



Alerte grêle
Rapport final, SRF Meteo
Avril 2016

Table des matières

Résumé	3
1 Aperçu du système.....	4
1.1 Conditions.....	4
1.2 Approches de solution	4
1.3 Approche de solution de SRF Meteo	4
1.3.1 Qu'est-ce que le MOS ?	5
1.3.2 Données d'entrée	5
1.3.3 Données de sortie.....	6
1.4 Méthodes de vérification.....	6
2 Déroulement de la phase pilote	7
2.1 Installation.....	7
2.1.1 Exportation de données.....	7
2.1.2 Données radar : problèmes inattendus	7
2.1.3 Développement des équations MOS et mise sur pied du système opérationnel.....	7
2.1.4 Développement de la plate-forme	7
2.1.5 Premières installations	8
2.2 Adaptations et découvertes durant l'exploitation.....	8
3 Résultats	9
3.1 Exemples de cas	9
3.2 Vérification	11
4 Conclusions.....	11
5 Remerciements	12
6 Sources	13

Résumé

Un projet pilote mené sur trois ans a pu démontrer qu'il est possible d'effectuer une prévision à très court terme pour la grêle et de protéger ainsi les stores de manière fiable. La Fondation de prévention de l'Association des établissements cantonaux d'assurance incendie a initié et financé le projet, SRF Meteo l'a mis en œuvre, en collaboration avec Meteoservice GmbH. Durant les trois années pilotes entre 2013 et 2015, un taux de reconnaissance des orages de grêle de près de 90 % a pu être atteint.

1 Aperçu du système

1.1 Conditions

Le projet a été initié et financé par la Fondation de prévention des établissements cantonaux d'assurance (ECA). Le cahier des charges stipulait les objectifs météorologiques suivants :

- a) Développer un outil de prévision permettant de situer très précisément les orages de grêle près de 20 minutes avant qu'ils ne surviennent et n'affectent un objet.
- b) Émettre immédiatement une alerte / une impulsion électronique reconnue par le dispositif de commande de l'objet menacé et déclencher ainsi la remontée des brise-soleil / des stores à lamelles.
- c) Le taux de fausses alertes devrait être le plus faible possible ; lors de l'atelier, un taux de reconnaissance des orages de grêle de 50 à 70 pour cent a été considéré comme réaliste pour le lancement du projet.

La demande de subvention adressée à la Fondation de prévention mentionnait ce qui suit : « L'objectif est de développer une prévision grêle à très court terme et très concentrée géographiquement. Sur la base de cette prévision, un signal électronique sera automatiquement envoyé dans la région touchée aux dispositifs de commande des stores inscrits au programme et équipés pour la fonction en question. Ainsi, les stores remonteront. Après l'averse, l'alerte sera levée et les stores redescendront automatiquement. Le signal pourra être émis en tant que valeur oui / non ou en tant que probabilité. »

1.2 Approches de solution

Au début du projet, il existait déjà des systèmes d'alerte grêle : l'Alarme-Météo des établissements cantonaux d'assurance avertissait des « orages avec grêle et rafales de vent », mais dans une résolution plutôt basique pour 172 régions sur le territoire suisse. [Alarme-Météo, 2012] Avec une telle résolution, le taux de fausses alertes pour les bâtiments individuels est élevé, car une averse de grêle s'étend sur un rayon allant de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres au maximum, mais la région alertée peut par exemple représenter une superficie de 30 km. On avertit ainsi obligatoirement une région trop grande, même si seule une petite partie de la région est concernée à chaque fois.

On connaissait également des approches avec le procédé « Cell tracking » [Rinehart et Garvey, 1978]. Avec les systèmes de tracking, les cellules orageuses sont reconnues automatiquement sur les images radar et leurs contours sont définis. La comparaison d'images radar successives permet de calculer la trajectoire des cellules, puis de l'extrapoler. De tels systèmes peuvent certes permettre d'avertir seulement des régions étroitement définies, mais ils se basent la plupart du temps sur des données radar uniquement. D'autres données élémentaires en termes de diagnostic et de prévision concernant les cellules orageuses, par exemple les éclairs, sont négligées : avec de telles méthodes, le développement des cellules de grêle ne peut pas être calculé et leur trajectoire présumée ne peut être calculée qu'en ligne droite. Il est toutefois très rare qu'une cellule de grêle avance de manière strictement linéaire. Elle est soumise à des changements constants en raison de nombreux facteurs supplémentaires, par exemple d'autres cellules, le terrain / la topographie ou des modifications des vents d'altitude.

1.3 Approche de solution de SRF Meteo

Dans le système de prévision exploité par SRF Meteo pour l'alerte grêle, sont utilisées des données prévisionnelles provenant des modèles météorologiques, de même que des données radar, des données sur les éclairs et des données des stations. Une autre méthode ayant fait ses preuves est également utilisée : MOS, Model Output Statistics [Glahn et al., 1972]. Ce procédé statistique permet au système d'apprendre du passé.

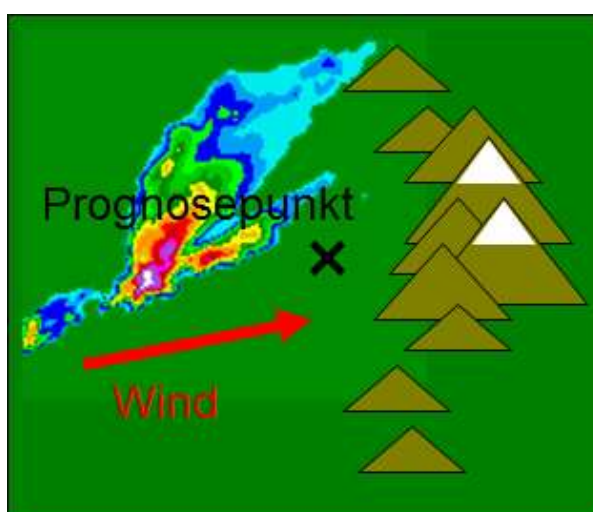
Pour simplifier, disons que les données calculées par les systèmes de prévision sont mises en corrélation, dans le MOS, avec les mesures effectuées, par ex. par le radar. On peut alors tirer des parallèles qui permettent d'établir des prévisions à très court terme. Tout le système de prévision a été élaboré en collaboration avec MeteoService à Berlin.

1.3.1 Qu'est-ce que le MOS ?

Le système de calcul du risque de grêle est basé sur le modèle appelé « Model Output Statistics » (MOS). Il s'agit d'un système qui établit des prévisions optimisées, sur la base d'un historique de séries de données d'observation analysées au moyen d'une régression linéaire multiple. En résumé, le calcul des prévisions est basé sur les formules suivantes :

$$\begin{aligned} \text{Grêle} = & c1 * \text{intensité de la pluie} \\ & + c2 * \text{vent} \\ & + c3 * \text{sinus}(\text{jour dans l'année}) \\ & + c4 * \text{persistance} (-1\text{h}) \\ & + c5 * \text{advection - radar} \\ & + c6 * \text{advection - éclair} \end{aligned}$$

Les facteurs c1 à c6 sont calculés à partir de l'historique des données, au moyen d'analyses de régression. Il est ainsi possible de calculer les liens entre l'activité des éclairs à proximité d'un point et la survenue de grêle en un point.



III. 1 : lors de l'établissement opérationnel des prévisions, le système MOS calcule, pour un point x, le risque de grêle à partir de l'intensité de la pluie aux alentours (dans la direction en amont du vent), du vent, du jour de l'année, de la situation météorologique une heure auparavant, des échos radar (dans la direction en amont du vent) et de l'activité des éclairs (dans la direction en amont du vent) :

Jusqu'ici, il n'existait des prévisions MOS que pour des points géographiquement définis de manière fixe, donc pour des stations météorologiques. Avec le MOS grêle, la procédure MOS est pour la première fois appliquée à des objets en mouvement (cellules orageuses ou de grêle). SRF Meteo a mandaté MeteoService à Berlin pour le développement de cette procédure MOS. MeteoService est spécialisé dans les prévisions MOS et leader mondial en la matière. MeteoService dispose de plusieurs années d'expérience dans le développement pour l'Allemagne de systèmes MOS concernant les orages.

1.3.2 Données d'entrée

Pour les analyses de régression, des données archivées des trois dernières années ont été tout d'abord utilisées. Il s'agissait :

- de données modélisées (toutes les 6 heures)
- de données radar (toutes les 5 minutes)
- de données mesurées par des stations météorologiques (données par heure, agrégées à partir de données sur 10 minutes)
- de données sur les éclairs (en permanence)

À la fin de chaque saison, le portefeuille comportant toutes les données d'entrée a été mis à jour et de nouvelles équations de régression adaptées ont été développées.

1.3.3 Données de sortie

Dans le système opérationnel, les types de données d'entrée sont à nouveau des variables d'entrée. Avec ses équations, le système calcule en effet les prévisions de grêle à partir de données radar, de données sur les éclairs, de données de mesure et de données modélisées actuelles. Et il calcule ces prévisions non pas pour des points individuels, mais pour une surface rectangulaire qui contient la Suisse.

Le système d'alerte grêle renouvelle ses calculs toutes les cinq minutes. Il dispose d'une résolution spatiale de 1 km x 1 km, l'horizon des prévisions est de 120 minutes. Des prévisions sont ainsi établies pour 714'396'672 points par jour au total. Seules les données pour les 45 premières minutes sont utilisées pour le dispositif de commande des stores. Ainsi, on diminue certes le temps d'alerte à 45 minutes au maximum, mais le taux de reconnaissance est augmenté.

Le système lui-même ne tranche pas entre oui ou non concernant la grêle, mais il établit la probabilité que des grêlons de plus de 1,5 cm de diamètre tombent. Si cette probabilité dépasse 5 %, le signal est délivré au dispositif de commande des stores. La définition de cette valeur-seuil fera l'objet d'investigations supplémentaires au cours du projet. Jusqu'ici, deux considérations ont été prises en compte :

1. Le rapport coûts / pertes. Si l'on met en rapport le coût du remontage des stores avec la perte subie si les stores sont baissés pendant un orage de grêle, on arrive à un très petit chiffre. Les frais liés au remontage sont très faibles, il peut s'agir éventuellement de frais d'électricité. Mais la perte liée aux dommages est importante. La première approche a donc été de fixer un faible seuil de 1 % pour la probabilité de grêle. Une alerte est ainsi émise dès que le taux de probabilité dépasse 1 %.
2. Lors de discussions avec différentes personnes intéressées, en particulier aussi avec le groupe d'accompagnement du projet, il est ressorti qu'une probabilité plus élevée était souhaitée, la raison invoquée étant qu'il ne fallait alerter qu'en cas de prévision sûre. Ainsi, on pourrait conserver un taux de fausses alertes faible et éviter un remontage inutile des stores, afin que les utilisateurs acceptent le système le mieux possible. Cette argumentation est cohérente, car elle inclut, dans les coûts du rapport coûts / pertes, le facteur « perte de qualité de vie si les stores sont remontés ». Dans la suite du projet, il sera nécessaire de rendre ce facteur un peu plus concret pour obtenir un meilleur rapport coûts / pertes et ainsi un meilleur seuil d'alerte.

1.4 Méthodes de vérification

La vérification d'un système d'alerte grêle est relativement complexe. Le plus grand défi est ce qu'on appelle la « vérité terrain », à savoir la mesure de la grêle au sol. Il faudrait en réalité déployer un réseau de mesure de la grêle à large échelle. Mais il existe peu de capteurs de grêle opérationnels fiables. Le radar représente la seule possibilité de fournir des indications à large échelle sur la grêle. Un radar ne mesure cependant pas la grêle au sens strict, mais l'énergie réfléctée d'une particule dans l'atmosphère. Le radar envoie un signal et mesure la part d'énergie émise qui revient.

Il existe différentes méthodes pour conclure qu'il y aura de la grêle à partir d'un tel écho. [Mason, 1971] suggérait d'utiliser 55 dBZ comme valeur-seuil. Le critère de Waldvogel [Waldvogel, 1979] définissait une cellule de grêle comme une cellule dont la surface à 45 dBZ était plus élevée de 1400 m par rapport à la limite du zéro degré. Les deux critères ne donnent aucune précision quant à la répartition de la taille des grêlons dans une cellule. Pour cela, il existe le MESHS (Maximum Expected Severe Hail Size) [Treloar, 1998].

Dans notre cas, un pixel était considéré comme un pixel de grêle selon le radar s'il présentait une réflectivité de > 55 dBZ et que les 55 dBZ avaient été dépassés sur au moins 5 km également à la verticale. Une alerte est considérée comme correcte quand le pixel en faisant l'objet ou au moins l'un des pixels voisins présente de la grêle sur le radar.

Le système d'alerte grêle calcule la probabilité que tombent des grêlons > 1,5 cm. Nous avons tout d'abord évalué la fiabilité puis, dans un deuxième temps, le taux de reconnaissance des orages de grêle par le système.

2 Déroutement de la phase pilote

2.1 Installation

2.1.1 Exportation de données

SRF Meteo a harmonisé toutes les données d'archives (données radar, données sur les éclairs, données de mesure et données concernant les cellules orageuses). Ces données ont été exportées vers MeteoService. Les formats d'échange entre services météo ont été définis. Toutes les bases de données et tous les formats ont fait l'objet d'une documentation.

2.1.2 Données radar : problèmes inattendus

En Suisse, les données radar sont récoltées par le service météorologique national MétéoSuisse ; SRF Meteo achète ces données. Le réseau de mesure radar a été renouvelé en 2011 et 2012. D'une part, MétéoSuisse a rénové les trois stations radar (Albis, La Dôle, Monte Lema). D'autre part, la résolution des données s'est améliorée, passant de 2 km x 2 km à 1 km x 1 km et l'échelle du radar a été affinée de 7 degrés à 255 degrés. Ce changement profond dans le système radar a eu lieu environ au milieu de la période concernée par l'archive utilisée pour le MOS grêle. Il fallait donc d'abord convertir toutes les anciennes données radar d'une grille sur 2 km à une grille sur 1 km, au moyen d'une procédure de Gauss qui a permis une interpolation optimale.

Il s'est en outre avéré que non seulement l'échelle radar était passée de 7 à 255 degrés, mais que la réflectivité du radar avait été convertie en l'intensité des précipitations. Finalement, cela s'est révélé non problématique. Comme le système MOS calcule avec des valeurs-seuil, il faut déterminer la conversion pour les seuils uniquement et la mettre en concordance entre les anciennes et les nouvelles données.

Deux nouvelles stations radar supplémentaires ont vu le jour ces deux dernières années : Plaine Morte (VS) et Weissfluhjoch (GR). Ces deux stations améliorent légèrement les prévisions du système MOS. Il faut toutefois prendre en compte le fait qu'il s'agit de stations alpines, et que la plupart des cellules de grêle passent au-dessus des Préalpes, du Plateau, du Jura et du Tessin. Les données des nouvelles stations radar sont prises en compte pour le développement des équations de régression dans le système MOS.

2.1.3 Développement des équations MOS et mise sur pied du système opérationnel

MeteoService a développé les équations MOS, et les équations de régression multivariées ont été calculées à partir des données d'archives. Durant l'ensemble des phases de développement, SRF Meteo est resté en contact étroit avec MeteoService et un grand échange de connaissances a eu lieu concernant la météorologie des orages. Il fallait en particulier définir, pour les zones alpines, ce qui devait être considéré ou non comme une cellule de grêle sur une image radar. La recherche en matière de radars a fourni à ce sujet des résultats clairs qui donnent lieu à ces formules.

En février sont apparues les premières études de cas issues du système. Les formats d'exportation ont ensuite été optimisés. Le but était d'atteindre la plus haute vitesse possible de calcul et de transmission dans le système.

2.1.4 Développement de la plate-forme

SRF Meteo a conçu et développé la plate-forme d'envoi des alertes grêle. Cette plate-forme doit d'une part importer rapidement les données du système MOS puis émettre les alertes selon les valeurs-seuil définies à l'avance pour la probabilité de grêle (> 5 %). D'autre part, elle doit gérer les alertes en cours et reconnaître quand et pour quel point il est possible de lever l'alerte. Cela se produit actuellement après une demi-heure sans autre dépassement du seuil d'alerte grêle.

La transmission des signaux d'alerte s'effectue sous forme de fichier XML ou de SMS. Les protocoles de transport et les interfaces ont été définis et mis sur pied avec les partenaires. Pour l'envoi par SMS, SRF Meteo travaille avec un opérateur de services SMS. Une interface d'échange a également été programmée à cet effet.

Tous les numéros pour l'envoi de SMS aux dispositifs de commande des bâtiments sont gérés sur la plate-forme. Toutes les alertes émises font l'objet d'un procès-verbal. On dispose des différents fichiers log du système, qui sont archivés et peuvent être analysés.

2.1.5 Premières installations

Le système a pu être mis en service dans les délais le 1^{er} mai 2013. Au cours de ce premier mois d'exploitation déjà, les premiers bâtiments ont été raccordés. Les tests avec les différentes méthodes d'envoi des alertes ont montré que l'envoi par SMS est très rapide. L'alerte parvient au dispositif de commande en bien moins de 10 secondes. L'envoi au format XML est également rapide et prend en général moins de 30 secondes.

2.2 Adaptations et découvertes durant l'exploitation

Durant la première saison de la phase pilote, des problèmes de capacité sont survenus aussi bien pour la plate-forme de SRF Meteo que pour l'envoi de l'alerte. Il a par exemple été démontré que la vitesse d'écriture des disques durs classiques de serveurs ne suffisait pas si le système fournissait des prévisions pour plus de 5 cellules orageuses simultanément. Grâce à diverses améliorations ciblées du logiciel, ces problèmes de capacité ont pu être résolus durant la deuxième saison.

La plate-forme qui traite les alertes grêle et les transmet aux différents systèmes pour l'envoi délivrait au départ l'alerte à deux canaux de distribution fondamentalement différents : un canal basé sur IP et un canal par SMS. Avec la solution basée sur IP, l'information pour chaque point faisant l'objet d'une alerte est transmise à notre partenaire netIT. netIT donne ensuite l'ordre au dispositif de commande des stores, via le réseau, de remonter les stores. Avec la solution par SMS, un ordre est envoyé par SMS à un boîtier de commande qui dirige ensuite les stores.

Au cours des trois années, on a cependant constaté qu'il n'existe malheureusement aucun standard technologique uniforme pour la solution par SMS, car les différents partenaires utilisent des appareils différents, qui nécessitent des ordres différents. Ainsi, il fallait définir séparément la manière de concevoir les ordres presque pour chaque installation. De plus, les installateurs utilisaient généralement des cartes SIM prépayées. Certes, elles n'engendrent pas de frais d'abonnement, mais elles ont le grand inconvénient que l'utilisateur doit effectuer une action payante environ une fois par année à partir de la carte SIM, sans quoi cette dernière est désactivée. Une telle action n'est pratiquement pas possible avec un dispositif de commande des stores. L'envoi par SMS est donc désormais déconseillé.

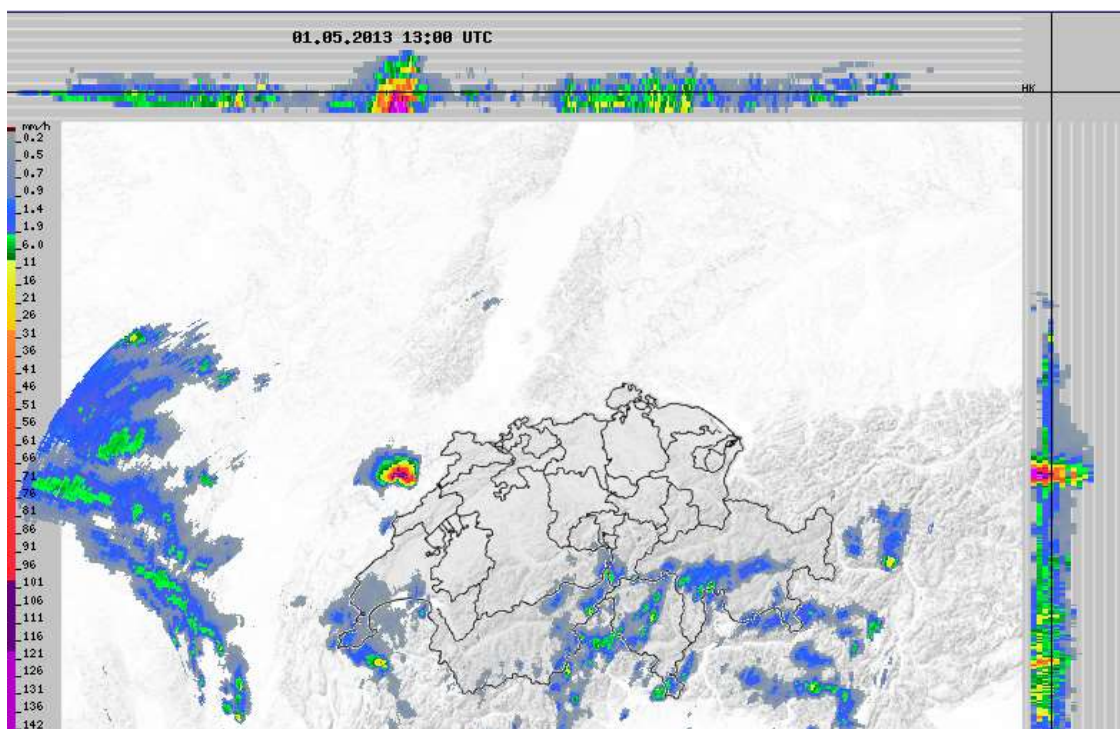
3 Résultats

3.1 Exemples de cas

Dès le premier jour d'exploitation, le système a démontré ses capacités. L'après-midi, une cellule de grêle s'est créée en-dehors du Jura. Le système l'a tout de suite reconnue et a correctement émis une alerte la concernant.



III. 2 : la première alerte grêle avec CellMOS pour le 01.05.2013, 15h.



III. 3 : la cellule de grêle effective du 01.05.2013, 15h20

Durant la suite de la phase pilote, les grands avantages de notre approche statistique ont été de plus en plus visibles par rapport aux méthodes linéaires d'extrapolation connues (chapitre 1.2). L'image ci-

dessous montre ainsi clairement que notre système peut aussi prévoir des trajectoires qui seraient inattendues en raison de la situation des vents ou des cellules orageuses environnantes. Pour la cellule au nord du lac de Thoune, une trajectoire inclinée vers la droite était prévue, donc la cellule devait passer au sud du Rigi. Et la cellule a finalement suivi exactement cette trajectoire. Une extrapolation uniquement linéaire basée exclusivement sur les vents d'altitude aurait par contre laissé supposer que la cellule passe au nord du Rigi.



III. 4 : trajectoire prévue de la cellule de grêle « Rigi » du 06.08.2013, 16h00 : CellMOS a prévu une trajectoire au sud



III. 5 : image radar de la cellule de grêle « Rigi » du 06.08.2013, 16h20 : la trajectoire prévue par CellMos a été confirmée.

3.2 Vérification

Après la première année, la qualité et le bénéfice offerts par les prévisions de probabilité du système ont été examinées. Il s'est alors avéré que le système fournit un peu trop souvent des valeurs avec une faible probabilité, ce qui n'est pas une mauvaise chose pour un système qui est censé protéger. Le taux de reconnaissance des orages de grêle est ainsi plus élevé. Émettre trop peu d'alertes serait pire, trop de cas de grêle seraient occultés. L'inconvénient est par contre l'augmentation du taux de fausses alertes. Et trop d'alertes peuvent nuire à la bonne acceptation d'un système d'alerte et mener, dans le pire des cas, à ce qu'il soit totalement rejeté.

Les années suivantes, les taux de reconnaissance ont été évalués pour un seuil de probabilité de 5 %. Les régions de grêle dérivées des données radar ont été utilisées comme base pour la vérification (voir aussi point 2.4 Méthodes de vérification).

	Nombre de jours avec grêle	POD
2013	34	94 %
2014	35	87 %
2015	40	96 %

Tableau 1 : nombre de jours avec grêle et probabilité de reconnaissance (POD) pour les trois années test : en moyenne, un taux de reconnaissance de 90 % environ a pu être atteint.

En moyenne, le taux de reconnaissance est donc d'environ 90 %. Si l'on calcule le taux de reconnaissance sur chaque jour individuellement, on constate une certaine variabilité. Le taux de reconnaissance le plus faible a été atteint le 13 juillet 2013. Ce jour-là, il y avait seulement quelques orages dans l'Oberland bernois, qui présentaient certes une grande dynamique de développement mais qui sont restés presque au même endroit.

De telles situations causent des problèmes au système, en particulier quand une cellule « explose » sur place. Dans un tel cas, l'alerte arrive trop tard. Cela est certainement dû à la vitesse de développement de la situation météorologique. Si elle est supérieure à la vitesse de la chaîne de traitement des données, le système peut être dépassé. 3 minutes s'écoulent de la prise de l'image radar au début de son traitement. Le calcul de la prévision prend 2 minutes supplémentaires et l'envoi du signal au dispositif de commande des stores, environ 30 secondes. En cas de situation très explosive, une cellule de grêle peut apparaître « de nulle part » durant ce laps de temps de 5,5 minutes maximum.

4 Conclusions

Grâce à notre système, nous disposons d'une nouvelle méthode pour établir des prévisions permettant de protéger les stores de manière fiable contre la grêle. Mais, comme pour tout système de prévision météorologique, il n'est pas possible d'atteindre un taux de reconnaissance de 100 %. Les situations orageuses explosives, avec des vents faibles, sont particulièrement problématiques et engendrent un défaut ou un retard d'alerte. La qualité des prévisions est cependant nettement plus élevée avec le présent système qu'avec les méthodes connues et utilisées jusqu'ici. Les résultats obtenus montrent que l'objectif visé par l'AEAI a été atteint.

5 Remerciements

SRF Meteo remercie chaleureusement la Fondation de prévention des ECA pour avoir rendu possible cet intéressant projet. Un merci tout particulier est adressé à Martin Jordi, qui a soutenu le projet de manière intensive et l'a toujours fait avancer grâce à ses avis constructifs. Nous remercions aussi MeteoService GmbH à Berlin, qui a mis sur pied et exploité le système.

6 Sources

Glahn, H.R. and Lowry, D. (1972). The use of model output statistics (MOS) in objective weather forecasting, *J. Appl. Meteor.* 11,1203–1211

Mason, B. (1971). The physics of clouds. *Oxford Univ Pr, Oxford.*

Rinehart, R.E. and Garvey, E. (1978). Three-dimensional storm motion detection by conventional weather radar. *Nature*, 273, 287-289.

Treloar, A. (1998). Vertically integrated radar reactivity as an indicator of hail size in the Greater Sydney region of Australia. In *19th Conference on Severe Local Storms*, pages 48 - 51, Minneapolis, Minnesota. 14-18 September.

Waldvogel, A., Federer, B., and Grimm, P. (1979). Criteria for the detection of hail cells. *J. Appl. Meteor.*, (18):1521 - 1525.

Alarme-Météo (2012). www.alarmemeteo.ch