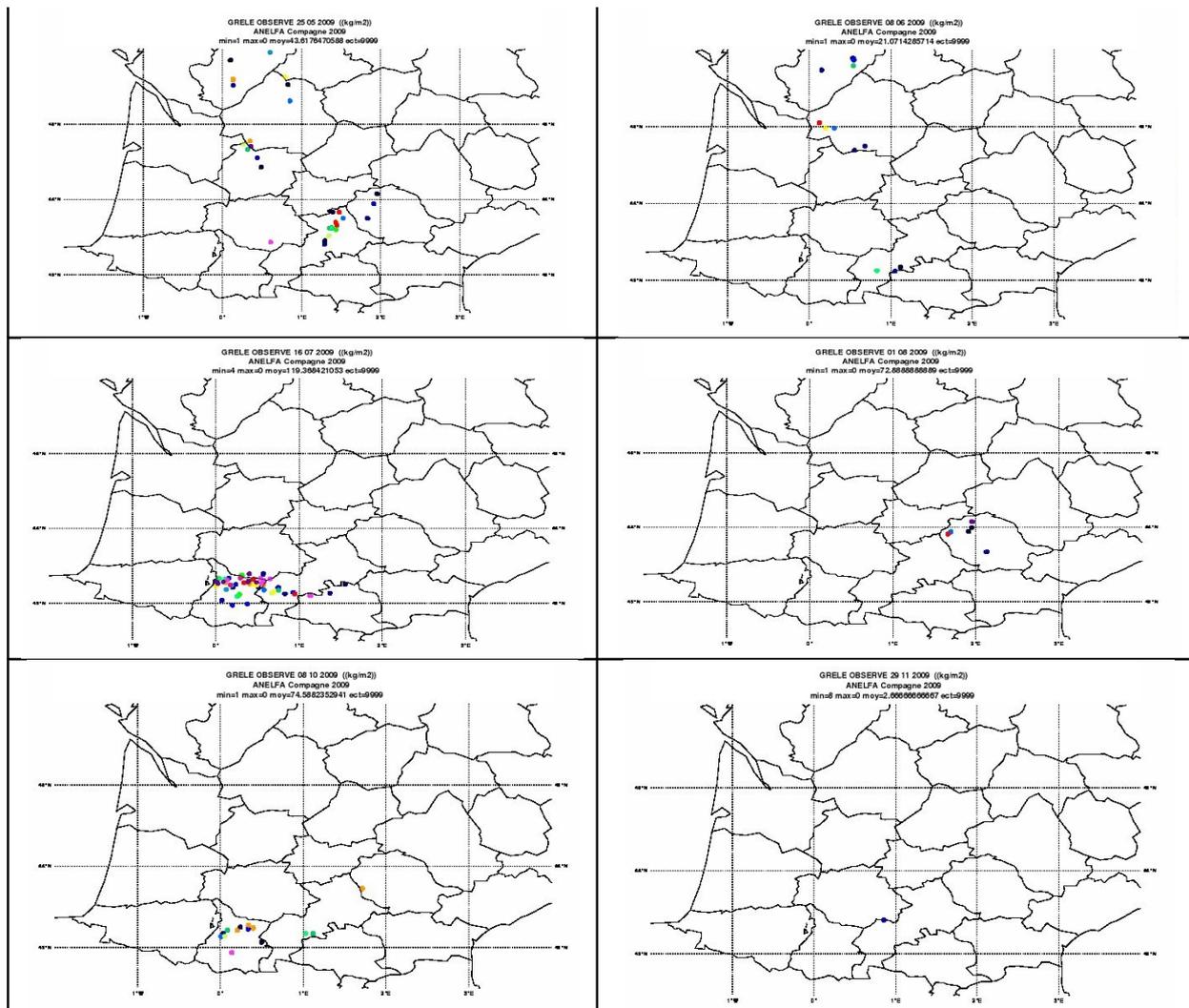
Dans cette étude, j'ai filtré toutes les données qui sortent du domaine défini par les coordonnées suivantes : les longitudes -2° à l'Ouest et 4° à l'Est, et les latitudes 42.5° au Sud et 46° au Nord. J'ai également filtré les chutes de grêle matinales (entre 00h et 12h), mon objectif est de garder les heures de la journée où il y a un maximum de convection (à savoir entre 12h et 00h).

Remarque : J'ai fait une vérification de toutes les données en prenant toute la journée mais je n'ai pas trouvé une grande différence entre les résultats de toute la journée ou seulement les après-midi en d'autres termes le maximum de chute de grêle est généralement observé entre 12h et 00h.



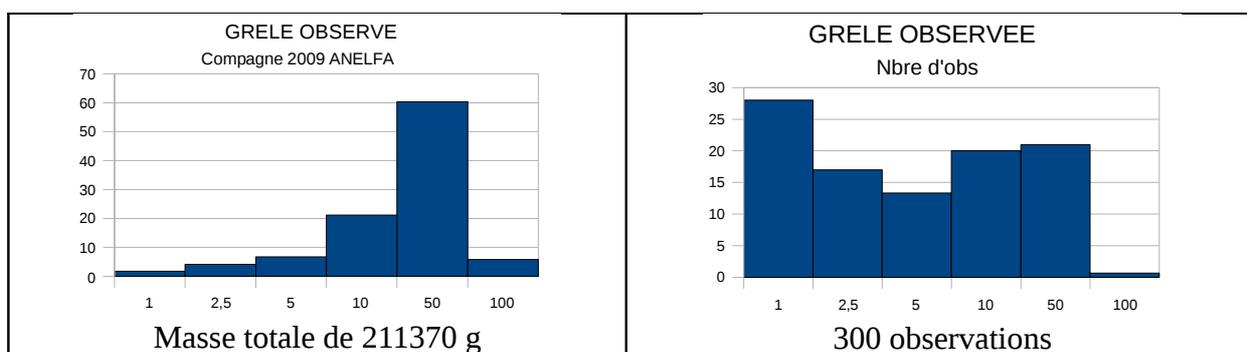
Avec les filtres précités, j'ai trouvé que sur les huit mois (la campagne d'ANELFA commence en Avril et finit vers la fin de l'année), seulement 30 jours de grêle ont été enregistrés, avec un maximum d'occurrence durant le mois de mai (10 jours). Plusieurs journées ont connues seulement un impact ou deux, et d'autres ont enregistré plus de 20 chutes de grêle dans des sites différents (le maximum est 53 cas de chute de grêle le 11 mai 2009) :





L'observation de la grêle par le réseau des grêlimètres durant la campagne 2009 d'ANELFA

Ce caractère « rare » de la grêle, est bien mis en évidence dans l'observation mais le modèle AROME en produit beaucoup. En réalité, on observe peu de grêle, et si on l'observe, le caractère local est très apparent vu que le nombre de grêlimètres impactés par la grêle reste très faible par rapport au nombre total de grêlimètres installés. La figure suivante confirme cette remarque : en effet, sur un total de 300 observations avec une masse totale de 211370 g de grêle, 28% ont une masse comprise entre 0 et 1 g mais avec une masse totale qui ne dépasse pas 2% alors que 21% d'observations ont une distribution comprise entre 10g et 50g avec une masse totale qui avoisine les 61% :



Le pourcentage de masse (histogramme à gauche) ou de nombre d'occurrence (histogramme à

I.3 LA PREVISION NUMERIQUE DE LA GRELE PAR LE MODELE AROME

I.3.1 AROME

AROME est l'acronyme de "Applications of Research to Operations at MESoscale". AROME est un modèle à aire limitée, conduit pour la modélisation à fine résolution (résolution horizontale de 2.5 km en opérationnel et possibilité d'aller à une échelle plus fine). le code d'AROME est composé de la partie dynamique non hydrostatique d'ALADIN, par contre les paramétrisations physiques utilisées sont celles issues du modèle de recherche MESO-NH (par exemple les paramétrisations liées au schéma de la microphysique ICE3 ou ICE4). AROME est actuellement opérationnel à METEO-FRANCE. Le principal objectif d'AROME en opérationnel est de pouvoir mieux anticiper et mieux localiser certains phénomènes potentiellement dangereux, comme les orages (informations trouvées sur l'intranet de Météo France).

I.3.2 La grêle dans le schéma ICE4

Dans sa version opérationnelle, le schéma microphysique de AROME est le schéma ICE3. Ce schéma se base sur trois catégories de glace, et la grêle est incluse dans la catégorie du grésil. Selon

Mc Cumber et al. (1991) 3 différents types de glace sont nécessaires pour couvrir la plupart de leur étude de cas de précipitation.

Dans le schéma ICE4, la grêle est une catégorie à part entière. La grêle peut être d'un intérêt particulier dans les cas de fortes convections. En outre, les grêlons ont un comportement différent de celui des particules de grésil. Tous les deux sont très efficaces dans la capture et la croissance au détriment des autres hydrométéores toutefois le grêlon vu sa taille a un pouvoir de congélation de gouttelettes plus grande et il persiste plus longtemps avant de fondre totalement. Si le grésil tombe souvent sous forme de pluie après sa fonte, le grêlon plus gros et parfois dangereusement grand peut tomber sous forme solide. Ces différences de comportement et de développement entre la grêle et le grésil justifient ce passage d'un schéma ICE3 à un schéma plus complet et plus complexe ICE4.

Remarque : Je ne suis pas entré dans le détail des équations et d'explications plus exhaustives de la microphysique de la phase mixte. Pour approfondir les connaissances, je suggère de lire la documentation scientifique du modèle Meso-NH : The Meso-NH Atmospheric Simulation System Scientific Documentation Part III: Physics disponible sur internet (http://mesonh.aero.obs-mip.fr/mesonh/dir_doc/book1_m48_31march2010/scidoc_p3.pdf).

II. RESULTATS & DIAGNOSTICS

II.1 Méthodologie de travail

Afin de mener mes expériences avec objectivité, j'ai choisi des dates en se basant sur les observations de la campagne 2009 d'ANELFA (voir premier paragraphe) : un panache de jour avec plusieurs occurrences (le 11 mai 2009 inclus) et de jour avec peu voire même une seule observation enregistrée (cas du 29 novembre 2009). J'ai également ajouté le 29 mars 2010 (pour une prévision 12h du 30), cette journée a connu l'occurrence de la grêle dans de nombreux départements de la France. Dans ce qui suit quand je parle de cumul de grêle ou de précipitation c'est pour dire d'un cumul de 12h et le réseau de base de mes prévisions est 12h

(le cumul est un cumul de midi à minuit) pour toutes les dates à l'exception du 29 mars où le cumul est un cumul de 18h et le réseau de base est 18h (cumul de 18h du 29 mars à midi du 30 mars).

Les fichiers coupleurs sont issus d'ALADIN (version opérationnelle). J'ai utilisé une version modifiée du cycle CY35T2 d'AROME que j'ai récupérée de Yann SEITY pour utiliser le schéma ICE4 qui traite la grêle séparément au grésil. Je me suis basé sur l'interface OLIVE pour lancer mes expériences (ma **II.1 Méthodologie de travail** première utilisation). J'ai utilisé des scripts sous linux et le langage PERL pour la manipulation des fichiers ASCII (résultant de l'application edf sur un fichier de prévision ICMSHAROME) et pour les calculs statistiques.

J'ai restreint mes calculs statistiques à un rectangle défini par les latitudes 43,3° au sud, 46° au nord et les longitudes -2° vers l'ouest et 6° vers l'est : un tel domaine m'évite la chaîne de montagne des Pyrénées où une surestimation du modèle est expliquée par une base de nuage arrivant jusqu'au sol.

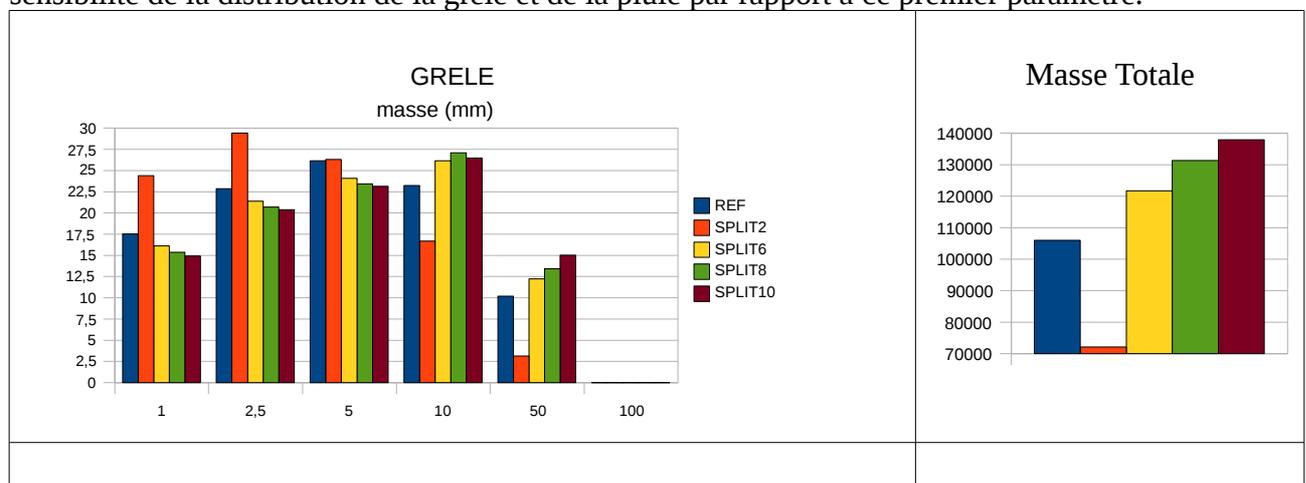
Pour condenser l'information issue des résultats, j'ai calculé et tracé la masse totale de la grêle prévue par AROME et le pourcentage de chaque intervalle d'intensité pour trouver une allure telle que celle trouvée par l'observation (voir figure en haut). J'ai également présenté le nombre total de pixels pour chaque expérience ainsi que le pourcentage pour chaque intervalle afin d'avoir une idée sur l'extension spatiale de la grêle. J'ai fait les mêmes calculs pour le cumul de précipitations.

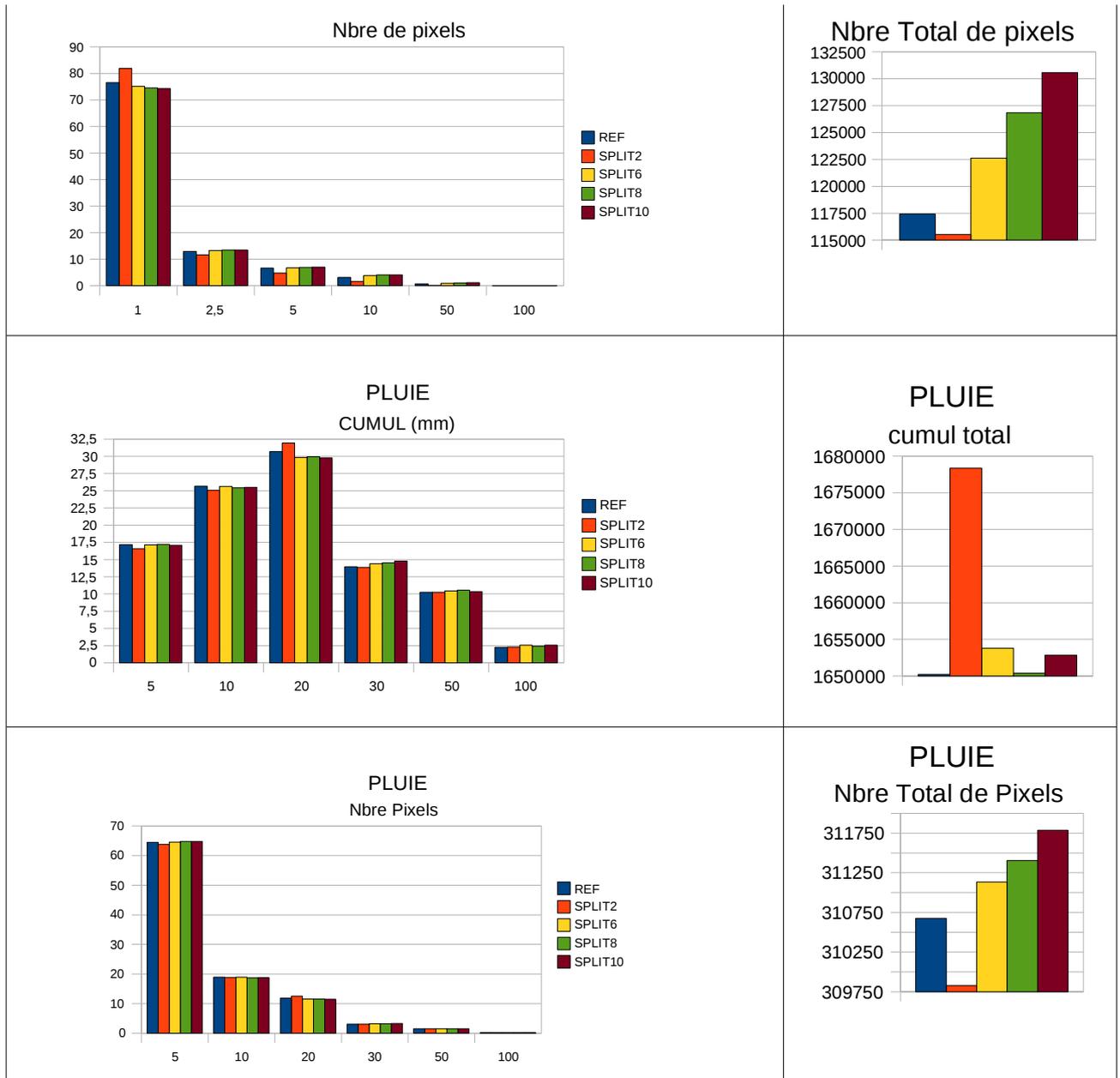
Enfin et afin de comparer les résultats par rapport à une référence, j'ai choisi comme référence une expérience avec ICE4 non modifiée mais dans laquelle la microphysique est appelée quatre fois par pas de temps : que j'ai nommé SPLIT4.

Remarque : dans l'annexe, j'ai mis quelques cartes de grêle et de précipitations pour les différentes expériences au service des amateurs du détail.

II.2 Les expériences SPLITxII.1 Méthodologie de travail

Je les ai nommé comme telles car ce que je change d'une expérience à une autre est le nombre de répétition du schéma microphysique par un pas de temps d'AROME. C'est un développement qui a été introduit pour essayer de réduire la sensibilité au pas de temps du schéma ICE4 et ne pas trop augmenter le coût numérique du modèle. J'ai alors testé la sensibilité de la distribution de la grêle et de la pluie par rapport à ce premier paramètre.

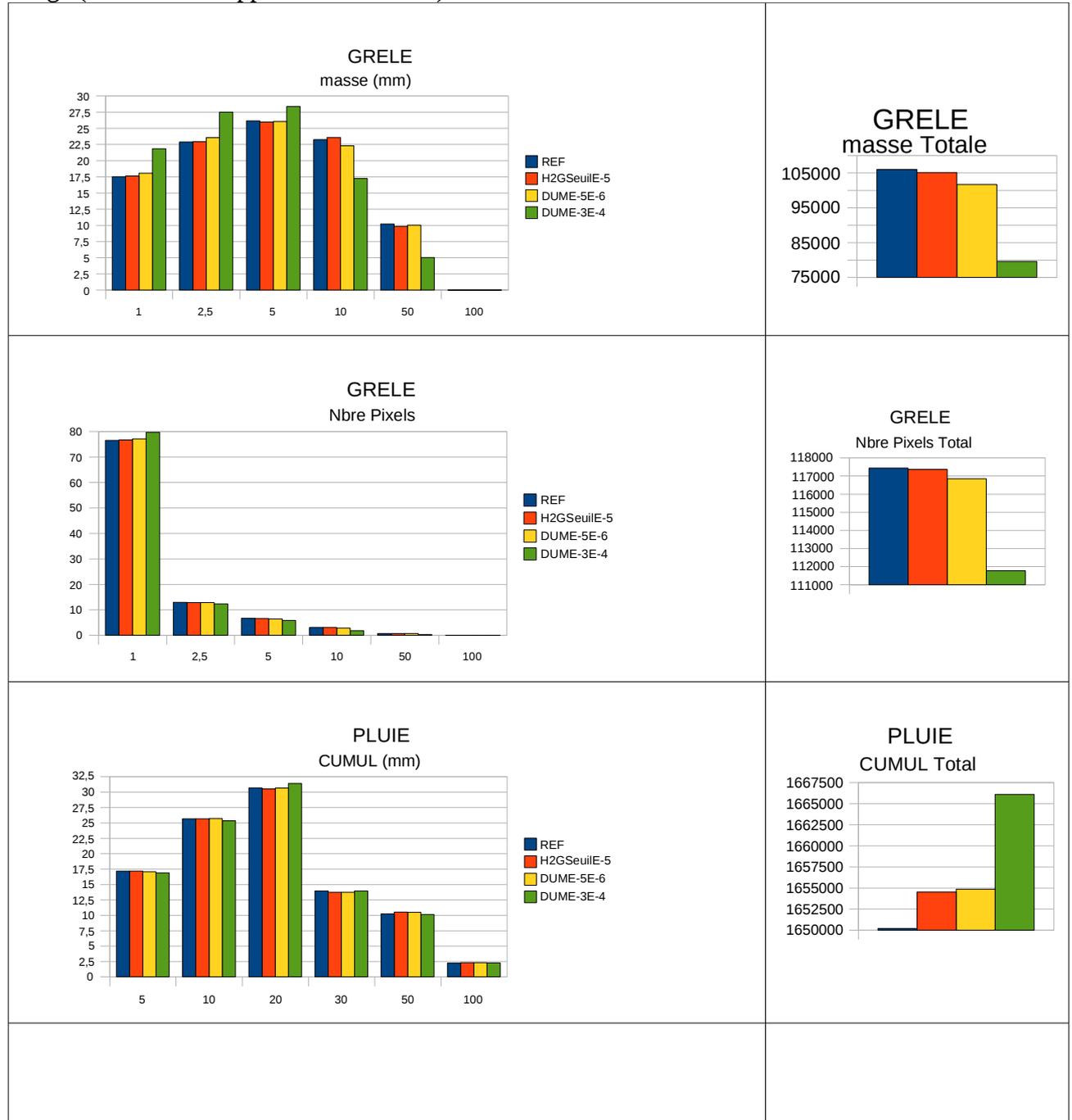


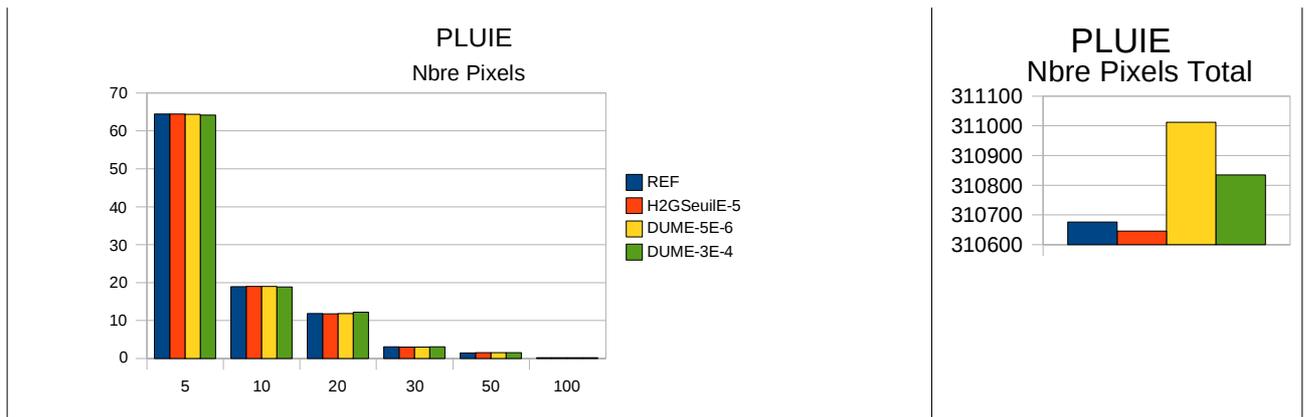


En résumé, le fait d'augmenter le nombre d'appel de la microphysique peut conduire à un léger changement de la distribution de la grêle mais avec un coût de calcul très important, la masse totale de la grêle trace clairement ce changement mais le problème d'une grêle très faible et générale dans l'espace demeure présent (voir les histogrammes de nombre de pixels par distribution). La pluie reste insensible (en pourcentage) au changement de ce paramètre « SPLIT ».

II.3 Les expériences DUMMY

Dans le modèle AROME, On peut activer une reconversion de la grêle en grésil (graupels). Cette reconversion est contrôlée par deux valeurs critiques (seuils) : le rapport de mélange de la grêle (paramètre appelé XDUMMY6 dans AROME) et le rapport de mélange d'eau dans le nuage (cloud water- appelé XDUMMY7).

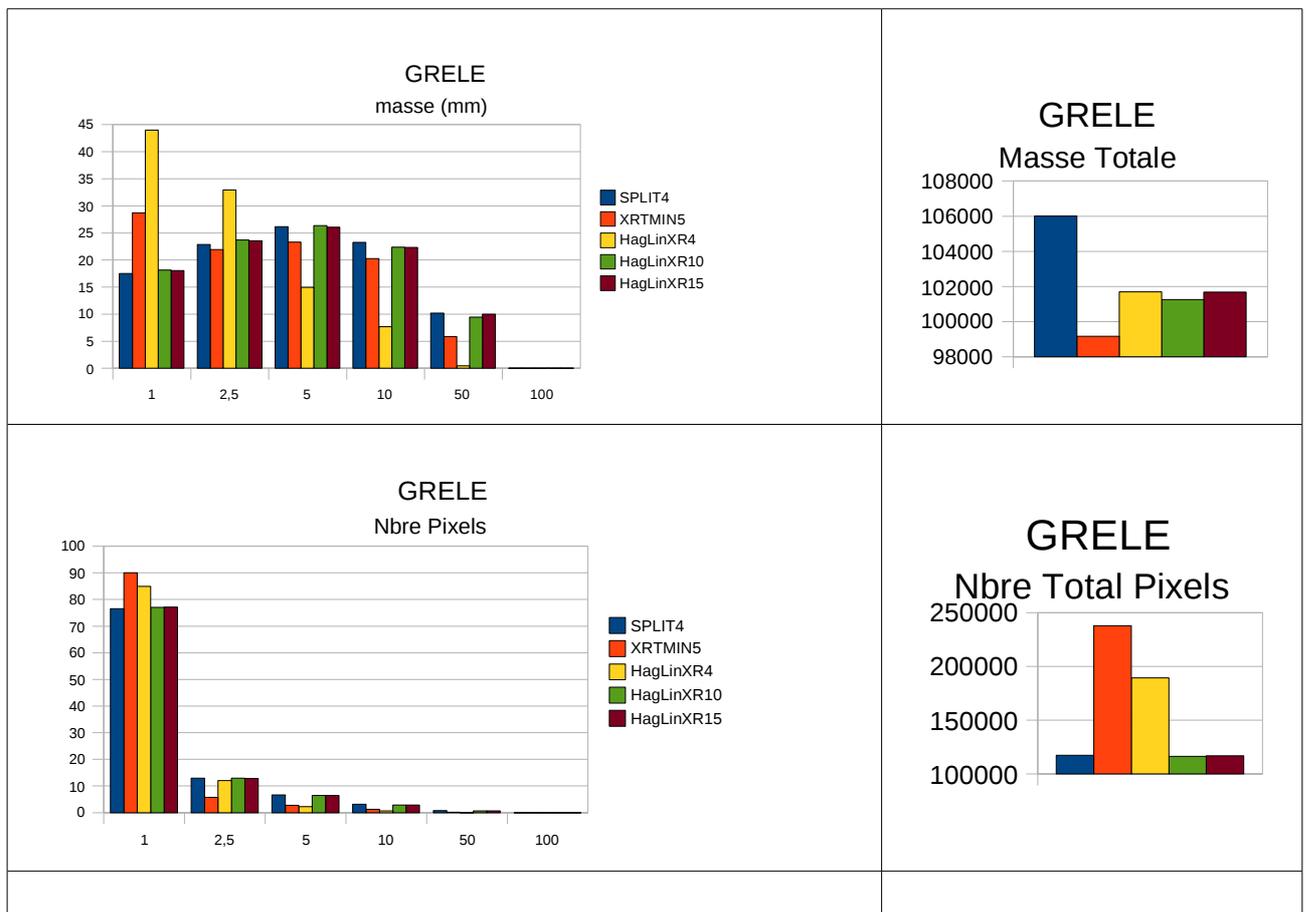


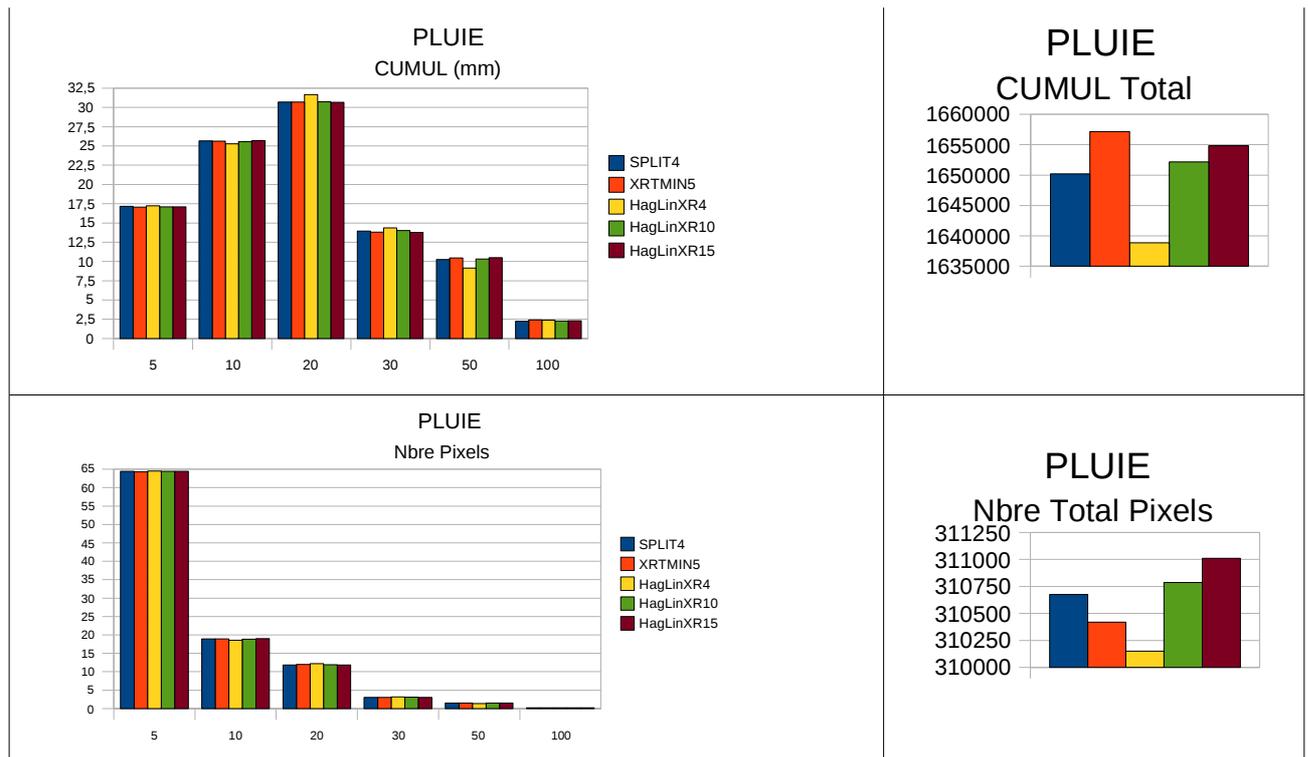


Ces expériences n'ont pas donné de résultats encourageants. Les meilleurs seuils pour la reconversion de la grêle en grésil sont ceux qui étaient par défaut à savoir un rapport de mélange de la grêle de $XDUMMY6=10^{-5}$ et un rapport de mélange d'eau nuageuse de $XDUMMY7=10^{-7}$.

II.4 Les expériences XRTMIN

Le seuil à tester est celui à partir duquel les processus microphysique de la grêle sont déclenchés. En fait, avant d'entamer les calculs de sources et puits de la grêle, il faut que le rapport du mélange de la grêle soit supérieur à une valeur (la variable est appelée XRTMIN(7) dans le code d'AROME). Si on augmente cette valeur on entre dans les calculs liés à la grêle « tardivement », par contre si on la diminue, on commence à traiter les processus de la grêle dès qu'il y a une très petite quantité.





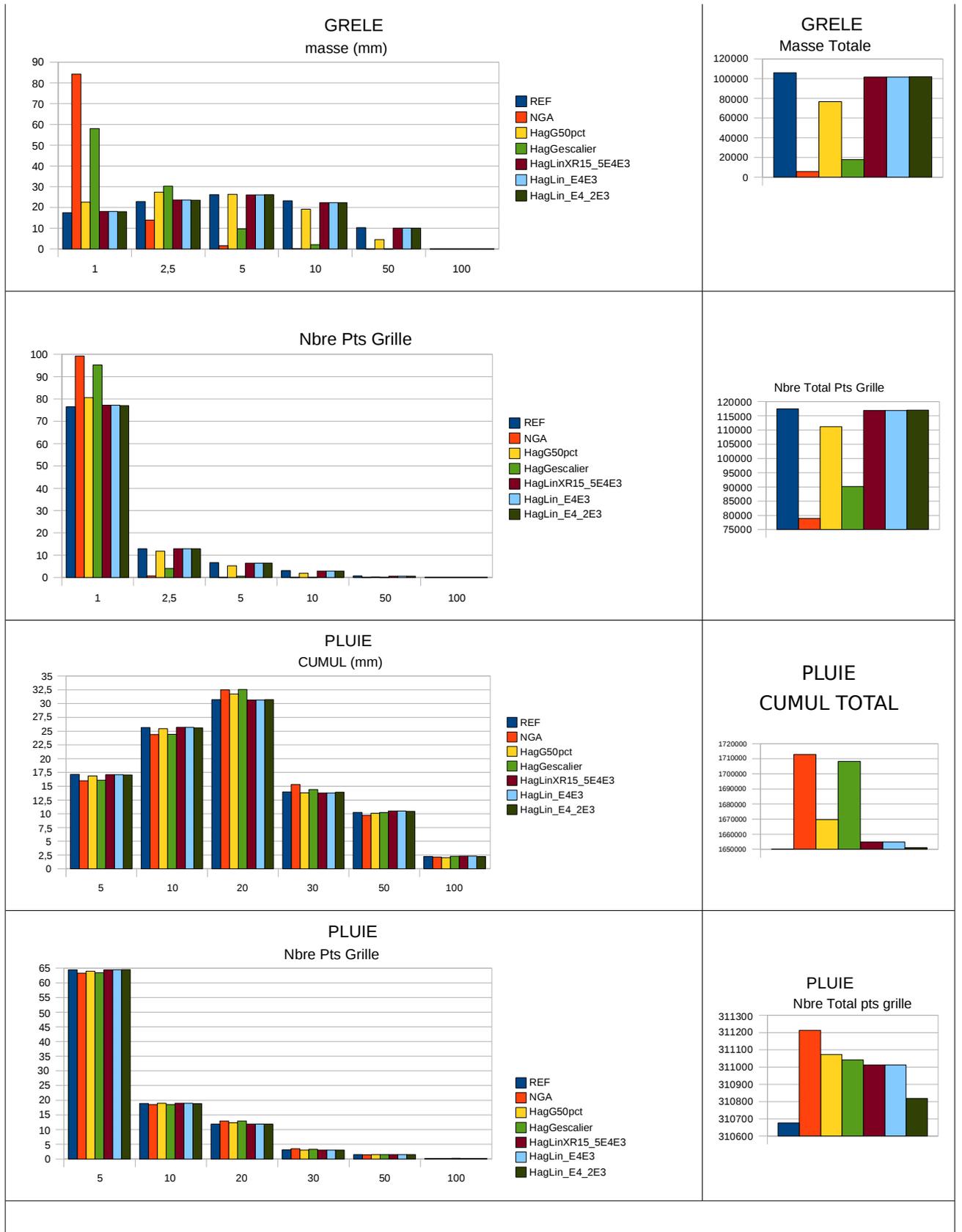
La même remarque liée aux expériences XDUMMY reste valable pour les résultats de XRTMIN. Les changements apportés à ce seuil n'ont pas permis une diminution de la quantité de grêle pour la plage de faible concentration. Par contre une diminution de la quantité de grêle pour les plages de grandes concentrations est nette si on augmente le seuil de déclenchement de la grêle.

II.5 Les expériences HagG

Dans le code actuel d'AROME, la grêle agglomère une bonne quantité de grésil (suivant le rapport $wet/(wet+dry)$). Vu que le modèle surestime les quantités de grêle, l'une des pistes que j'ai franchies est la diminution (voir même la suppression) des quantités de grésil capturées par la grêle.

Afin de déceler le comportement de la prévision de grêle en fonction de la quantité de grésil capturée par la grêle j'ai fait les expériences suivantes :

1. La grêle ne capture aucun grésil (expérience nommée : NGA comme No Graupel Aggrégated),
2. la grêle capture 50% de la quantité calculée (nommée : HagG50pct Hail aggregate 50% of Graupels),
3. La grêle capture efficacement les petites particules et ne capte plus rien après un certain seuil (d'où la notion d'escalier dans le nom de l'expérience HagGescalier), j'ai fixé le seuil de rapport de mélange du grésil (suivant la recommandation de mon encadrant Yann SEITY et du professeur Jean-Pierre PINTY) à 10^{-4} kg/kg
4. Des expériences plus généralisées : en supposant que la grêle capture très efficacement le grésil jusqu'à un premier seuil S_1 , en suite la capture devient pondérée par un coefficient linéaire avec la quantité du grésil jusqu'à un deuxième seuil S_2 et pour des particules de grésils plus grandes la grêle ne capture plus rien (expériences HagGlin S_1S_2).



La première remarque qu'on peut faire c'est que la grêle se développe dans le modèle AROME, grâce et au détriment du grésil. En effet sur l' histogramme de la masse de grêle (couleur orange) lié à l'expérience « NGA » dans laquelle j'ai enlevé le grossissement de la grêle en agglomérant du grésil, il est bien évident que presque la totalité de la grêle se situe

dans le premier intervalle de la distribution, sur l'histogramme de nombre de pixels presque 100% des pixels ont une valeur qui appartient à cet intervalle ; ce qui confirme que la croissance de la grêle se fait principalement par la composante liée au grésil.

Avec les différentes valeurs testées, je ne peux pas choisir des seuils pour s'approcher de la réalité de la grêle (issue de l'observation). Toutefois, il est évident qu'une partie du grésil doit contribuer à la croissance de la grêle, reste à tester plus de seuils (surtout avec la formule générale) pour arriver aux résultats escomptés.

II.6 Expériences en fonction du spectre dimensionnel et du terme source de la grêle

Dans ces expériences, j'ai touché essentiellement à trois paramètres. Deux paramètres qui lient la distribution de la grêle (nombre de particules) à sa concentration en passant par un paramètre dit de pente λ .

$$N = C \lambda^x$$

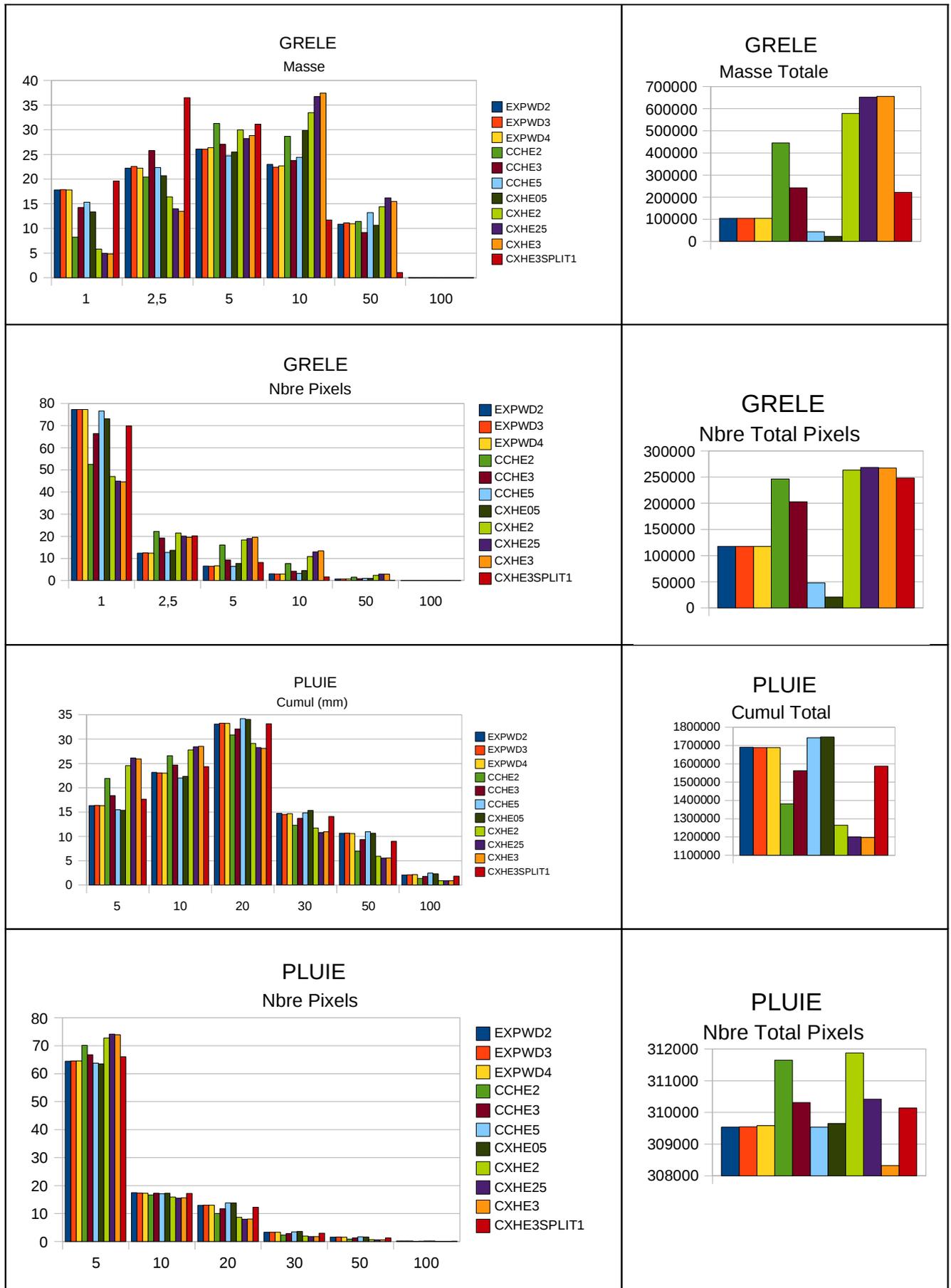
Les deux paramètres en question sont le C et le x.

Le troisième paramètre est un exposant que j'ai ajouté au pourcentage du grésil converti en grêle. En fait, si Wet désigne le taux de croissance du grésil en mode humide et Dry le taux de croissance en mode sec, on suppose que le taux de conversion du grésil en grêle est proportionnel au rapport $R = \text{Wet} / (\text{Wet} + \text{Dry})$ alors j'ai ajouté un exposant (R^{exp}), et j'ai testé le comportement de la quantité de grêle en fonction de ce nouveau paramètre.

Les expériences sont nommées comme suit :

CCHE^a : tester le changement de concentration : $C = 4 \cdot 10^a$

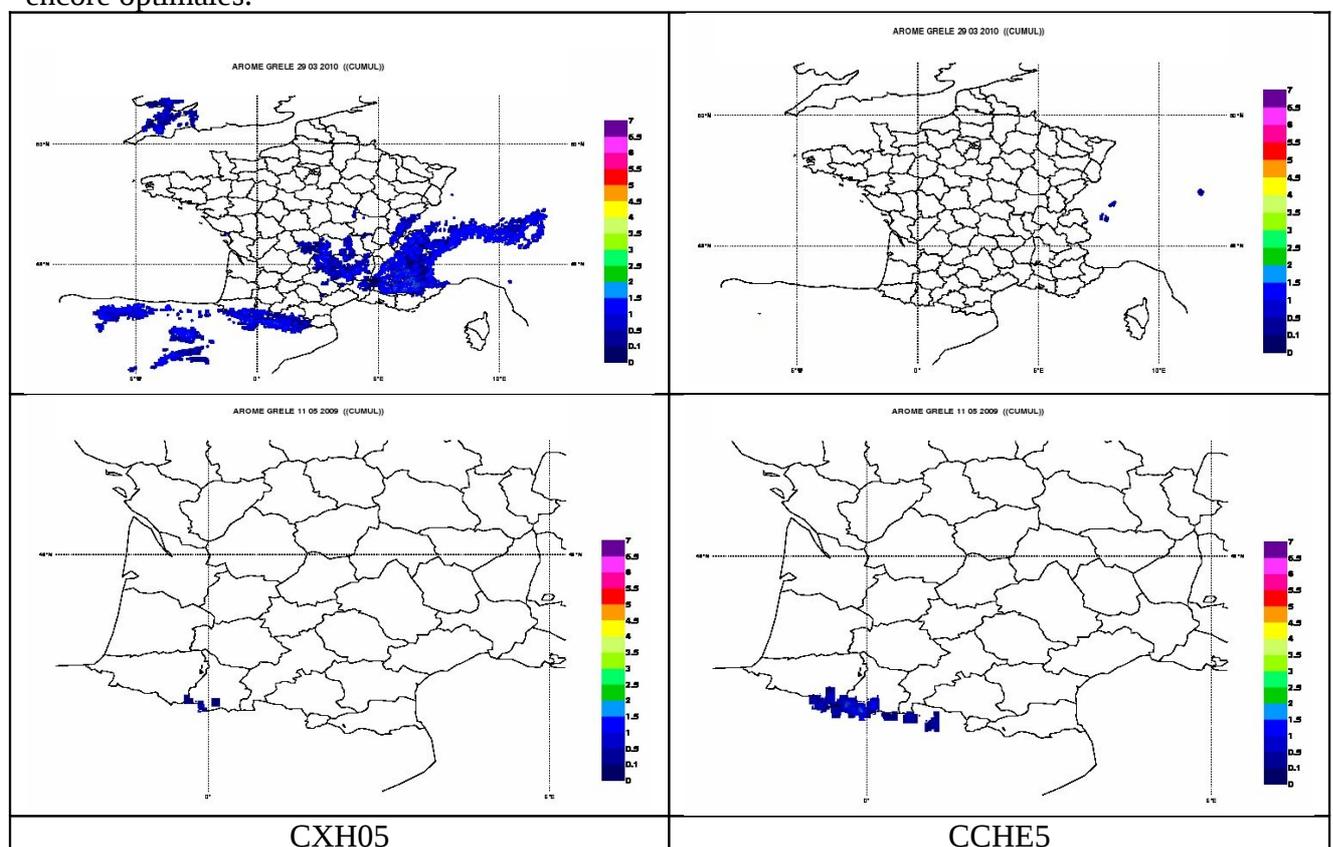
CXHE^b : tester le changement du paramètre x de : $x = -b$ (pour $b = 25$ $x = -2.5$ et pour $b = 05$ $x = -0.5$) EXPWD^{exp} : pour changer l'exposant du taux de conversion du grésil en grêle (l'exposant est ^{exp}).



Dans ce jeu d'expériences, la première remarque est que l'exposant du taux de conversion du

grésil en grêle n'apporte presque rien à l'expérience de référence.

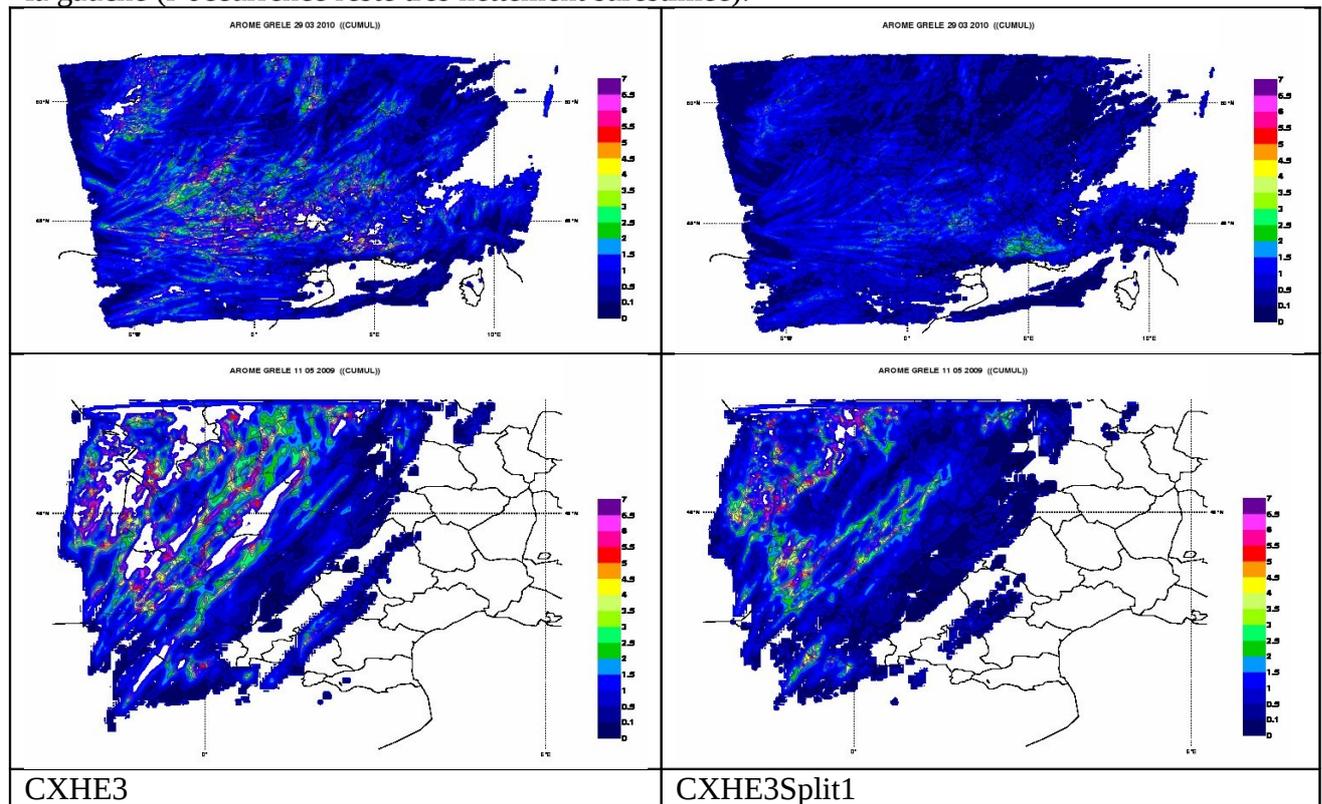
Les expériences touchant à la forme du spectre de la grêle ont plus d'impact. Concernant le paramètre C, l'expérience avec des valeurs plus faibles que dans la référence (CCHE3 et CCHE2) ont tendance à augmenter les fortes valeurs de grêle, ainsi que leur occurrence (nb de pixels) ce qui n'est pas ce que l'on recherche. De plus, la pluie est diminuée en cumul et augmentée en occurrence (plus de petites pluies et moins de fortes pluies). En augmentant le paramètre (C=5 dans CCHE5), on arrive à favoriser un peu les fortes valeurs de grêle tout en réduisant l'occurrence de grêle, sans trop modifier la pluie. En augmentant la concentration de grêle, on va avoir des particules plus petites, mais qui du coup auront des vitesses de chute plus faibles et ainsi, plus de temps pour grossir. Ce résultat va donc dans le bon sens. On obtient un effet assez semblable en jouant sur le paramètre x dans l'expérience CXHE05 (x=-0.5). Pour les autres valeurs de x testées, on obtient une masse de grêle très supérieure à la référence et une occurrence elle aussi surestimée. De plus, la pluie est aussi modifiée dans le sens d'une diminution. Si on regarde en détail les situations, on constate que CXH05 et CCHE5 améliorent bien le cas sur la France du 30-03-2010, mais que par contre, la grêle disparaît de la prévision du 11-05-2009 sur Midi-Pyrénées. Ces expériences ne sont donc pas encore optimales.



Les résultats de l'expérience CXHE3 (de couleur orange) donne une grêle avec moins de valeurs (en pourcentage de masse et de pixels) pour la première fourchette de concentrations par contre la masse totale est très exagérée car elle dépasse de loin la valeur de référence alors que notre but est de réduire la grêle.

Les résultats encourageants de l'expérience CXHE3 m'ont poussé à tester le même seuil mais cette fois-ci en l'associant à un nombre d'appel de la microphysique par pas de temps réduit (j'ai choisi un appel par pas de temps). Mon but est de bénéficier de l'effet de la réduction de nombre de « MICROSPLIT » sur la grêle (voir les expérience SPLIT). Le résultat est une

réduction de la grêle (chose positive) mais un léger décalage de la forme de distribution vers la gauche (l'occurrence reste très nettement surestimée).



J'ai également tester une fonction qui relie la concentration C à x ($C = -3,55 \log_{10} x + 3.89$ Caniaux 1993) mais les résultats étaient trop différents de ceux de la référence et des autres expériences.

CONCLUSION

Durant ces six semaines, j'ai pu lancer beaucoup d'expériences avec les différents seuils précités. Je n'ai pas pu en fin de compte désigner les seuils qui vont servir à mieux prévoir la grêle (car j'ai testé chaque seuil à part à l'exception de la dernière expérience). Un deuxième jeu d'expériences qui prend en compte non seulement le changement d'un seuil à la fois mais tous les seuils (optimaux) en même temps est nécessaire pour conclure cette première phase du développement de l'existant.

Une deuxième phase et un grand chantier de changement de la microphysique de la grêle est aussi possible. Je pense à une paramétrisation de la grêle plus précise qui se base sur plus de paramètres et pourquoi pas plus de degrés de liberté (comme par exemple l'introduction de la taille des particules du nuage grêleux), j'ai également pensé, comme je l'ai dit tout au début, à la physique quantique et au calcul probabiliste sur quoi elle se base et je pense qu'une loi probabiliste associée aux différents calculs du modèle peut compléter les lois qui gèrent la formation, la croissance et la fonte de la grêle.