

Dossier

La grande traque des orages

Ce dossier comporte deux aspects : une adaptation des modèles d'analyse à l'échelle restreinte du domaine de la convection, suivie d'une étude d'un cas significatif - orages du 6 août 1995 sur le Val-d'Oise - montrant comment un CDM bien équipé peut actuellement dresser un état complet de l'activité des orages, de leur localisation et de leurs effets.

La première partie est due à Lionel Althuser, lauréat pour ce travail du prix de l'AAM, destiné à la promotion 1992-1995 des élèves ITM de l'École de la Météorologie. Le deuxième volet est essentiellement tiré de la revue Hectopascal, mensuel de climatologie rédigé par l'équipe du Centre départemental du Val-d'Oise dirigée par Gilbert Manceau.

Analyse à fine échelle pour le suivi de la convection

Étant donné leur caractère violent et parce qu'ils sont encore dans de nombreux cas mal prévus, les systèmes convectifs retiennent souvent l'attention en météorologie. La prévision de la convection et des phénomènes associés tels que précipitations, grêle, vent, etc., compte tenu de leurs échelles spatiales et temporelles, entre dans le cadre de la prévision immédiate. La prévision immédiate consiste en l'observation, le suivi et la prévision d'événements météorologiques à l'intérieur d'un créneau [- 3 h ; + 6 h] (Blondin, éléments de cadrage pour l'atelier de prévision immédiate, 1994). Elle est en ce sens fortement dépendante d'informations précises et renouvelées de la description de l'atmosphère.

Aussi, à l'aide d'une information horaire plus dense que l'opérationnel, apportée par le réseau d'observation secondaire (celui des stations automatiques), l'analyse Canari du

modèle numérique Arpège-Aladin a été mise à l'épreuve. Canari, outil de base utilisé pour l'interprétation du nombre important d'observations, a été adapté au cadre de notre étude à travers différents réglages, et a permis le calcul de champs diagnostics pertinents pour la convection. Une étude de cas, celle de la situation orageuse du 4 août 1994, a permis d'apprécier la correspondance entre ces champs et l'évolution des systèmes convectifs.

Le modèle Arpège-Aladin est la version à aire limitée d'Arpège/Ifs ; c'est-à-dire qu'il utilise les mêmes principes thermodynamiques qu'Arpège tout en étant d'une plus grande précision grâce à l'utilisation d'une résolution de l'ordre de 10 kilomètres, alors que celle d'Arpège est de l'ordre de 30 kilomètres sur l'Île-de-France. Aladin, dont la mise au point s'est achevée début 1994, devrait être opérationnel sur la

France d'ici à la fin de l'année 1995. Le principal but d'une analyse objective est de fournir l'état le plus probable de l'atmosphère. Cet objectif convient à l'objet de notre étude : l'anticipation et le suivi des phénomènes convectifs. Le nombre important d'observations utilisées permet en effet de mettre en valeur des structures météorologiques de fine échelle (température, humidité). Trois facteurs sont importants pour la résolution spatiale d'une analyse :

- la densité du réseau d'observation,
- la résolution de la grille d'analyse (c'est-à-dire celle du modèle dans les cas d'Arpège et d'Aladin),
- la structure statistique des erreurs de prévision que l'on fournit à l'analyse, au travers des différentes fonctions de corrélation.

Ces caractéristiques ont fait l'objet des choix suivants pour l'analyse Canari :



Météo-France en Val-d'Oise



Extrait du dépliant du CDM du Val-d'Oise

• Lors des expériences, nous avons utilisé les données horaires du réseau d'observation secondaire en plus du réseau principal. Concrètement, pour la journée d'étude du 4 août 1994, on possède plus de 900 points d'observation sur la métropole alors que moins de 150 étaient en opérationnel.

• La résolution du modèle est réduite à 10 kilomètres par l'utilisation d'Aladin.

• Disposant des deux éléments précédents et afin d'obtenir une représentation réaliste et précise de l'atmosphère, on s'est largement intéressé aux données statistiques entrées dans le modèle de l'analyse. Aussi, profitant de la forte densité de notre réseau d'observation et en raison des objectifs poursuivis, nous avons pu réduire le rayon de recherche des observations – autour d'un point à analyser – de 1 200 km (valeur utilisée dans l'opérationnel) à 200 km.

L'analyse Canari agit sur une ébauche (ou prévision) du modèle : elle la corrige par des incréments en fonction des données observées, afin de se rapprocher au mieux de l'état de l'atmosphère décrit par les observations. En quantifiant numériquement cette correction, on a pu d'une part, juger de la qualité de

l'ébauche, et d'autre part, évaluer objectivement l'effet des modifications apportées au modèle statistique de l'analyse sur les champs météorologiques. Pour ces modifications, on a agi notamment sur la portée des écarts-types d'erreur de prévision, où la portée représente la distance caractéristique d'influence des observations ; elle a pu être réduite de 430 km à 129 km. Dans nos expériences, une diminution de la portée a eu pour effet de donner plus de poids aux observations en liant le point analysé avec les observations locales. Les écarts-types d'erreur, quant à eux, mesurent la confiance que l'on porte respectivement au modèle et aux observations. Une confiance égale entre le modèle et les observations est habituellement utilisée en opérationnel mais dans notre cas, une augmentation mesurée de l'écart-type d'erreur de l'ébauche, porté à environ 2,7 °C contre 2 °C pour la température à deux mètres, a permis d'accroître la confiance portée aux observations.

Les conditions nécessaires aux déclenchements convectifs sont la présence simultanée d'instabilité potentielle et d'un mécanisme de soulèvement. De nombreux chercheurs ont cherché à quantifier et à mesurer ces conditions par l'intermédiaire d'indices pertinents pour la convection qui tiennent compte de différents facteurs intervenant dans la formation des cumulonimbus : des basses couches humides, un profil instable, etc. Les indices les plus anciens permettant de mesurer l'instabilité potentielle sont en général faciles à calculer à l'aide de radiosondages (Showalter, Galway, Telfer...). L'évolution des moyens informatiques au fil des années permet le calcul d'indices d'instabilité potentielle plus complexes. Nous avons utilisé le Cape (Miller, 1976) – Convectively Available Potential Energy –, qui a fait ses preuves sur des occurrences d'orages sur l'Europe de l'ouest (C. Collier and R. Lilley, 1994). Le Cape représente une mesure de l'énergie gagnée par une particule d'air grâce à la convection libre au sein des ascendances convectives.

Les indices d'instabilité marquent un état de l'atmosphère plus ou moins propice aux développements convectifs, cependant, cette instabilité ne leur est pas systématiquement suffisante : un mécanisme de soulèvement en surface l'accompagne pour libérer ces énergies potentielles. Des glissements sur l'orographie, des contrastes terre-mer, des fronts froids, des fronts de rafales d'orages, etc., peuvent être à l'origine de ce type de phénomènes. Ils sont en règle générale bien approximés par la convergence et la convergence d'humidité (MOisture CONvergence) de basse couche, indice MOCON.

Disposant de moyens adéquats en outils de diagnostics, nous avons étudié principalement Cape et Mocon, mettant à profit le lien entre ces indices et les données de couche limite, température, humidité à 2 mètres et vent à 10 mètres, dont nous disposons en grande quantité. La situation météorologique étudiée était celle du 4 août 1994. En surface, un front froid situé sur le proche atlantique se frontolyse au cours de la journée avec une couche nuageuse peu épaisse sur la Basse-Normandie, matérialisée par une bande pluvieuse de faible intensité (sur l'image radar de Trappes à 12 h UTC). Ailleurs, les conditions anticycloniques antérieures et le chauffage diurne favorisent le réchauffement des basses couches. Cette accumulation de chaleur dans les basses couches est illustrée par des températures maximales qui atteignent 36 °C, voire 37 °C sur l'Île-de-France et l'Orléanais.

Les orages éclatent de manière brutale à 14 h 30 UTC d'abord sur l'Essonne, puis sur l'ensemble de la région parisienne. Un rapport établi à leur propos (G. Monceau & al, 1994) en souligne le caractère exceptionnel (difficilement prévisible) en particulier pour les précipitations, mettant l'accent sur leur intensité et leur brièveté – vers 14 h 45 UTC, plus de 100 mm/h dans l'Essonne et plus de 20 mm en dix minutes à certains endroits du département du Val-d'Oise. La présence de l'aéroport de Roissy - Charles-de-Gaulle dans ce

département indique l'importance d'une prévision de ces orages exceptionnels, même à très courte échéance. Les images satellitales (visible et infrarouge) montrent un développement rapide du système entre 14 h 30 UTC et 15 h 30 UTC vers le nord-nord-ouest dans une situation qui ne paraît pas particulièrement active aux échéances précédentes.

Pour l'étude de situations convectives sur l'Île-de-France, on a centré le domaine sur la France pour permettre l'exploitation des réseaux d'observation métropolitains. Avant d'effectuer des analyses Aladin, les prévisions du modèle ont été étudiées pour chaque échéance : la prévision de fine échelle ne simule pas l'événement convectif sur l'Île-de-France. Une fois effectuées les analyses, - avec pour base ces prévisions -, la représentation numérique de l'atmosphère est plus proche de la réalité. L'apport de l'analyse apparaît de façon claire au fil des échéances, notamment lorsque les orages ont éclaté. Pour les champs de température à 13 UTC, la correction de la prévision est d'environ 2 °C sous le système nuageux situé sur la Basse-Normandie. Cette différence entre températures prévues et analysées atteint 3,5 °C à 15 h UTC, puis plus de 7,5 °C à 16 h UTC sous les orages.

Le travail d'analyse est illustré par l'apparition d'une poche froide sous les développements convectifs, corrigeant donc en grande partie les défauts de la prévision en se rapprochant des observations. L'évolution temporelle des champs d'analyse en température, vent et humidité aux hauteurs météorologiques semble plus rapide et plus proche de la réalité que celle des ébauches. Ceci démontre, d'une part la « dérive » de la simulation par rapport aux observations, et d'autre part, le travail de l'analyse.

Afin de parler en terme de prévision (immédiate), les champs diagnostics pertinents pour la convection (expressions de l'instabilité potentielle dans l'atmosphère et représentations des mécanismes de soulèvement), calculés à partir de champs analysés à l'échéance H, sont comparés aux images télédétektées à H + 1 ou H + 2.

À 13 UTC, l'ensemble du domaine présente des valeurs manifestement élevées d'instabilité potentielle, corréliées aux fortes températures de surface de l'analyse. Les divers indices d'instabilité indiquent plusieurs régions particulièrement propices au déclenchement de systèmes convectifs : le nord de la Picardie, le centre de la Sarthe et la partie sud de la région parisienne. On étudie les indices de soulèvement afin de déterminer s'ils sont pertinents, dans notre cas, pour distinguer les lieux où il y a déclenchement (Essonne) de ceux où il n'y en a pas. Sur les régions où il n'y a pas eu occurrence desdits déclenchements, les champs de Mocon et tendance de Mocon n'ont pas de maximum relatif alors qu'on en voit un se détacher nettement sur l'Essonne. Cette différence du point de vue des mécanismes de soulèvement expliquerait qu'il y ait occurrence d'orages uniquement sur l'Essonne : c'est l'association des maxima en Cape et Mocon ou tendance de Mocon, qui semble être pertinente pour la prévision du développement du système convectif. On superpose les champs de Cape et tendance de Mocon entre 13 et 14 h UTC avec l'image infrarouge de 14 h 30 UTC et on montre la colocalisation des maxima des indices et du développement nuageux.

Le suivi de la convection à partir de ces indices s'est révélé moins fructueux. Ce relatif insuccès peut être attribué à une méconnaissance des évolutions réelles des conditions d'altitude et, comme l'ont mentionné Jackson et al (1992), les indices de soulèvement sont des outils performants pour la phase initiale de la convection mais perdent de leur intérêt après déclenchements. En effet, les champs de vent de surface deviennent perturbés par les fronts de rafales et par les courants subsidents des orages, du fait que le système a sa propre dynamique. Les variations d'autres paramètres de l'environnement influent aussi sur l'évolution du système : le cisaillement du vent, l'humidité en moyenne troposphère, le vent dans la couche nuageuse ; ces paramètres

Météo-France surveille l'atmosphère...

Une station à moins de 8 kilomètres de chaque Valdoisien, avec...

- Le Centre de Roissy équipé de plus de 30 capteurs pilotés par les calculateurs CMOBS
- Les 16 stations automatiques du réseau RAMIF95 mis en oeuvre avec le concours du Conseil Général.
- Les 20 observateurs bénévoles qui se joignent à Météo-France pour parfaire la connaissance du climat local... mais aussi tous les passionnés qui communiquent leurs relevés !



Wy-dit-Joli Village



Les phénomènes météorologiques traqués minute par minute, au kilomètre près, grâce à :

- ASPIC, le système qui calcule les trajectoires des zones de pluie repérées par radar, pour mieux prévoir les orages et les quantités d'eau qu'ils vont déverser dans l'heure qui suit.
- SAFIR et MÉTÉORAGE, qui détectent et visualisent les éclairs et aident à prévoir leur progression.



- MÉTÉOTEL, qui traite et anime les images du satellite Météosat et affiche toutes les autres informations.
- AEROMET, qui concentre les observations aéronautiques et météorologiques du monde entier.

sont hélas inaccessibles en l'état actuel du réseau d'observation et de la technique économiquement abordable.

En conclusion, les bons résultats obtenus tant sur l'apport des analyses à fine échelle d'un nombre d'observations important que sur la pertinence des champs diagnostics seraient à confirmer en effectuant un plus grand nombre d'études de cas. Une amélioration consisterait à ce que le réglage des paramètres statistiques de l'analyse se fasse de manière objective, en comparant numériquement les valeurs des champs analysés à celles des observations de la région concernée. Les champs diagnostics étudiés sont pour notre cas d'étude plus performants pour le déclenchement de la convection que pour son suivi. Il y a correspondance entre les occurrences de fortes valeurs de ces diagnostics et la localisation des déclenchements convectifs. Les indices d'instabilité, Cape et paramètres issus de la « méthode de la particule », déterminent bien les conditions de l'environnement avant l'occurrence du système. Pour les indices de soulèvement, il apparaît dans notre cas, que la divergence, le Mocon, et la tendance de Mocon

sont pertinents pour le déclenchement de la convection de façon assez précise une heure à l'avance. Ces résultats obtenus quant à l'anticipation du lieu et en conséquence du moment de déclenchement du

système convectif intense sont très encourageants. Espérons qu'ils apporteront aussi des éléments objectifs dans le débat sur l'utilisation en temps réel des réseaux sous-synoptiques.

Les références bibliographiques qui accompagnent le rapport sont à la disposition des lecteurs intéressés en contactant la rédaction du bulletin.

◆ Lionel Althuser - Décembre 1995

6 août : l'orage total

Cet événement est constitué par la succession continue de violentes cellules orageuses. Il regroupe tous les phénomènes destructeurs possibles !

Sa chronologie

À 15 h 35 une cellule pluvio-orageuse se crée sur Saint-Ouen (93). Elle se déplace vers le 355° (NNO) à environ 18 km/h en s'intensifiant, et pénètre dans le Val-d'Oise par Deuil et Montmagny.

Durant les deux heures suivantes plusieurs autres cellules se créent dans le nord de Seine-Saint-Denis : deux régénérations de la première vers Saint-Ouen, plus la création d'une autre vers Saint-Denis ; cette dernière cellule rejoint les précédentes, toujours dans le même secteur du Val d'Oise.

Il s'en suit une succession quasi-continue d'orages, par ailleurs forts, sur tout le secteur sud-est de la vallée de Montmorency.

75 mm mesurés... plus de 100 mm estimés au cœur !

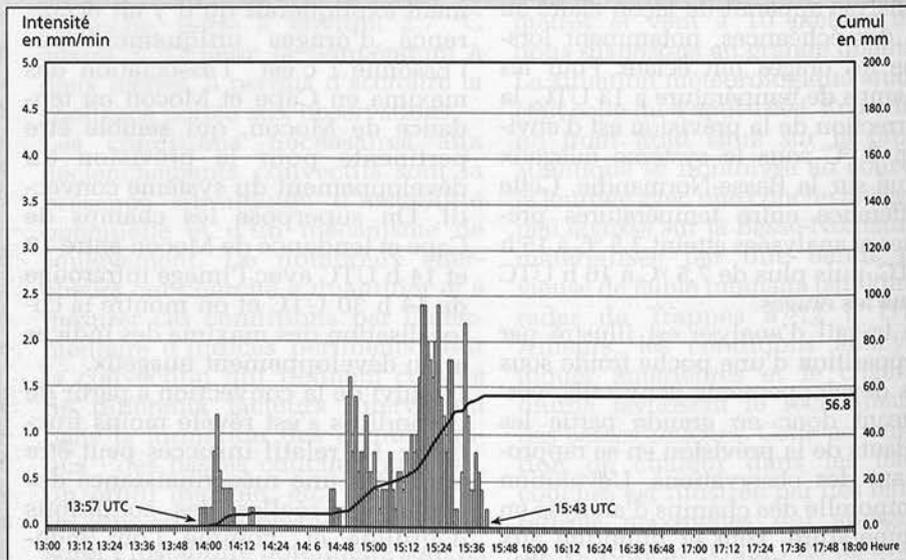
Bien qu'elle soit en marge de l'orage, la station automatique Ramif 95 de Groslay mesure le chiffre respectable de 56,8 mm de pluie ! (enregistrement ci-contre)

Au voisinage, les mesures effectuées par des tiers et validées par expertise Météo-France sont plus importantes (À Soisy, hippodrome d'Enghien : 64,4 mm, à Montmorency, M. Potelle : 67,5 mm et Mme Favris : 75,0 mm). Elles aussi ne sont pas situées au maximum de l'orage !...

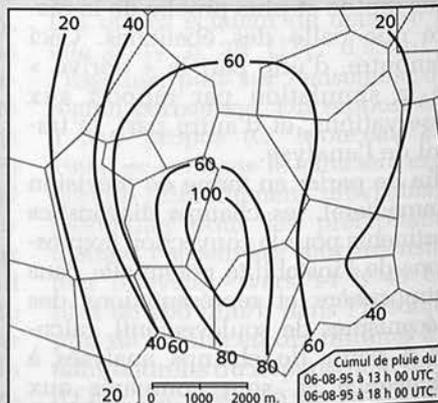
Plus que centennal !

L'analyse intensité-durée-fréquence du pluviogramme Ramif 95 de Groslay est déjà éloquent : le décennal est atteint au bout de 25 minutes, et l'indice de retour 25 ans est frôlé à partir d'une durée de 50 minutes !

Compte-tenu des cumuls mesurés ou estimés, les indices de fréquence sont les suivants :



Cumul reçu (en mm)	Indice de fréquence (en années)	Durée minimale moyenne correspondante (en minutes)
40	5 à 10	50 et plus
50	10	75 et plus
60	25	95 et plus
80	100	55 et plus
100	> 100	35 et plus



Ainsi, les secteurs à l'intérieur de l'isohyète 80 mm (Montmorency, Deuil, Soisy et Enghien) sont centennaux !

Des intensités maximales instantanées également exceptionnelles

L'intensité la plus forte observée à Groslay est de 2,4 mm/mn durant 2 minutes consécutives. L'indice de fréquence est déjà voisin de 5 ans ! La trace des échos radar les plus forts, permet de localiser les lieux très probablement intéressés par les intensités instantanées les plus élevées. Une estimation grossière laisse présumer d'un niveau d'intensité de l'ordre de 3 mm/mn dans le secteur de Montmorency. L'imprécision de cette estimation, ainsi que l'impossibilité d'estimer sa durée réelle (qui sur la base d'une image peut être comprise entre quelques minutes et 9 minutes), ne permet pas de chiffrer valablement l'indice de fréquence. Néanmoins, celui-ci dépasse assurément 10 ans ! Les pluies sont donc exceptionnelles tant par leur durée, que par leur intensité sur quelques minutes.

Foudre incendiaire !

Trop nombreux sont les valdoisiers à ne plu être surpris par les dégâts dus aux pluies d'orage. Par contre cette fois un incendie a probablement été occasionné par la foudre ; ça, personne ou presque n'en avait l'expérience dans ce département. Qui plus est, l'incendie en question a détruit un centre commercial, réduisant au chômage de nombreuses personnes : un événement unique en Val d'Oise, les inondations de l'Oise mises à part.

Pour localiser, quantifier et caractériser l'**activité électrique**, Météo-France dispose de deux systèmes de détection. Le premier, Météorage, en place sur tout le territoire national, concerne exclusivement les éclairs nuages-sol. Le second, Safir de la société française Dimensions, permet de distinguer l'activité intranuages de l'activité nuages-sol. Il est installé en Ile-de-France et au Centre d'essai des Landes. Ce système est d'une grande précision. Safir comme le réseau Météorage permettent d'améliorer les prévisions.

Ce 6 août, Météorage enregistre 258 impacts dans un rayon de 20 kilomètres autour de la mairie de Montmagny ! Ce chiffre est remarquable. Plusieurs impacts ont une telle intensité, qu'ils sont susceptibles de provoquer un incendie. Ce sont les impacts de 16 h 58 (151 kA), 17 h 01 (373 kA) et 17 h 48 (119 kA).

Safir localise l'impact de 17 h 01 à 250 mètres du centre de l'Intermarché de Montmagny. Compte-tenu de la précision du système Safir (localisation à mieux que 2 km), il est quasi certain que c'est cet éclair qui a incendié le centre commercial.

Le vent aussi : 101 km/h mesuré à Bonneuil.

La mesure de l'aéroport du Bourget est situé à 6 kilomètres du cœur de l'orage. Elle s'élève jusqu'à 101 km/h de secteur est (080 °) à 17 h 01. Le vent a donc pu dépasser 100 km/h par endroit, sous, ou au voisinage des orages !

La grêle en plus

Des chutes de grêle ont été signalées par place. En particulier, à Deuil (diamètre 16 mm), Montmorency, Saint-Brice (16 mm), Sarcelles, Enghien et Stains (93).

Météo-France Val d'Oise remercie les particuliers, souvent agriculteurs, qui ont bien voulu communiquer leurs observations.

Pour Météo-France, ont collaboré à ces enquêtes : le CDM 77, le CIDM 75 et pour le CDM 95, M. Boulanger, C. Broutin, J.-C. Le Brun et N. Martin.

Messieurs,

J'aimerais par la présente vous faire part à la fois de mon plaisir et d'une déception plus modérée.

Plaisir et satisfaction, bien sûr, pour avoir été désigné lauréat de la session 96 du concours de l'Association des Anciens, Il est certain que le thème de l'étude m'a encouragé) vouloir décrire ces progrès qui se réalisent chaque jour dans les obscurs couloirs des centres de recherche. Les prévisions « immédiates » ou à courte échéance se révélant chaque jour de meilleure qualité éviteront certainement à l'avenir de tristes catastrophes comme celle du camping espagnol de cet été, participant par là à la vocation première de Météo-France : la protection des personnes et des biens. Elles satisferont aussi les demandes du grand public de pouvoir organiser ces loisirs de manière plus « stratégique ».

Ma déception tient au fait que je pensais que le nombre de candidats au concours de l'AAM aurait été plus important pour notre promotion. La communication est en effet essentielle à mon sens, notamment dans les services de la météo. Néanmoins, connaissant la seconde candidate, je suis effectivement persuadé que le choix entre les deux prestations ne devait pas être très facile. J'espère que dans l'avenir, ce concours très pertinent à mes yeux remportera le succès qu'il mérite. Vous pouvez être certains que je m'emploierais à en faire la promotion, ne serait ce que parce qu'y participer est un excellent exercice.

Je tiens à vous remercier une nouvelle fois et à vous présenter l'expression de mes sentiments distingués.

◆ **Lionel Althuser**

PS : mon adresse exacte est Lionel Althuser,
Le gros raisin, villa B11, 97228 Sainte-Luce, Martinique

