Cumulo-nimbus
il y a les descentes aussi

Anegeo 19/08/23 (12/09/23)

24 juillet 2023, rafale descendante sévère dans le Jura

Carte géographique de la zone la plus touchée (© OpenStreetMap, ligne grise épaisse : frontière) :

L'impressionnante jolie bête, qui se déplace vite, vue de la commune de Le Fins (selon Keraunos), Le Fins est quelques km au NE de Morteau :

Vidéo (© Nathalie Jeanningros-Picard in X Méteo-Express)

L'orage arrivant par l'ouest sur La Chaux-de-Fonds vu depuis l'aérodrome des Eplatures. (Photo : autorités aéroportuaires LSGC)

Arrivée de la colonne d'effondrement à Le Crêt du Locle (c'est peu avant la piste des Éplatures), vue du bâtiment de manufacture horlogère Cartier :

Vidéo (© chris68/forum infoclimat).

Arrivée de la colonne d'effondrement sur le bâtiment du petit aéroport des Éplatures peu avant la Chaux-de-Fonds :

Vidéo (© autorité aéroportuaires LSGC).

Dans la foulée, photo à l'approche de la grosse bourgade :

Le même système à l'approche de la Chaux-de-Fonds © Didier Calame

Approche de la colonne descendante depuis une maison élevée de La Chaux-de-Fonds :

Vidéo (© CDF sur youtube)

▪ Ambiance, filmée d'un bar dans la Chaux-de-Fonds (la rafale n'a duré que quelques minutes) : **Vidéo**

et vue d'une fenêtre, ici et d'une autre là.

● Quelques témoignages sélectionnés pour leur aspect descriptif sur le blog de Météo Suisse/MeteoSchweiz :

- Gsteiger Johan (25.07.2023, 22h06) : "*J'étais en consultation au CNP... Il faisait beau, un peu frais mais pas venteux... tout s'est passé en 15 mn, je dirais on a d'abord eu trois ou 4 éclairs, 2 minutes après une grosse pluie comme on en connaît malgré tout, une bonne roille quoi. Ce qui m'a surpris c'est que cette pluie est tombée d'un coup et moins de trente secondes le vent a suivi et rapidement on a vu un avant-toi de Numa Droz 199 s'envoler et le second 10 secondes plus tard... très rapidement c'était fini, comme après une grosse pluie, il faisait frais et humide bien entendu.*"

- "France La Chaux-de-Fond" (26.07.2023, 09:47) : "*Je me trouvais dans un supermarché du Locle avant la monté du Crêt du Lode et en quelques secondes sans que rien ne l'annonce, j'ai eu l'impression qu'une masse d'air m'arrivait dessus sans que rien ne l'annonce. J'ai eu l'impression qu'une masse d'air m'arrivait dessus et m'écrasait. J'étais dans ma voiture qui était secouée dans tous les sens. Cela s'est très vite terminé et je n'ai même pas réalisé que ce phénomène continuait sa course sur La Chaux-de-Fonds, ce n'est que 10 minutes plus tard en y arrivant que j'ai réalisé l'ampleur de la catastrophe...*".

- Alice (26.07.2023, 10.49) : "*Bonjour, Moi j'étais en centre ville dans un endroit fermé au rez de chaussée. A un moment donné, j'ai senti une pression à l'intérieur et j'ai eu peur que les fenêtres explosent à cause de cette pression un peu difficile à décrire. J'ai couru pour ouvrir l'impose d'une fenêtre.*"

- Robert-Tissot Chantal (26.07.2023, 17h27) : "*J’étais dans un bureau tout à l’ouest sur le tarmac de l’aéroport des Eplatures (dans l’enceinte même de l’aéroport), au 1er étage. Mon bureau est situé au 1er étage avec des fenêtres à l’ouest et au sud. Les tuiles de l’église de Eplatures ont pulvérisé mon bureau. J’ai été prise à 2 reprises dans le souffle (comme 2 explosions) lorsque les vitres ont successivement explosé dans 2 bureaux différents... J’ai vu arriver un mur depuis Le Crêt-du-Locle à une vitesse incroyable. Je me suis levée pour me poster à la fenêtre tellement c’était inhabituel. Les impacts de projectiles sont visibles sur les parois du bureau.*"

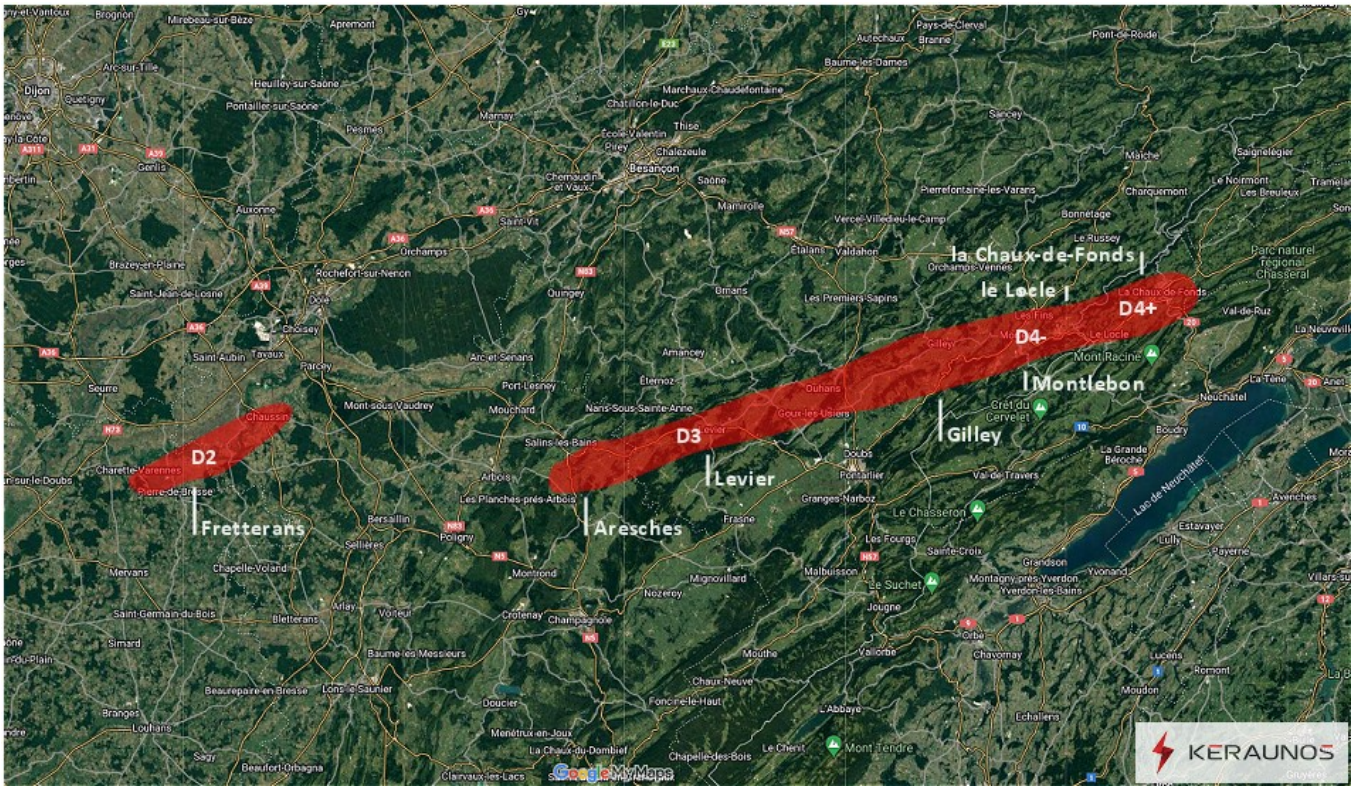
- Christel (28.07.2023, 09h19) : "*Bonjour, J'habite tout au bout de la rue de l'Helvétie, direction le Locle. J'étais en télétravail à la maison, assise face à une fenêtre qui donne sur le nord au moment où la tempête nous est tombé dessus. Il n'y a eu aucun signe avant-coureur. Tout à coup j'ai vu le vent à l'horizontale devant ma fenêtre, direction ouest-est. Les enfants étaient au salon et c'est en les entendant dire qu'ils avaient peur que j'ai bougé... je suis allée vers le salon (fenêtre vers l'ouest). On ne voyait quasi rien. Il y avait de la pluie, mais pas tant que ça (j'ai regardé la vidéo que j'ai prise depuis mon salon, en fait il a plu pendant la tempête, mais "l'averse" a été aussi courte que la tempête...) Ça s'est terminé aussi vite que ça avait commencé...*"

▪ Résultat du passage de la rafale sur une zone de résineux au Sud-Ouest de la commune de Levier, Doubs. Cela est vers le début de son contact avec la surface lorsque classée "D3" par Keraunos qui la classe ensuite "D4" lorsque qu'elle arrivera en Suisse (© Damien Gutner in Keraunos) :

▪ C'est le passage rapide d'une cellule orageuse, à un moment du mois où il ne faisait pas spécialement chaud (heure locale = UTC + 2 heures), (© Météo Suisse) :

animation-radar

▪ Keraunos (là) a donné une trace, qui a traversé la frontière, le long de laquelle il y eu de gros dégâts :



Phénoménologie

■ (Stull 2023, p. 893-902 :) Par effet d'entraînement, l'eau et la glace qui se trouvent dans un volume d'air ont comme résultat de faire comme si ce volume était plus lourd ce qui joue dans la phase d'initiation des courants descendants. Cette caractéristique finit par pendre le dessus sur le fait que l'air saturé est plus léger que l'air sec.

- Mais l'effet de loin le plus important (plusieurs fois la magnitude du précédent) est l'évaporation des gouttelettes qui transforme de la chaleur sensible en chaleur latente (i.e. refroidit l'air). L'eau a une chaleur latente de vaporisation très élevée, ce qui joue aussi bien dans le sens inverse... Sans évaporation nombre de rafales descendantes (qui ne sont pas une exclusivité des cumulo-nimbus) n'atteindront pas le sol.
  - En descendant l'air emporté vers le bas se réchauffe adiabatiquement et peut donc incorporer plus d'humidité.
  - Cela se produit aussi sous le nuage où l'air mouillé traverse de l'air non saturé, du mélange résulte qu'il peut incorporer plus d'humidité.
  - Mais l'effet le plus radical doit être une entrée d'air d'une certaine altitude relativement sec dans le nuage comme cela est argumenté plus haut. Les situation topographique de plateau sont citées comme lieu favorable la présence d'air sec d'altitude.

Plus il y aura de gouttelettes évaporées, plus la rafale sera renforcée. Dans les contre-forces, la friction ralentit la rafale avant qu'elle ne touche la surface. L'accroissement de pression à la rencontre du sol (centre foncés de Fig. ci-dessous à droite, uniquement) dépend de la température de la rafale (peu marqué si elle n'est pas froide) et de cette valeur dépendra la force des vents horizontaux de surface, qui sont magnifiés ou réduits par le vent synoptique :

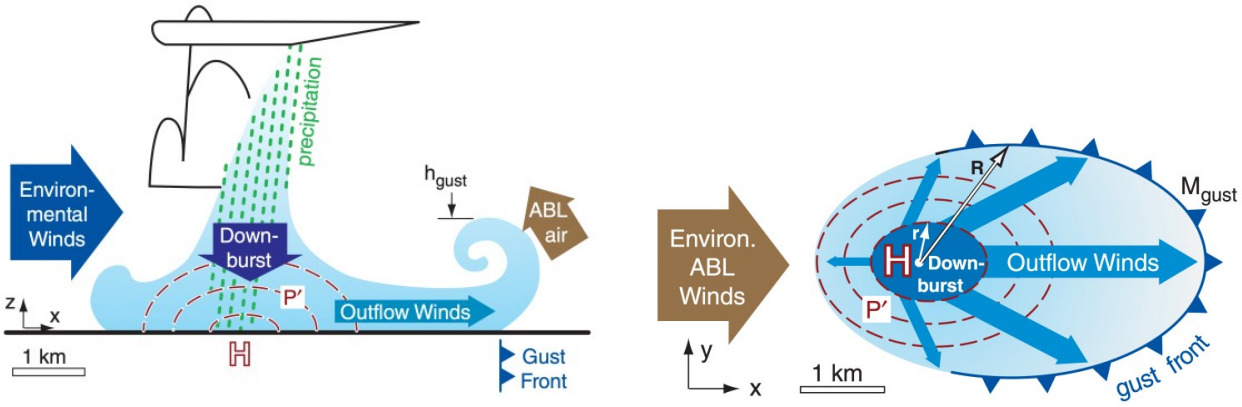
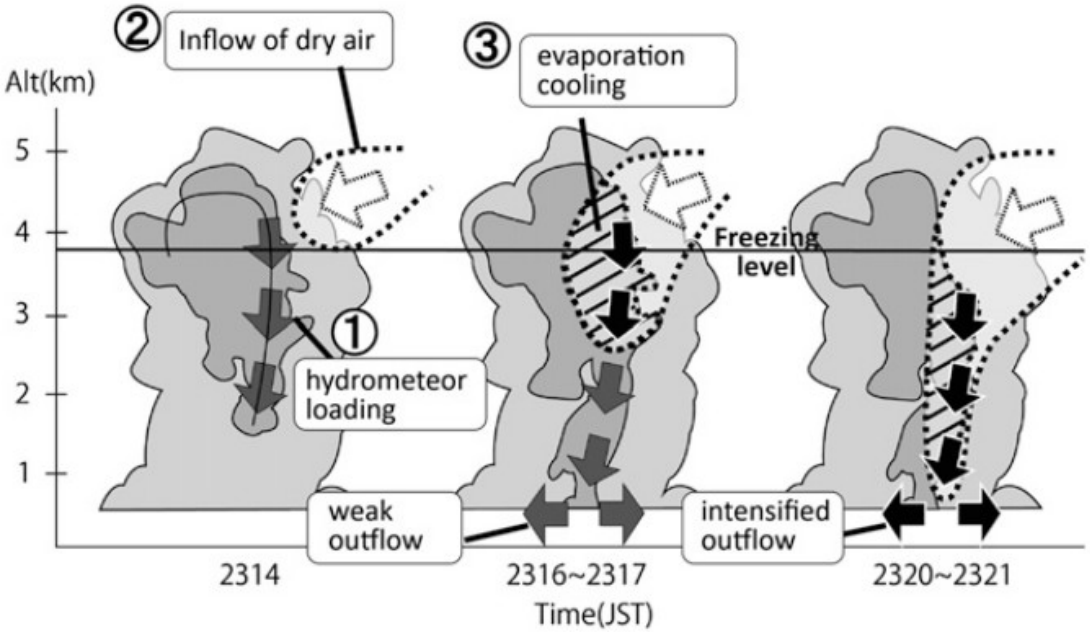
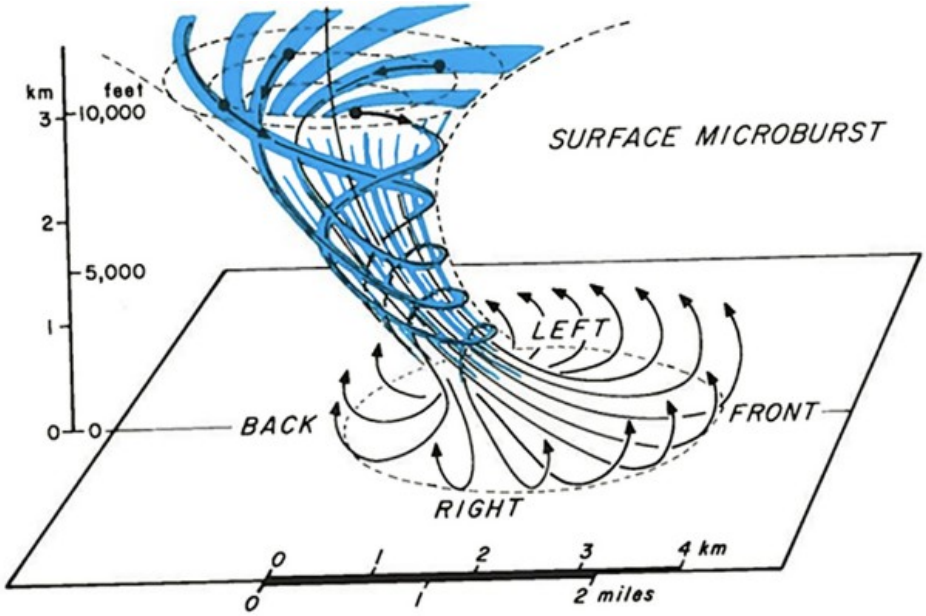


Fig. Schéma vertical d'un downburst à gauche d'un orage se déplaçant rapidement, et son empreinte horizontale au contact avec la surface à droite. Dans ce dernier la trace de la descente verticale elle même n'est que l'ovale bleu foncé vers le centre, les parties bleu-ciel étant l'épanchement horizontal avec vitesse du vent diminuant avec le dégradé de couleur (from Stull 2023, p. 900).

■ Nombre d'autres auteurs argumentent que dans le cas des rafales descendantes humides fortes l'évaporation (fusion, sublimation) des grêlons/neige agglutiné est magnifié par l'aspiration d'air comparativement sec d'altitude, évaporation qui refroidit encore la partie gravitaire en effondrement avec les hydrométéores. Les temps sont courts, 2 à 5 minutes (Adachi et al. 2016) :



▪ Une représentation 3D schématique d'un microburst = rafale descendante, donnée d'après des cas étudiés aux USA dans les années 1980 :



Schematic view of the airflow associated with a microburst. In this case, the downdraft is rotating prior to spreading out horizontally upon striking Earth's surface (Fujita 1985).

■ Les rafales descendantes (downbursts, nom donné par T. Fujita) sont bien plus fréquentes que les tornades (qui elles aspirent vers le haut, brutale baisse de pression et sont centrifuges).
Elles sont particulièrement à surveiller près des aéroports. C'est des accidents mortels d'avions plaqués au sol pour raison incomprise, qui ont généré l'étude pas très vieille des rafales descendantes. Elles peuvent être générées à assez haute altitude sans atteindre la surface, ou ne l'ayant pas encore atteint, mais l'avion a alors suffisamment de hauteur pour se rattraper.

■ Il y a aussi des rafales descendantes "sèches" de nuages assez élevés en zone sèche (exemple là, et pas forcément des cumulo-nimbus, mais des masses instables comme ici), en général visible en altitude par des "virga" (les virgas ne sont pas toujours courbes !), et/ou au sol par un soulèvement radial de poussière. Les hydrométéores sont évaporés avant d'atteindre le sol.

Analyse d'un microburst : Monrovia

Le 20 juillet 1986 près de Huntsville, au Nord de l'Alabama, un cumulo-nimbus repéré a été choisi dans le cadre de l'étude MIST (*Microburst and Severe Thunderstorm*), avec plusieurs avions instrumentés qui ont circulé autour (in Fujita 1992, p. 119-125) :

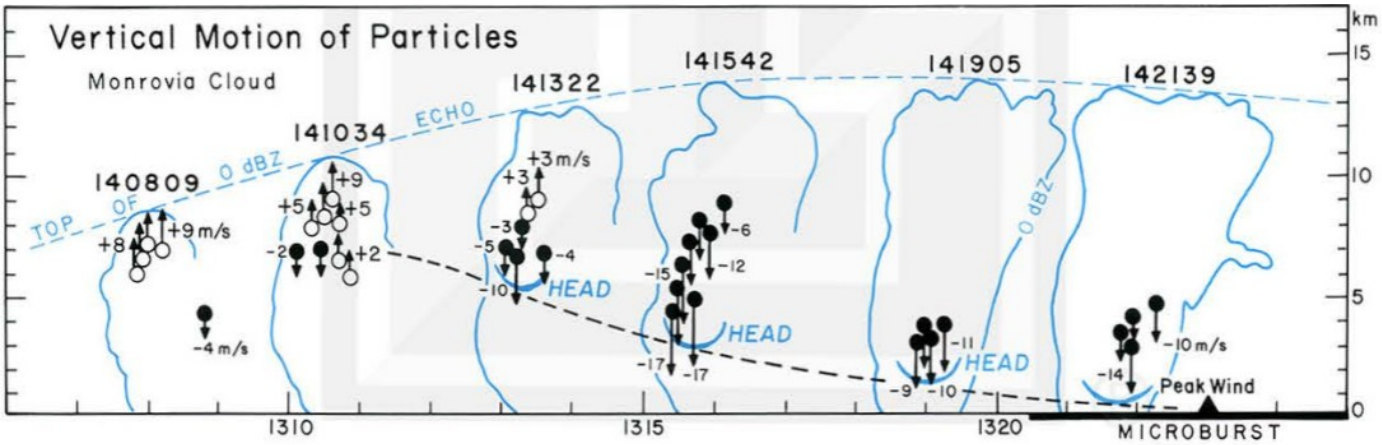
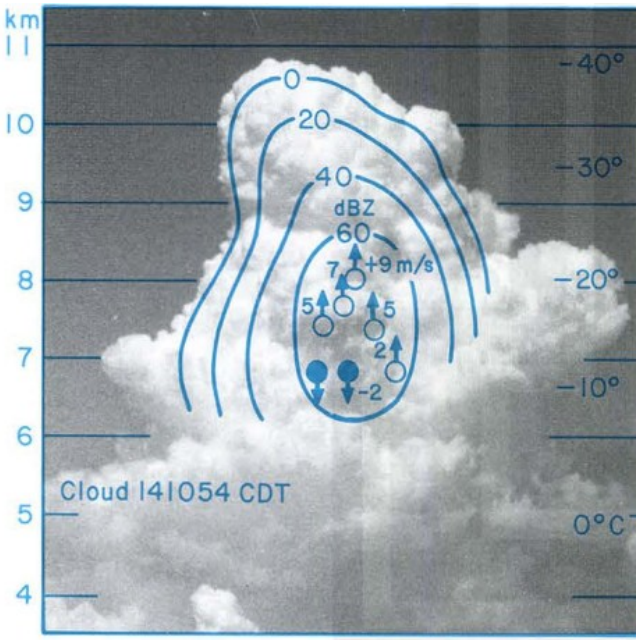
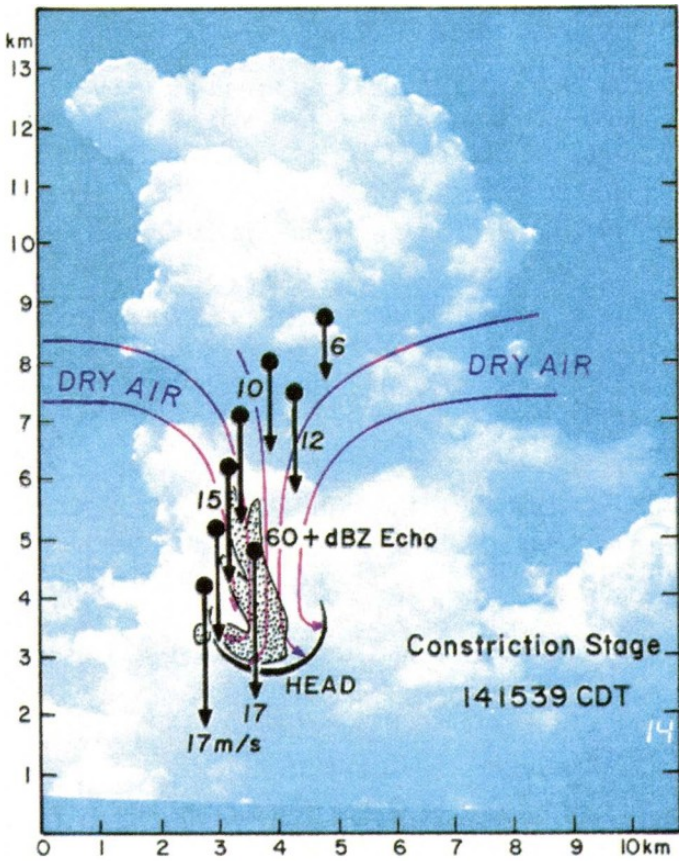


Fig. 4.3-10 Vertical velocity of the flare-causing particles. During the towering-cumulus stage, 140809-141034, particles were rising fast. Suddenly, particles began falling fast, reaching the ground with heavy rain, small hail, and microburst winds (see also Fig. 4.3-7).

Fujita a reporté le mouvement des particules calculé des données radar dopler echo et vitesses sur les photographies prises au même moment. Pour la rafale descendante, il a interprété une large constriction du cumulo-nimbus comme entrée d'air (situation 6 mn avant qu'elle atteigne la surface) :





Orientation radiale des effets de rafale descendante "de Monrovia" lorsqu'elle a touché la surface :

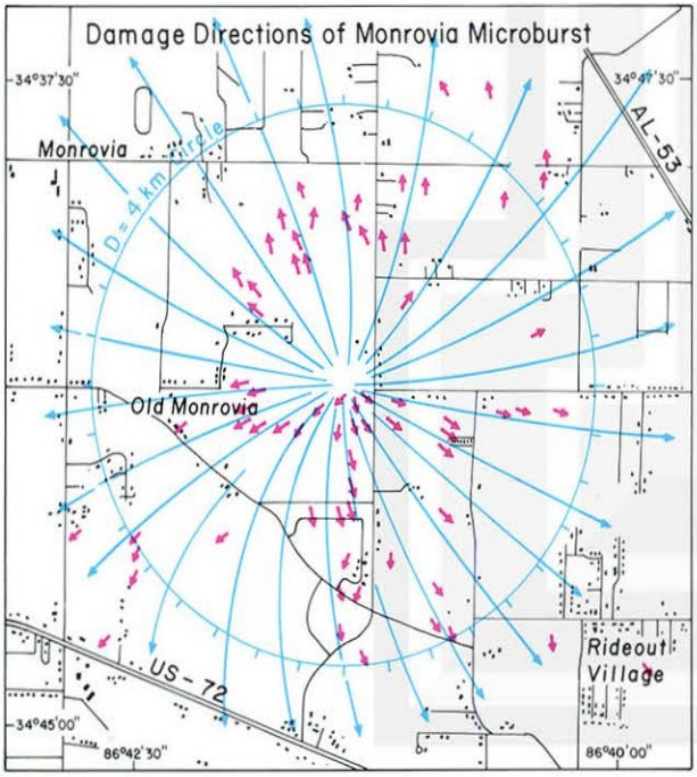


Fig. 4.3-2 Damage directions of the Monrovia microburst. A circle of 4 km in diameter shows the upper limit of the microburst dimension.

Et d'autres...

■ Keraunos souligne que les rafales descendantes peuvent se produire avec plus ou moins d'intensité, partout en France : ici. Quelques anciennes coupures du journal local en témoignent vraisemblablement sous le nom de tornades à défaut d'en connaître la nature (Vosges août 1992, ici, Haute-Marne juillet 1993, là, etc.).

Les plus violentes connues en France sont celle du 11 juillet 1984 dans le département des Vosges à une altitude moyenne de 320 mètres (Keraunos, consulté 25/08/23, ici) :

"Un noyau particulièrement actif balaie le département des Vosges sur une bande de terrain large de 20 à 40 kilomètres... une succession de macrorafales... balaie 200 communes, soit une superficie d'environ 2000 km^2. Le maire d'Escles livre le témoignage suivant : « le ciel était blanchâtre et jaune puis un bruit survint de la forêt. Des morceaux de glace tombaient ». Le maire de Hennecourt ajoute : « Une masse nuageuse se déplaçaient très rapidement vers le nord-est. Il y eu un gros coup de vent. Un camion semi-remorque fut couché. ». En quelques minutes, les dégâts s'accumulent et atteignent des proportions inédites... il apparaît qu'au plus fort de l'épisode venteux, les rafales maximales ont approché les 250 km/h à Escles et dans la campagne de Hennecourt. Dans ce premier village, le solide clocher de l'église est décapité, la mairie et de nombreuses habitations sont éventrées, et la végétation dévastée. A Hennecourt, le clocher de l'église est emporté, certaines parcelles forestières détruites en totalité, certains étages d'habitation arrachés et des pylônes électriques en fer tordus ou abattus par le vent. Dans le reste du département, 12 autres communes subissent des rafales estimées entre 180 km/h et 220 km/h : Belrupt, Harol, Bocquegney, Mirecourt, Dommartin-aux-bois, Gigney, Damas-et-Bettegney, Ville-sur-Illon, Hardancourt, Mazelay et Igney. A cette liste s'ajoutent 32 communes supplémentaires où les vitesses de vent sont comprises entre 150 et 180 km/h. (...) Les coupures de presse, les récits de l'épisode et même certains bilans climatologiques officiels de l'époque ont décrit cette dégradation orageuse comme étant la conséquence du passage d'une gigantesque tornade ayant balayé le nord-est du pays... Sur les bases des connaissances météorologiques de l'époque, cet

abus de langage tient essentiellement au caractère inédit des dégâts... Pourtant, l'épisode met clairement en évidence un axe de dégâts linéaires ou divergeant propre à des macrorafales de très forte intensité. Les multiples phénomènes d'accentuation extrême et trés localisée ("burst swaths") se traduisent par des couloirs longs et étroits de dégâts, qui font penser à ceux laissés par les tornades. Mais la nature des dommages et leurs caractéristiques sont toutefois différents et permettent de différentier les deux phénomènes lors d'enquêtes de terrain et de vues aériennes, comme c'est le cas ici...(...) aucun couloir de dommages convergents et rotatifs n'a pu être mis en évidence... l'intégralité des dévastation observées le 11 juillet 1984 dans le département des Vosges... restent à ce jour attribuées à des rafales descendantes."

Fig. Escles - vue aérienne du village après l'évènement © La Liberte de l'Est - Gaston Curien in Keraunos

Rafale descendante observée en bordure du grain (disque grisé) sous une cellule orageuse dans le département de l'Indre en France, en juin 2013. (Photo : Météo-Centre)

avec une vidéo de une seconde (© Yann Beumaiche/Keraunos, 07 juin 2013)

Allemagne, au Sud-Ouest de Munich le 09 juillet 2002 (in Dotzek et Friedrich 2009)

in Repetto et Burlando (2023) :

Figure 1. Downburst over Genova, 24 October 2020 (Credits Michela Canalis, www.instagram.com\mikina76).

A Gêne (Genova/genoa) le 31 août 1994 une rafale descendante a mis 80 % des grues portuaires par terre (Burlando et al 2018).
Il a aussi été reconstitué après coup qu'il y a eu une rafale descendante modeste à Gênes, de la mer vers l'intérieur, au moment où le grand pont s'est effondré le 14 août 2018 sans savoir si cela aurait pu jouer un rôle ou pas (pas de mesure près du pont, très mauvaise visibilité générale, données peu précises; Burlando et al. 2020).

Biblio citée **:**

▪ Adachi, T. - Kusunoki, K. - Yoshida, S. - Arai, K.I. 2016, "High-Speed Volumetric Observation of a Wet Microburst Using X-Band Phased Array Weather Radar in Japan", American Meteorological Society, Monthly *Weather. Review.*, 144, 3749–3765, là.

▪ Burlando, M. - Zhang, S. - Solari, G. 2018, "Monitoring, cataloging, and weather scenarios of thunderstorm outflows in the northern Mediterranean", Nat. Hazard Earth Syst. Sci., 18: 2309-30, là.

▪ Burlando, M. - Romanic, D. - Boni, G. - Lagasio, M. - Parodi, A. 2020, "Investigation of the weather conditions during the collapse of the Morandi Bridge in Genoa on 14 August 2018", Atmosphere, 11, 724, là.

▪ Dotzek, N. - Friedrich, K. 2009, "Downburst-producing thunderstorms in southern Germany: Radar analysis and predictability", Atmospheric Research 93: 457-73, là.

▪ Fujita, T. T. 1985, "The Downburst - Microburst and Macroburst", University of Chicago, 122p, là.

▪ Fujita, T. T. 1992, "The Mystery of Severe Storms", University of Chicago, 297p, ici.

▪ Repetto, M.P. - Burlando, M. (ed.) 2023, "Thunder Outflows and their Impact on Structures", Genova University Press, 130p, ici.

▪ Stull, R (Univ. Bristish Columbia). (2017) 2023, "Practical Meteorology", LibreTexts™, 1074p., ici.