



Belgorage
A L'ÉCOUTE DES ORAGES

Tornade F3 de Waulsort du 29 avril 2018

Dossier





Dossier réalisé par :

Jean-Yves Frique

Membre responsable et co-fondateur de Belgorage

François Riguelle

Membre associé de Belgorage

Robert Vilmos

Membre collaborateur de Belgorage

En collaboration avec :

Hubert Maldague

Membre collaborateur de Belgorage

Relecture et mise en page réalisées par :

Michael Baillie et Samina Verhoeven

Membres responsables et co-fondateurs de Belgorage

Photo de couverture réalisée par :

François Riguelle

Membre associé de Belgorage

Photographie des restes d'une grange récemment rénovée, réalisée au hameau de Lenne, le 30 avril 2018 au sein de la commune de Hastière en province de Namur.



Dans le courant de la soirée du dimanche 29 avril 2018, deux tornades et plusieurs rafales descendantes se sont abattues sur notre pays en faisant de nombreux dégâts. Ces derniers ont été particulièrement importants sur une exploitation agricole au hameau de Lenne (Waulsort) suite au passage de l'une des deux tornades.

D'ailleurs, l'intensité des dégâts observés à Lenne, nous a amené à classer l'intensité maximale de cette tornade au niveau F3 sur l'échelle de Fujita et au niveau T6 sur l'échelle de Torro.

Une telle intensité est remarquable pour nos régions. Il faut en effet remonter au 1^{er} octobre 2006 pour retrouver trace d'une tornade aussi puissante sur le territoire belge voire au 20 septembre 1982 pour obtenir une tornade encore plus dévastatrice.

De ce fait, au vu de l'importance de l'événement, nous avons tenu à élaborer un dossier le plus complet possible, en abordant une multitude de sujets.

Ce dossier, le plus abouti que notre équipe ait pu réaliser jusqu'à présent depuis la création de Belgorage en 2010, reprend les analyses du contexte météorologique, les analyses radars, les analyses des tornades proprement dites et, enfin, les analyses détaillées des dégâts.

Les recherches menées nous ont également permis d'en apprendre beaucoup sur les tornades en zones de relief, cela notamment en nous basant sur des cas de tornades aux Etats-Unis.

Par ailleurs, les informations récoltées nous ont permis d'avancer des hypothèses sur les raisons qui ont pu amener la tornade de Waulsort à atteindre une telle intensité.

En outre, nous avons émis des hypothèses concernant les raisons qui ont pu amener la survenue de plusieurs tornades successives ainsi que des rafales descendantes.

À présent, nous vous souhaitons une bonne lecture.



Sommaire

Chapitre 1 : Analyses du contexte météorologique.....	5
28 avril 2018	5
29 avril 2018	7
Chapitre 2 : Analyses des images radars et de la cellule productrice des tornades.....	20
Chapitre 3 : Tentatives d'explications concernant la formation et l'intensification des tornades	43
Chapitre 4 : Analyses des dégâts	58
Vue générale.....	58
Parcours détaillé.....	65
Sources et références.....	192



Chapitre 1 : Analyses du contexte météorologique

Contexte météorologique général

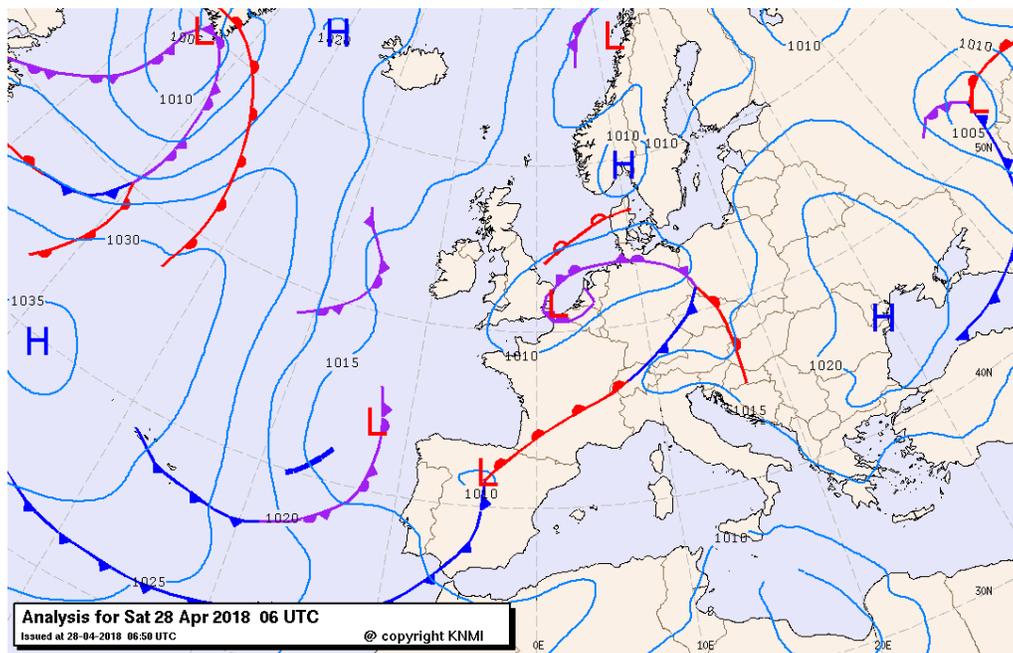
Dans ce chapitre, il s'agira tout d'abord d'analyser au mieux les conditions météorologiques générales, puis les conditions plus spécifiques en amont et en aval de la tornade. Pour se faire, un retour en arrière sera effectué pour mieux comprendre comment cette situation orageuse explosive a pu se mettre en place.

28 avril 2018

Après plusieurs jours de circulation zonale peu marquée, la situation se complexifie petit à petit en ce 28 avril 2018 mais pour bien cerner tous les éléments, il est important de revenir, même brièvement, à la journée précédente.

Le 27 avril au matin, une petite dépression sur l'océan s'apprête à entrer dans la Manche. Elle se trouve à l'entrée du « canal » de la Manche en milieu de journée et à sa sortie (entre Calais et Douvres) durant la nuit du 27 au 28 avril.

Le 28 avril au matin, la dépression s'immobilise à cet endroit et s'affaiblit pendant que la 'Back-Bent Occlusion' continue à s'enrouler autour du noyau. De « l'autre côté » de la perturbation, c'est-à-dire au niveau de son côté méridional qui évolue sur la France et l'Espagne, le front (front froid à l'origine) commence à avoir une forte tendance à onduler.

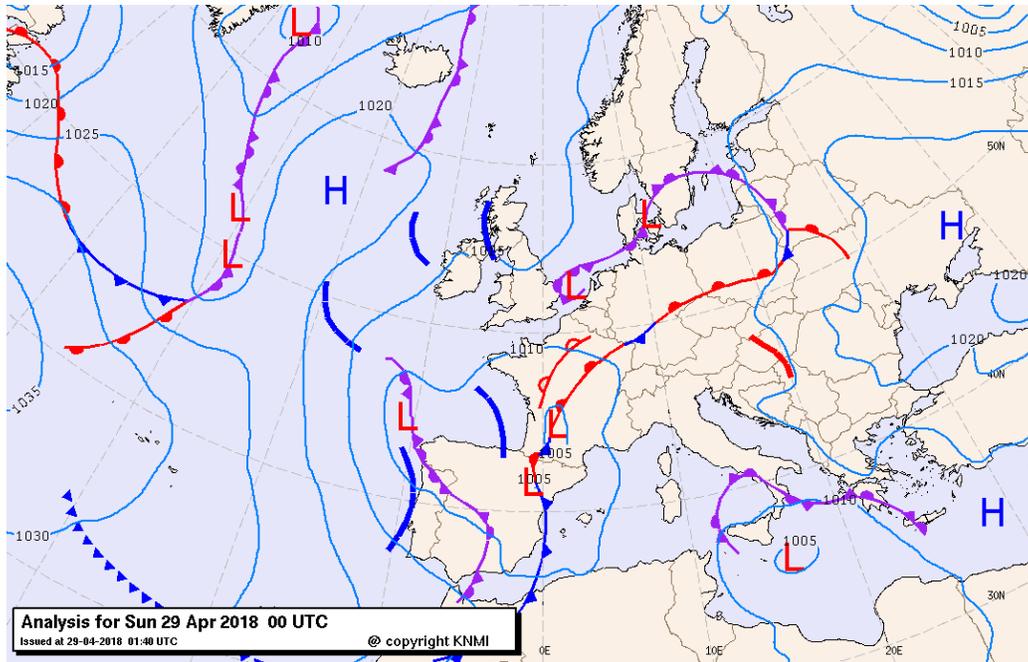


Situation synoptique du 28 avril 2018 à 8h00. Source de l'image: KNMI



Durant la nuit du 28 au 29 avril, le noyau en question n'a toujours (presque) pas bougé mais un nouveau noyau est apparu près du Danemark dans le cadre d'ondulations se formant sur la Back-Bent Occlusion.

En même temps, l'autre branche de la perturbation, la méridionale, continue à onduler aussi de telle manière que l'ancien front froid tend de plus en plus à nous revenir en tant que front chaud.



Situation synoptique du 29 avril 2018 à 2h00. Source de l'image : KNMI

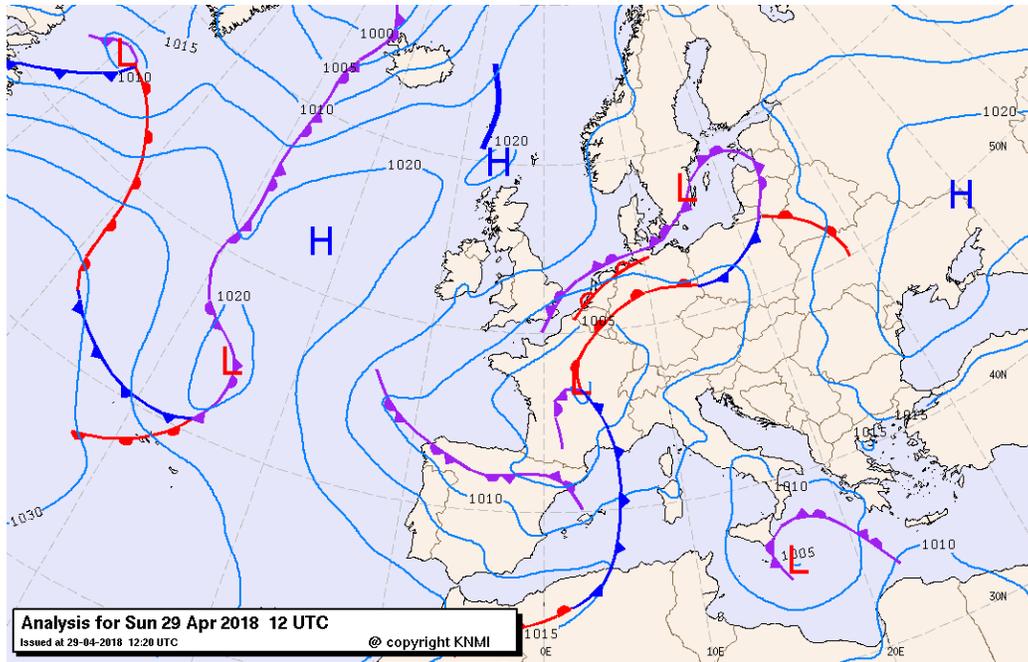
À la page suivante, cette situation qui se complexifie encore davantage est décrite.



29 avril 2018

La Back-Bent Occlusion se décale lentement vers le nord de la Belgique tandis qu'un front chaud d'altitude (masqué dans les basses couches) traîne sur le centre puis le nord-ouest du pays et génère des précipitations sous forme de faibles pluies continues.

Un second front chaud, issu du front qui ondulait au sud de nos régions, remonte vers le sud du pays avec, cette fois-ci, une trace au sol.



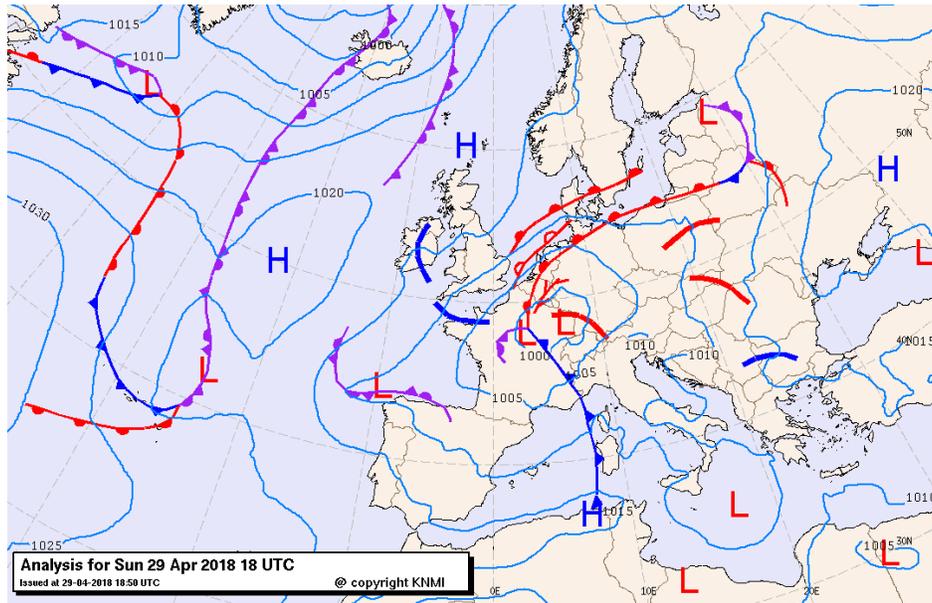
Situation synoptique du 29 avril 2018 à 14h00. Source de l'image : KNMI

Comme le montre la carte, un noyau dépressionnaire s'est formé au sommet du système frontal dont fait partie le front chaud. En même temps, des hautes pressions se dessinent sur l'océan, le nord de la Mer du Nord et les côtes de Norvège, ce qui entraîne, pour nos régions, un flux de nord-est à nord dans les basses couches tout au moins.

En cours de soirée, le front chaud continue à avancer sur le pays mais (ce qui ne se voit pas sur la carte) il perd sa trace au niveau du sol. En fait, la ligne de convergence située à l'est du front prend le relai et attire les vents de nord-nord-est à nord des basses couches jusqu'à lui.

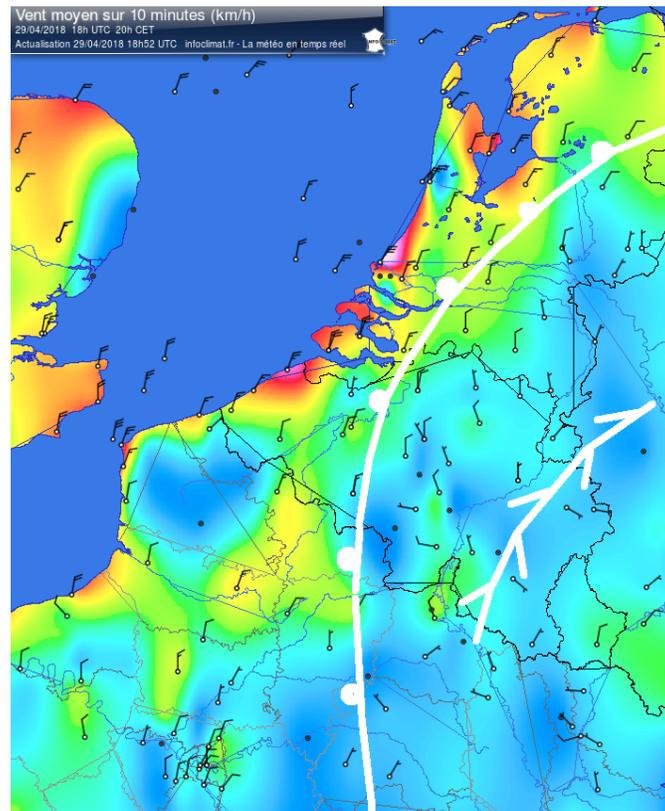


Ce n'est qu'à l'est de cette ligne-là que les vents de sud-est parviennent à s'imposer.



Situation synoptique du 29 avril 2018 à 20h00. Source de l'image : KNMI

Transposons tout cela sur une carte des vents :

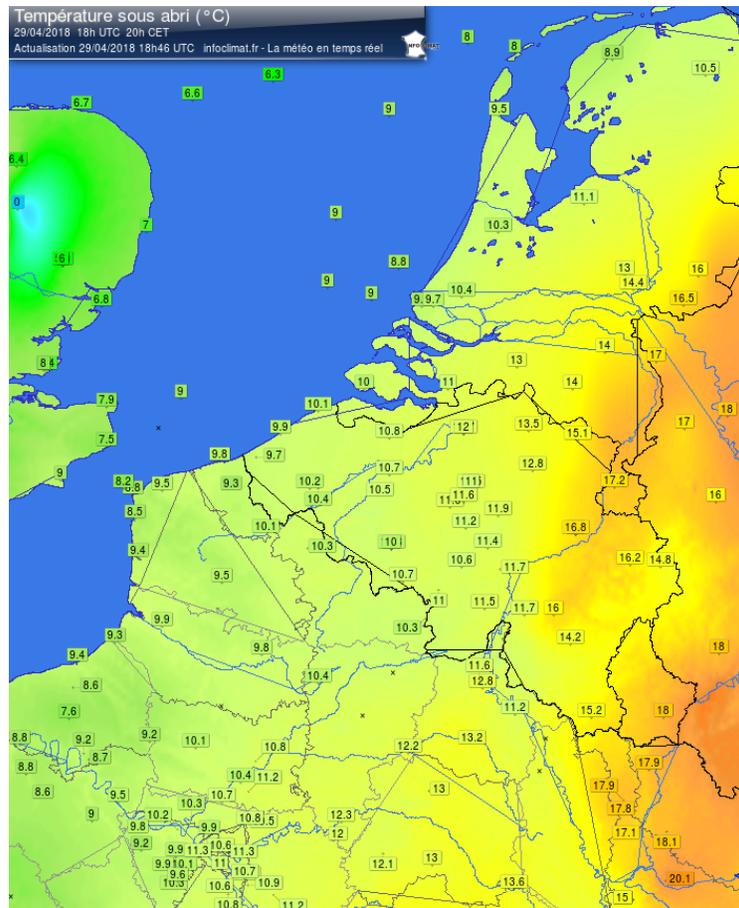


Carte reprenant les données de vitesse et de direction des vents au niveau du sol, le 29 avril 2018 à 20h00.

Source de l'image : **Infoclimat**



Enfin, au niveau des températures, nous retrouvons clairement la trace de la ligne de convergence mais pas celle du front chaud :



Carte reprenant les données de température le 29 avril 2018 à 20h00. Source de l'image : **Infoclimat**

En plus de cela, cette ligne délimite aussi les types de temps.

Au nord-ouest de la ligne, il se présente un temps couvert (stratus et stratocumulus parfois doublés de fractus) tout au long de la journée avec de la pluie en matinée. Il n'y a aucune transition entre le temps gris et monotone de la journée et le temps orageux du soir. C'est même un peu le contraire avec des brumes se renforçant jusqu'à former du brouillard juste avant l'arrivée des orages. Avec des températures maximales de 11 à 12°C, rien n'aurait pu laisser deviner la venue des orages pour l'observateur au sol.

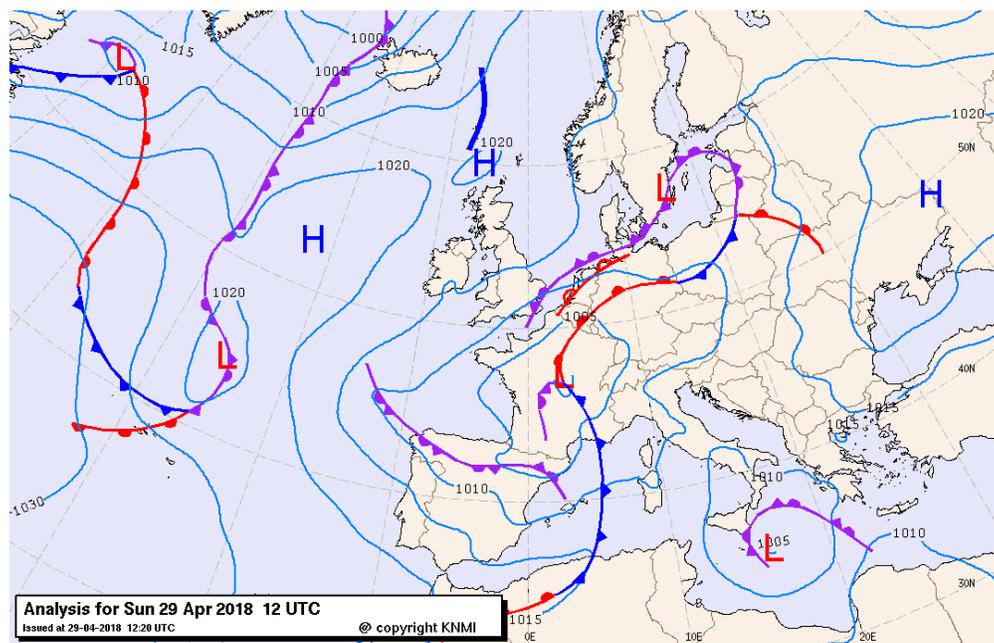


Au sud-est de la ligne de convergence, il règne un temps plus estival avec l'évacuation assez rapide des nuages (stratocumulus + fractus) formés en bordure d'une perturbation pluvio-orageuse matinale frôlant le sud du pays. L'après-midi, le temps devient beau avec cumulus humilis et quelques altocumulus et cirrus. Dès la fin de l'après-midi, on note des bourgeonnements importants dans les couches moyennes (altocumulus floccus et castellanus) avec à nouveau une nébulosité beaucoup plus abondante. Ici et là, on observe aussi des bourgeonnements importants à partir de cumulus (congestus). C'est une véritable ambiance pré-orageuse donc avec des températures de 20 à 21°C dans les vallées et les creux, et encore de 18°C sur les plus hauts plateaux.

Dans la zone limite, on observe un temps brumeux et couvert en matinée, puis une dissipation partielle ou totale des nuages bas pendant quelques heures en après-midi ou début de soirée, avant l'arrivée des orages. Par ailleurs, la hausse des températures dépend de la durée des éclaircies. À Beauvechain, on n'enregistre qu'une petite pointe de 13,6°C en fin d'après-midi tandis que Gorse, un peu plus à l'est, monte déjà jusqu'à 17,4°C. Mais dans l'ensemble, ces remontées de températures près de la ligne de convergence (qui bouge parfois un peu) sont anecdotiques, le vrai temps doux ne se manifestant que bien à l'est de ladite ligne de convergence.

Place aux orages à présent.

Le mode de formation de ces orages, à l'origine, est assez classique avec une origine à la fois thermique et dynamique.



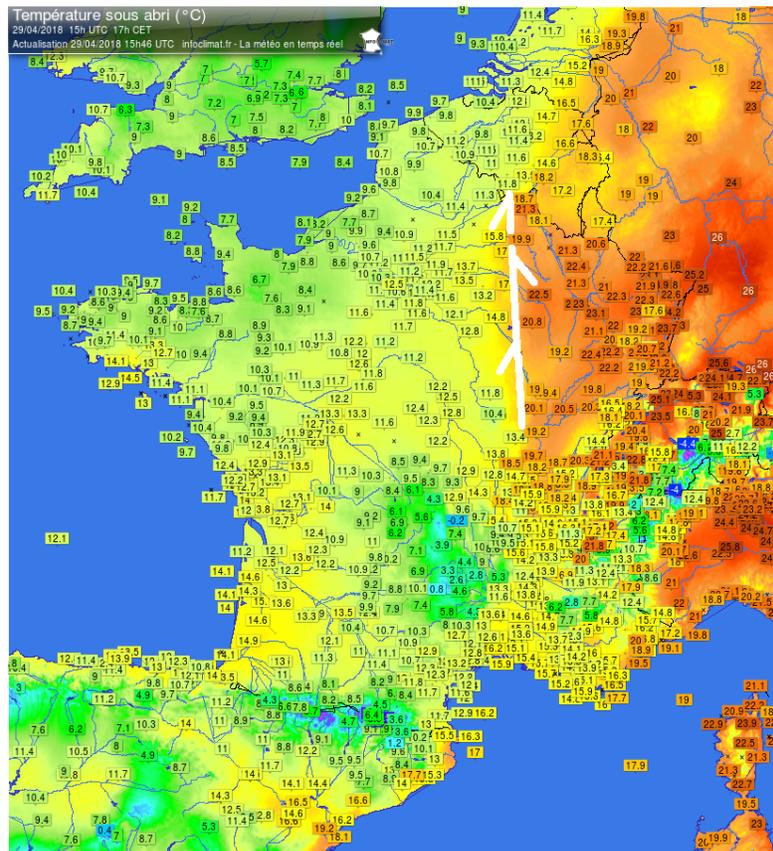
Situation synoptique du 29 avril 2018 à 14h00. Source de l'image : KNMI



En visualisant la situation synoptique sur la carte d'analyse de 12h00 GMT, il se présente une « pointe d'air chaud » sur le centre de la France, c'est-à-dire le sommet d'une perturbation frontale à secteur chaud très ouvert. C'est généralement une zone à fort dynamisme avec la rencontre de vents venant de directions différentes, des ascensions forcées et bien souvent la proximité d'un jet-stream. C'est le cas aussi en ce 29 avril 2018 où un jet, certes, modéré mais bien identifiable souffle de sud-sud-est à l'est d'un creux d'altitude et très près de la pointe de la perturbation.

Ce n'est donc pas un hasard que les orages prennent naissance là, ou plus exactement, un peu à l'est de la pointe en question.

C'est là qu'intervient aussi une nette origine thermique des orages. En revenant sur la zone de convergence qui a été précédemment décrite au niveau de la Belgique, celle-ci existait déjà en France quelques heures plus tôt et est parfaitement identifiable grâce aux gros contrastes thermiques présents de part et d'autre de la ligne.

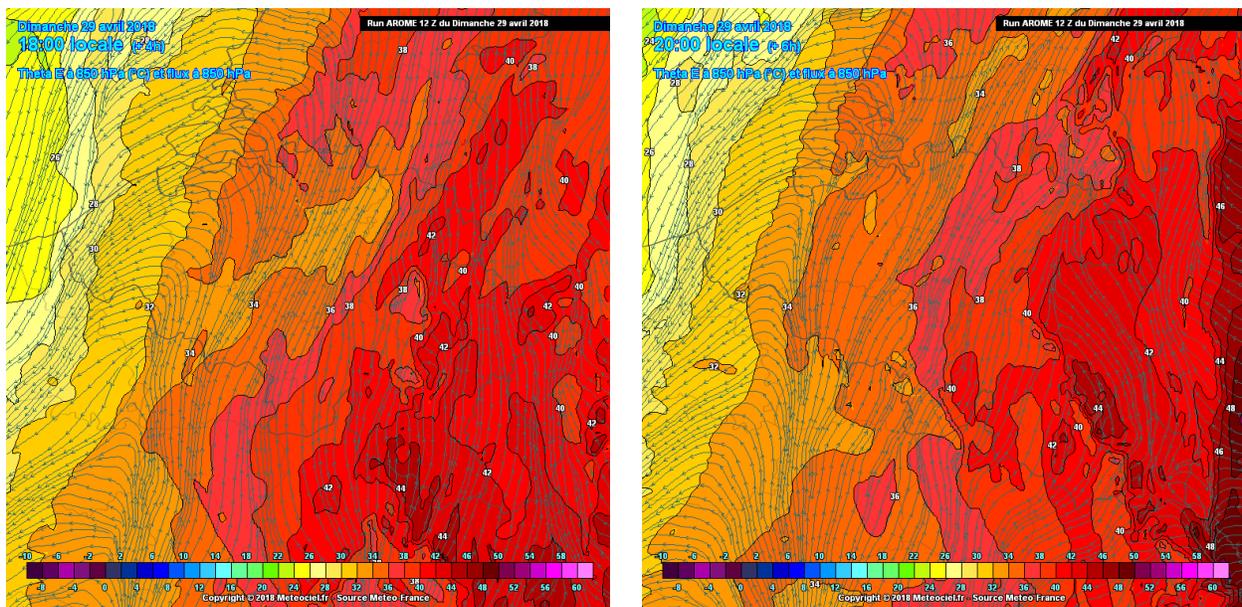


Carte reprenant les données de température le 29 avril 2018 à 17h00. Source de l'image : Infoclimat



C'est le long de cette ligne, en réalité, que les premiers orages français vont naître pour ensuite se regrouper en un vaste amas d'orages multicellulaires particulièrement pluvieux. Une fois la perturbation orageuse formée, elle s'auto-entretiendra et parviendra à survivre même dans des conditions nettement moins bonnes, comme en Belgique, où toute la partie ouest va passer au-dessus de la couche d'air froid et stable en ne perdant que peu de son intensité. D'où ce phénomène très curieux, pour l'observateur au sol, d'un temps brumeux et froid (on ne peut plus anti-orageux) qui est pourtant suivi d'orages conséquents !

Les analyses de la température potentielle équivalente (thêta-e) à 850 hPa, à 18h00 et à 20h00, montrent très bien cette pointe d'air chaud associée au front chaud qui aborde l'est et le sud-est du pays.



Cartes de la thêta-e à 850 hPa du modèle Arome du 29 avril 2018,
à 18h00 (à gauche) et à 20h00 (à droite).
Source de l'image : **Infoclimat**



En matière de pluies abondantes, il y en a pour presque tout le monde. Ci-dessous, quelques données pluviométriques prises entre 20h00 et 2h00 reprennent essentiellement les pluies liées aux orages proprement dits :

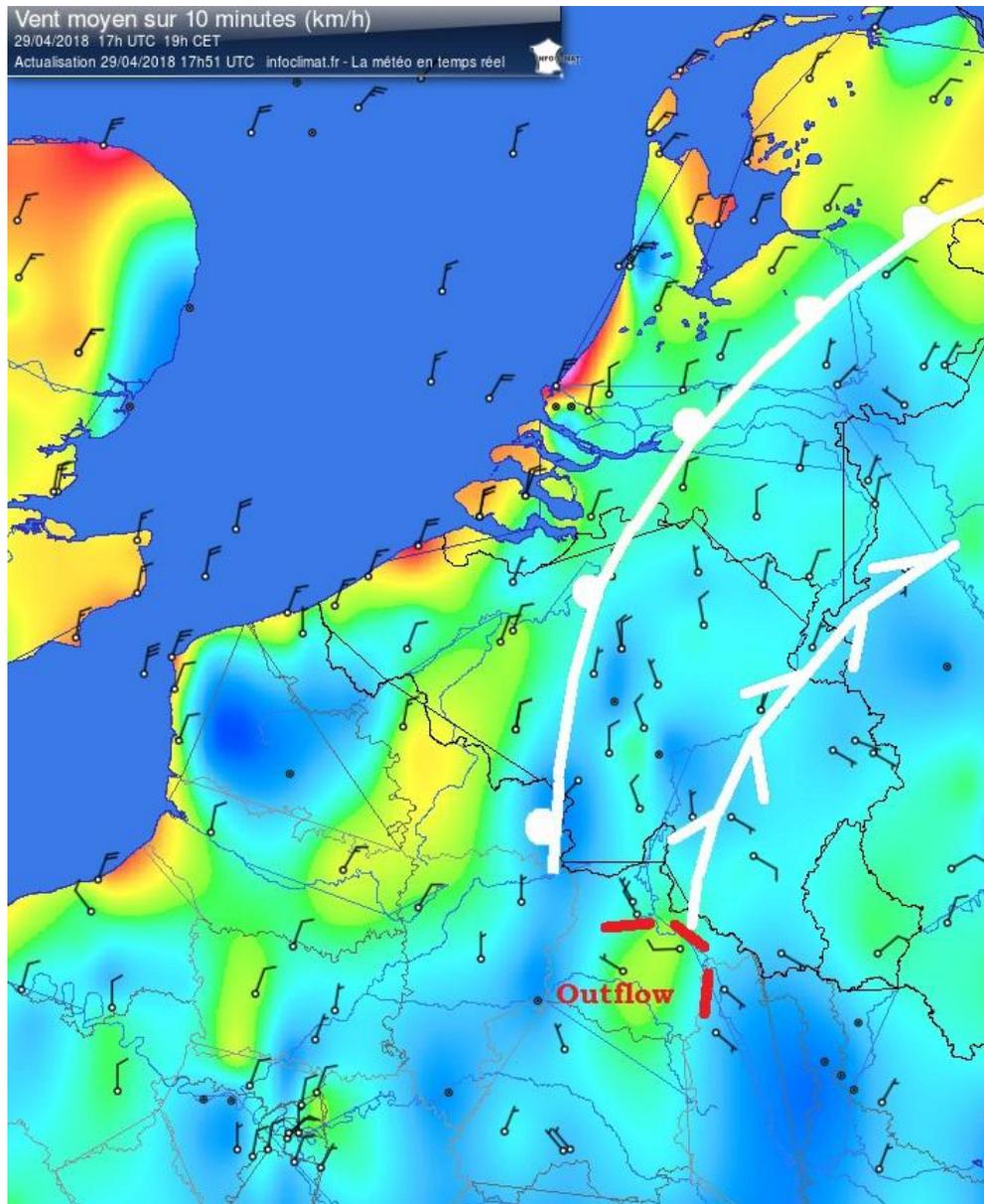
Schaffen : 37 mm
Spa : 28 mm
Elsenborn : 25 mm
Zaventem : 22 mm
Beauvechain : 20 mm
Bierset : 20 mm
Deurne : 20 mm
KleineBrogel : 16 mm
Gosselies : 15 mm
Florennes : 14 mm

Cependant, localement, les orages prennent un tour bien plus violent. De nombreux dégâts sont signalés, entre autres, à Philippeville, Hastière, Dinant et Orp-Jauche. Plus particulièrement, ce sont les régions de Dinant et d'Hastière qui sont affectées. En effet, une première tornade s'est formée à l'ouest de Beauraing alors qu'une autre (plus intense) s'est développée dans la région de Waulsort (près d'Hastière), celle-ci se déplaçant vers le nord-nord-est jusqu'à Crupet.



Que s'est-il passé ?

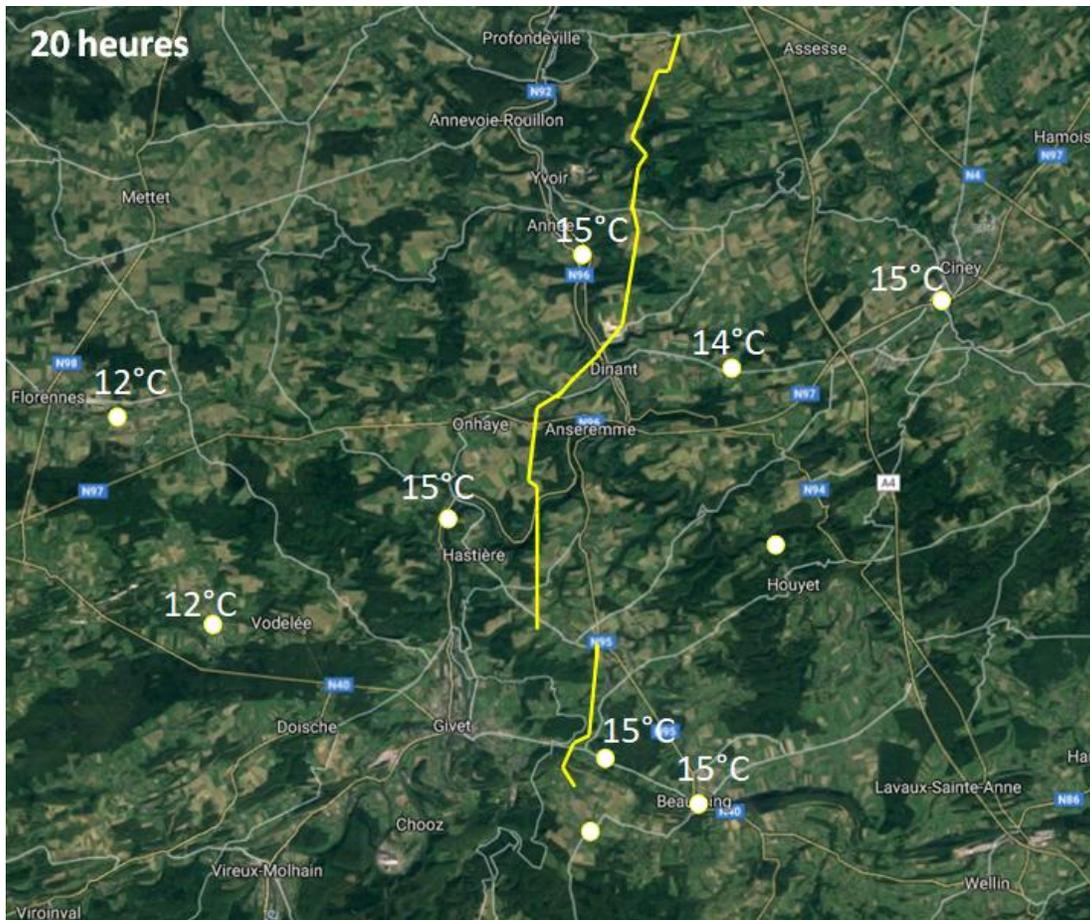
En reprenant une carte d'analyse des vents, mais une heure plus tôt, à 19 heures, celle-ci indique la présence de l'outflow (courant de densité) des orages et il est fort de constater que ce pseudo-front orageux est quasi perpendiculaire à la ligne de convergence et forme une sorte de « triple point » à l'américaine mais en miniature. Ceci aura particulièrement activé la cellule passant par là, occasionnant des phénomènes particulièrement violents dans la région.



Carte reprenant les données de vitesse et de direction des vents au niveau du sol, le 29 avril 2018 à 19h00. Source de l'image : Infoclimat



À présent, en reprenant une analyse des conditions spécifiques dans les régions des deux tornades vers 20h00, il se présente une ligne jaune qui indique le parcours des deux tornades (remontant vers le nord-nord-est). Les températures de part et d'autre du parcours des tornades s'étaient préalablement égalisées au moment de la formation et du passage de celles-ci, avec des valeurs proches de 15°C dans le fond des vallées (un petit 100 mètres au-dessus du niveau de la mer) et comprises entre 12°C et 14°C sur le plateau.

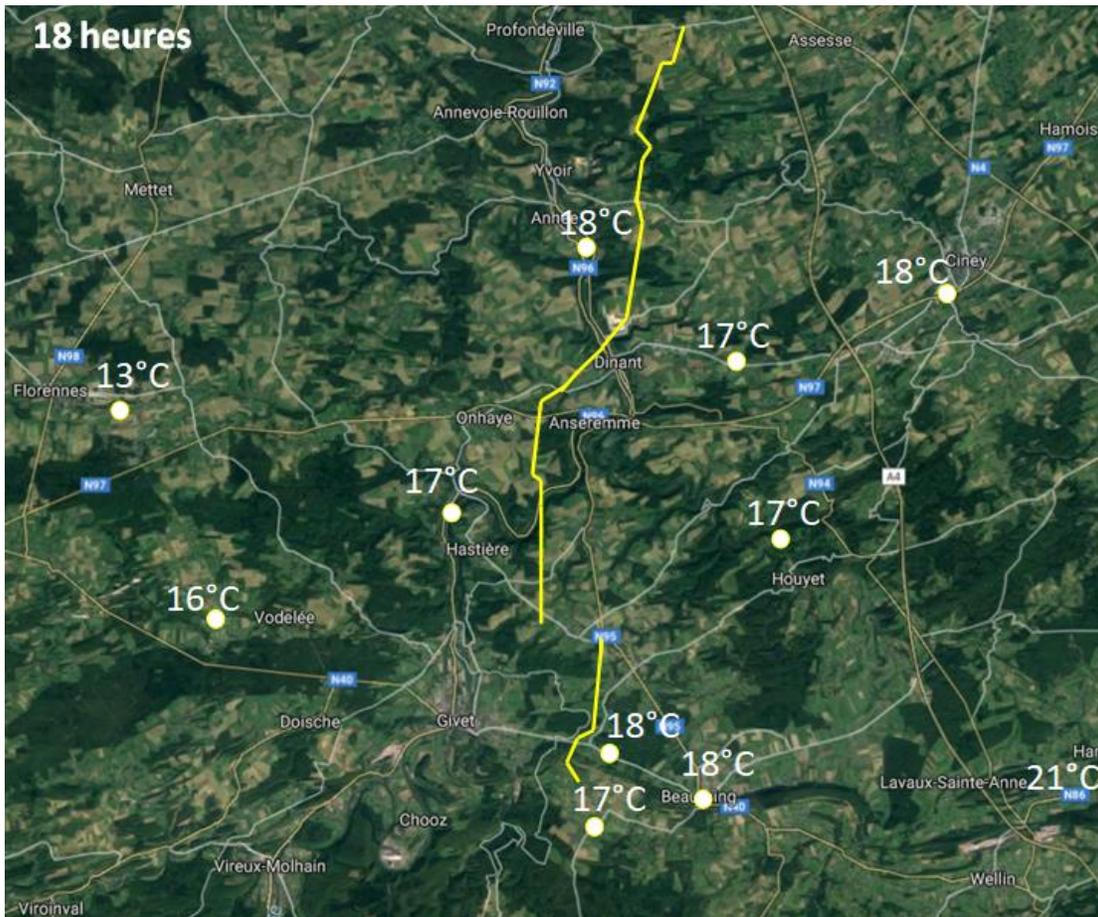


Carte reprenant les données de température du 29 avril 2018 à 20h00, ainsi que la trajectoire des tornades. Source de la carte : Google Maps

À altitude égale (vers 250 mètres), la subsistance d'une légère différence de température est constatée avec des valeurs tendant vers 12°C à l'ouest du parcours des tourbillons et vers 14°C à l'est. Après les orages, on note une chute de température de 2°C à 4°C dans toute la zone.



Deux heures plus tôt, vers 18h00, la limite de l'air chaud se trouve bien à l'est avec 21°C à Han-Sur-Lesse.



Carte reprenant les données de température du 29 avril 2018 à 18h00, ainsi que la trajectoire des tornades. Source de la carte : [Google Maps](#)

L'analyse des images radar permet de constater que c'est la partie centrale de l'écho en arc (type d'orage multicellulaire) qui remonte grosso-modo le long de la limite entre l'air chaud et l'air frais alors que la cellule à l'ouest du système, celle qui a provoqué les tornades, a évolué dans une région qui, à aucun moment du jour et du soir, n'a été touchée par l'air chaud.

C'est donc la dynamique de l'écho en arc qui a joué pour cette cellule mais pas la température, d'où la surprise de se retrouver face à deux tornades après une journée fraîche et brumeuse bien plus automnale que printanière.

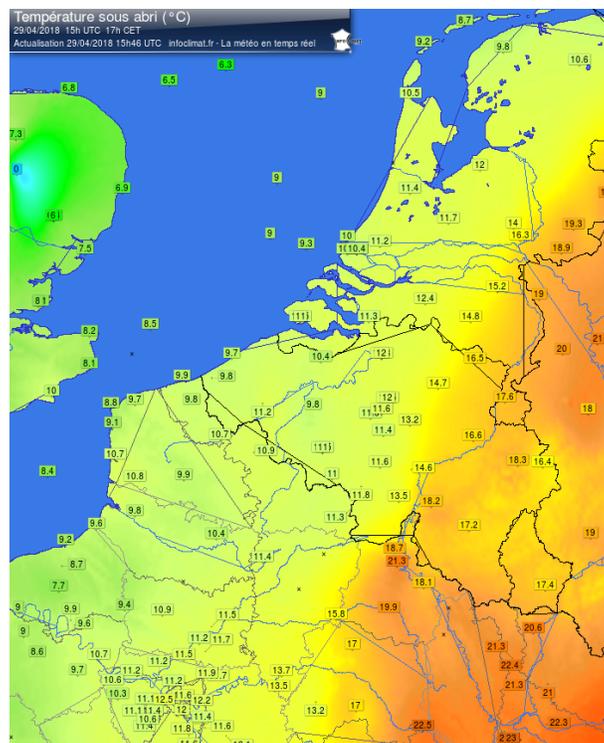
Pour la formation des orages qui ont fini par former cet écho en arc, par contre, c'est bien l'élément thermique qui est intervenu mais pour vérifier cela, il faut remonter dans une zone bien en amont de la région des tornades.



À présent, une comparaison de l'image radar de 17h10 avec les températures qui régnaient pratiquement à ce moment-là (17h00) est présentée. La corrélation est évidente. Les principales cellules (en rouge) se trouvant au sud de Reims à ce moment-là se situent exactement là où se trouve la séparation entre l'air frais et l'air chaud.



Image issue du radar des précipitations du 29 avril 2018 à 17h10. Source de l'image : IRM



Température du 29 avril 2018 à 17h00.
Source de l'image : Infoclimat



Il peut en être déduit que, même si les orages ont eu un mode de formation classique, liée à de forts contrastes thermiques, leur mode de survie, par la suite, est devenu complètement indépendant des conditions en surface. C'est ainsi la dynamique de l'écho en arc qui les a « auto-entretenus » avec, comme expliqué précédemment, une rotation intervenant sur la cellule la plus occidentale qui s'est transformée en supercellule pour ensuite générer les tornades.

En ce qui concerne les vents, il n'y a malheureusement pas un grand nombre de stations dans les parages des tourbillons. À la base de Florennes, située à une quinzaine de kilomètres à l'ouest du parcours des tornades, le vent soufflait assez faiblement de nord à nord-est avant et après l'heure du passage des tourbillons, avec quelques petites rafales et quelques soubresauts du vent vers 20h00 quand la cellule tornadique passait à l'est de la station.

Au niveau de la région de Humain, à une petite trentaine de kilomètres à l'est du parcours des tornades, les vents sont un peu plus variables mais la prédominance de nord à nord-est s'y retrouve aussi. À noter que le passage de la perturbation orageuse ne se contente pas, là, de simples soubresauts du vent mais génère des rafales jusqu'à 61 km/h.

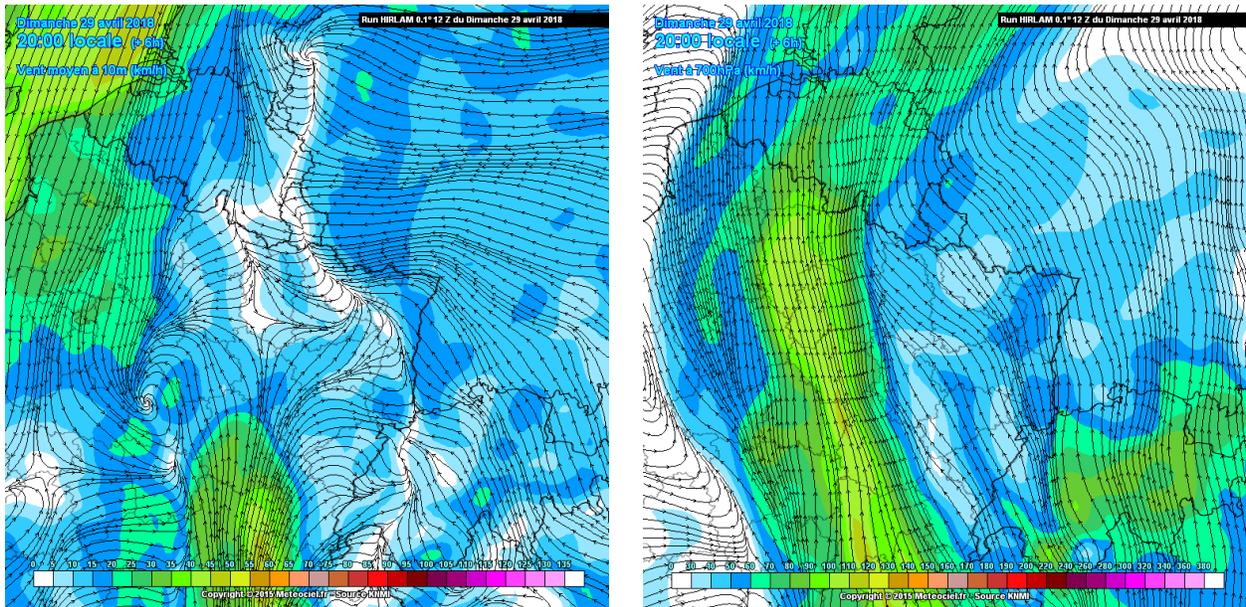
Pratiquement sur le trajet des tornades, et plus précisément au début du parcours de la première, il existe une station météo privée à Winenne qui a enregistré une rafale de 74 km/h. Cette rafale a également été suivie, comme dans toute la zone, d'une petite chute de la température en passant de 15 à 12°C.

On note que le niveau LCL (Low Condensation Level en anglais soit l'altitude approximative de la base des nuages) à l'heure des tornades était proche voire inférieure à 400 mètres. Cela a très certainement « facilité » le contact des vortex avec le sol. Un retour sur ce point est d'ailleurs effectué au troisième chapitre.



En se référant au modèle météorologique Hirlam pour les vents de surface, la convergence liée à la rencontre de l'air frais et de l'air doux se trouve en amont (au sud) de la cellule tornadique avec, certes, des discontinuités assez complexes, et une circulation généralisée de nord se situe en aval (au nord) de la cellule tornadique,. En d'autres termes, cela confirme que la cellule vient littéralement s'encaster dans les stratus et la zone à temps frais et humide. Par contre, si l'on regarde le niveau 700 hPa, le flux directeur est nettement de sud.

Il faut cependant tenir compte qu'il s'agit là de prévisions à court terme et non de ré-analyses.



Cartes illustrant la vitesse et la direction des vents moyens (à gauche) et au niveau 700 hPa (à droite).

Source : **Meteociel**

Enfin, une série de quelques totaux de précipitations pris sur 24 heures (donc les pluies orageuses additionnées aux autres pluies de la journée et de la nuit) est disponible avec :

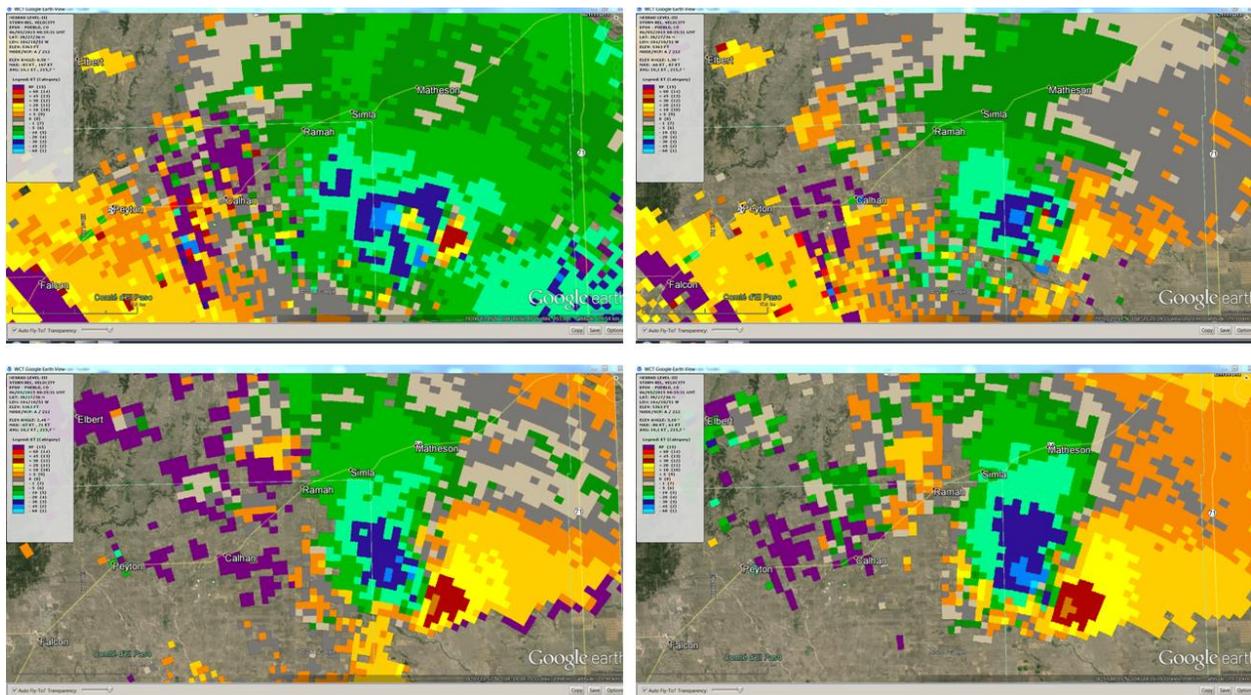
- Hauthem : 53 mm
- Ransberg (Kortenaken) : 49 mm
- Gouvy : 47 mm
- Ransberg : 46 mm
- Hastière : 41 mm
- Retie : 40 mm
- Botrange : 38 mm
- Gembloux : 37 mm
- Bovigny : 37 mm



Chapitre 2: Analyses des images radars et de la cellule productrice des tornades

Notre équipe a pu obtenir et analyser des imageries Doppler de vitesse issues du radar de Wideumont. Cependant, il ne nous est malheureusement pas permis de les diffuser. Les images prises à 20h10 confirment la présence d'un dipôle au moment où la tornade balaie la région de Waulsort. D'ailleurs, la présence de ce dipôle est visible dans tous les balayages verticaux du radar (0.5°, 1.20°, 2.10° et 3.40°) et donc à différentes altitudes. Ce phénomène confirme la présence d'un mésocyclone « profond ».

S'il n'est pas permis de diffuser les images issues du radar de Wideumont, il est néanmoins possible de donner un exemple de ce que cela donne via un cas américain. Ainsi, les images ci-dessous reprennent les vitesses radiales à différentes altitudes. L'orage observé produisait à ce moment-là une tornade dans la région de Simla - Matheson (Colorado - Etats-Unis). On y distingue la présence de dipôles sur les quatre images (0.5°, 1.20°, 2.10° et 3.40°), traduisant ainsi une rotation d'ensemble du courant ascendant pendant de l'orage supercellulaire (présence d'un mésocyclone « profond »).

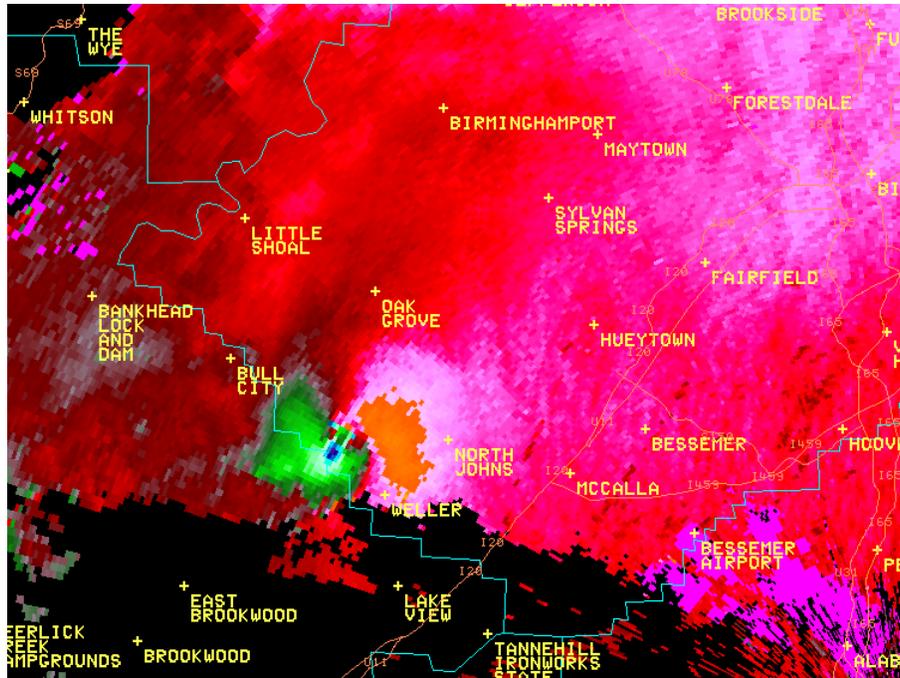


Vitesses radiales à différentes altitudes dans un orage supercellulaire à Simla (USA) en juin 2015.
Source de l'image : GR Level



Concernant la tornade de Waulsort, le balayage à 0.5° indique un dipôle très intense avec une vitesse positive approximative de 75 nœuds et une vitesse négative approximative de 55 nœuds. De telles vitesses dénotent la présence d'une rotation très importante à basse altitude.

Cependant, la zone de rotation mesurée par l'angle de 0.5° ne correspond pas à la tornade proprement dite mais bien aux basses couches de l'orage. Sur les images prises avant et après 20h10, le manque de données ne permet pas de savoir si la rotation était aussi marquée et si celle-ci concernait les différentes couches du nuage orageux.



Exemple d'une imagerie de vélocité. Le dipôle de couleurs correspond à la zone de rotation dans les basses couches de l'orage.

Source : National Weather Service

Dans ce dossier, c'est le radar allemand positionné à Neidenbach qui sera utilisé pour effectuer des analyses approfondies de l'orage producteur des tornades.

Lorsque l'on effectue des analyses des images radars de réflectivité, il est nécessaire de tenir compte de nombreux paramètres que nous avons déjà quelque peu mentionnés plus haut. Parmi ceux-ci, la distance séparant l'emplacement du radar et la cellule, l'angle d'élévation du radar, le rayon de courbure des ondes, l'altitude de l'emplacement du radar mais aussi de la cellule étudiée.

En analysant tout cela, on arrive à en déduire que le radar allemand utilisé dans nos analyses scanne la cellule (qui circule de la région de Givet à la région dinantaise) à une altitude approximative de 1500 à 2500 mètres. Cette hauteur est supérieure aux plus fortes réflectivités observées au sein d'une cellule orageuse.



Ainsi, il est impossible d'analyser tout à fait correctement les toutes basses couches de l'orage. C'est important d'en tenir compte surtout dans le cas d'analyses d'une tornade.

Avant d'aller plus loin, une description des termes bien spécifiques utilisés dans cette partie du dossier est présentée. En effet, les termes « écho en arc », « comma écho », « courant jet de flanc arrière (Rear Inflow Jet ou RIJ en anglais) » ou encore « BWER » seront utilisés à de nombreuses reprises.

- Echo en arc (ou Bow echo en anglais) : un écho en arc est une évolution particulière d'une ligne de grains (type d'orage multicellulaire). Celle-ci prend sur les imageries radars la forme d'un arc d'où son nom. Les échos en arc peuvent produire des phénomènes sévères tels que des rafales descendantes et parfois des tornades.
- Comma écho : un comma écho est une nouvelle évolution d'une ligne de grains. Après avoir adopté une structure en arc, celle-ci continue à s'arquer davantage.
- Book-end vortex (en anglais) : Les orages situés aux extrémités de la structure arquée (écho en arc ou comma écho) bénéficient d'une rotation d'ensemble, ce qui peut leur permettre d'évoluer en supercellules. De même, c'est sur ces zones que des tornades peuvent se développer.
- Inflow notch (en anglais) : ce terme désigne une encoche de faible réflectivité positionnée sur le flanc avant d'un orage.
- Rear inflow notch ou RIN (en anglais) : comme son nom l'indique, l'encoche est située à l'arrière de l'orage. Un RIN apparaît généralement lorsque le vent entrant dans l'orage devient si intense que les précipitations en sont partiellement chassées.
- Courant jet de flanc arrière (Rear Inflow Jet ou RIJ en anglais) : un RIJ est un courant froid, sec et très puissant qui s'introduit à l'arrière des cellules orageuses situées au centre d'un écho en arc. Ce courant oblige d'une part les cellules situées devant lui à se déplacer plus rapidement (ce qui amène la structure générale à s'arquer davantage) mais, en outre, il peut accentuer la survenue de rafales descendantes successives. La survenue d'un RIJ est très souvent annonciatrice de phénomènes venteux violents.
- BWER ou Bounded weak echo region (en anglais) : Ce terme désigne une zone de faible réflectivité entourée et surplombée par des échos de forte réflectivité. Cette zone indiquant la présence d'un courant ascendant très puissant. Les BWER sont généralement associés aux orages supercellulaires.



Analyse des cellules orageuses

17h20

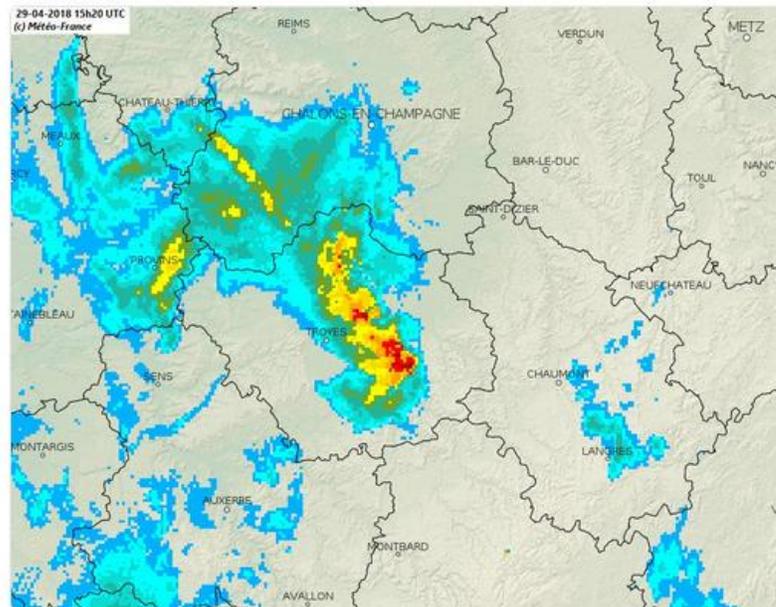
Un puissant orage transite en fin d'après-midi sur l'Aube et la Marne en France. À ce moment là, il répond assez bien aux critères d'une supercellule classique, par ailleurs identifiée comme telle par un météorologue de Météo France. D'ailleurs, cette supercellule produit une tornade dans la Marne.



Etienne Kapikian @EKMeteo · 19h

image radar de dimanche 29/04/2018 à 15h20 UTC (17h20 locales) : écho en crochet typique traduisant la nature supercellulaire de l'orage à l'origine d'une possible #tornado sur les environs de Vendeuvre-sur-Barse dans l'#Aube. #supercellule #supercell

Translate Tweet



Source de l'image : Etienne Kapikian – MétéoFrance via Tweeter.

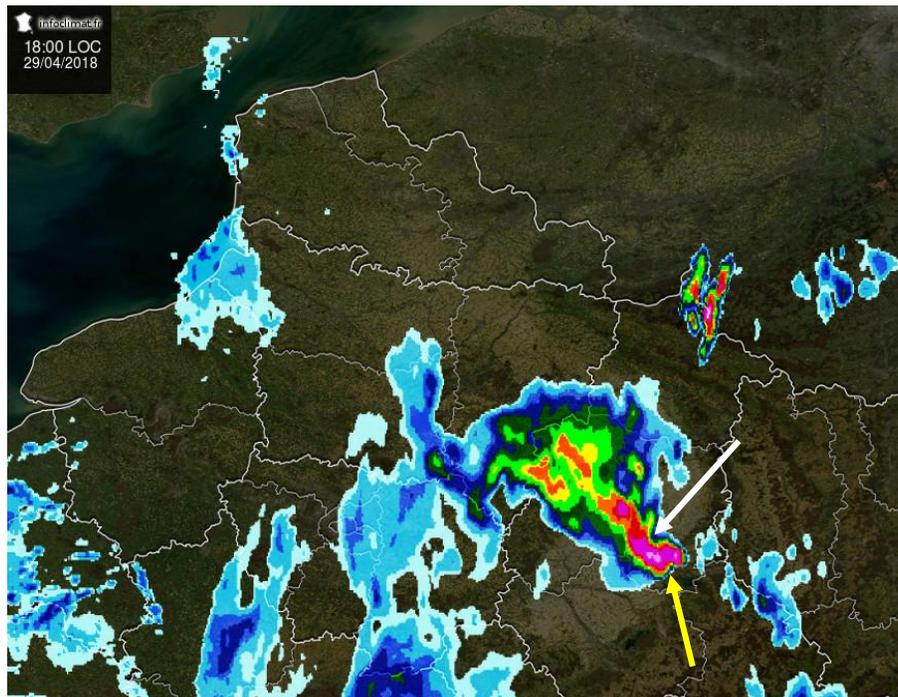


18h00

La cellule, au départ bien individualisée, semble davantage prendre les traits d'un système multicellulaire hybride. Toutefois, il n'est pas impossible que la supercellule de départ ait évolué en une supercellule HP (à fortes précipitations).

Une encoche de faible réflectivité est bien visible sur le flanc nord-est de la cellule (flèche blanche). On nomme cette encoche un « inflow notch ». Cette zone de l'orage correspond à une intrusion d'air sec dans les basses couches. Il faut préciser que le flux général dans les basses couches est à ce moment là au secteur nord à nord-est sur la région.

Cependant, il y a également une encoche qui se met en place sur le flanc sud-est de la cellule (flèche jaune). Cette encoche de faible réflectivité est probablement liée à une intensification du courant ascendant qui aspire en quelque sorte l'air doux et humide situé aux alentours.



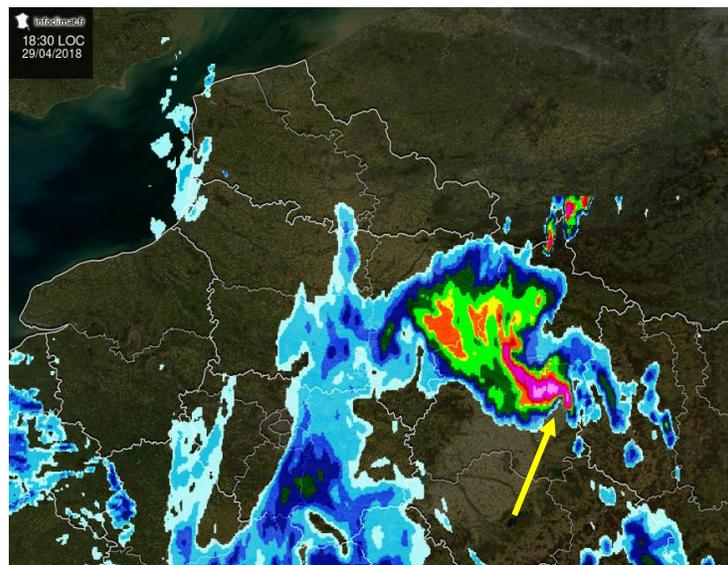
Radar des précipitations le 29 avril 2018 à 18h00.
Source de l'image : Infoclimat



18h30

Le rear inflow notch se dessine de plus en plus clairement sur l'imagerie radar (flèche jaune), ce qui indique un renforcement de plus en plus important du courant ascendant. À ce moment-là, on a soit affaire à une possible supercellule HP, soit à une possible supercellule évoluant vers un écho en arc. La réalité pourrait même se trouver dans un continuum entre les deux (hybride supercellule-multicellulaire). Le fait de ne pas disposer d'images doppler de vélocité à ce moment là n'autorise pas d'affirmer quoique ce soit davantage.

Cependant, la théorie de l'évolution d'une supercellule HP en un écho en arc est bien connue (voir image en bas de page) avec maintien du mesocyclone à l'extrémité gauche de la structure.



Radar des précipitations le 29 avril 2018 à 18h30.
Source de l'image : Infoclimat

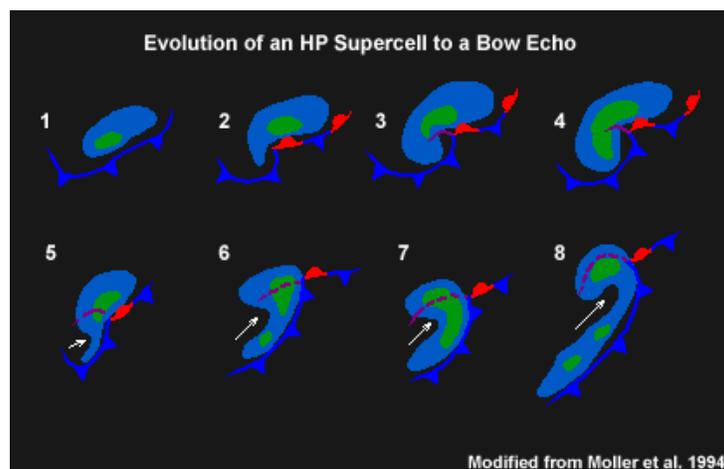
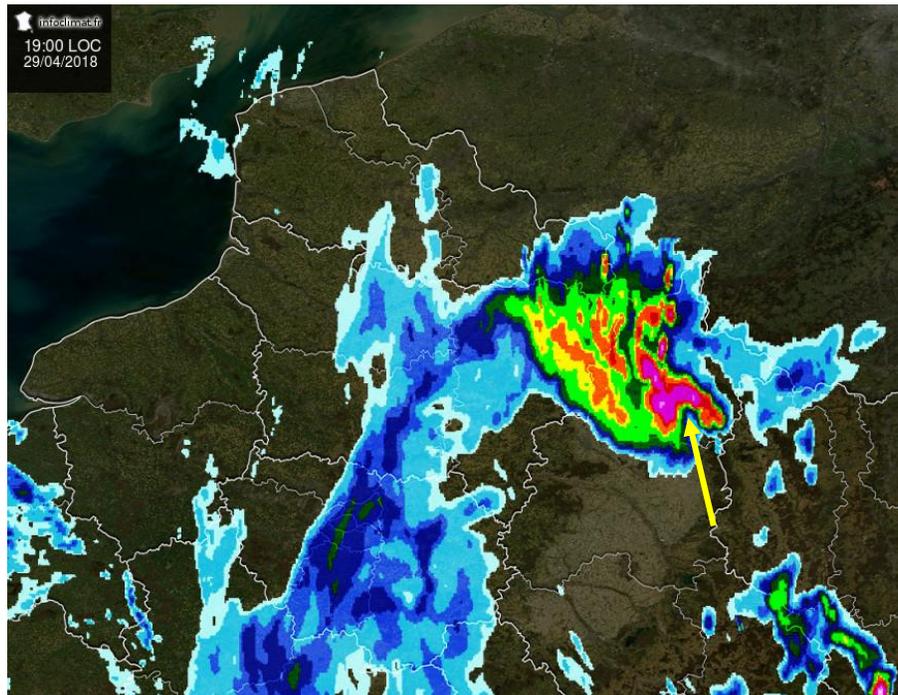


Schéma illustrant l'évolution d'une supercellule HP en écho en arc. Source : Moller



19h00

En passe d'aborder la Belgique, l'orage a les traits d'un hybride (possible supercellule HP évoluant en écho en arc). Sous les effets d'un puissant courant jet d'altitude qui s'introduit à l'arrière de la structure, un vigoureux rear inflow jet (RIJ) ou courant jet de flanc arrière se met en place. La structure s'arque donc davantage.



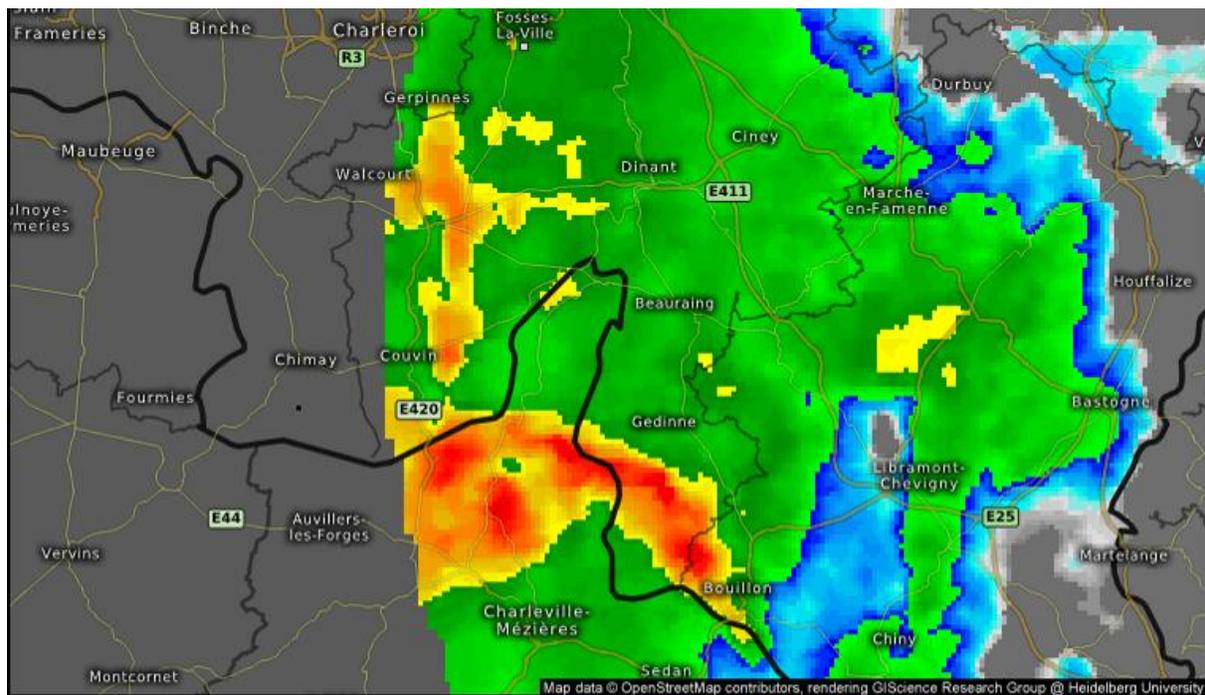
Radar des précipitations du 29 avril 2018 à 19h00.
Source de l'image : Infoclimat



19h35

En utilisant à présent les images du radar allemand pour effectuer des analyses plus précises, on devine que la tête de l'écho en arc, au-dessus de la vallée de la Meuse, est animée d'une rotation. Il y a là un cas de book-end vortex particulièrement bien dessiné (qui pourrait être une probable supercellule HP qui maintient certaines de ses caractéristiques), et déjà les signes d'une évolution vers un « comma echo », conformément à la théorie.

Lors d'une évolution affirmée vers un comma echo, le book-end vortex peut devenir le siège de tornades généralement de courte durée et de faible intensité.



Radar des précipitations du 29 avril 2018 à 19h35. Source de l'image : Kachelmannwetter

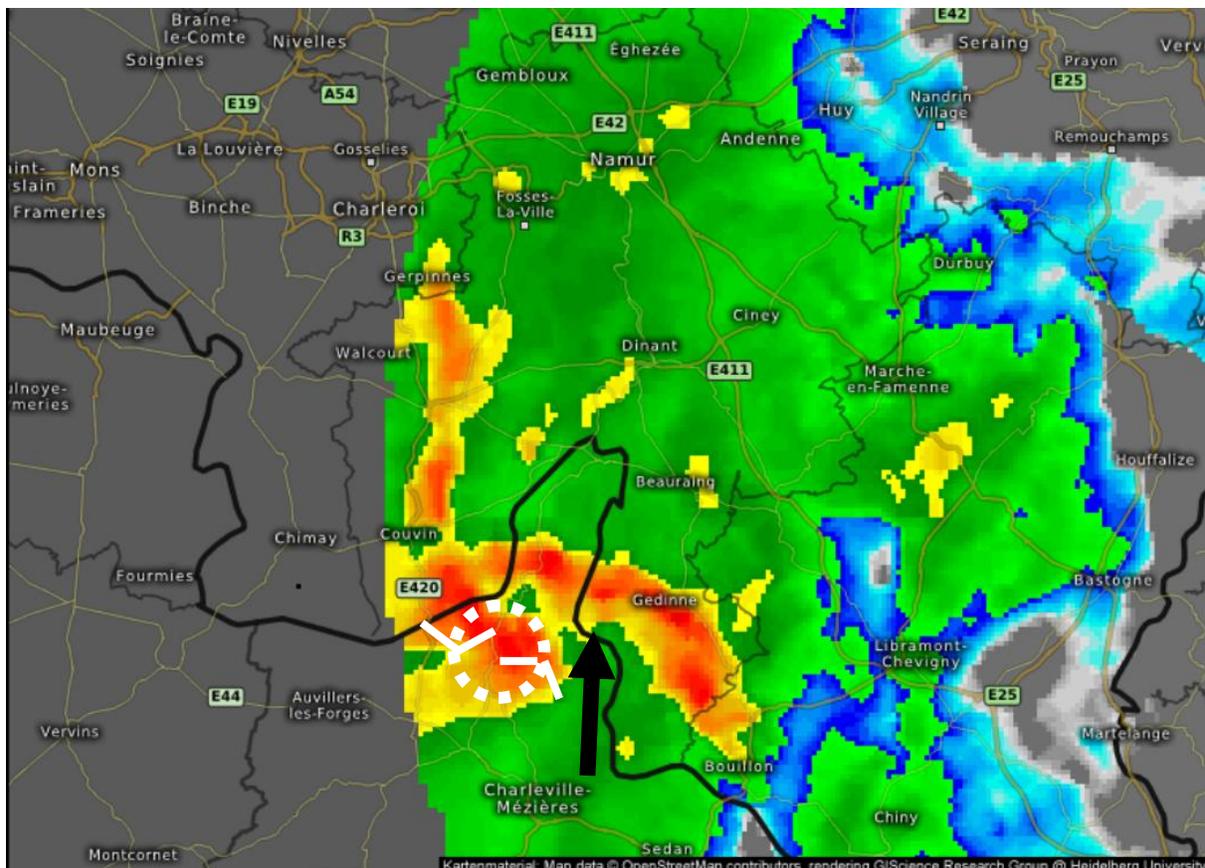


19h40

Un écho en arc (ou bow echo) évolue dorénavant très clairement en comma echo sur le département des Ardennes en France ainsi que sur la province de Namur.

En reprenant l'activité électrique, on constate que celle-ci est plus intense sur la « tête » du comma echo. Une probable supercellule se situe toujours sur le flanc ouest du système (book-end vortex illustré par un rond blanc).

Il en va que cette cellule bénéficie de la rotation générale imprimée par l'évolution du comma echo. Le RIJ (ou courant jet de flanc arrière) est bien visible au centre du comma echo (flèche noire). Celui-ci sévit depuis plusieurs dizaines de minutes et c'est l'intensification de ce dernier qui permet l'évolution de la structure générale en comma echo.

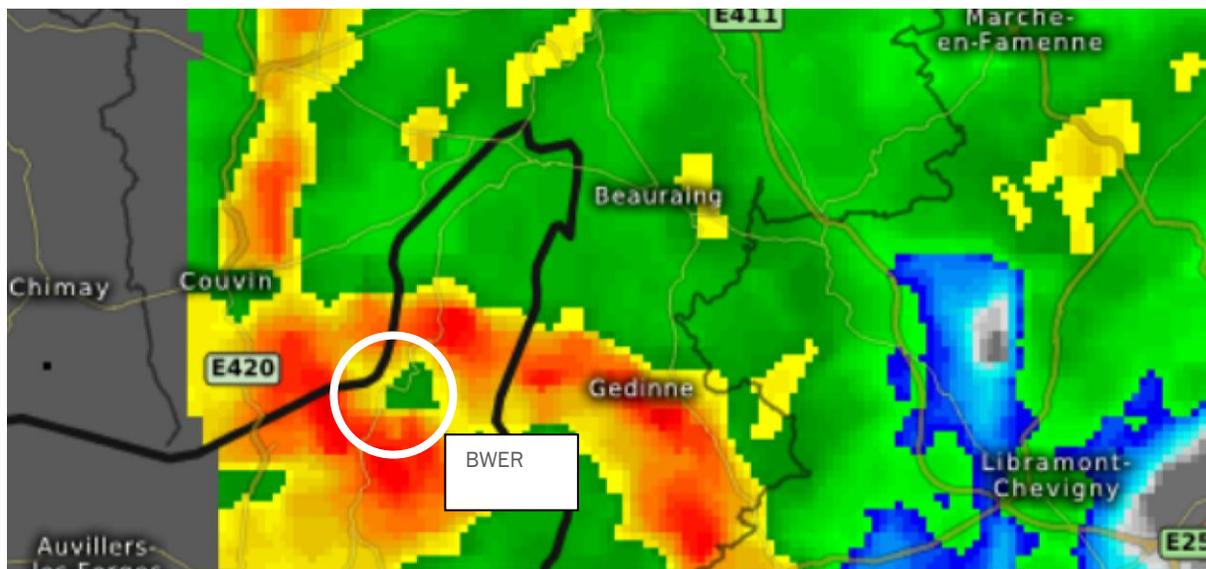


Radar des précipitations du 29 avril 2018 à 19h40. Source de l'image : Kachelmannwetter



En effectuant un zoom sur le flanc ouest du comma echo, on peut y constater la présence d'un « œil » ou plus communément appelé en anglais un « BWER Eye ». Cette zone correspond en fait à la présence d'un puissant courant ascendant qui est d'ailleurs si puissant que même les particules d'eau et de glace situées en son sein sont projetées en altitude.

La présence nette et durable d'un « BWER » (et ce durant plusieurs dizaines de minutes) est un élément qui étaye l'hypothèse d'une origine supercellulaire de l'orage. Or, sur plusieurs images radars successives, il y a la présence de cet « œil ».



Radar des précipitations du 29 avril 2018 à 19h40. Source de l'image : Kachelmannwetter

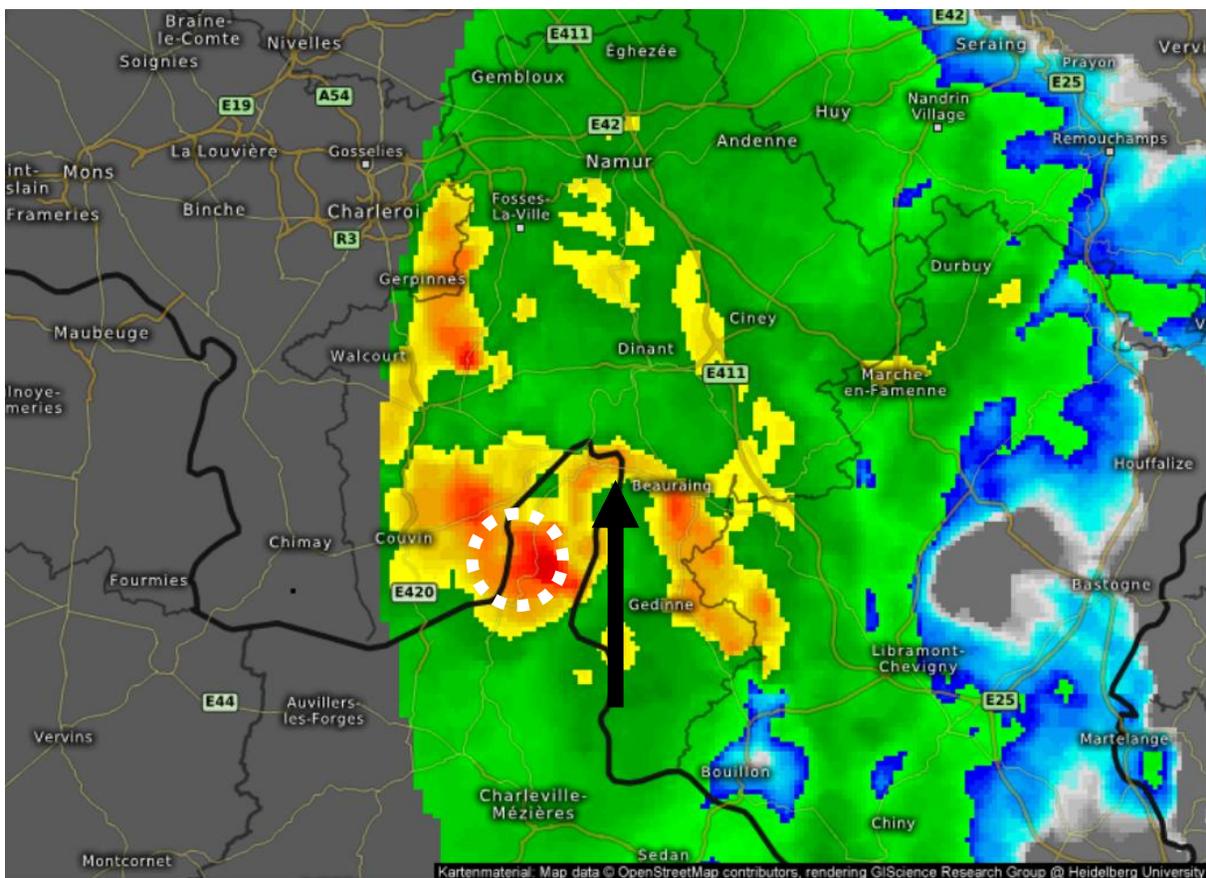


19h50

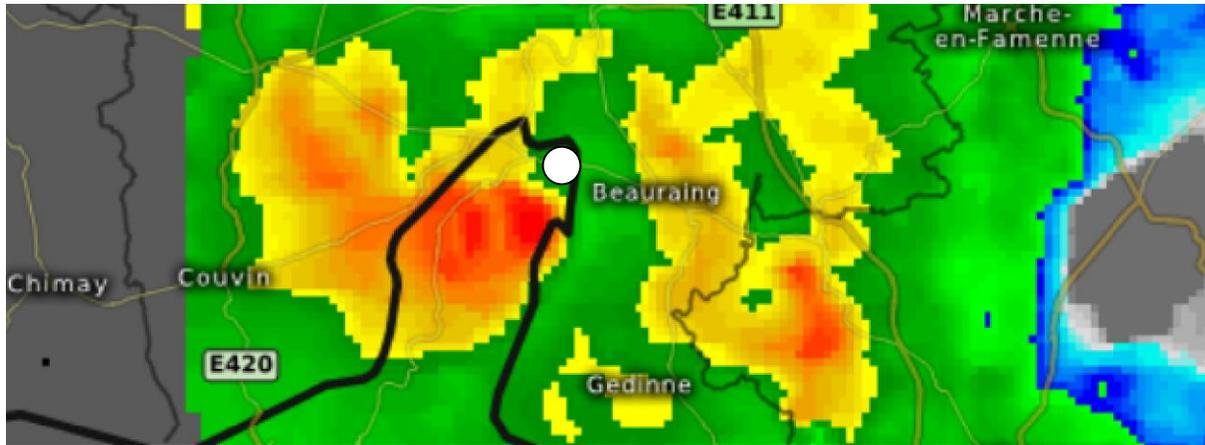
Le comma echo subit de plus en plus les effets du RIJ qui s'intensifie considérablement en obligeant la structure à s'arquer davantage. Les cellules situées juste à l'avant se déplacent de plus en plus vite, tout en s'affaiblissant. En effet, l'activité électrique diminue, de même que les précipitations. Quant au « BWER » décrit précédemment, il persiste.

Les cellules situées sur le flanc nord du comma echo se déplacent très rapidement soit à environ 100-120 km/h.

Les premiers dégâts importants sont observés en Belgique à Dion où sévissent successivement une tornade et une rafale descendante.



Radar des précipitations du 29 avril 2018 à 19h50. Source de l'image : Kachelmannwetter



Radar des précipitations du 29 avril 2018 à 19h55. Source de l'image : Kachelmannwetter

Sur les images en provenance du radar allemand, la zone plus éclairée pourrait correspondre à ce que l'on nomme une « fente claire », c'est-à-dire une zone dénuée en grande partie de précipitations se trouvant juste à l'arrière du courant ascendant. Cette zone peut indiquer la présence d'un courant descendant de flanc arrière (ou RFD de l'acronyme Rear Flank Downdraft en anglais). En effet, sur les radars, cette zone est pratiquement dénuée de précipitations (point blanc sur l'imagerie radar ci-dessus).

En reprenant l'évolution de la structure générale, il a pu être constaté que les effets du RIJ obligeaient la structure à s'arquer davantage et à se déplacer de plus en plus vite. Les orages situés sur le flanc ouest de la structure (dont la probable supercellule citée précédemment) profitent donc de ce phénomène.



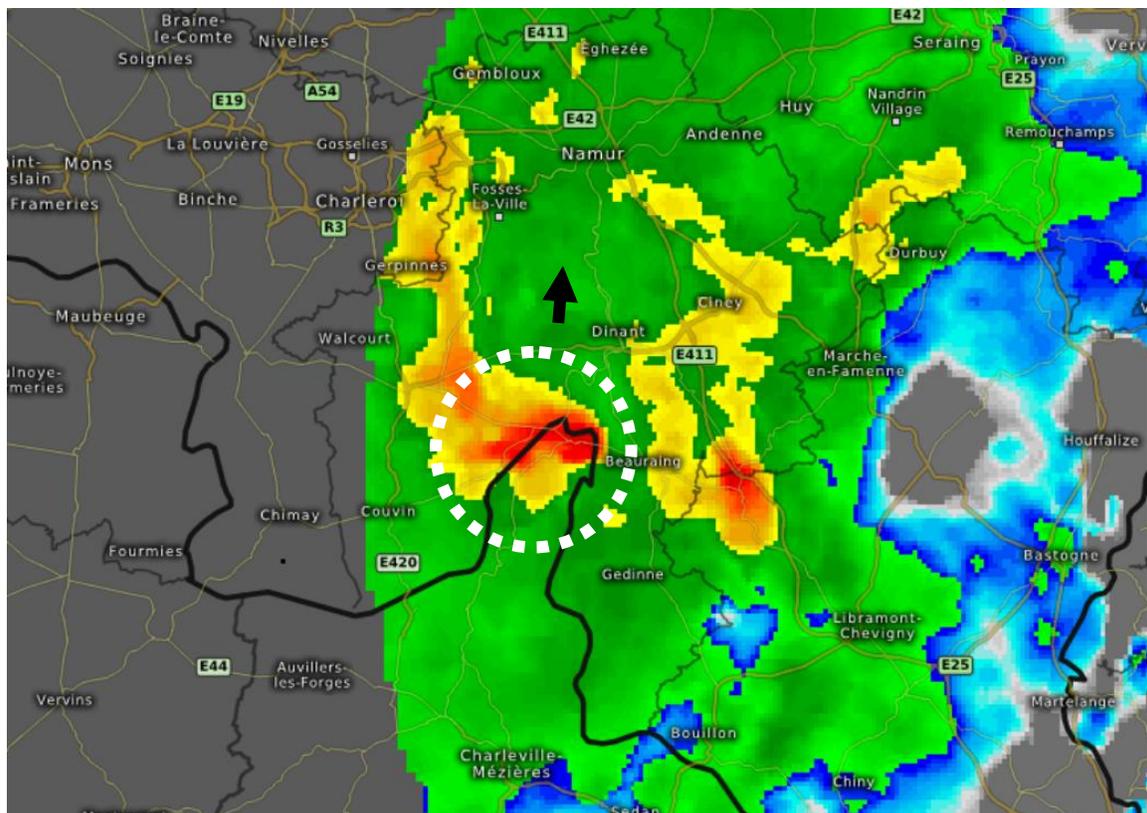
20h00

Jusqu'ici, la rotation imprimée par le comma echo a produit ses effets sur les cellules circulant sur son flanc ouest durant un laps de temps assez long pour la cellule située au sein du bookend vortex. Cette rotation d'ensemble a d'ailleurs favorisé une probable évolution supercellulaire de cet orage.

Toutefois, le comma echo est à présent totalement déstructuré. Le RIJ a tout simplement transpercé la structure. Les cellules situées à l'avant (ou abords immédiats) du RIJ sont littéralement expulsées et déstructurées, cela indiquant la survenue de vents extrêmement intenses dans les couches moyennes. Seules subsistent quelques cellules dont l'une particulièrement vigoureuse. C'est cette cellule qui va produire la tornade F3 de Waulsort au niveau du hameau de Lenne.

Cet orage, qui faisait partie de la pointe sud-ouest du book-end vortex (et qui est située à l'écart du RIJ), se renforce rapidement. L'activité électrique la plus marquée concerne le flanc sud-ouest de la cellule tandis qu'une encoche apparaît. Cette encoche dénote la mise en place d'un nouveau probable RIN. Celui-ci indique une nouvelle intrusion d'air sec dans les basses couches et les couches moyennes à l'arrière de la cellule orageuse.

Il faut cependant faire attention car d'autres images radars (celles de Wideumont) ne confirment pas la présence de cette encoche sur le flanc sud. Cela peut provenir du fait que le radar de Wideumont scanne la cellule à plus basse altitude que le radar allemand.

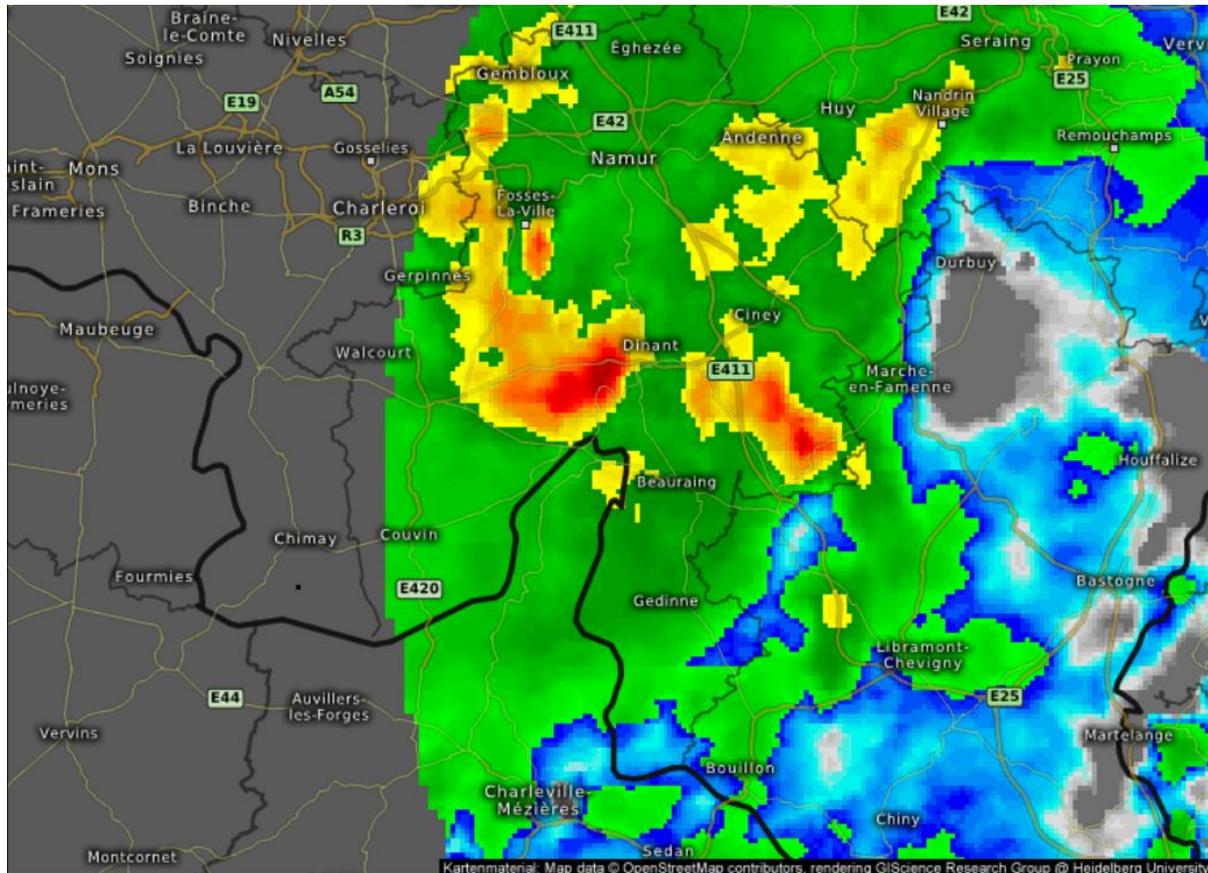


Radar des précipitations du 29 avril 2018 à 20h00. Source de l'image : Kachelmannwetter



20h10

Tandis que la cellule située à l'origine sur le flanc ouest du comma echo s'intensifie rapidement et adopte une trajectoire sensiblement différente, une puissante tornade dévaste au même moment une exploitation agricole à Lenne.

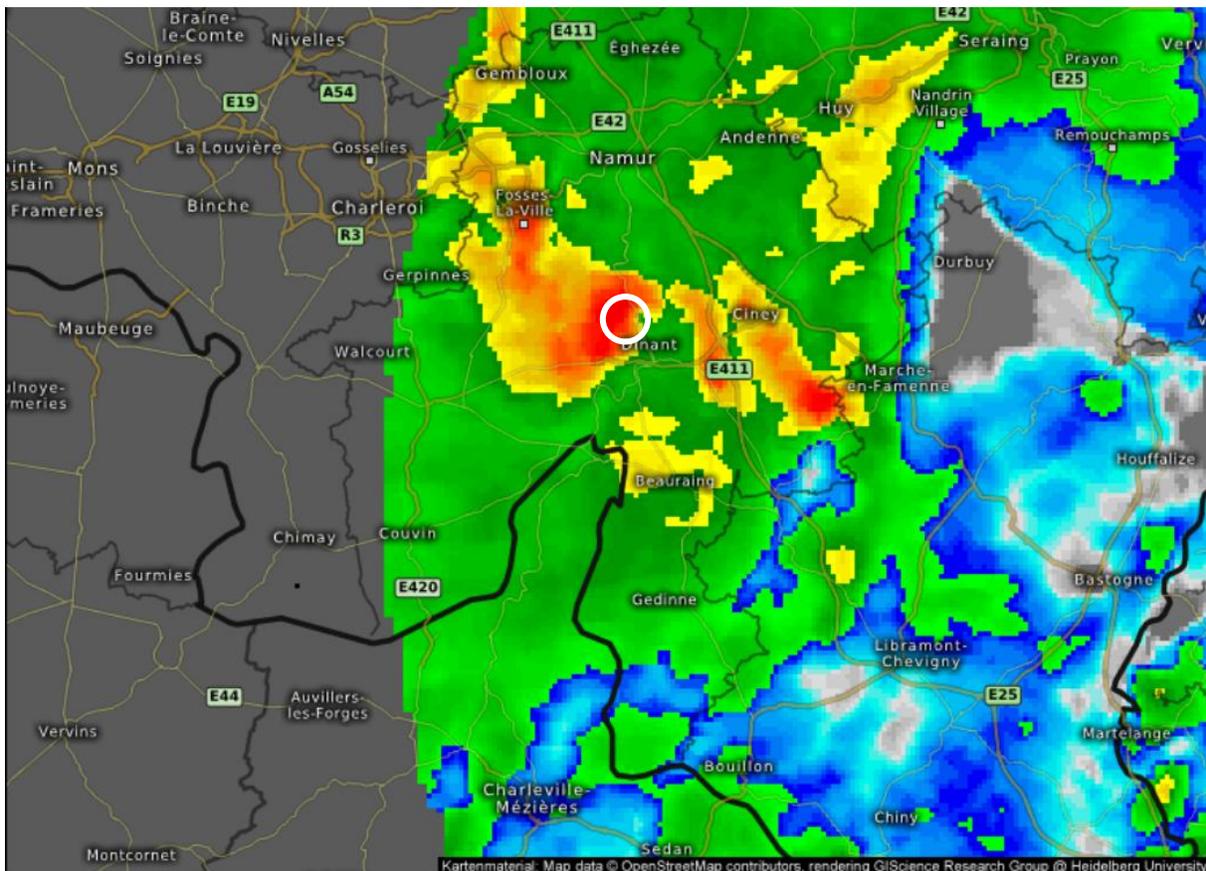


Radar des précipitations du 29 avril 2018 à 20h10. Source de l'image : Kachelmannwetter



20h15

Tandis que la tornade poursuit sa route et touche successivement Saint Médard et la région d'Evrehailles, les images radars de réflectivité montrent une encoche de faible réflectivité sur le flanc est de la cellule. Cela apporte un élément en plus en faveur d'une évolution supercellulaire de l'orage en structure HP. Cette encoche (rond blanc) correspond parfaitement aux zones touchées par la tornade.



Radar des précipitations du 29 avril 2018 à 20h15. Source de l'image : Kachelmannwetter

Une nouvelle évolution de la structure générale est également constatée. En effet, de nouvelles cellules se développent à l'est de l'orage en question et le tout commence à se structurer en écho en arc.



20h25

Les nouvelles cellules qui se sont développées ainsi que notre cellule initiale adoptent à nouveau une évolution arquée. La mise en place d'un « nouveau » RIJ semble s'opérer.

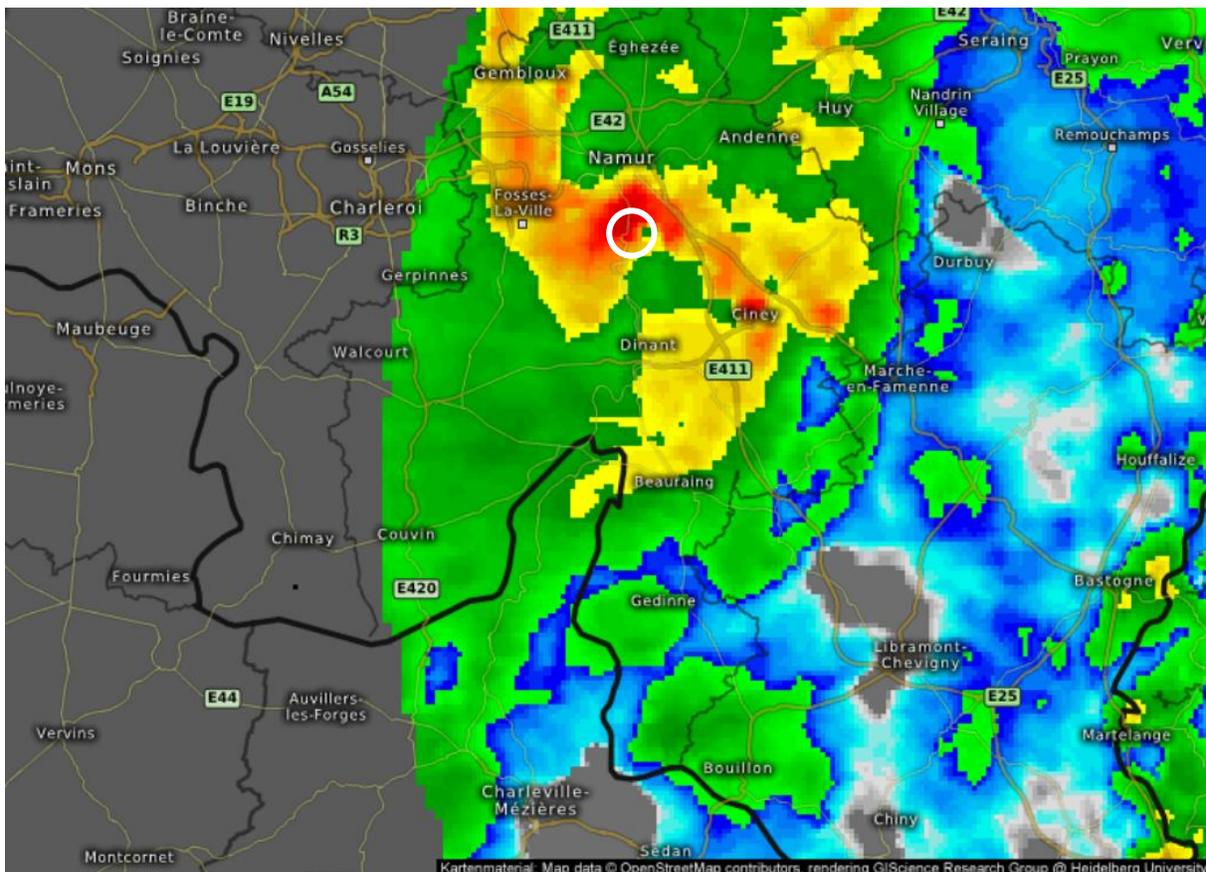
Mais ce qui suscite l'intérêt est l'évolution de l'orage. En effet, la présence d'un écho sur le flanc sud de celui-ci se manifeste.

Cet écho semble même évoluer en ce que l'on appelle un BWER déjà étudié précédemment (rond blanc). Cette zone correspond toujours au passage de la tornade qui circule à ce moment là entre Lustin et Maillen.

Cependant, les dégâts sont très faibles et la tornade peine à toucher le sol en de nombreux endroits. Cela pourrait correspondre à un affaiblissement de celle-ci.

Sur l'image radar, il y a donc ce qui semble être un BWER. Celui-ci étant entouré de précipitations.

Ainsi, le mésocyclone pourrait très bien évoluer, à ce moment-là, en mésocyclone occlus. Une telle possibilité indique que les précipitations entourent dorénavant le mésocyclone et l'affaiblit progressivement. À ce stade, il n'est logiquement plus possible de parler de supercellule mais d'une nouvelle évolution en écho en arc.



Radar des précipitations du 29 avril 2018 à 20h25. Source de l'image : Kachelmannwetter

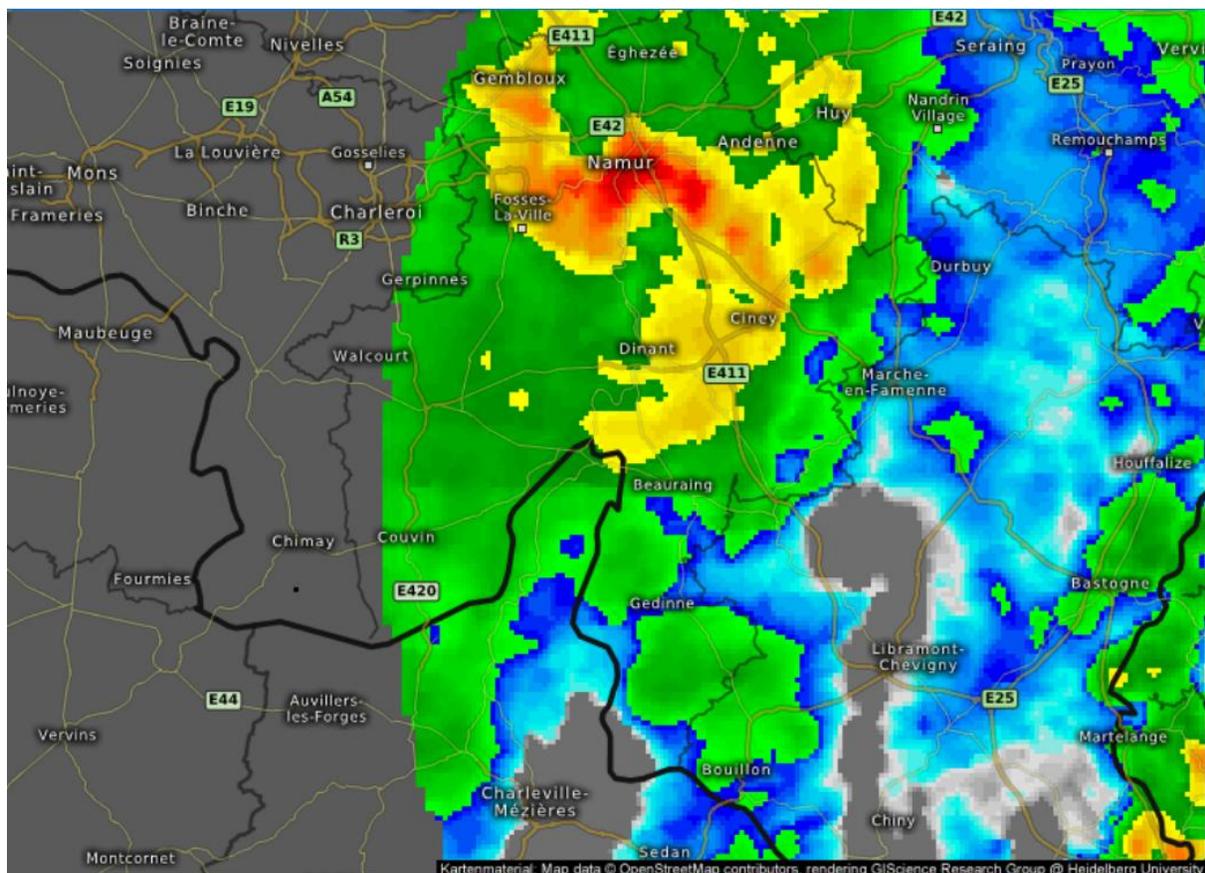


20h30

Les analyses menées par notre équipe se terminent. D'ailleurs, plus aucun dégât important n'est observé au-delà de la région de Lustin – Courrière.

Sur les radars, la cellule (et la structure générale) prennent de plus en plus l'aspect d'un arc évoluant à nouveau par la suite au stade de comma echo.

Il est probable, à ce moment là, que le mésocyclone ne soit plus suffisamment structuré pour supporter une tornade.



Radar des précipitations du 29 avril 2018 à 20h30. Source de l'image : Kachelmannwetter



Analyses détaillées de l'activité électrique au sein de l'orage

Des études américaines ont démontré la présence de ce qui s'appelle un « trou de foudre » au sein de courants ascendants rotatifs (mésocyclones). Certains chercheurs ont émis l'hypothèse que cette absence de charge (du moins à basse altitude) au sein des courants ascendants puissants est due à l'absence relative des précipitations. Dans le cas qui suscite notre intérêt, on a pu observer cela sur les cartes détaillées de l'activité électrique.

20h06

La tornade frappe les zones situées en amont de la vallée de la Meuse et s'approche de Waulsort (cercle rouge). L'activité électrique principale concerne la vallée de la Meuse du côté d'Hermeton- Hastière ainsi qu'une zone toute proche du passage de la tornade.

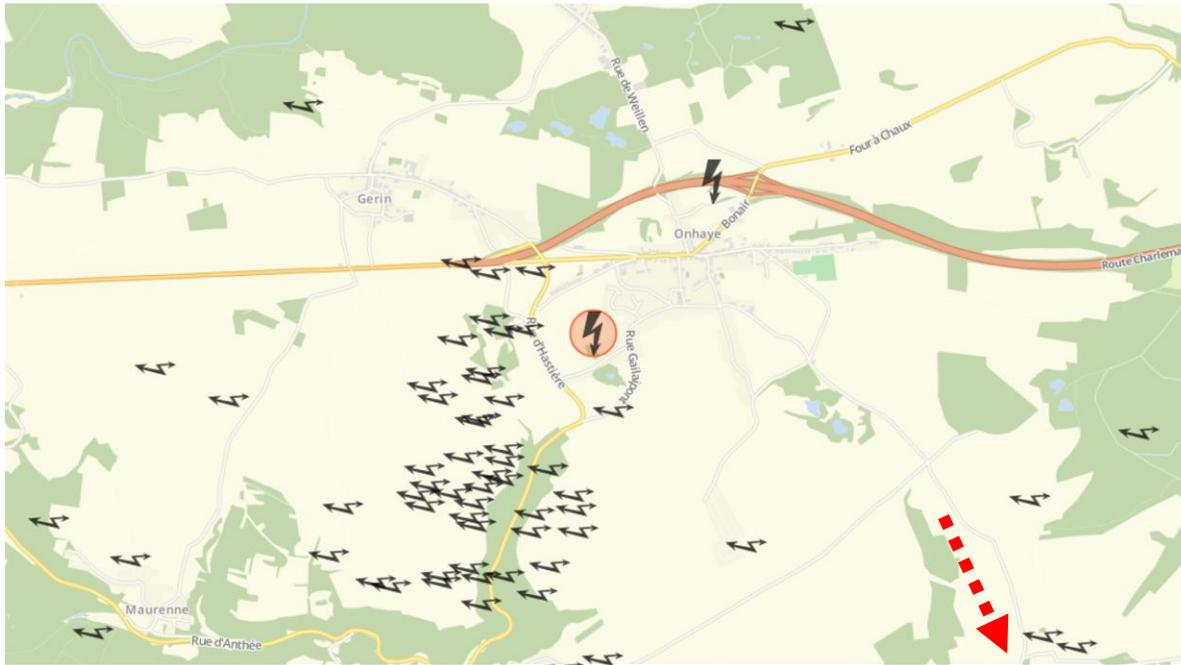


Carte du radar de détection de foudre, le 29 avril 2018 à 20h06.
Source de l'image : Kachelmannwetter



Une autre carte prise 30 secondes après sur une zone située un peu plus au nord (entre Hastière et Onhaye) indique l'activité électrique lorsque la tornade sévit (en dehors de l'image) plutôt sur le côté en bas à droite (flèche rouge).

Il s'y retrouve une très forte concentration d'éclairs juste au nord-ouest par rapport au déplacement du tourbillon.

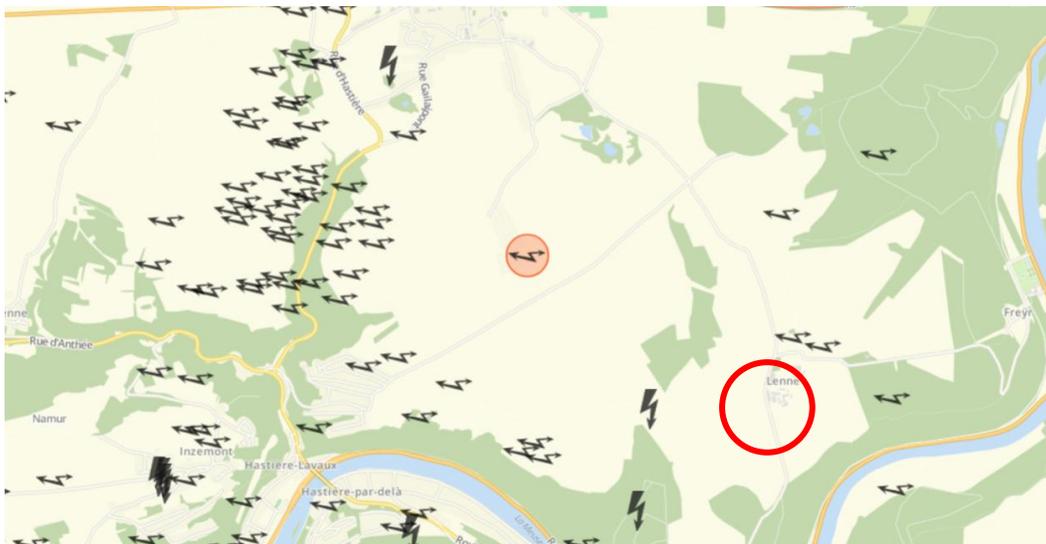
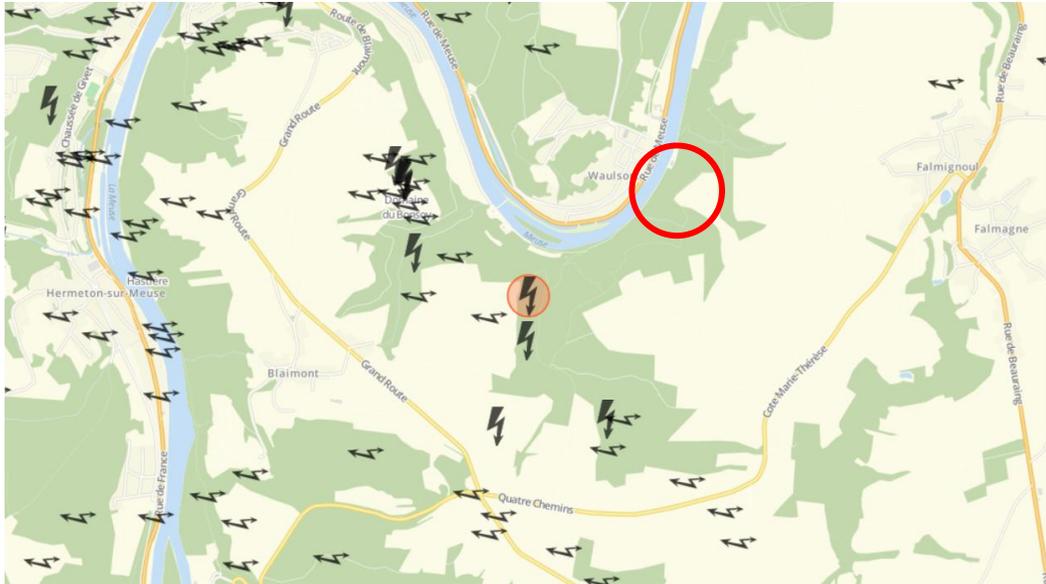


Carte du radar de détection de foudre, le 29 avril 2018 à 20h06.

Source de l'image : Kachelmannwetter



Les deux images suivantes reprennent les coups de foudre sur la région de Waulsort – Hastière à 20h07 et à 20h09, c'est-à-dire au moment où la tornade balaye la région de Waulsort – Lenne. La position (théorique) de la tornade est matérialisée par un rond rouge.



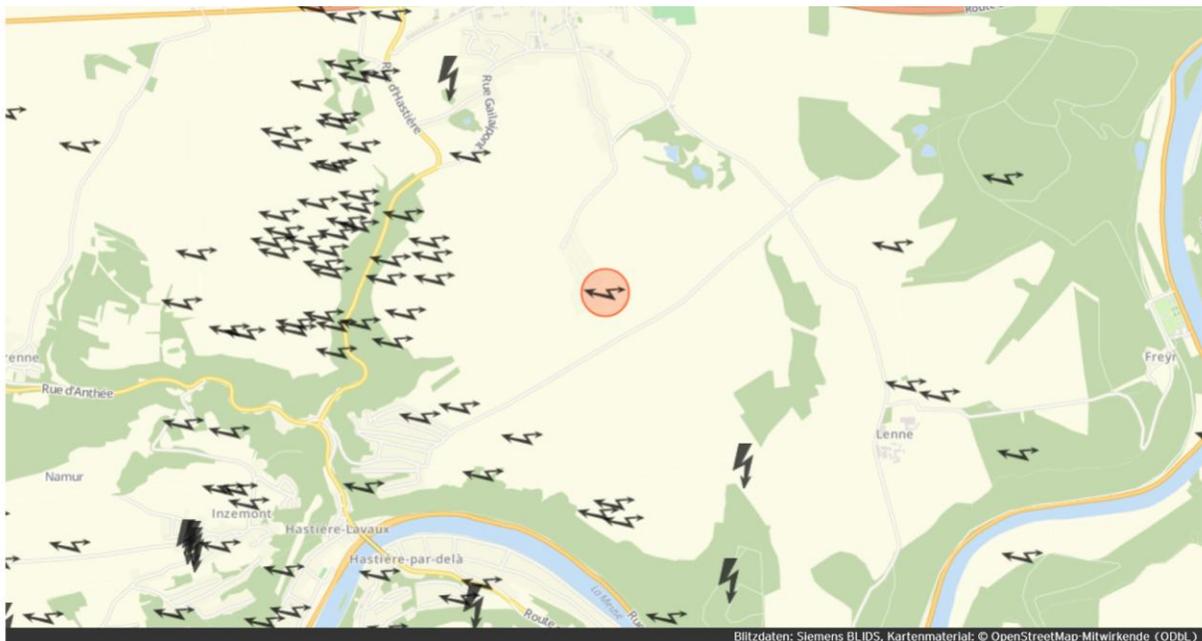
Cartes du radar de détection de foudre, le 29 avril 2018 à 20h07 et à 20h09.
Source des images : [Kachelmannwetter](#)

Ces images montrent une très forte concentration de coups de foudre à l'ouest et au nord-ouest de la région de Waulsort, au moment où la tornade fait des ravages. À l'endroit même du passage de la tornade, peu d'activité est constatée, ce qui rejoint l'hypothèse du fameux « trou de foudre » citée précédemment.



En prenant maintenant l'activité électrique trois à quatre minutes plus tard, à l'instant où la tornade frappe de plein fouet l'exploitation agricole située à Lenne, la principale activité électrique est observée sur une zone étroite, à quelques encablures juste à l'ouest du passage de la tornade.

20h10



Carte du radar de détection de foudre, le 29 avril 2018 à 20h10.

Source de l'image : [Kachelmannwetter](#)

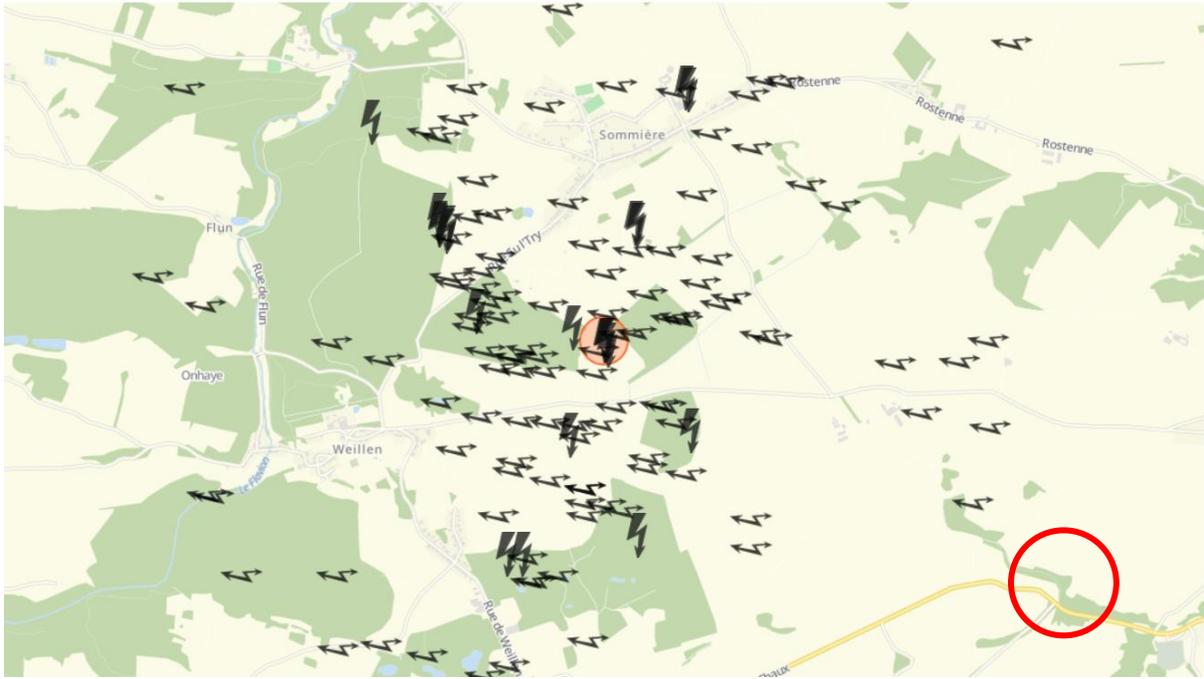
Cette très forte concentration d'éclairs sur une zone restreinte (et ce sur les trois images) pourrait indiquer la « limite » entre le puissant courant ascendant (qui circule très probablement sur la région de Lenne) et le courant descendant principal (qui circule très probablement sur la région d'Onhaye).

En comparant les images radars et d'impacts, on obtient une théorie qui conforte les imageries Doppler, à savoir le développement d'un mésocyclone sur la région de Mesnil Saint Blaise – Waulsort - Lenne (se développant sous le courant ascendant) et les très fortes précipitations circulant sur la région de Gerin – Hastière - Onhaye (précipitations associées au courant descendant). La principale activité électrique étant située à la frontière entre les courants ascendants et descendants.

Cette très forte activité électrique située juste à l'ouest du passage de la tornade se poursuit sur les zones situées plus au nord. En effet, tandis que la tornade sévit dans la région d'Evrehailles, la principale activité électrique se situe toujours à l'ouest du passage du phénomène, dans ce cas-ci, sur la région d'Yvoir – Godinne.



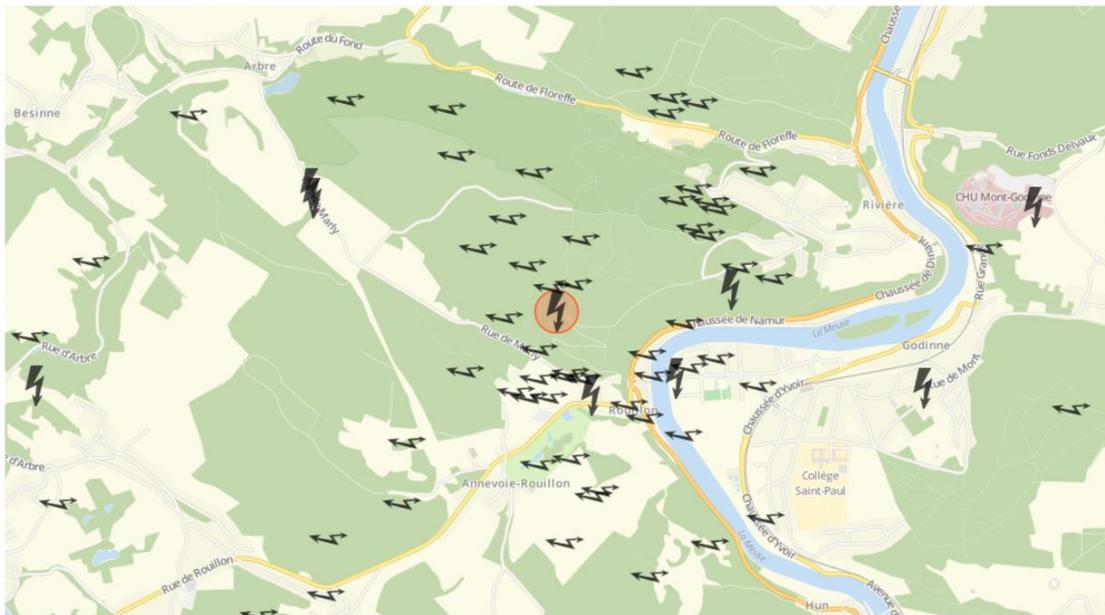
À 20h12, les impacts de foudre au moment où la tornade circule sur la région de Foqueux confirment la présence d'une très forte concentration d'activité électrique juste à l'ouest de la tornade.



Carte du radar de détection de foudre, le 29 avril 2018 à 20h12.
Source de l'image : Kachelmannwetter

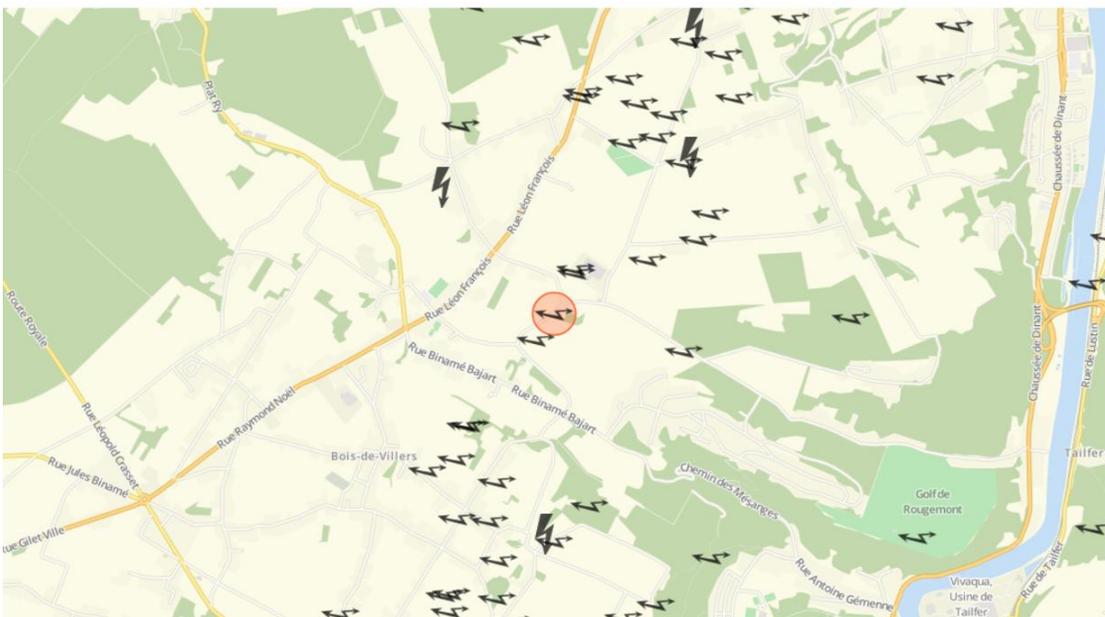


20h22



Carte du radar de détection de foudre, le 29 avril 2018 à 20h22.
Source de l'image : Kachelmannwetter

20h26



Carte du radar de détection de foudre, le 29 avril 2018 à 20h26.
Source de l'image : Kachelmannwetter

À ce moment là, il y a toujours une très forte activité électrique située à l'ouest des dégâts observés par après, cela principalement sur la région de Bauche - Crupet suite au passage d'une tornade.



Chapitre 3 : Tentatives d'explications concernant la formation et l'intensification des tornades

Un peu de théorie avant d'aller plus loin...

Les tornades d'origine mésocycloniques apparaissent généralement lorsque le courant descendant de flanc arrière (RFD de l'acronyme anglais) commence à contourner la base du courant ascendant, affaiblissant de ce fait progressivement l'orage car il coupe son alimentation en air chaud et humide. Cependant, cette période, définie comme la plus favorable pour la formation des tornades ne dure généralement pas très longtemps. C'est en effet à ce moment là que la vorticité fournie à la fois par les influences des courant ascendant et du (ou des) courant(s) descendant(s) est à son apogée.

Les tornades d'origine non mésocyclonique (ou landspout) se forment soit à partir des différents flux entrants et sortants de ou des orage(s) ou soit d'une rencontre entre différentes lignes de convergence. Ces différentes rencontres de flux de force et/ou de direction différentes peuvent amener la mise en place de zones de rotation appelées m  sovortex ou misocyclones. Ces zones de rotations ne concernent cependant que les très basses couches de l'orage. Ce type de tornades peut se développer au passage d'orages monocellulaires, multicellulaires, voire supercellulaires.

En effectuant les analyses des dégâts, il a pu être constaté que sur une très grande partie de son parcours, la tornade de Waulsort était relativement de « faible » intensité. Les zones les plus touchées se concentrant généralement sur les hauteurs dominant directement les rivières ou fleuves traversés.

Parmi ces zones, celle de Waulsort (au niveau du hameau de Lenne essentiellement) a été, et de très loin, la plus touchée.



Le hameau de Lenne dévasté par la tornade du 29 avril 2018.

Les tornades traversant des zones accidentées ne sont pas si rares que cela en Belgique (Melreux en 2015, Sart-Lez-Spa et Manhay en 2014, Léglise en 1982 etc...)



Dégâts de la tornade du 16 septembre 2015 à Melreux.



Dans le cas du 29 avril 2018, les enquêtes menées par notre équipe ont clairement mis en évidence un comportement assez particulier de la tornade « principale ». En effet, celle-ci a régulièrement changé de direction mais aussi de force tout au long de son parcours.

L'intensité maximale, dans ce cas-ci de niveau F3 sur l'échelle de Fujita et T6 sur l'échelle de Torro, a été uniquement atteinte sur une exploitation agricole de Lenne (Waulsort).

Il a de ce fait été tenté de trouver des explications à cela. Outre l'aspect purement « météorologique », les recherches furent principalement orientées vers des cas de tornades ayant sévi en zones de relief. Précisons que tous ces cas proviennent des Etats-Unis.

Les recherches menées sur les tornades en zones de relief sont finalement assez peu nombreuses, tout du moins proportionnellement parlant par rapport aux recherches menées sur les tornades en terrain « plat ». Les raisons sont multiples mais il est avant tout retenu la difficulté d'y mener à bien des enquêtes de terrain.

Avant toute chose, il est précisé que notre équipe n'a pas la prétention d'apporter des réponses aux raisons qui ont permis aux tornades de se développer, ni de comprendre pourquoi le second tourbillon s'est brutalement intensifié sur le hameau de Lenne en atteignant le niveau F3 – T6. Il sera surtout tenté d'établir des éléments de réponses en se basant sur la littérature américaine.

De nombreux ouvrages sur les tornades ayant sévi en zone de relief ont été consultés. Ceux-ci provenant des recherches menées aux Etats-Unis (liens en bas de document). Une analyse dans le détail des dégâts de certaines tornades a ensuite été réalisée via les documents accessibles essentiellement sur le site du National Weather Service mais aussi via les images satellites prises après le passage de ces tornades. Cela ayant permis de visualiser les dégâts en zones de relief. Toutes ces recherches ont pris énormément de temps mais ont permis d'en apprendre plus sur le sujet.

Ce chapitre va donc tenter d'une part, d'apporter quelques explications sur le comportement des tornades en zone de relief et d'autre part, tenter d'apporter des éléments de réponses sur le comportement des tornades du 29 avril 2018.

Les différentes études menées sur le sujet ont clairement démontré que le relief pouvait avoir une influence sur le comportement d'une tornade (d'origine mésocyclonique ou non) ainsi que sur son intensité. Dans le cas des tornades d'origine mésocyclonique, le fait d'avoir un mésocyclone bien structuré peut permettre à la tornade de perdurer plus longuement. Les récentes découvertes mettant en avant l'importance capitale que peut avoir le courant descendant de flanc arrière (RFD) sur la naissance et /ou l'intensification d'une tornade.

Pour résumer, un extrait de récentes informations provenant des Etats-Unis est apporté au sein de ce dossier, celles-ci étant bien entendu accessibles gratuitement sur Internet.



Les scientifiques savaient déjà depuis de très nombreuses années que le courant descendant de flanc arrière (ou RFD) peut avoir un impact important sur la tornade, tant sur sa formation que sur son développement. Les recherches ont permis de constater que le courant descendant de flanc arrière n'est pas un courant régulier et ce dernier peut se renforcer ou se rétracter assez rapidement. Lorsque le RFD se renforce, des intrusions d'air sec (ou humide) et chaud et/ou froid provenant du courant descendant peuvent interagir avec la base du mésocyclone (ou de la tornade).

Ces intrusions, nommées « internal outflow surges » (pouvant être traduit en français par « accélérations de courants internes ») sont de plus en plus étudiés par les scientifiques. Il est à noter que l'on nomme aussi ces courants des « Rear Flank Downdraft Internal Surges » ou encore « Rear Flank Gust Front Surge ». Les premières analyses suggèrent que ces « accélérations de courants internes » peuvent avoir des propriétés thermiques différentes. En fonction de cela, il a été constaté dans de nombreux cas que lors des périodes de développement et/ou d'intensification des tornades, les températures de ces courants sont plus «élevées» que leur environnement. À contrario, lors de l'affaiblissement des tornades, les températures sont plus basses. Bien entendu, tous les cas ne sont pas semblables. La survenue de ces courants peut aussi amener un changement dans le parcours de la tornade,



Dans le passé, il a déjà été mentionné le rôle que pouvait avoir ces accélérations dans un dossier réalisé sur les tornades du mois d'août 2014,

Voici ce qui a été écrit à l'époque (le dossier étant accessible via le lien suivant): « *Les dernières recherches menées par les scientifiques américains ont permis de découvrir qu'au sein du RFD, voire aux extrémités, là où l'on situe l'écho en crochet sur les radars, et au plus proche du courant ascendant, se développeraient des RFDIS ou accélérations subites internes au courant descendant de flanc arrière (Rear Flank Downdraft Internal Surges en anglais).*

Ces RFDIS sont un peu semblables finalement aux couloirs d'accélérations que l'on peut observer au sein de certaines micro-rafales (Microbursts en anglais), une des catégories des rafales descendantes, même si ici, les conditions favorables à leur survenue sont différentes et les effets ne sont pas du tout comparables.

La survenue des RFDIS s'accompagnerait avant tout d'un changement dans la direction du vent ainsi que d'une accentuation de celui-ci. Le bord d'attaque situé à l'avant de ces accélérations (nommé RFDISB) pourrait être une zone particulièrement propice à une accentuation de la vorticité favorable soit à la survenue d'une tornade, soit à un renforcement de celle-ci.

Cependant, les découvertes liées aux RFDIS étant encore relativement récentes, et vu l'importante complexité de celles-ci, on n'ira pas plus loin dans ce document d'autant que les conditions qui permettent à ces RFDIS de se produire sont encore assez mal connues. »

Quatre années se sont écoulées entre la parution de ce dossier et celui-ci. Bien entendu, les connaissances ont évolué et les informations accessibles sont plus nombreuses.

En s'attardant un instant sur les recherches menées aux Etats-Unis concernant la formation et l'intensification des tornades d'origine supercellulaire en zone de relief, celles-ci nous apprennent qu'il est nécessaire d'avoir des facteurs bien distincts présents permettant aux tornades de surmonter les inhibitions topographiques qui empêchent généralement la formation de celles-ci :

- Un environnement général fortement favorable au développement des orages supercellulaires.
- Des modifications du champ de vent à basse altitude, par effets topographiques, créant ainsi des améliorations locales du potentiel de tornadogenèse.
- Une arrivée d'une onde de sortie canalisée provenant de la supercellule ou d'une autre cellule proche sous le mésocyclone d'une supercellule mature. Cela permettant de fournir le catalyseur nécessaire pour surmonter les perturbations dues aux frottements liés au relief lors de la tornadogenèse.



En revenant aux effets que peuvent avoir le relief sur une tornade, il est constaté que cette dernière peut être déviée par une forte pente dans certains cas. Dans d'autres cas, le relief ne permet plus à la tornade de toucher le sol et, enfin, il se peut que la tornade se renforce ou s'affaiblisse en fonction du relief rencontré.

Si dans la majeure partie des cas le relief est défavorable aux tornades, dans certaines situations, l'effet inverse peut se produire. Les études mettent en avant le fait que dans certaines configurations topographiques (telle la présence de vallées), la présence de conditions de micro-échelle favorables peuvent enclencher, ou tout du moins favoriser, la tornadogenèse et ce malgré les perturbations liées au relief environnant.

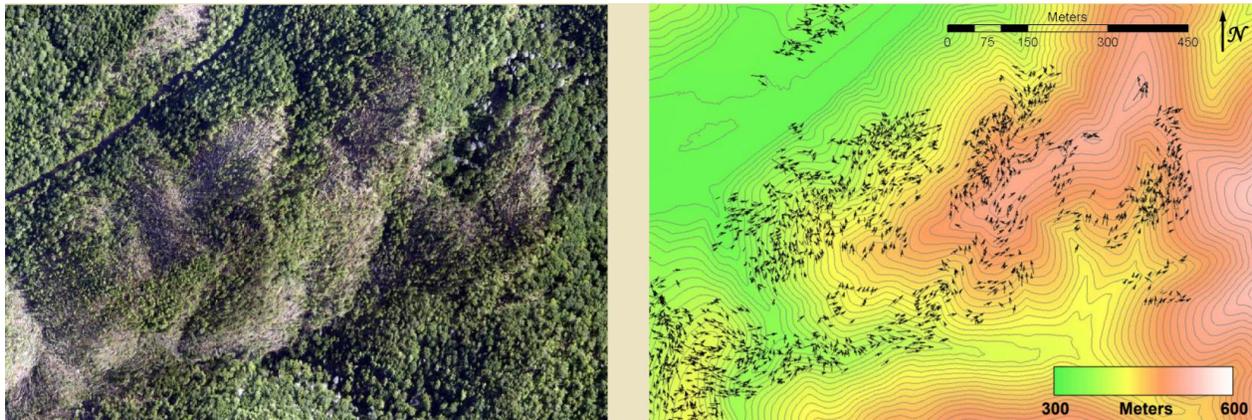
Ces zones pouvant, dans certains cas, contribuer à concentrer la vorticité en une zone très localisée. Par exemple, la présence de vallées peut canaliser le vent et renforcer sa vitesse. Dans certaines situations, cela peut modifier l'hélicité présente à très basse altitude. Les modélisations effectuées penchent ainsi vers un renforcement de la vorticité. Si un orage se déplace sur cette zone, cette vorticité présente peut dans certains cas, soit favoriser la tornadogenèse, soit renforcer la tornade qui circule sur la région. Bien entendu, l'orage lui-même modifie la vorticité présente initialement.

L'orientation des vallées par rapport au déplacement des orages producteurs de tornades joue également un rôle non négligeable. Les études démontrent aussi que sur les pentes montantes des collines ou des monts, les vortex au sein des tornades ont tendance à s'affaiblir tandis que sur les pentes descendantes, ceux-ci ont, au contraire, tendance à se renforcer. Parmi les raisons qui pourraient expliquer le renforcement des tornades sur les pentes descendantes des collines ou des monts, l'une des plus admises est liée à l'étirement du tourbillon ou plus communément appelé en anglais « vorticity stretching ».

Lorsque le tourbillon franchit une pente descendante abrupte, celle-ci a comme effet d' tirer le vortex. Cet effet d'étirement resserrant le diamètre du vortex, accentuant ainsi la vitesse de rotation.



Les différentes recherches menées après le passage des tornades du 27 avril 2011 ont aussi démontré que le relief peut influencer le comportement des différents vortex composant certaines tornades.



Les images ci-dessus montrent d'une part les dégâts à gauche, et la dénivellation ainsi que le sens d'orientation des arbres au sol. Source : **Reconstruction of Near-Surface Tornado Wind Fields from Forest Damage Patterns in Complex Terrain**
Christopher M. Godfrey and Chris J. Peterson²



Photographie montrant le passage d'une puissante tornade sur le flanc descendant d'une colline, le 27 avril 2011 en Alabama (Etats-Unis). Source de l'image : <https://www.youtube.com/watch?v=2yHUhPc1fgo>



Dans le cas de recherches portées sur les cas de tornades en zones de relief aux Etats-Unis, un maximum d'informations sur neuf cas de tornades a été amassé. Une base des connaissances engrangées à ce sujet a été réalisée via les recherches menées principalement lors de l'outbreak du 27 avril 2011 mais pas seulement. Une liste des tornades passées à la loupe dans nos recherches est disponible ci-dessous :

- la tornade du 26 février 2007 à Tazewell dans le Tennessee
- la tornade du 8 février 2008 à Atkins en Arkansas
- la tornade du 1^{er} juin 2011 à Springfield dans le Massachussets
- la tornade du 27 avril 2011 à Ringgold - Catoosa en Géorgie
- la tornade du 27 avril 2011 à Rainsville – Rising Fawn en Alabama – Géorgie
- la tornade du 27 avril 2011 à Lumpkin en Géorgie
- la tornade du 27 avril 2011 à Glade Springs en Virginie
- la tornade du 27 avril 2011 à Flat Rock en Alabama
- la tornade du 27 avril 2011 à Argo en Alabama

Parmi ces neuf cas, trois exemples de tornades ayant sévi dans des zones de relief aux Etats-Unis ont été choisis. Grâce aux informations fournies essentiellement par la NOAA et les images satellites accessibles sur Google Earth, les effets du relief sur le comportement des tourbillons a pu être étudié pour ensuite tenter, par la suite, de mieux comprendre le comportement de la tornade de Waulsort. Bien entendu, aucune conclusion ne peut être apportée car chaque tornade varie en fonction de nombreux éléments (météorologiques ou non).

Il est également à préciser qu'aux Etats-Unis, la nouvelle échelle de Fujita est l'échelle de référence dans les analyses des dégâts.



Dégâts d'une tornade le 27 avril 2011 dans la région de Shoal Creek
Source : National Weather Service



Tornade du 1^{er} juin 2011 à Springfield dans le Massachussets

En ce 1^{er} juin 2011, une puissante tornade balaie plusieurs villes et villages du Massachussets dont Springfield. L'intensité maximale de la tornade est du niveau EF3.

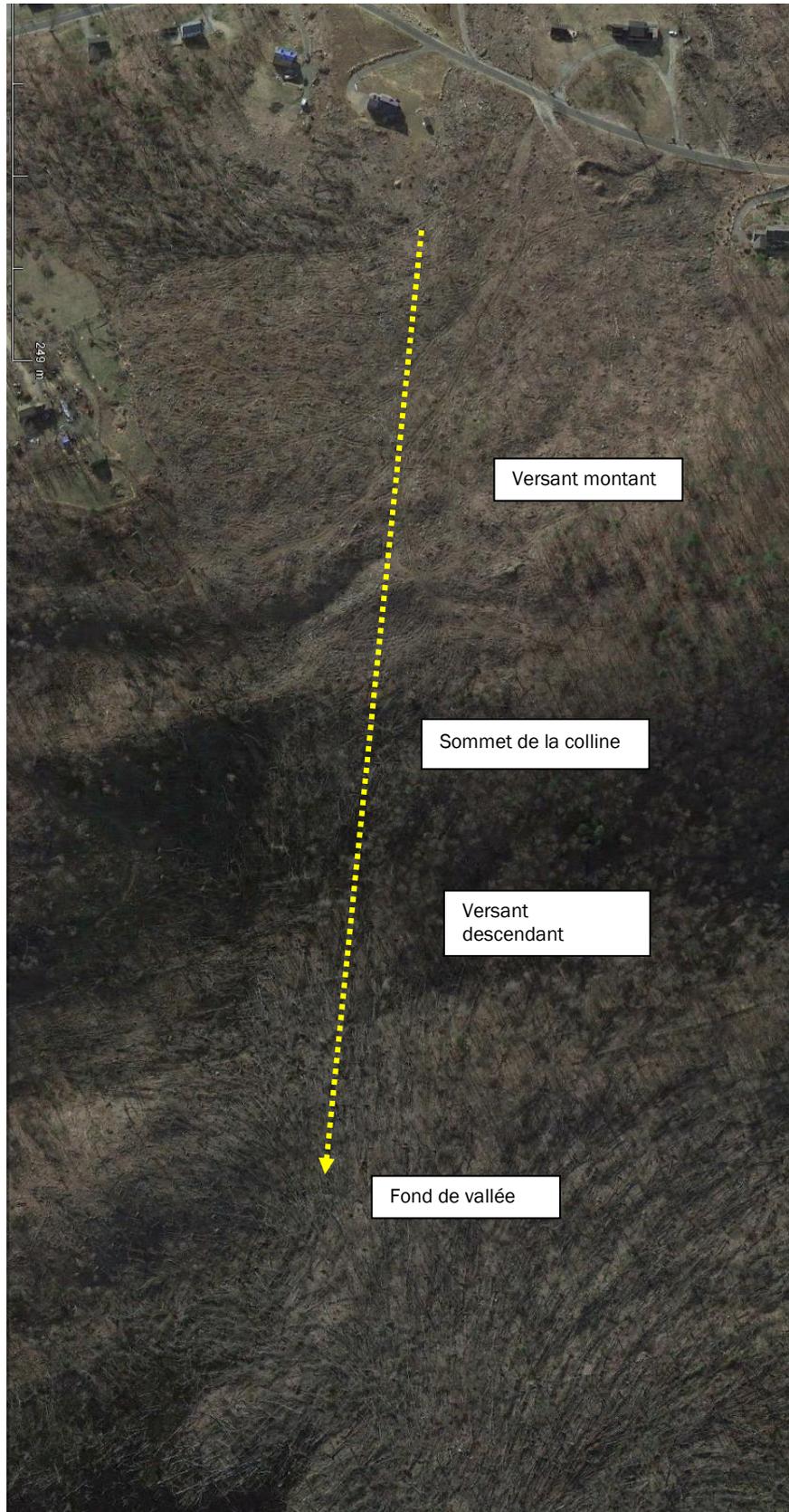
Mais ce qui est plus particulièrement intéressant, c'est la fin de son trajet sur les collines entre Springfield et Monson. En effet, les dégâts infligés aux arbres ont permis de constater le comportement d'une tornade sur des collines boisées, un peu à l'image de la tornade de Waulsort.

Des analyses dans le détail ont pu être effectuées dans les endroits où la tornade s'est intensifiée (ou affaiblie) et les endroits où la tornade s'est élargie ou au contraire rétrécie. Les versants descendants des collines avaient des dégâts moindres par rapport aux versants montants, ce qui contredit quelque peu les théories émises aux pages précédentes.



Tornade du 1^{er} juin 2011 à Monson –
Source : **Monson Fire Department**

L'image satellite à la page suivante reprend les dégâts observés sur une colline située un peu à l'ouest de la ville de Monson. La tornade venait du haut de la page. Sur le versant montant, les dégâts étaient très importants (du niveau EF3), contrairement au versant descendant (du niveau EF1 à EF2). Par la suite, le tourbillon s'intensifiait tout en s'élargissant. Par ailleurs, la dénivellation approximative entre le fond de la vallée et la crête est de 70 mètres.



Source : Google Earth



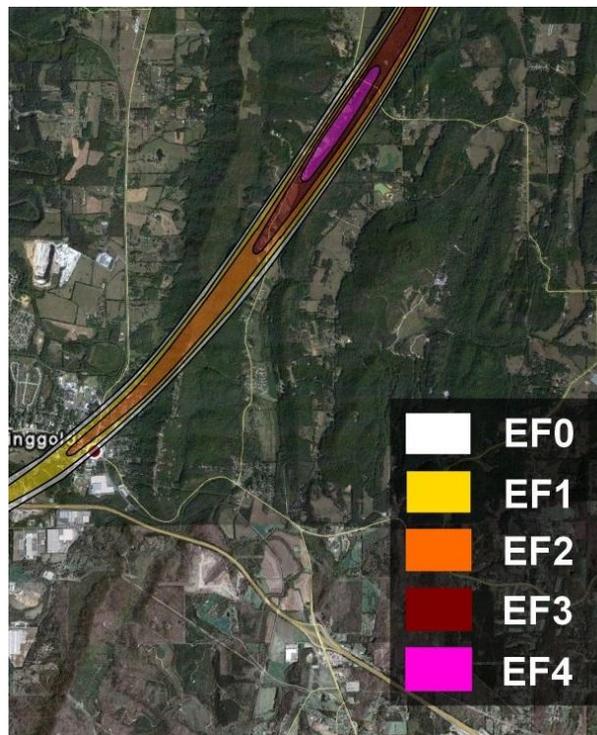
Tornade du 27 avril 2011 à Ringgold

Le 27 avril 2011, une puissante tornade (d'intensité maximale EF4) touche la région de Ringgold. Une image satellite montre les dégâts de cette puissante tornade sur les collines surplombant Ringgold. Certaines parcelles d'arbres situées entre les versants des collines ont été épargnées. Il est ainsi tout à fait probable que le relief ait influencé le comportement des différents vortex composant la tornade.



Source : Google Earth

En regardant l'intensité de la tornade, on constate que celle-ci a atteint son intensité maximale dans la vallée après avoir franchi une colline abrupte.



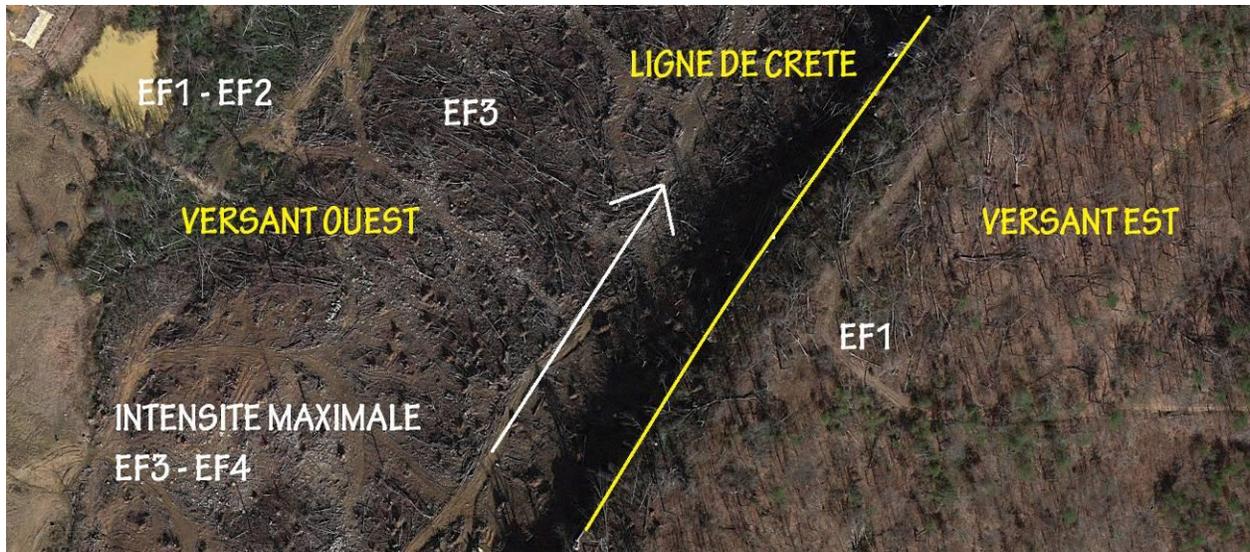
Source de l'image : National Weather Service



Une autre image satellite très intéressante montre les dégâts observés le long d'une colline surplombant la Cherokee Valley.

L'intensité des dégâts y a d'ailleurs été ajoutée ainsi que la ligne de crête séparant les deux versants de la colline abrupte. La dénivellation entre le sommet de la crête et la vallée Cherokee est d'une bonne soixantaine de mètres. En outre, la flèche blanche montre le déplacement de la tornade.

Dans ce cas, la tornade a pratiquement suivi la vallée, coincée entre deux collines. C'est sur le flanc ouest de la crête que les dégâts ont été les plus importants.



Source : Google Earth

La tornade de Ringgold a ainsi accentué son intensité en longeant la vallée.

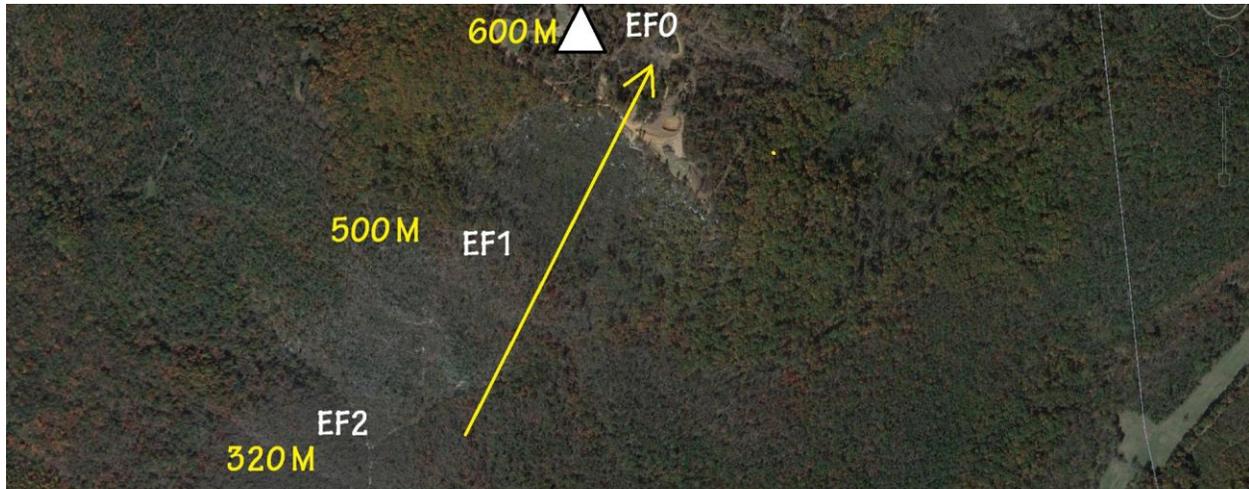
Tornade du 27 avril 2011 à Rainsville – Rising Fawn en Alabama – Géorgie

Cette tornade toucha de nombreuses communes dont Rainsville au niveau EF5. Les dégâts ont été très importants. Sur la fin de son trajet, la tornade atteignit les collines surplombant Rising Fawn où son intensité était proche du niveau EF2.

Bien qu'associée à un orage supercellulaire (qui allait ensuite produire une nouvelle puissante tornade), le tourbillon baissait régulièrement d'intensité en escaladant une colline abrupte. Finalement, plus aucun dégât n'allait être visible au sommet de cette colline.

Cependant, après avoir franchit celle-ci, de nouveaux dégâts apparurent, signe que la tornade touchait à nouveau le sol.

Une image satellite reprenant la trajectoire de la tornade (ligne jaune), l'intensité estimée et les différentes altitudes est présente à la page suivante.



Source : Google Earth

Ce cas nous permet de constater que la tornade mésocyclonique, dont l'intensité diminuait progressivement, a perdu de sa « force » lorsque celle-ci dû franchir une colline très abrupte.

Conclusions

Dans les cas présentés ici, seul l'intensité des dégâts provoqués par les différentes tornades a été évoquée mais les recherches ont également porté sur la largeur des couloirs ainsi que sur la totalité des parcours. Les trois cas présentés sommairement ici sont cependant très intéressants car chacun a permis de constater le comportement des tourbillons que ce soit en traversant successivement plusieurs collines, en suivant une vallée encaissée ou encore en escaladant une pente montante de plusieurs centaines de mètres. Bien entendu, de nombreux facteurs ont dus être pris en compte, tels que le fait que les arbres ont tendance à avoir des racines plus superficielles dans les vallées que sur les pentes des collines etc.



Après ces quelques exemples de cas de tornades sur le sol américain, un retour en Belgique est effectué en reprenant le cas de la tornade du 16 septembre 2015 à Melreux.

Les investigations menées par notre équipe ont permis de constater que les principaux dégâts étaient observés après que la tornade ait descendu une très forte pente menant à l'Ourthe (1). La tornade allait d'ailleurs garder une forte intensité durant plusieurs centaines de mètres.



Source : Google Earth



Dégâts de la tornade du 16 septembre 2015 à Melreux.



La dénivellation entre le sommet de la colline d'où venait la tornade et la rivière est approximativement de 70 mètres.

Plus loin, en franchissant une colline assez abrupte, la tornade baissait d'intensité (2).



Source : Google Earth



Toiture arrachée et peupliers dépouillés par la tornade du 16 septembre 2015 à Melreux.

Il y a donc là un cas permettant de constater l'influence du relief sur le comportement d'une tornade en zone de relief. Le fait d'avoir eu la plus forte intensité après que la tornade ait descendu une forte pente est très probablement lié à l'étirement du tourbillon. Plus loin, lorsque la tornade a dû franchir une colline assez abrupte, elle a perdu de son intensité.



Chapitre 4 : Analyses des dégâts

Vue générale

Les enquêtes de terrain ont été particulièrement difficiles. Le relief accidenté, les massifs forestiers et la longueur de la zone impactée en sont notamment la cause. Il a fallu plusieurs jours pour que notre équipe d'enquêteurs puissent mener à bien ces recherches. Au final, le parcours des tornades a pu être retracé et est visible sur la carte ci-dessous.

En outre, quatre cas de microrafales ont également été répertoriés. Elles se sont produites à proximité du passage des tornades et parfois même dans leur couloir, ce qui a rendu l'enquête très compliquée à ces endroits. Il n'est d'ailleurs pas impossible que l'une ou l'autre rafale descendante se soit produite dans des zones boisées difficile d'accès.



Carte illustrant le parcours des tornades. Source : Google Maps.

Ligne pointillée jaune : parcours probable des tornades.

Ligne jaune : parcours avéré des tourbillons.



Le premier endroit où des dégâts sont observés (1) se situe à Dion. Ensuite la tornade continuerait sa route pour toucher une ferme à l'ouest de Mesnil-Saint-Blaise (2). Par après, elle se dirigerait vers le nord-ouest pour causer des dégâts dans plusieurs parcelles forestières (3).



Dégâts observés au terrain de football de Dion. La clôture est couchée et les éclairages sont endommagés.



Celle-ci se dissipe ensuite très probablement avant qu'une autre ne se développe dans la région de Mesnil Saint Blaise. Le tourbillon arrive ensuite à Waulsort (4) avant de traverser la région et de concerner le hameau de Lenne (5).



Dégâts provoqués par la tornade à la Capitainerie de Waulsort.



Un peu plus loin, des dommages sont engendrés au niveau du domaine de Melin (6). Par la suite, la tornade oblique vers le nord-est et touche les localités de Saint-Médard et de Bouvignes-sur-Meuse (7). Elle retraverse la Meuse une deuxième fois et cause des dégâts à Leffe (8).



Domages causés par le tourbillon aux habitations de Bouvignes-sur-Meuse.

Après, elle continuerait son parcours à travers un massif forestier mais celui-ci n'a pas pu être étudié. On retrouve son passage au niveau d'un bosquet à l'ouest de Purnode (9) ainsi que dans plusieurs propriétés à l'est d'Evrehailles (10).



Hêtre sectionné dans une propriété d'Evrehailles.



Un peu plus loin, c'est le village de Bauche qui est atteint (11) par le tourbillon avant que celui-ci ne traverse un autre massif forestier où l'enquête n'a pas pu être menée.



Aubépine déraciné dans une prairie de Bauche (11) par la tornade.



Toutefois, on retrouve sa trace au domaine de Ronchinne (12), tout comme à Ivoy (13). Les derniers dégâts sont observés au niveau de la nationale 931 (14), à l'ouest de Maillen, où il semblerait que la tornade se rétracte pour de bon.



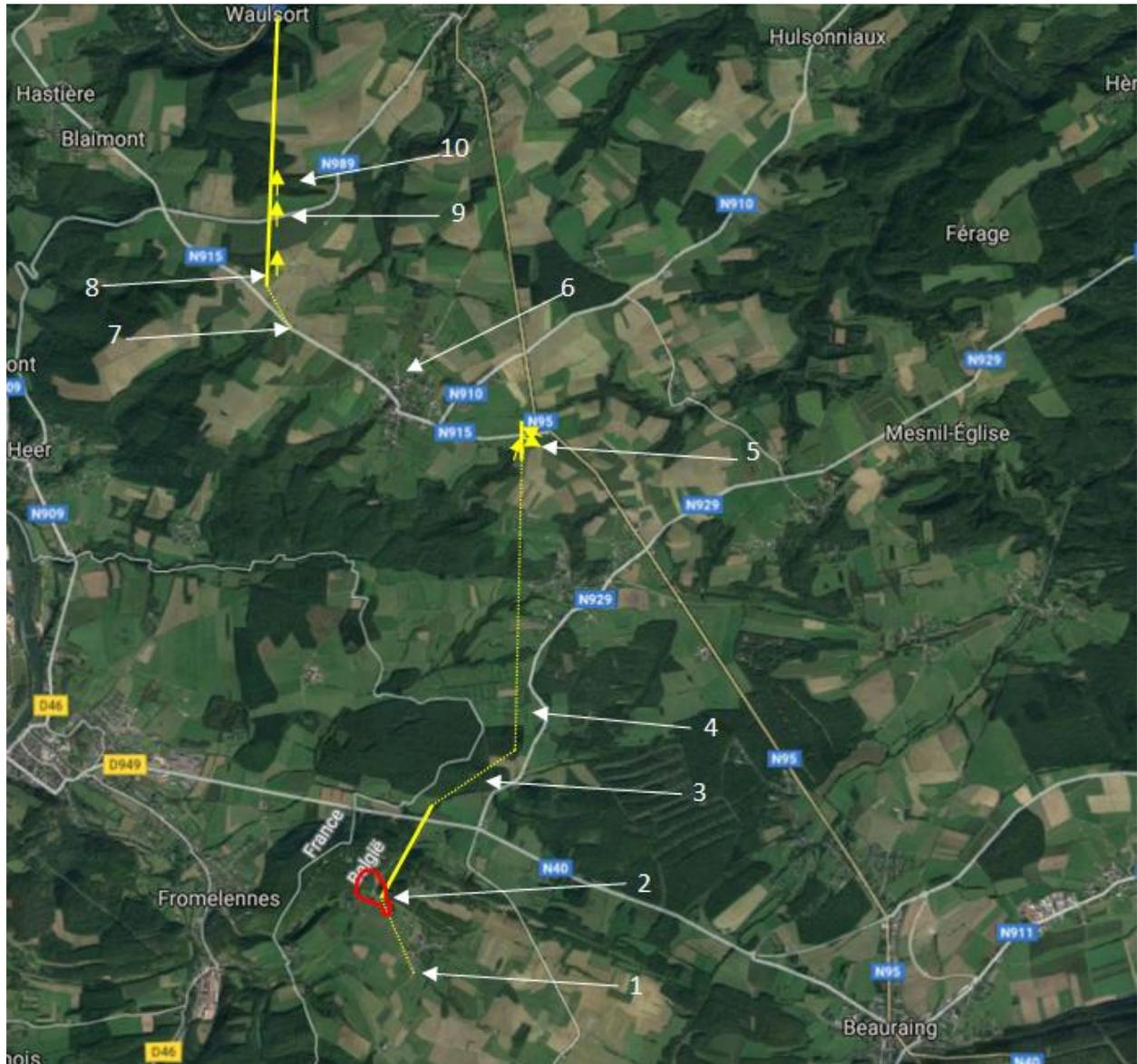
De nombreux arbres ont été abattus dans le parc du domaine de Ronchinne (12).



Parcours détaillé

Le trajet est décomposé en trois parties : la partie sud touchée par la tornade de Dion ; la partie médiane et la partie nord touchées par la tornade de Waulsort.

La partie sud



Carte illustrant le parcours de la tornade. Source : Google Maps

Forme rouge : zone touchée par une rafale descendante.

Ligne pointillée jaune : parcours probable de la tornade.

Ligne jaune : parcours avéré de la tornade.



Les premiers dommages constatés se situent rue de Vérenne à Dion (1). Cependant, ils ne sont pas formellement attribués à la tornade et sont très faibles. Un peu plus loin, la zone située autour du terrain de football de Dion (2) est touchée à son tour.



Habitation endommagée par la rafale descendante en amont du terrain de football de Dion (2).



À cet endroit, une microrafale cause pas mal de dégâts, essentiellement à la végétation. À proximité, des dégâts ont pu être aussi identifiés au passage d'une tornade et ce, jusqu'après la nationale 40.



De nombreux arbres ont été abattus au passage de la rafale descendante dans une parcelle forestière située juste à côté du terrain de football de Dion (2).



Entre les points 2 et 3, les dégâts convergents démontrent clairement le passage d'une tornade. Ceux-ci sont visibles sur des arbres ainsi que sur des pancartes publicitaires.



Panneau publicitaire arraché par la tornade le long de la nationale 40.



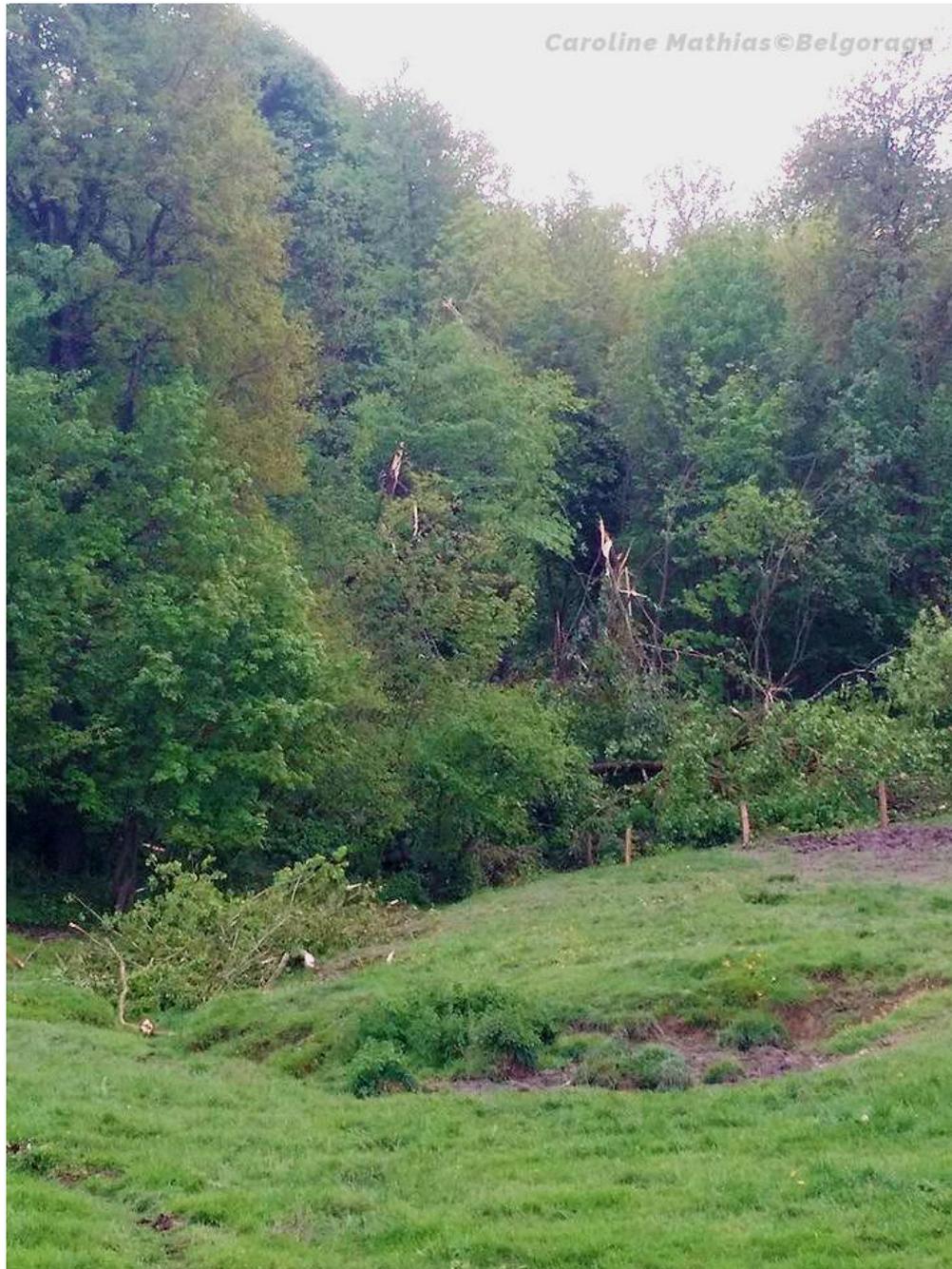
Ensuite, le doute sur le parcours de la tornade est permis. Des arbres sont couchés dans une parcelle forestière en pente (3), formant un couloir. Cette colline a pu forcer la tornade à la contourner par l'est. Cette hypothèse est confortée par le fait qu'un morceau de toiture a été retrouvé dans un champ (4) mais son origine n'a pas été trouvée. Il est possible également que la tornade ait perdu le contact avec le sol.



Arbres déracinés et endommagés par le tourbillon dans une parcelle forestière difficilement accessible (3).



Plus au nord, une propriété d'une ferme située à l'est de Mesnil-Saint-Blaise (5) subit quelques dommages, essentiellement au niveau de la végétation. Les dégâts convergents et très localisés plaident en faveur du passage d'une tornade orientée vers le nord-ouest. Cependant, l'absence de dégâts visibles sur plusieurs kilomètres ne permet pas de certifier que les dégâts observés sur la ferme sont bien imputables à la tornade de Dion.



Arbres sectionnés par le tourbillon près d'une ferme de Mesnil-Saint-Blaise (5).



Arbres fruitiers endommagés par le passage de la tornade dans une exploitation agricole de Mesnil-Saint-Blaise (5).



Par après, deux hypothèses s'affrontent. Soit la tornade oblique vers le nord-ouest et passe au dessus du village de Mesnil-Saint-Blaise (6), soit elle semble se dissiper peu après la ferme. Le problème, c'est qu'aucun dégât n'a été reporté dans le village mais il est aussi tout à fait possible que la tornade ait effectué ce changement de trajectoire sans avoir eu un contact avec le sol puisque, jusqu'ici, elle semble adopter un comportement de type sauteur. Sans avoir de certitudes sur le fait que la tornade a pu poursuivre sa route, le parcours avéré de la tornade de Dion est approximativement de 1200 mètres.

À l'ouest-nord-ouest de Mesnil-Saint-Blaise, quelques branches sont brisées le long de la nationale 915 (7).

Cependant, il est impossible d'en déterminer l'origine et il semble probable qu'un nouveau tourbillon se soit formé. C'est d'ailleurs cette hypothèse qui nous semble la plus plausible.

Ainsi, c'est à cet endroit là que le début du parcours de la tornade de Waulsort est estimé.

Peu après, le tourbillon passe entre deux éoliennes (8) tout en causant quelques dégâts.



Chêne déraciné par la tornade le long d'une route (9).



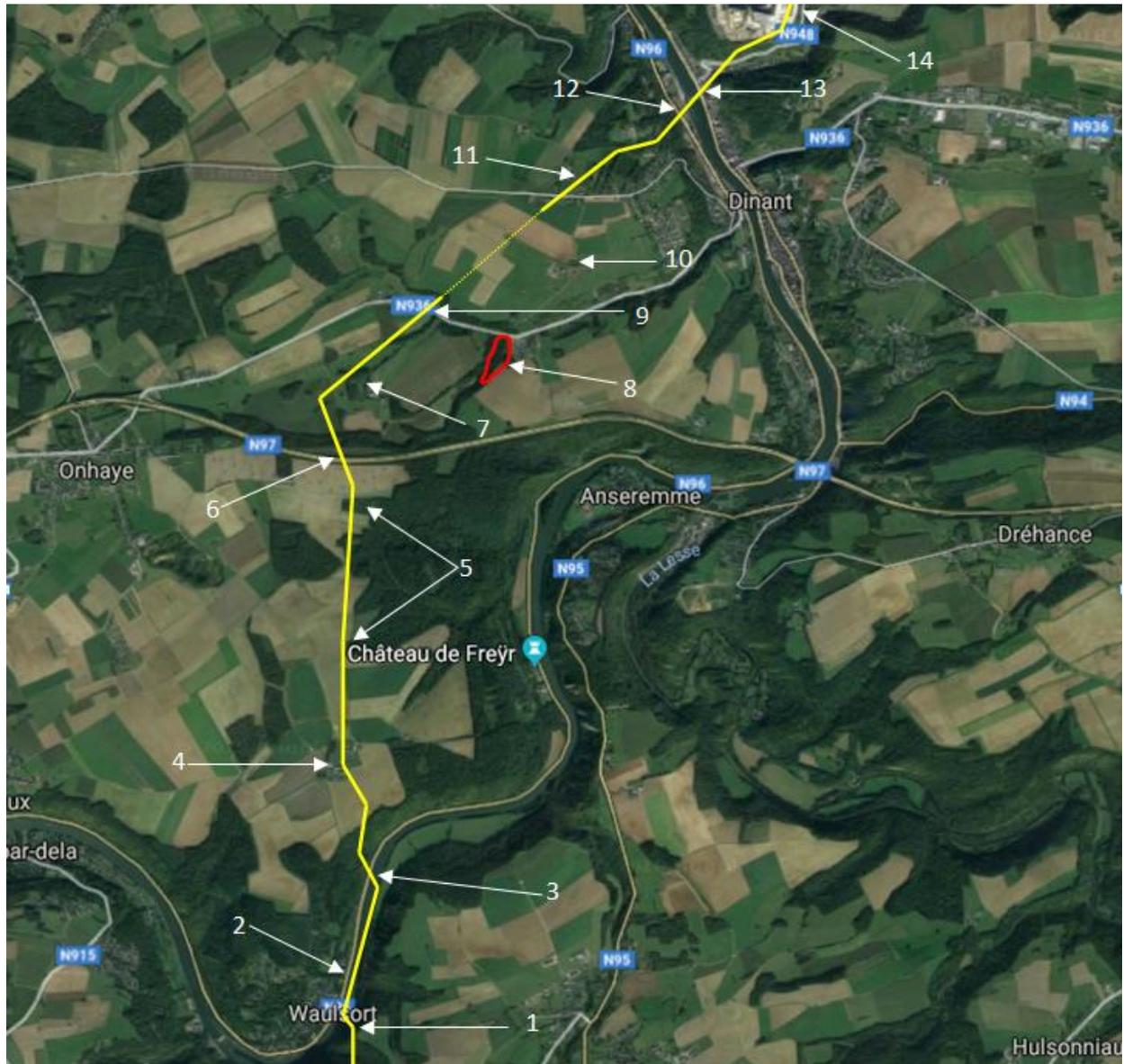
Ensuite, plusieurs arbres sont aussi touchés (9), tout comme un bois (10). Un couloir est bien visible à la lisière de celui-ci mais il n'a pas été parcouru. Cependant, l'intensité de la tornade augmente progressivement.



De nombreux dommages sont visibles dans une parcelle forestière suite au passage du tourbillon (10).



La partie médiane



Carte illustrant le parcours de la tornade. Source : Google Maps.

Forme rouge : zone touchée par une rafale descendante.

Ligne pointillée jaune : parcours probable de la tornade.

Ligne jaune : parcours avéré de la tornade.

La tornade arrive au dessus de la vallée de la Meuse où elle creuse une tranchée dans le bois la surmontant (1) avant de descendre la pente. Le tourbillon parvient ainsi à la Meuse au niveau du village de Waulsort où des dommages sont constatés surtout à la végétation.



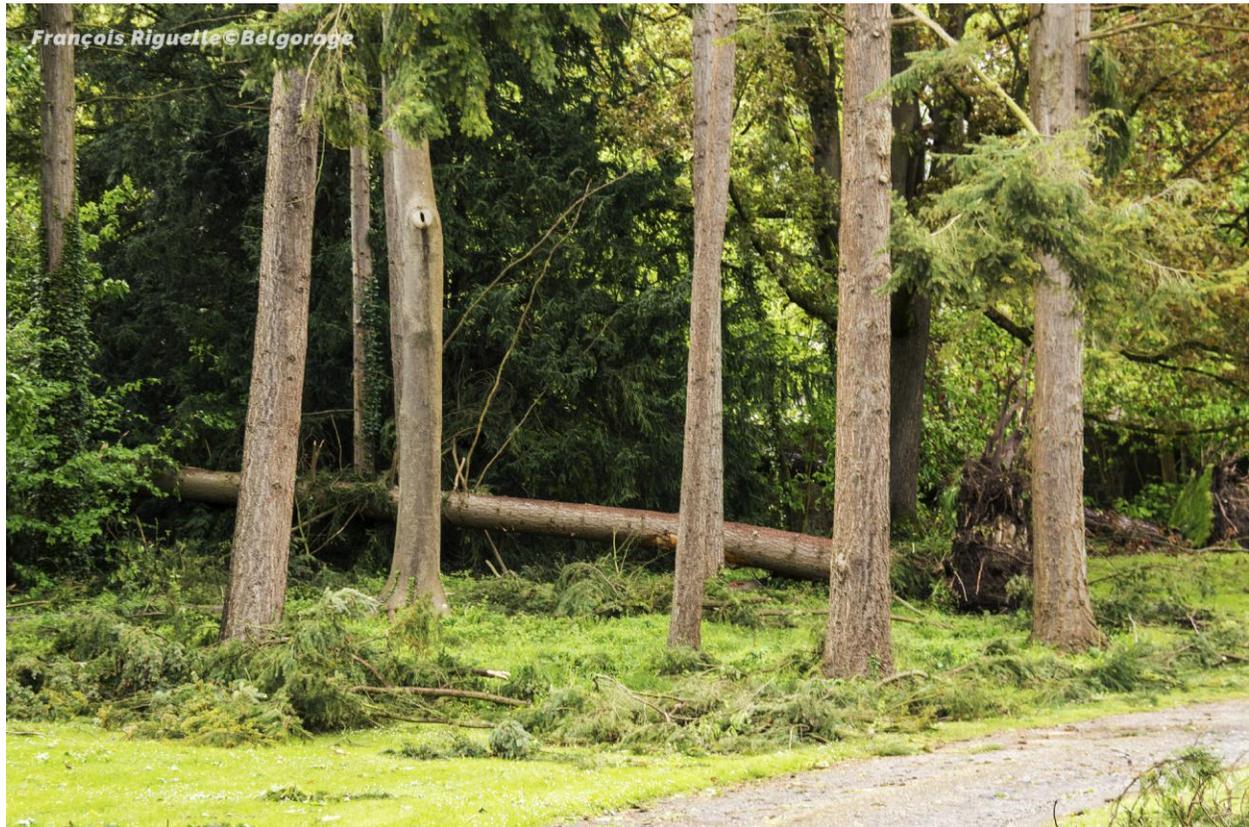
Dégâts observés sur la végétation au dessus d'un des versants de la Meuse à Waulsort (1) suite au passage de la tornade.



Dommmages constatés à la Capitainerie de Waulsort au bord de la Meuse (1).
Crédit photo : Jean-Marc Colin



Il semble ensuite qu'il soit obligé de suivre la vallée après avoir essayé de remonter le versant d'en face (2) où des dégâts semblent confirmer cette hypothèse.



Dégâts portés à la végétation dans le parc du château de Waulsort (2).



Après avoir survolé la Meuse sur plusieurs centaines de mètres, la tornade fait un angle pour remonter la vallée (3) à travers un bois. L'intensité de celle-ci augmente d'un cran lors de son arrivée au dessus de ce boisement.



Arbres déracinés et sectionnés par le tourbillon dans un bois situé le long de la Meuse (3).



Ensuite, le hameau de Lenne (4) est sévèrement touché par le vortex qui atteint ici son intensité maximale (F3). Celui-ci continue son chemin le long d'un massif forestier (5) tout en s'affaiblissant avant de traverser la nationale 97 (6).



Parcelle forestière endommagée par le vortex près de la nationale 97 (6).



Par après, la tornade fait un angle droit pour s'orienter vers le nord-est et concerne le domaine de Melin (7). À cet endroit, elle s'intensifie de nouveau.



L'une des deux entrées du domaine de Melin est obstruée par de nombreux arbres (7).



Non loin de là, une microrafale ravage une parcelle forestière à côté du cimetière de Foqueux (8).



Peuplier de bonne circonférence sectionné par une microrafale à Foqueux (8).



Le tourbillon continue sa progression pour traverser la nationale 936 (9) où une ferme est aussi touchée. Il atteint ici sa largeur maximale (500 mètres !). Il frôle ensuite le hameau de Wespain (10) avant de passer sur Saint-Médard (11).



Dégâts observés sur les toitures d'une ferme située le long de la nationale 936 (9).



Toiture d'une autre ferme endommagée à Wespín (10).



Arbre sectionné par le tourbillon à Saint-Médard (11). Crédit photo : Cathy Carryn



Par après, la tornade redescend dans la vallée de la Meuse à travers un bois et arrive à Bouvignes-sur-Meuse (12). Elle traverse le fleuve en faiblissant de plus en plus et cause des dégâts également à Leffe (13).



Domages constatés à Bouvignes-sur-Meuse après le passage de la tornade (12).
Source : Vers l'Avenir - Crédit photo : Non communiqué



Le vortex laisse derrière lui de nombreux débris dans les rues de Leffe (13).
Source : RTL Info - Crédit photo : Non communiqué



À partir de cet endroit, le vortex semble se rétracter. Il devient difficile de retrouver des indices de son passage si bien qu'après la carrière de Montorgueil (14), nous perdons sa trace.

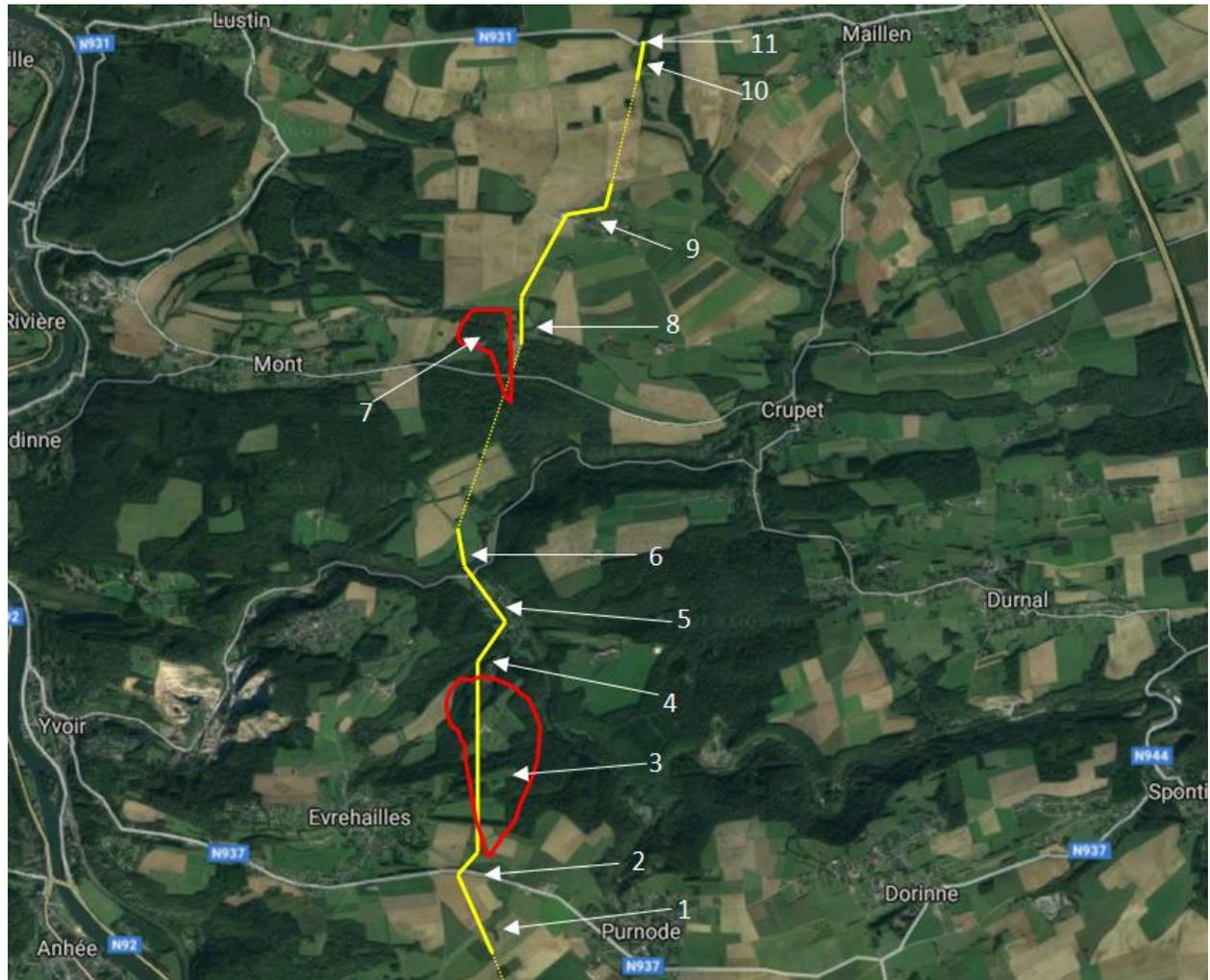


Toiture d'une habitation endommagée près de la carrière de Montorgueil (14).

Durant toute cette partie médiane, la tornade semble avoir eu un contact avec le sol en permanence. Son intensité a été très variable, parfois sur quelques centaines de mètres seulement. Sa largeur était aussi très variable et parfois exceptionnellement étendue. Il semblerait aussi qu'elle ait eu plusieurs vortex à certains endroits.



La partie nord



Carte illustrant le parcours de la tornade. Source : Google Maps
Forme rouge : zone touchée par une rafale descendante.
Ligne pointillée jaune : parcours probable de la tornade.
Ligne jaune : parcours avéré de la tornade.



Après avoir traversé un massif forestier et des champs sans qu'on puisse retrouver sa trace, la tornade cause quelques dégâts à un bosquet à l'ouest de Purnode (1). Il est possible qu'une nouvelle tornade se soit formée ici puisqu'aucun dommage n'a pu être trouvé depuis les hauteurs de Leffe. Cependant, cela reste qu'une hypothèse car toute la zone intermédiaire n'a pas pu être parcourue.



Abris de chasse envolés et arbres déracinés par la tornade dans un bosquet en amont d'Evrehailles (1).



Ensuite, le tourbillon traverse la nationale 937 à proximité du château d'eau d'Evrehailles (2) en provoquant de faibles dégâts à la végétation.



Arbre sectionné le long de la nationale 937 (2).



À l'est d'Evrehailles, de gros dommages sont causés par une microrafale dans plusieurs propriétés (3). De plus, certains d'entre eux sont aussi imputables à la tornade, ce qui explique que c'est à cet endroit que l'enquête de terrain a été la plus complexe car les deux phénomènes sont confondus dans la même zone.



Une microrafale abat et dépouille de nombreux arbres dans une propriété d'Evrehailles (3).



Par après, le tourbillon poursuit son trajet à travers un bois (4) avant de toucher le village de Bauche (5).



Cime d'épicéa brisée par la tornade et emportée dans le sens opposé à son déplacement (4).



Jardin dévasté à Bauche. De nombreux arbres ont été abattus (5).



Pendant tout ce temps, il garde une intensité assez faible. Un peu plus loin, le vortex traverse une voie de chemin de fer désaffectée tout en s'affaiblissant si bien que nous perdons sa trace non loin de là (6). Seul quelques cimes sont brisées par-ci par-là jusqu'à un massif forestier qui n'a pas pu être parcouru en raison du relief accidenté.



Voie de chemin de fer obstruée par des arbres à Bauche (6) suite au passage du tourbillon.



Toutefois, de sérieux dégâts sont occasionnés au parc du domaine de Ronchinne. Ceux-ci sont clairement l'œuvre d'une autre microrafale (7). Par contre, une centaine de mètres à l'est de ce couloir, des dommages plus légers sont observés. Cette fois, ils sont assimilés au passage d'une tornade (8).



Arbres dépouillés et déracinés par une microrafale dans une parcelle forestière du domaine de Ronchinne (7).



Epicéa brisé par la tornade à l'écart de la rafale descendante au domaine de Ronchinne (8).



Celle-ci laisse un sillon visible dans une parcelle agricole avant de toucher deux fermes au hameau d'Ivoy (9). Ensuite, aucun dommage n'est visible jusqu'au château ferme d'Arche, à l'ouest de Maillen (10) où quelques toitures sont très légèrement impactées. Par après, les derniers dégâts observés se situent juste avant la nationale 931 (11). Plus aucun dommage n'a été observé par après. Toutefois, il n'est pas impossible que la tornade ait encore continué un peu sa route à travers un autre massif forestier.

Durant toute cette partie nord, la tornade est restée de faible intensité et semble de nouveau avoir adopté un comportement de type sauteur.



Tôles emportées par le vortex dans une ferme d'Ivoy (9).



Tilleul sectionné par la tornade au château-ferme d'Arche à Maillen (11).



Chapitre 4 : Analyses détaillées des dégâts observés

Dans ce chapitre, une analyse des dégâts dans le détail est réalisée. À partir de cela, une tentative de compréhension du comportement des tornades en se basant sur la littérature américaine est effectuée. Cependant, aucune certitude n'est apportée mais uniquement des hypothèses qui semblent crédibles.

Analyse des dégâts de la première tornade à Dion



Carte illustrant l'orientation des dégâts. Source : Google Maps
Flèches rouges : dégâts attribués à une rafale descendante.
Ligne pointillée jaune : parcours probable de la tornade.
Flèches jaunes : dégâts attribués à une tornade.



Les premiers dégâts sont visibles rue des Verennes sur un hangar (1) où quelques tôles se sont envolées. Cependant, il est impossible d'attribuer ces éléments à un phénomène en particulier mais il pourrait s'agir des premières traces laissées par la tornade.

Ensuite, rien n'est visible à travers des prairies jusqu'à la rue de Fromelennes où une habitation est touchée (2). Les trois quart de sa toiture se sont envolés, indiquant une intensité F1/T3. Les débris étant retrouvés dans le même axe, l'hypothèse d'une rafale descendante est ici privilégiée. Les habitations situées de part et d'autres n'ont subi aucun dégât.

Après la rue, des peupliers sont fortement endommagés (3). Cette fois encore, les branches sont retrouvées dans le même axe confortant l'hypothèse d'une rafale descendante. De plus, la largeur du couloir s'agrandit. Estimé à 10 mètres sur la maison, il passe ici à une vingtaine de mètres.



Toiture d'habitation envolée (2) et peupliers endommagés (3) probablement par une microrafale à Dion.



Après, le phénomène traverse la rue Fontaine aux Suzias et touche le terrain de football de Dion qui subit des dommages. Juste après, une parcelle forestière abrupte (4) est dévastée. De nombreux arbres sont abattus et tous dans la même direction. L'intensité est estimée au niveau T3 et la largeur du couloir à 50 mètres.



Parcelle forestière touchée par une microrafale à Dion (4).



Cependant, de l'autre côté de la rue Fontaine aux Suzias (5), des dégâts plus légers sont observés sur une autre parcelle forestière. Mais cette fois, les dégâts sont convergents et le phénomène se déplace dans une direction différente (vers le nord tandis qu'il est orienté vers le nord-ouest au terrain de football). Le passage d'une tornade est ici l'hypothèse la plus plausible.



Quelques dommages portés à un bois semblent cette fois-ci trahir le passage d'une tornade (5).



Par après, les mêmes types de dégâts sont observés sur la végétation (6). Des arbres sont dépouillés de façon variable et les dommages sont convergents, confortant l'hypothèse d'une tornade.



Branches brisées et câble électrique au sol le long d'une route à la sortie de Dion (6).



Ensuite, le phénomène semble s'intensifier au niveau de la rue de Givet (N40). Des panneaux publicitaires subissent des dommages (7) et l'encadrement en bois est retrouvé sur la gauche.



Panneau publicitaire emporté par le tourbillon le long de la nationale 40 (7).



À proximité, des arbres sont sévèrement atteints (8) et des branches sont aspirées dans le sens opposé au déplacement du phénomène. Le passage d'une tornade ne laisse ici guère de doute. L'intensité est estimée au niveau F1/T3 et la largeur du couloir est d'environ 50 mètres.



De nombreux dommages sont observés aux arbres au-delà de la nationale 40 (8).



Par la suite, la tornade touche une colline boisée. Le relief de celle-ci empêche d'y mener une enquête de terrain. Toutefois, des arbres déracinés sont visibles depuis une route (9). Il est difficile de confirmer si ces dégâts sont attribués à la tornade mais il est possible que le relief ait joué un rôle en forçant le tourbillon à dévier vers le nord-est. Un morceau de toiture retrouvé plus loin près de la N929 conforte tout de même cette hypothèse.



Arbres déracinés probablement par le vortex sur une colline boisée (9).



Avant d'aller plus loin, il est intéressant de revenir sur les observations faites par un traqueur d'orage belge et membre collaborateur de Belgorage : **Jérémy Lokuli**.

Ce dernier circulait sur la route menant de Javingue à Dion et ce peu avant 20 heures. Il effectua des prises de vue de l'orage sévissant légèrement à l'ouest de sa position. En reprenant sa position exacte tout en tenant compte de l'heure, on peut en déduire que Jérémy filmait la cellule au moment où une tornade sévissait et cela pratiquement dans son angle de vue, légèrement à droite.

Une capture d'écran prise de la vidéo à 19h55 est disponible :



La masse compacte visible sur une franche partie de la photographie pourrait correspondre à la base du courant ascendant. Sur les images provenant du radar de Wideumont, il y a un fort gradient de réflectivité juste au sud de cette zone. La quasi absence de précipitations correspond pile à l'endroit où Jeremy a filmé la cellule. À l'arrière de la masse sombre, il se peut qu'il y ait ce que l'on nomme une « fente claire ».

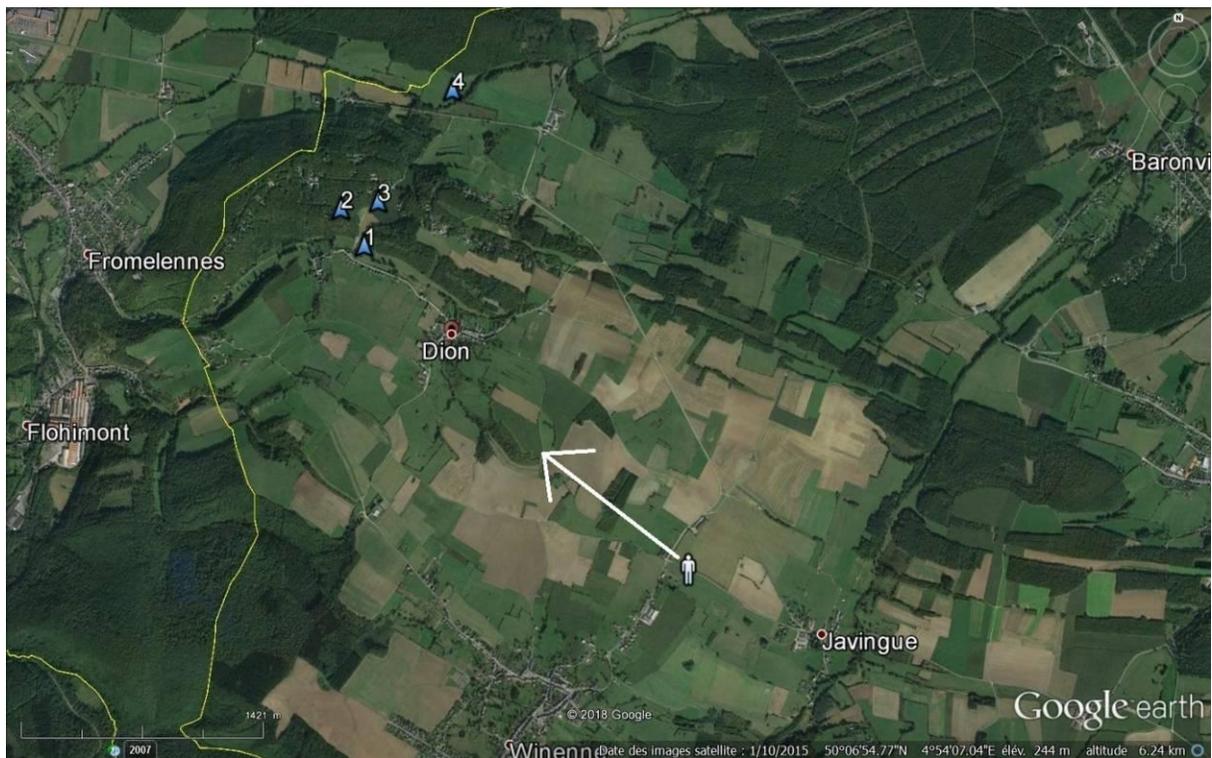
Sur la succession de captures d'écran à la page suivante, l'évolution très rapide de la structure (en quelques minutes) est visible.



Sur la seconde image, la présence possible d'un nuage mur est perceptible.



Une carte reprenant la position de Jeremy donne la direction vers laquelle il filme ainsi que les zones touchées par la tornade d'une part (points trois et quatre) et par la rafale descendante d'autre part (points un et deux).



Source : Google Earth.

La vidéo en accéléré montre une masse compacte en rotation. De ce fait, il est tout à fait admissible que Jérémy ait filmé un possible mésocyclone.

Mais cela n'explique pas la formation de la tornade.

Lorsque l'on reprend l'évolution de la situation, on constate donc qu'une puissante rafale descendante s'est abattue au nord-ouest du village de Dion. Cette dernière ayant provoqué d'importants dégâts. Les quelques témoignages qui ont été obtenus dans la zone font mention d'un bruit assourdissant et d'une pluie violente au passage de la rafale. En effet, les arbres ont été abattus à ce moment là. Par contre, aucun témoignage ne fait mention de la tornade. Avant cela, le temps était pluvieux et frais mais les pluies étaient assez faibles. En recoupant toutes les informations, l'hypothèse suivante peut être avancée.

La rafale descendante a été, en fait, soit directement, soit indirectement liée au passage du RFD (ou courant descendant de flanc arrière).

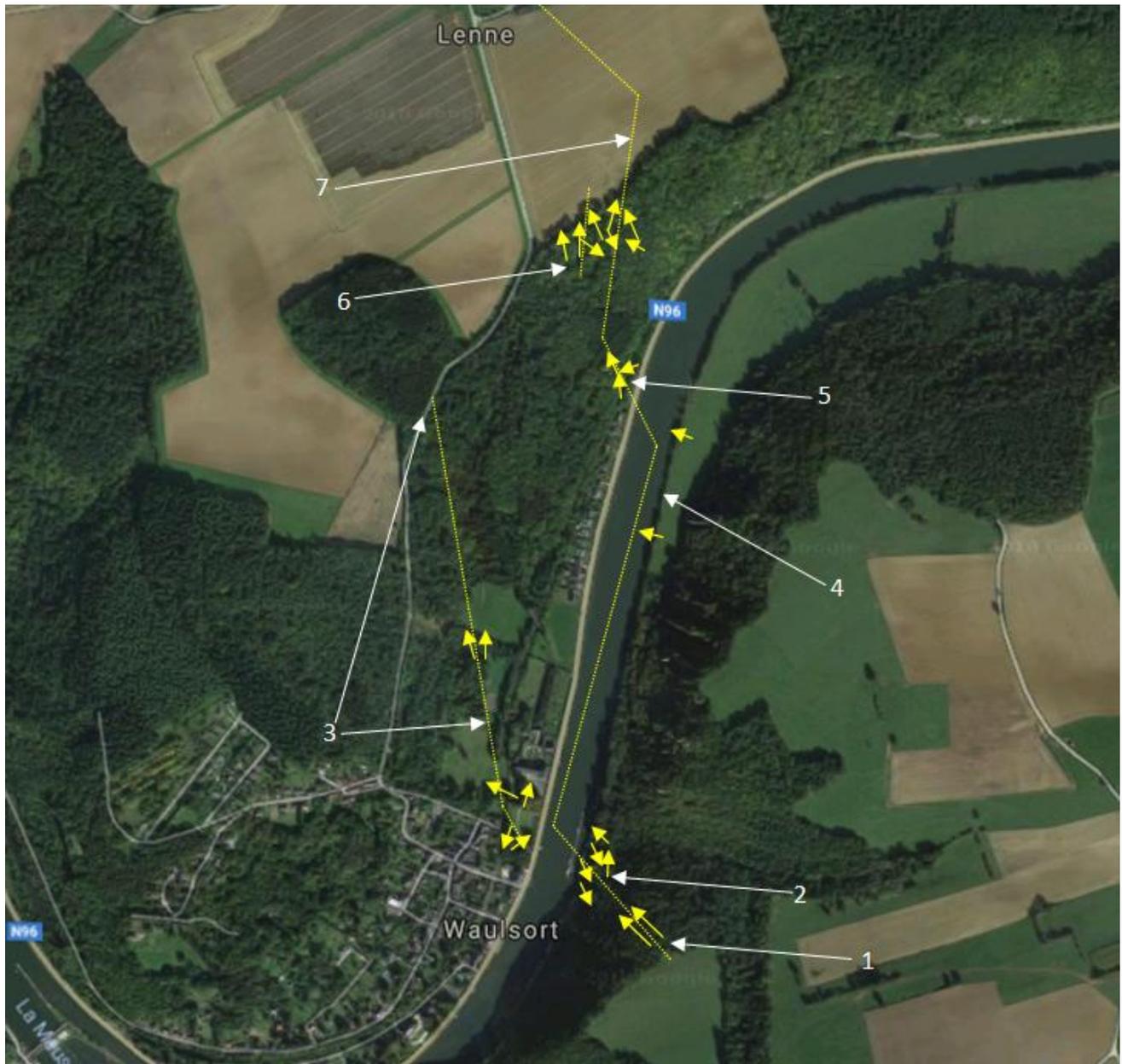


Sur la droite de la rafale descendante, une tornade de faible intensité s'est donc développée. Celle-ci, de courte durée de vie, a pris une trajectoire différente de la rafale descendante. Si la théorie émise plus haut est correcte, il y avait, à ce moment là, le développement d'un mésocyclone. Dans la littérature américaine, le RFD peut accentuer la vorticité aux parages de la base du mésocyclone, pouvant dans certains cas influencer la tornadog n se. Ainsi, il se peut que la tornade s'est développée grâce (ou à cause) de l'intensification provisoire du RFD. Tout cela est approfondit dans la partie consacrée à la tornade de Waulsort.

Bien sûr, l'hypothèse  mise ci-dessus n'est pas du tout une certitude. Ainsi, il se peut qu'il en ait été tout autrement dans la réalité. Malheureusement, en l'absence d'informations plus précises, il est impossible d'aller plus loin dans les analyses.



Analyse des dégâts de la seconde tornade entre Waulsort et Lenne



Carte illustrant l'orientation des dégâts. Source : Google Maps
Ligne pointillée jaune : parcours probable de la tornade.
Flèches jaunes : dégâts attribués à la tornade.



Une véritable tranchée d'environ 50 mètres de large est visible au dessus de Waulsort dans un bois (1). Le relief très escarpé ne permet pas de s'y rendre. Ensuite, au milieu de la pente, aucun dégât n'est visible.

Mais en bas, il en est tout autrement (2). De nombreux arbres sont déracinés ou sectionnés et plusieurs toitures d'habitations sont endommagées à la Capitainerie de Waulsort. La majorité des arbres sont tombés vers la pente, c'est-à-dire à l'opposé du sens de déplacement de la tornade. L'intensité est estimée au niveau F1/T3 et la largeur du couloir atteint 100 mètres.



Dégâts observés à la Capitainerie de Waulsort (2).



Après, la tornade se comporte différemment. Cela sans doute à cause de la situation très encaissée de la vallée de la Meuse. En effet, le tourbillon semble faire presque un angle droit et suivre le cours du fleuve. Ce point est d'ailleurs vu par la suite dans le dossier. Cependant, sur la rive d'en face à Waulsort, des dommages engendrés à la végétation dans le parc du château montre que le phénomène a aussi essayé de gravir la pente (3), les dégâts étant de plus en plus faibles (arbres déracinés en bas et quelques brindilles cassées plus haut, au niveau de la rue de Lenne).



Arbres endommagés dans le parc du château de Waulsort (3).



Par la suite, le (deuxième) vortex passe sur la Meuse pendant plusieurs centaines de mètres. Des arbres déracinés confirment d'ailleurs cela (4).



Arbres déracinés le long de la Meuse à Waulsort (4).



Finalement, le phénomène fait de nouveau un angle et se met à gravir la pente à travers un bois (5). La tornade s'élargit de plus en plus tout en s'intensifiant considérablement.



Endroit où la tornade change de trajectoire pour gravir la pente boisée (5).



Au dessus du bois, de nombreux arbres sont sectionnés ou déracinés (6). Il semblerait aussi qu'aux moins deux vortex aient sévi à cet endroit car deux, voire trois axes de convergence ont été identifiés dans la parcelle forestière. L'intensité est estimée au niveau F1/T2 en bordure de la Ng6 et au niveau F2/T4 au dessus du bois. La largeur du couloir varie de 15 mètres (Ng6) à 150 mètres (au dessus du bois).



Les dégâts constatés dans le bois entre Waulsort et Lenne sont considérables (6).



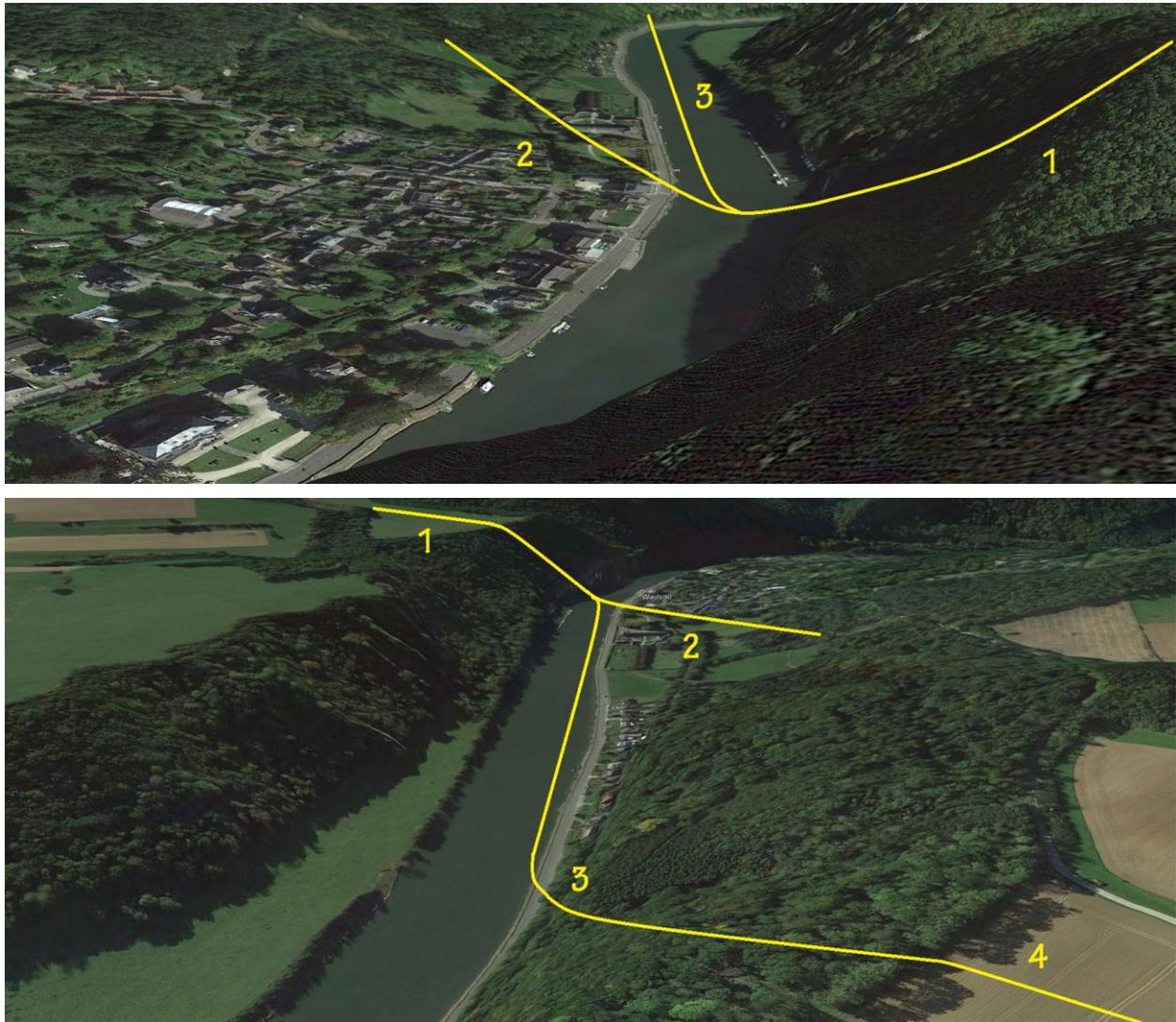
Ensuite, la tornade traverse un champ (7) en laissant un sillon bien visible dans celui-ci. La largeur du phénomène est de nouveau plus faible et est ici d'environ 50 mètres. Ainsi, les analyses ont mis en évidence la possibilité d'avoir deux vortex distincts sur et aux alentours immédiats du village de Waulsort.



Le vortex laisse sur son passage de nombreuses traces dans un champ de blé avant le hameau de Lenne (7).



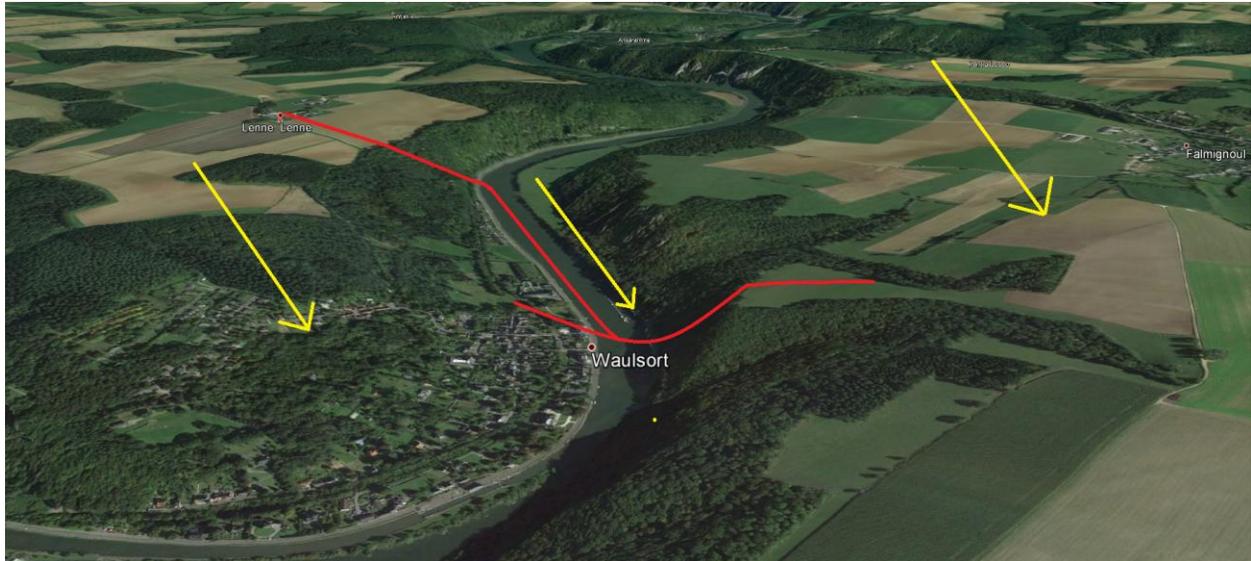
Deux images satellites montrant la vallée de la Meuse dans la région de Waulsort, indiquent le parcours des deux très probables vortex (2 et 3).



Source : Google Earth



En reprenant la situation dans la région et en transposant la direction générale du vent (flèches jaunes), ainsi que le déplacement des tourbillons, il peut être constaté que le vent général prenait une orientation nord-nord-est > sud-sud-ouest à l'heure de la tornade.



Source : Google Earth

Pour rappel, il y avait, à ce moment là, une supercellule de type « HP » avec la présence d'un mésocyclone sur son flanc est.

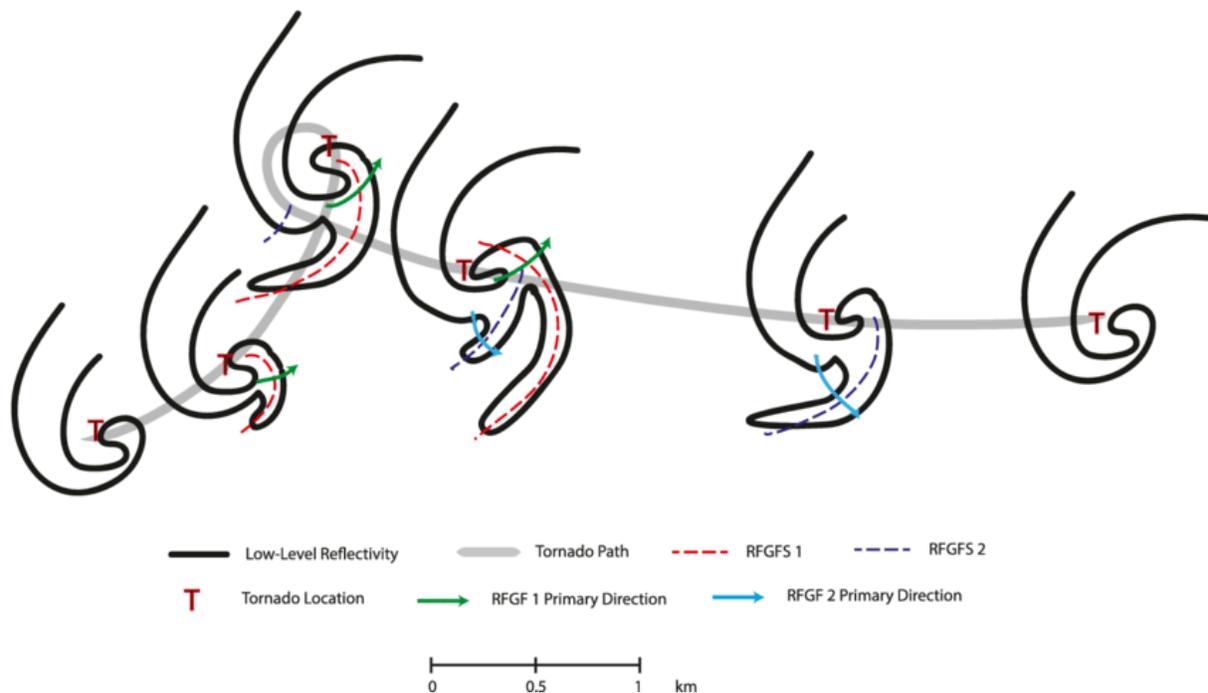
Les analyses Doppler ont permis de constater que le vent qui s'éloignait du radar (vitesse radiale négative) était plus intense que le vent qui s'en approchait (vitesse radiale positive). Le tout en tenant évidemment compte du déplacement de la cellule vis-à-vis de l'emplacement du radar. Cela signifie, en tout les cas, que le flux entrant (inflow en anglais) dans l'orage (par le côté est de la supercellule HP) était très vigoureux. En outre, ce flux entrant a pu être canalisé par la vallée de la Meuse et être renforcé de ce fait.

Ainsi, l'inflow (ou flux entrant dans l'orage) a très bien pu influencer le second vortex circulant à contre sens du vent.

Des recherches menées aux Etats-Unis ont pu mettre en évidence le rôle que peuvent avoir les « Rear Flank Gust Surge » sur l'intensification du (ou des) vortex comme celle par exemple du 20 mai 2013 à Moore.



Le schéma conceptuel ci-dessous reprend le comportement de la tornade du 20 mai 2013 vers la région de Moore (T) au sein de l'état d'Oklahoma, aux États-Unis. Celle-ci se déplaçant à ce moment là vers le nord-est. Les flèches vertes indiquent les premiers effets du RFGF amenant une occlusion de la tornade. Par la suite, un second RFGF se développe (flèches bleues) obligeant la tornade à changer de trajectoire. Celle-ci prenant une direction plein est.



Source :

https://www.researchgate.net/publication/273441787_HighTemporal_Resolution_Polarimetric_X-Band_Doppler_Radar_Observations_of_the_20_May_2013_Moore_Oklahoma_Tornado

Or, dans le cas de la tornade de Waulsort, un tel comportement a pu être observé et même plusieurs fois sur le parcours total du tourbillon.

Ainsi, dans le cas de la région de Waulsort, la survenue d'un RFGFS a pu influencer le comportement du vortex responsable des destructions observées au hameau de Lenne.

Le fait d'avoir eu un courant entrant (inflow) renforcé par l'effet de vallée au même moment a pu aussi influencer l'intensité de ce dernier.

Bien entendu, aucune conclusion ne peut être apportée mais il n'est pas impossible que le second vortex ait bénéficié de conditions de micro échelles favorables à une intensification très rapide et temporaire de celui-ci.



Ce ne sont là bien entendu que des hypothèses mais elles méritent d'exister. Il sera évidemment très difficile voire impossible de savoir par exemple ce qui aurait bien pu se passer si la tornade n'avait pas franchi la Meuse. Aurait-elle eu la même intensité ? La question mérite d'être posée.

Une analyse minutieuse des dégâts engendrés sur une exploitation agricole située au hameau de Lenne a été réalisée. Pour rappel, c'est à cet endroit là que la tornade a atteint son intensité maximale (F3 sur l'échelle de Fujita et T6 sur l'échelle de Torro). Pour indication, la tornade est venue depuis le bas de l'image.



Carte illustrant l'orientation des dégâts. Source : Google Maps
Ligne pointillée jaune : parcours probable de la tornade.
Flèches jaunes : dégâts attribués à la tornade.



Des traces du passage de la tornade sont visibles en amont du hameau de Lenne dans un champ de blé (1).



Traces typiques laissées par la tornade dans un champ de blé (1).



Un hangar est ensuite endommagé (2). La partie droite est détruite alors que la partie gauche est intacte. Outre la toiture qui s'envole, un mur en plaque de béton s'effondre en partie.



Hangar et mur en partie effondrés suite au passage du tourbillon (2).



Par après, un bâtiment est aussi endommagé (3). La toiture s'envole à 90 % avec la charpente, les vitres explosent et des portes s'envolent dans le sens inverse à celui du déplacement de la tornade, tout comme un pan de la toiture. L'intensité est ici estimée au niveau F2/T4.



Bâtiment fortement endommagé par la tornade (3).



Devant ce bâtiment, une serre est littéralement aspirée par la tornade.



La serre devant le bâtiment (3) est complètement désaxée. On devienne l'aspiration exercée par le tourbillon qui est passé à droite de l'image.

Juste à côté, une grange se fait complètement détruire (4). La toiture s'envole et une grande partie des murs, en pierre massives, s'écroule. Quatre véhicules sont endommagés, dont deux entièrement écrasés par les murs de la grange. L'intensité est estimée au niveau F3/T6 car la grange était en parfait état et a même été rénovée étant donné qu'elle faisait partie d'un gîte.



Grange complètement détruite en avant plan (4).



Plusieurs véhicules sont écrasés par les gravats. On devine ici une portière au centre de l'image.



Ensuite, une annexe voit ses toitures s'envoler entièrement (5). Sur tout le site, la convergence des dégâts est nettement visible, notamment sur des arbustes situés le long de la route (6), mais aussi sur un autre hangar (7) qui voit ses portes arrachées vers le centre du couloir.



Bâtiment annexe (5) dont les toitures se sont totalement envolées.



Sur cette photo, on peut apercevoir la grange (4) à gauche ainsi que l'annexe (5) à droite.

Source : La Meuse (B.M)



La convergence des vents est visible sur des arbustes situés le long de la route (6).



Les portes du hangar (7) ont été arrachées par la force de l'aspiration du vortex.



Deux habitations sont aussi touchées (8). Les vitres explosent face à la force du vent et une majorité de la toiture s'envole, essentiellement du côté opposé au phénomène. Les cheminées s'écroulent vers le centre du couloir, tout comme les toitures qui, une fois tombées à terre, se font aspirer vers cet endroit. L'intensité est ici estimée au niveau F2/T4.



Partie avant du logis de la ferme (8). Les fenêtres sont brisées et les cheminées sont effondrées. Elles se trouve en bordure droite du couloir de dégâts.



Partie arrière du logis de la ferme (8). Les toitures sont arrachées et emportées vers la droite où la tornade est passée.

Non loin de là, une petite grange en brique est entièrement détruite (9). Il ne reste qu'un morceau de pilier qui reste debout. L'intensité est estimée au niveau F2/T5 voire F3/T6. Les hangars à proximité sont aussi endommagés mais dans une moindre mesure. L'un d'eux (10) voit son mur en tôles s'envoler (celui de droite) et sa porte en enfoncée, le tout dans la direction opposée à celle du déplacement de la tornade.



Grange en brique complètement détruite et située au centre du couloir (9).



Autre hangar (10) endommagé par le tourbillon et situé en bordure gauche du couloir.



Un autre hangar situé à gauche (11) subit peu de dégâts. Quelques tôles ondulées de sa toiture se décrochent dont certaines viennent transpercer le mur (gauche) du hangar cité précédemment.

L'hangar le plus à droite (12) est fortement touché. La toiture est entièrement envolée et seuls quelques éléments de charpentes sont restés en place. En outre, un morceau de la toiture a été aspiré dans la direction opposée au sens de déplacement du phénomène. L'intensité est estimée ici au niveau F2/T4.



Hangar fortement endommagé en second plan (12). Seuls quelques éléments de charpente sont restés en place. En avant plan, on aperçoit les restes de la grange (9). Seul subsiste un morceau de pilier en brique.



En plus des bâtiments, la végétation est aussi touchée (13). Des arbres sont déracinés ou sectionnés en direction du centre du couloir.



Arbres fortement endommagés à Lenne (13).



Juste à côté, une autre grange est également endommagée (14). Toute la toiture s'envole et deux des trois pignons s'effondrent notamment sur un véhicule. L'intensité est estimée au niveau F2/T4.



La partie supérieure de la grange (14) a littéralement été soufflée par la tornade.

De l'autre côté, des morceaux de tuiles se retrouvent plantées dans la porte métallique d'un autre hangar (15). Celui-ci se fait endommager par des arbres sectionnés qui tombent sur la toiture (16).



Morceau de tuile planté dans une porte métallique (15).



Arbres sectionnés tombés sur la toiture d'un autre hangar (16).



En face, une deuxième ferme est touchée. Une partie de la toiture s'envole (17) et quelques éléments sont aspirés dont un silo qui se renverse (18). L'intensité est estimée au niveau F1/T2 voire F1/T3.



Dommmages observés sur la toiture d'une autre ferme (17).



Silo renversé par le tourbillon (18).



Par la suite, quelques dégâts sont encore engendrés sur la végétation (19) mais l'intensité de la tornade semble clairement en atténuation car, une fois arrivée au chemin de Lenne (quelques dizaines de mètres plus haut que le point 19), l'intensité démontre un niveau F0/T1 car seulement quelques branches sont cassées.



Dégâts constatés à la végétation à la fin du hameau de Lenne (19).

Des débris de toitures se retrouvent ensuite sur plusieurs kilomètres dans des parcelles agricoles et forestières, notamment de l'isolant, des éléments de charpentes et même des pans de toiture de quelques mètres carré. Un sillon est aussi parfois visible dans certaines cultures.



Deux vues aériennes permettent d'obtenir une comparaison du site avant et après le passage de la tornade. Au dessus, c'est une image satellite issue de Google Maps et en dessous, une vue aérienne des dégâts prises par un drone de la chaîne télévisuelle VTM :





Une comparaison présentée ici montre l'état de la grange (où l'intensité maximale a été atteinte) avant et après le passage de la tornade (photo issue de Google Street) :



Comme il peut être aperçu, la grange était massive et en très bon état. Après le passage de la tornade, il n'en reste que quelques murs fissurés :

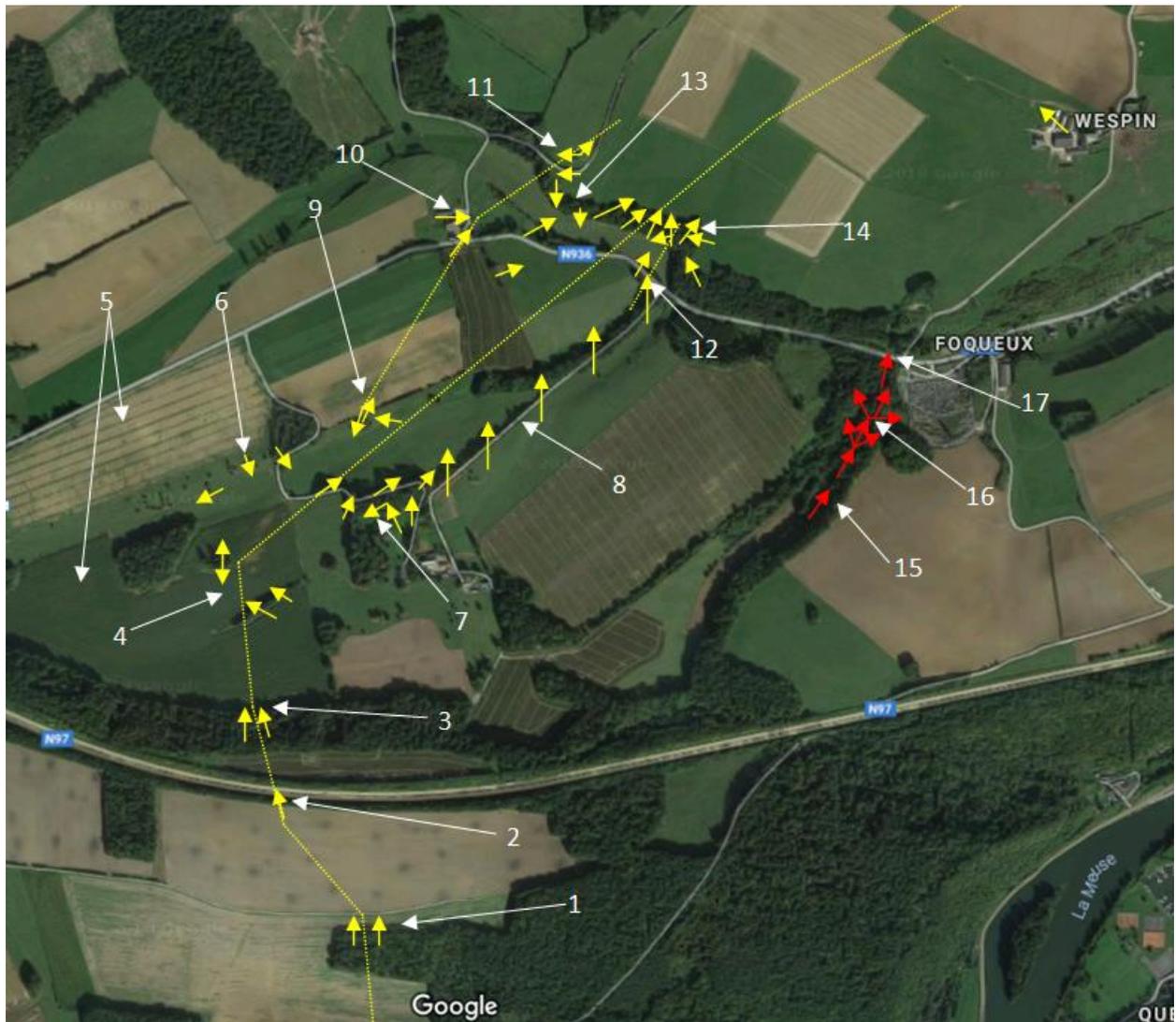




Pour résumer, l'intensité de la tornade diminue au fur et à mesure de sa progression sur le hameau. D'abord F3/T6, l'intensité n'est plus que de F0/T1 à sa sortie. Quant à la largeur du couloir de dégât, elle augmente progressivement d'une centaine de mètres à 300 mètres à sa sortie (chemin de Lenne).



Analyse des dégâts de la seconde tornade entre Lenne et Wespin



Carte illustrant l'orientation des dégâts. Source : Google Maps

Flèches rouges : dégâts attribués à une rafale descendante.

Ligne pointillée jaune : parcours probable de la tornade.

Flèches jaunes : dégâts attribués à une tornade.



Après le hameau de Lenne, la tornade traverse des champs et des bois. Des dégâts sont visibles dans ces derniers avec des arbres sectionnés ou déracinés (1). La largeur du couloir n'excède pas les 50 mètres et l'intensité est estimée au niveau F1/T2.



Quelques dommages sont constatés dans les bois et les champs à hauteur d'Onhaye (1). Des arbres sont brisés et des traces du passage du tourbillon sont visibles dans une culture de colza.



Arrivée au niveau de la voie rapide (Ng7), la tornade déracine quelques arbres en créant un couloir de seulement une dizaine de mètre de large (2). Par contre, dans une bande boisée en pente descendante située au-delà de la nationale (3), le phénomène montre une nette intensification.



François Riguelle©Belgorage

Dégâts observés sur une pente boisée (3). La végétation a subi des dommages divers.

De nombreux arbres sont déracinés ou sectionnés et la largeur du couloir atteint environ 150 mètres. L'intensité est d'ailleurs estimée au niveau F1/T3 voire F2/T4.



Ensuite, le tourbillon arrive dans le domaine de Melin, à l'est d'Onhaye (4). De nombreux arbres dont la plupart d'entre eux possède une circonférence importante sont sectionnés. Certains sont projetés à une dizaine de mètres dans le sens inverse à celui du déplacement de la tornade. L'intensité est estimée au niveau F2/T4.



Exemple de résineux sectionnés par la tornade (4).



De plus, la tornade fait ici de nouveau presque un angle droit pour s'orienter vers le nord-est. Sur plusieurs centaines de mètres, des débris sont retrouvés dans l'angle extérieur du tourbillon (5). Il s'agit de morceau d'isolants et de bois provenant du hameau de Lenne pourtant situé à plus de 3 kilomètres de là !



Morceau d'isolation provenant probablement de Lenne et retrouvé dans un champ environ 3 kilomètres plus loin.



Par après, un vieux verger voit ses arbres déracinés (6) en direction du centre du couloir ou même dans le sens opposé au déplacement de la tornade.



Arbres déracinés et endommagés par l'aspiration du tourbillon dans un verger (6).



De l'autre côté, un parc est ravagé (7). De nombreux arbres de grande taille sont brisés, déracinés voire même entièrement dépouillés. Cette fois encore, l'intensité est estimée au niveau F2/T4 tandis que la tornade s'élargit pour atteindre les 300 mètres de diamètre.



Arbre massif déraciné dans un parc (7).

Une allée bordée d'arbres est sérieusement endommagée (8). La majorité d'entre eux se retrouve brisé ou déraciné mais tous sont orientés dans la même direction (vers le centre du couloir).



François Riguelle©Belgorage

Tous les arbres d'une allée (8) sont fortement endommagés comme ceux visibles sur cette photo.



En face, la végétation arbustive est malmenée par les vents (9) et semble montrer le passage d'un vortex secondaire. Cette théorie semble se confirmer plus loin où une ferme est également touchée (10).



Végétation touchée probablement par un vortex secondaire (9). De nombreux buissons dans le bosquet (à gauche) sont déracinés, tout comme un pommier isolé (à gauche). Les dégâts montrent que le vortex est passé entre les deux.



Cheminée effondrée avec une partie du pignon sur le logis d'une ferme (10).



Un couloir est visible sur les arbres bordant la route. Plusieurs toitures sont endommagées légèrement et une cheminée s'effondre également. En outre, le couloir de dégâts ne cesse de s'élargir pour atteindre les 500 mètres de diamètre !

Un peu plus loin, il semblerait qu'un autre vortex secondaire touche un hangar agricole qui est complètement détruit (11). Il ne reste que quelques socles en béton d'où sortent des armatures en acier pliées. L'intensité est estimée au niveau F2/T4 tandis que la tornade reste toujours aussi large.



Hangar totalement détruit par le probable passage d'un vortex secondaire (11).

Plus au sud, à près de 500 mètres de là, un couloir est visible au niveau de la N 936 (12) dans la végétation. Il pourrait une fois encore s'agir d'un vortex secondaire.



Un couloir laissé par le passage du tourbillon est visible dans la végétation.

Ensuite, une bande boisée en pente est dévastée par la tornade (13). De nombreux arbres sont déracinés ou sectionnés voire dépouillés. Certains tombent dans le sens opposé à celui du déplacement du phénomène. Au moins deux voire trois axes de convergence ont été identifiés montrant une fois encore l'occurrence de plusieurs vortex.



Arbres brisés dans une bande boisée (13).



Sur la droite (14), des arbustes déracinés ainsi qu'un petit silo renversé montre l'effet d'aspiration qu'exerce la tornade. Arrivée ensuite dans des prairies, il semblerait que le tourbillon réduise progressivement sa largeur mais peu d'indices permettent de confirmer cela (seuls des traces sont visibles dans l'herbe).



Silo emporté par la tornade (14). On peut voir aussi les dommages sur les arbres.



Par contre, rien de tout cela n'est mis en évidence près de Foqueux. En effet, un autre couloir est visible mais il est facilement identifié comme étant la conséquence d'une rafale descendante. Des peupliers sont déracinés dans la même direction (15) et les dégâts sont divergents un peu plus bas (16). Certains arbres de circonférence importante sont brisés ou déracinés montrant que le phénomène a atteint une intensité élevée de niveau T3 voire très localement T4. La largeur du couloir est d'environ 10 mètres au début pour atteindre une cinquantaine de mètres à la fin, au niveau de la nationale 936 (17). Après la route, aucun dommage n'est porté à la végétation, prouvant que ce phénomène est très localisé (environ 350 mètres de longueur).



Peuplier d'une circonférence remarquable brisé par la microrafale (16).



Comme il a été vu, il est fort probable que le relief ait une fois de plus influencé la tornade. Cet aspect peut d'ailleurs être vu plus en détail en reprenant des images satellites.

L'image ci-après reprend les différentes dénivellations sur le parcours du tourbillon. L'altitude est indiquée via des triangles bleus. Après le hameau de Lenne, c'est donc en descendant une assez forte pente que le vortex s'est à nouveau intensifié. Cela rejoint donc assez bien l'une des théories expliquées en début de chapitre sur ce que l'on nomme « l'étirement du tourbillon ».



Source : Google Earth

Le fait d'avoir eu par la suite une tornade large, composée très probablement de plusieurs vortex mérite de s'y attarder, d'autant que le tourbillon prend une trajectoire différente.



Une image satellite ci-dessous reprend le parcours des très probables vortex (tirets rouges) ainsi que les zones concernées par ces différents vortex. Le couloir de la rafale descendante à Foqueux est matérialisé en bleu dans ce cas-ci.



Source : Google Earth

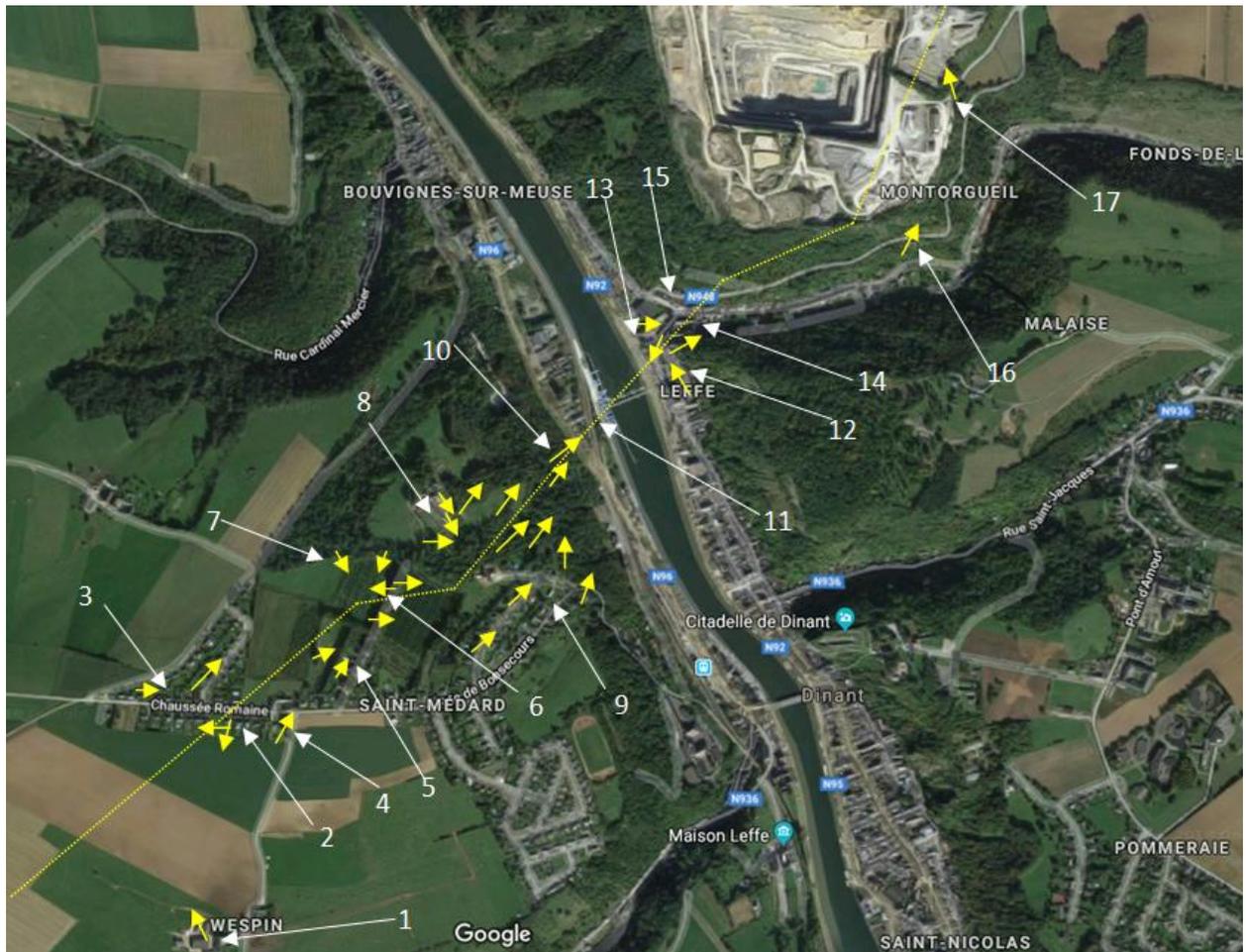
Comme il a été vu, la largeur du couloir s'élargit considérablement dès que la tornade a franchi la colline. Ce couloir atteint d'ailleurs les 500 mètres de largeur. Il est probable que cela soit directement imputé à une évolution du tourbillon en multi vortex.

Quant aux raisons qui ont pu mener à une déviation de la trajectoire du tourbillon principal, celles-ci demeurent inconnues. Cependant, la survenue d'une rafale descendante assez vigoureuse à la droite de la tornade (dans son sens de déplacement) pourrait être liée à une intensification temporaire du courant descendant de flanc arrière (RFD). Comme il a été vu dans le chapitre précédent, l'intensification du RFD a pu influencer non seulement l'intensité de la tornade mais aussi sa trajectoire.

Cependant, cela reste à l'état d'hypothèses mais celles-ci semblent assez cohérentes à la littérature américaine sur le sujet et aux observations de terrain.



Analyse des dégâts de la seconde tornade entre Wespín et Leffe



Carte illustrant l'orientation des dégâts. Source : Google Maps
Ligne pointillée jaune : parcours probable de la tornade.
Flèches jaunes : dégâts attribués à la tornade.



La tornade frôle la ferme de Wespin (1) où des dégâts par aspiration sont observés sur un abreuvoir et des abris à veaux. Ils sont d'ailleurs déplacés de quelques mètres en direction du tourbillon.



Exemple de l'un des abris à veaux aspirés par le tourbillon dans une ferme à Wespin (1).



Ensuite, le vortex arrive à Saint-Médard. Des arbres ainsi que des arbustes sont couchés dans le sens inverse à celui du déplacement de la tornade (2) et quelques dégâts sont observés aux toitures des habitations. L'intensité a fortement baissé depuis Melin puisqu'elle est ici au niveau FO/T1. La largeur du couloir atteint encore environ 300 mètres.



Dégâts observés sur la végétation à l'entrée de Saint-Médard (2).

Cela est confirmé par les dégâts à proximité. Une balançoire est attirée vers le tourbillon (3) tandis que les habitations ne voient que quelques tuiles s'envoler. Le toit d'un abri de jardin est aussi arraché. La végétation est faiblement touchée avec localement quelques arbres déracinés (4).



Branches brisées par la tornade à Saint-Médard.

Un peu plus loin, des arbres de faible circonférence sont brisés et plusieurs maisons sont touchées (5). Quelques tuiles s'envolent, une serre est endommagée et du mobilier de jardin est soufflé tout comme une tonnelle.



Autre exemple de dégâts constatés dans les rues de Saint-Médard.



Par après, la tornade s'intensifie de nouveau. Des tilleuls de bonnes circonférences composant une allée sont sectionnés (6). La convergence des dégâts est nettement visible sur la végétation. D'ailleurs, un des tilleuls est sectionné dans le sens opposé à celui du déplacement du phénomène. Un abri à chevaux est aussi complètement détruit et les débris sont attirés vers le centre du couloir (7). L'intensité est estimée au niveau F1/T3 voire localement F2/T4.



Francois Riguelle © Belgorage
Tilleul imposant sectionné par le tourbillon (6). Bien que ce spécimen est creux, d'autres en parfaite santé ont subit le même sort.



Non loin de là, un manège subit aussi des dommages (8). La structure du bâtiment étant recouvert de tôles, de nombreux petits éléments s'envolent tant au niveau de la toiture qu'au niveau des murs. Des barrières en bois sont couchées et quelques cimes d'arbres sont sectionnées.

De l'autre côté, les rues de Sologne et de Bonsecours sont aussi concernées (9). Par contre, les dégâts engendrés sont orientés dans la même direction quoi que légèrement convergents. Ils sont assez faibles avec quelques tuiles envolées sur les habitations et l'un ou l'autre arbre (ou branches) sectionné. La tornade s'est élargie pour atteindre tout de même 450 mètres de diamètre. D'ailleurs, il n'est pas impossible que plusieurs vortex se soient développés mais l'intensité a de nouveau diminuer au niveau FO/T1 à F1/T2.



Eléments de toiture arrachés sur le manège de Meez (8).
Crédit photo : Cathy Carryn



Ensuite, le tourbillon descend une forte pente boisée en direction de la Meuse (10). Cependant, le relief empêche d'y mener une enquête. Toutefois, une tranchée est visible depuis l'autre versant de la vallée car de nombreux arbres sont déracinés dans un couloir d'une centaine de mètres de largeur.

Dans le fond de la vallée, plusieurs habitations de Bouvignes-sur-Meuse sont touchées (11). Quelques dégâts sont engendrés sur trois toitures et plusieurs arbres sont sectionnés. L'intensité ne dépasse pas le niveau F1/T2.



Vue sur les habitations endommagées à Bouvignes-sur-Meuse (11) ainsi que sur la pente boisée (10).



Après la tornade traverse la Meuse et touche Leffe. De nombreuses toitures sont légèrement endommagées et le toit d'un garage en tôle s'envole (12). Des panneaux publicitaires sont aussi arrachés et quelques petits arbres sont sectionnés. L'intensité est estimée au niveau F0/T1 voire très ponctuellement F1/T2. La largeur du couloir atteint encore 150 mètres.



Toiture d'un garage arrachée (12) et projetée à une vingtaine de mètres. Source : DH



Sur la gauche du couloir les dégâts sont plus faibles (13) et se limitent à des tuiles déplacées et quelques branches cassées. Un peu plus loin, l'abbaye de Leffe subit également quelques dommages (14). Outre quelques tuiles envolées, un arbre est déraciné. L'intensité ne dépasse pas F0/T1.



Toiture d'une habitation endommagée à Leffe.



Par la suite la toiture d'une habitation est encore touchée (15) avant que le phénomène ne remonte la pente. Cependant, il est clairement en atténuation car seulement quelques petites branches sont cassées. Le relief ne permet pas d'y faire une enquête approfondie d'autant plus qu'une carrière est présente derrière.



De légers dégâts sont encore constatés sur une habitation (15).



Une toiture est encore légèrement endommagée (16) et quelques petites brindilles sont brisées. Ensuite, à part un buisson malmené à l'entrée de la carrière (17), plus aucun dégât n'est engendré. Il se peut donc que la tornade se rétracte à cet endroit.

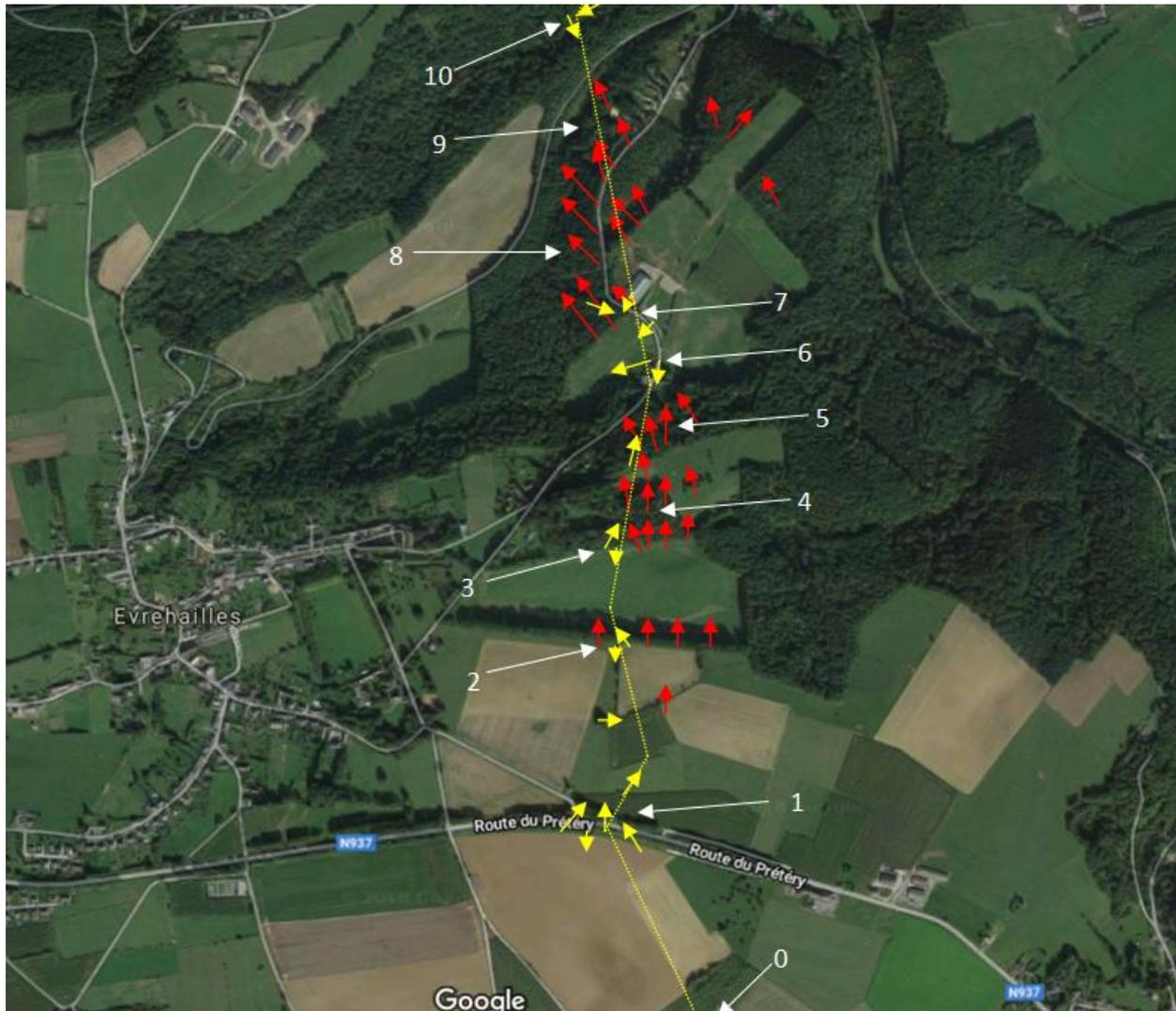


Ardoises envolées sur une maison (16).

En résumé, au niveau de la vallée de la Meuse, la tornade ne s'est pas vraiment intensifiée sur son parcours alors que celle-ci descendait la forte pente menant à la Meuse. Par contre, elle a probablement perdu de sa vigueur en « escaladant » la pente montante menant à la carrière.



Analyse des dégâts de la seconde tornade à Evrehailles



Carte illustrant l'orientation des dégâts. Source : Google Maps
Flèches rouges : dégâts attribués à une rafale descendante.
Ligne pointillée jaune : parcours probable de la tornade.
Flèches jaunes : dégâts attribués à une tornade.

Depuis Leffe, aucun dégât n'est retrouvé jusqu'en amont d'Evrehailles, sur plusieurs kilomètres. Toutefois, il est possible que la tornade ait touché le sol à plusieurs endroits mais cela n'a pas pu être vérifié à cause du terrain. En effet un massif forestier rend la réalisation d'une enquête de terrain compliquée. Mais il est aussi possible que la tornade se soit rétractée et qu'une nouvelle se soit formée par après.

Des indices du passage du tourbillon sont retrouvés dans un petit bosquet en amont d'Evrehailles (0). Quelques arbres de faible circonférence sont sectionnés et un mirador de chasse est endommagé. Certaines planches qui le composent ont été retrouvées en amont prouvant qu'il s'agit bien d'une tornade.



En reprenant les cartes satellites, on constate que la tornade fait ses « premiers » dégâts (très légers) sur des pentes montantes. Il est possible que cela ait pu influencer la tornade au sol.

Ensuite, le vortex arrive sur la nationale 937 (1) où quelques arbres sont déracinés ou sectionnés. La convergence des dommages est clairement visible et des branches se retrouvent avant la route, signe qu'elles sont attirées dans le sens opposé à celui du déplacement du phénomène. L'intensité ne dépasse pas le niveau F0/T1 et la largeur du couloir est d'environ 30 mètres.



Merisier torsadé par la tornade.



Par après, le tourbillon fait un angle et dévie vers le nord-est avant de remonter vers le nord. Ensuite tout se complique.

Une allée bordée d'arbres est touchée (2). Mais ceux-ci sont déracinés dans la même direction montrant plutôt le passage d'une rafale descendante. Toutefois, comme ce sera d'ailleurs le cas plus loin, quelques dégâts plus faibles sont suspectés d'être attribués à la tornade car leur orientation ne colle pas aux caractéristiques d'une rafale descendante. Ici, il s'agit d'un arbre sectionné qui n'est pas tombé dans le même alignement que les autres ainsi que de quelques branches retrouvées en amont de ces arbres.



François Riguelle ©Belgorage

Le chemin bordé par l'allée d'arbres (2) est impraticable.



Un peu plus loin, quelques traces de vent tourbillonnaires sont observées dans une prairie de fauche avant qu'un bois ne soit atteint (3). Plusieurs arbres sont déracinés ou sectionnés et quelques branches de ceux-ci sont retrouvées dans la prairie en amont.

De plus, les dégâts sont convergents. Cependant, le bois est dévasté plus à droite (4). Pratiquement tous les arbres se retrouvent à terre et alignés dans la même direction. Ici, le passage d'une microrafale ne fait guère de doute.



Tous les arbres d'une parcelle (4) sont couchés à terre dans la même direction.

Les quelques dégâts convergents (3) sont certainement l'œuvre du passage de la tornade mais les deux phénomènes s'étant produit au même endroit, il est très difficile de différencier ceux-ci sur le terrain.



Ensuite, une deuxième parcelle forestière est touchée (5). Tous les arbres sont déracinés dans la même direction et de manière divergente. Il ne fait aucun doute qu'une rafale descendante ait sévi. Par ailleurs, son intensité est estimée au niveau T3. Seul un arbre est déraciné vers le centre du couloir mais il pourrait être tombé ainsi à cause d'une autre condition que le passage de la tornade.



Autre parcelle boisée (5) touchée par une microrafale.

Après le bois, les dégâts semblent plutôt l'œuvre d'une tornade (6). Deux habitations situées en contrebas, rue de Niersant, ne subissent pas de dommages. Cependant, un panneau de signalisation est arraché du sol avec son socle en béton et tombe dans le sens inverse à celui du déplacement du phénomène. Un poulailler voit aussi, d'après un témoin, son toit s'envoler dans les airs.



Juste après, quelques branches d'arbuste cassent dans une direction qui ne correspond pas à celle de la rafale descendante (vers le sud-ouest). Un manège est aussi endommagé par la tornade (7).



Les portes ainsi que la façade du manège (7) ont été arrachées par la tornade. Certains éléments lourds ont été emportés sur une dizaine de mètres.

Les portes ainsi que sa façade, côté ouest, sont arrachées et tombent aussi vers le sud-ouest. La propriétaire, présente sur les lieux, livre son témoignage :

« Il a commencé à pleuvoir et je suis rentrée dans le manège (par le côté est) et la porte de l'autre côté était encore en place. Le temps de fermer la porte que je venais de passer et de me retourner, tout s'était envolé, cela n'a duré que cinq secondes. Je n'ai pas senti de vent où j'étais pourtant. »

Juste à côté, une autre personne raconte :

« Comme il pleuvait, je me suis abritée sous le toit (côté nord à l'extérieur) avec mon chien. En un coup, je ne voyais plus rien car de la poussière volait dans tous les sens et je me suis sentie aspirée au dehors. J'ai eu difficile à tenir la laisse de mon chien qui était lui aussi aspiré. Cela n'a duré que quelques dizaines de secondes. Juste après, la pluie a commencé à tomber beaucoup plus fort. Je n'ai vu les dégâts que par après, j'ai eu de la chance de ne pas avoir été blessée. »



Ces témoignages semblent plutôt décrire le passage d'une tornade. Cependant, en face du manège, une parcelle forestière subit aussi des dégâts mais les arbres sont alignés dans la même direction lors de leur chute montrant plutôt le passage d'une rafale descendante (8). La conclusion est que les deux phénomènes se sont probablement succédés au même endroit d'autant plus qu'un épicéa a été déraciné dans le sens opposé au déplacement du phénomène. Le fait que celui-ci se trouve en dessous des autres, amène à penser que la tornade est passée avant la rafale descendante.



Douglas déracinés probablement par la microrafale (8).

Cette hypothèse est également confortée par un témoin qui habite le village à 300 mètre à l'ouest du couloir de dégâts :

« Quand l'orage est arrivé, il a commencé à pleuvoir. Il y avait aussi beaucoup d'éclair. Je suis monté dans la chambre de ma fille où j'ai une vue en direction de Dinant. C'est là que j'ai vu arriver une forme sombre qui avançait vers moi. Elle était au niveau du sol et se déplaçait à la manière d'un serpent, c'est-à-dire, pas de façon rectiligne mais de gauche à droite. Elle faisait environ 40 mètres de largeur et n'était pas rattachée au nuage. J'ai eu peur car cela arrivait très vite vers moi. Mais vers le château d'eau, elle a changé de direction en faisant un angle. Après le château d'eau, j'ai vu, vers l'est (en direction du manège), que la chose a fait demi-tour. Mais c'était alors bizarre car on aurait dit qu'une cascade descendait du nuage. C'était comme si on avait ouvert les vannes des chutes du Niagara. Ensuite, après une ou deux minutes, c'est parti vers Bauche mais j'ai la vue masquée par les arbres dans cette direction.



J'ai juste vu un éclair aveuglant dans cette direction. Le phénomène s'est produit plutôt au début de l'orage et pendant tout ce temps, l'intensité de la pluie n'a pas changé. Elle n'était pas très forte pour un orage. »

Ce témoignage, obtenu plusieurs jours après l'enquête de terrain, est très pertinent et confirme les conclusions qui ont été établies sur place. Avec ses mots, la personne décrit parfaitement le passage de la tornade qui n'était pas entièrement condensée. De plus, l'angle qu'elle a fait au château d'eau a été également vu sur l'enquête de terrain (situé au numéro 1). Ensuite, le témoin dit que le phénomène a fait demi-tour. Cela indique très probablement que la rafale descendante a suivi de peu le passage de la tornade. Rafale descendante qui est aussi parfaitement décrite comme une cascade tombant du nuage.

Par la suite, des dégâts sont encore observés sur la végétation dans plusieurs jardins (9). Ils sont alignés dans la même direction et montrent plutôt l'occurrence d'une rafale descendante.

Mais dans un bois situé sur le versant d'en face (10) la situation est différente. Les dommages sont plus légers. Quelques cimes sont brisées et plusieurs arbres sont déracinés dont certains dans le sens inverse à celui du déplacement du phénomène. Le passage d'une tornade ne fait ici guère de doute.



Arbre déraciné par le tourbillon dans un bois (10).



Quant à l'intensité de la tornade sur Evrehailles, il est difficile de la déterminer. Elle semble varier entre F0/T0 et F1/T2 voire F1/T3 sur le manège. Le couloir de dégâts n'excède pas quelques dizaines de mètres.

Pour la microrafale, l'intensité maximale est estimée au niveau T3. La largeur du couloir est d'environ 50 mètres au début (entre les points 1 et 2) à 650 mètres vers le manège.

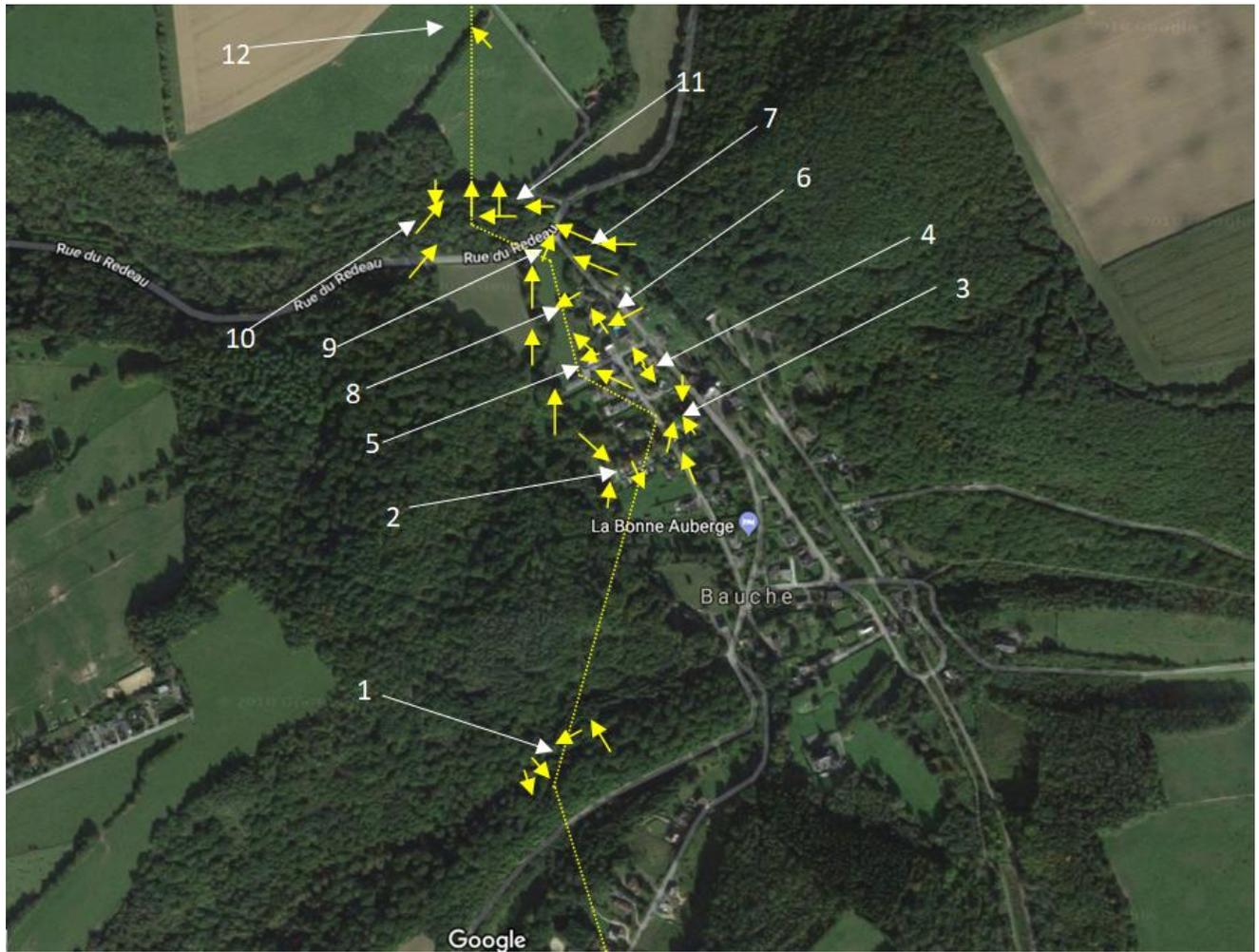
Les analyses de terrain ont donc été compliquées. Toutefois, les témoignages ont permis de mieux visualiser ce qui a bien pu se passer.

Les recherches menées ont également permis d'émettre des hypothèses concernant le comportement des tornades jusqu'ici. Dans ce cas-ci, le fait d'avoir eu une rafale descendante et une tornade pratiquement au même endroit mérite de s'attarder quelque peu. Comme il se sait dorénavant, le courant descendant de flanc arrière a une influence sur le comportement d'une tornade. Il peut aussi amener un surplus de vorticité permettant la naissance d'un nouveau tourbillon.

Les témoignages ainsi que les enquêtes de terrain faisant état du passage probable de la tornade avant la rafale descendante amènent à penser que la rafale est issue du courant descendant de flanc arrière comme à Dion. Et comme dans cette région, la survenue d'une rafale descendante peut permettre d'envisager une intensification du courant descendant de flanc arrière qui a pu lui-même rendre possible le développement ou l'intensification du tourbillon. En effet, les recherches menées ici ne permettent pas de savoir si le tourbillon était déjà présent ou non avant les dégâts observés à Evrehailles.



Analyse des dégâts de la seconde tornade à Bauche.

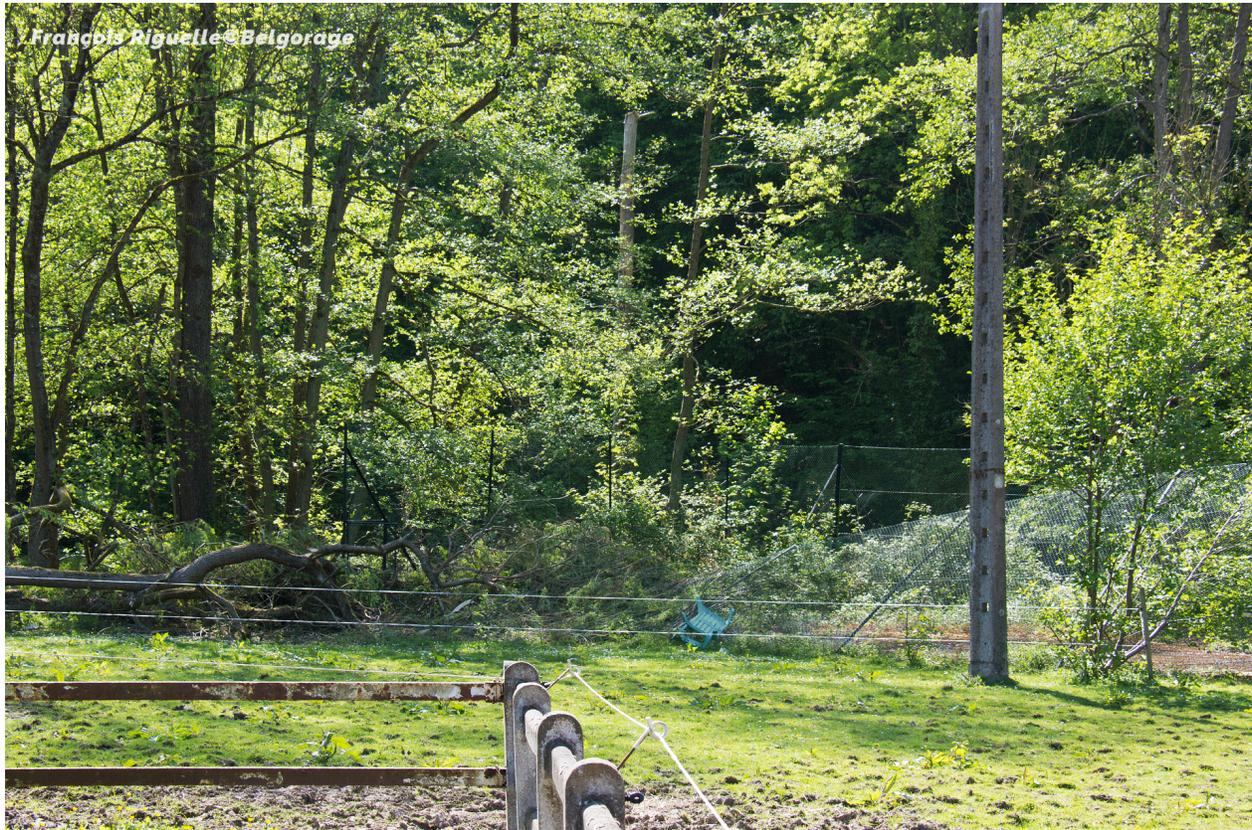


Carte illustrant l'orientation des dégâts. Source : Google Maps
Ligne pointillée jaune : parcours probable de la tornade.
Flèches jaunes : dégâts attribués à la tornade.



Dans la continuité du point précédent, la tornade traverse la colline boisée où quelques dégâts sont observés (1). Plus aucun indice ne laisse penser à une rafale descendante.

Ensuite, elle arrive à Bauche et touche le camping (2). Plusieurs arbres sont déracinés ou sectionnés dont certains dans le sens inverse à celui du déplacement du phénomène. De plus, une personne habitant à l'est de « La Bonne Auberge » déclare avoir vu un abaissement nuageux tourbillonnaire qui descendait du bois. Elle a ensuite montré le versant d'où est arrivé le vortex.



Arbre et clôture couchés à la suite du passage de la tornade (2).

Un peu plus loin des jardins subissent des dommages (3). Une clôture se couche, des arbustes sont déracinés et des branches sont brisées. Une fois encore, certains dégâts sont disposés dans le sens opposé au déplacement de la tornade. L'intensité de celle-ci ne dépasse pas le niveau F0/T1.



Par après, elle s'intensifie progressivement. Un garage est disloqué dans des sens opposés (4) et plusieurs toitures voient des tuiles, des tôles ou des ardoises s'envoler.



Garage disloqué par le tourbillon (4). Le phénomène venait de la droite de l'image et s'est déplacé vers la gauche. Crédit photo : Jacques Brilot



D'après un témoin, une tôle vient s'enrouler autour d'un poteau électrique en bois tandis qu'une autre se plante dedans (5). Des cheminées s'effondrent également dont une traverse une toiture durant sa chute. L'intensité est ici au niveau F1/T2 et la largeur du couloir est d'environ 150 mètres.



Pierre de couverture d'une cheminée qui est tombée à travers une toiture.



Juste après, la toiture d'une véranda est endommagée (6) et une barre en métal issue de celle-ci vient transpercer une piscine présente à quelques mètres de là. Un abri de jardin est déplacé de son socle et du mobilier s'envole.



François Riguelle © Belgorage

Abri de jardin déplacé et couverture d'une véranda envolée (6).



Les toitures des habitations voient aussi des tuiles se déplacer vers le centre du couloir. Un témoin raconte ce qu'il a vécu : « *J'étais dans ma maison quand l'orage est arrivé. Il y avait beaucoup d'éclairs quand, brusquement, le vent s'est levé et des débris volaient dans tous les sens dehors. Cela n'a duré que 6 secondes. Il y a aussi eu un énorme éclair, que plusieurs personnes ont décrits comme étant une boule de feu qui traversait le village. Mais moi, je pense que c'est la foudre qui est tombée dans la rue. Je suis ensuite sortit voir les dégâts et j'ai vu alors, en direction d'Evrehailles, que le ciel était tout vert et très sombre. J'ai eu peur et je suis rentré dans la maison. Juste après une pluie intense s'est abattue.* »

Cette fois encore la description correspond au passage d'une tornade. La 'boule de feu', décrite également par le boucher d'Evrehailles, est sans doute un powerflash dû à la tornade. Par après, le ciel vert et les fortes pluies correspondent à l'étalement de la rafale descendante d'Evrehailles.

Un jardin situé plusieurs mètres au dessus de la rue est aussi dévasté (7). De nombreux arbres sont sectionnés ou déracinés, globalement dans la même direction mais en montrant une légère convergence. L'intensité est estimée au niveau F1/T3.

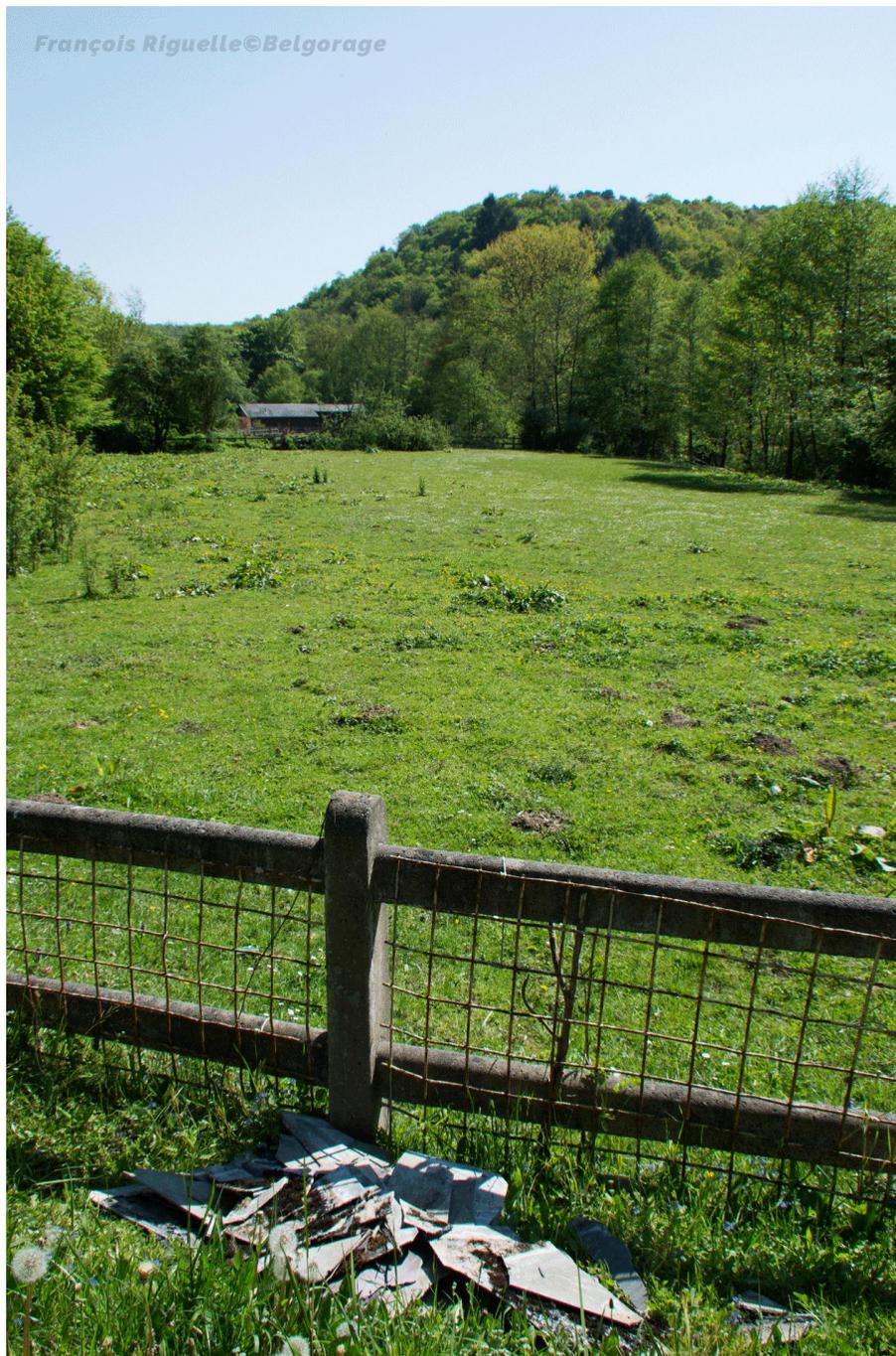


Jardin boisé dévasté par la tornade à Bauche (7).



Il en est de même sur l'habitation située en face (entre les points 6 et 8) qui voit une partie de sa toiture arrachée. Des débris se retrouvent à plusieurs centaines de mètres dont des ardoises, plantées dans le sol d'une prairie (8), en font partie. Au sein de la prairie, un arbre est déraciné vers le centre du couloir.

Le long de la route du Rendeau (9), outre des débris de toiture, un panneau publicitaire est plié vers le nord-est.



Ardoises retrouvées à une centaine de mètres de leur lieu d'origine (9).



Ensuite, des arbres sont déracinés dans un bosquet (10), montrant clairement la convergence des dégâts par rapport à l'autre côté du couloir (11). Certains arbres tombent sur une voie de chemin de fer désaffectée ainsi que sur un abri qui est complètement écrasé. La tornade commence à faiblir puisque l'intensité est estimée au niveau F0/T1 voire F1/T2.



Arbres déracinés dans un bosquet (10).



Cela se confirme plus loin où une haie vive subit des dégâts (11). Des arbres sont couchés dans un couloir d'une dizaine de mètres seulement. Par après, le tourbillon arrive dans un massif forestier où quelques cimes isolées sont brisées. En raison du relief accidenté, celui-ci n'a pas pu être parcouru.



Dans le massif forestier, la tornade continue de faire quelques dégâts. Source : André P. (Crup'écho)

En résumé, les analyses de terrain ont pu mettre en évidence que le tourbillon a contourné une colline surplombant le village de Bauche.

Entre le chemin de Niersant et cette colline, le peu de dégâts observés semble provenir d'une rafale descendante et non d'une tornade.

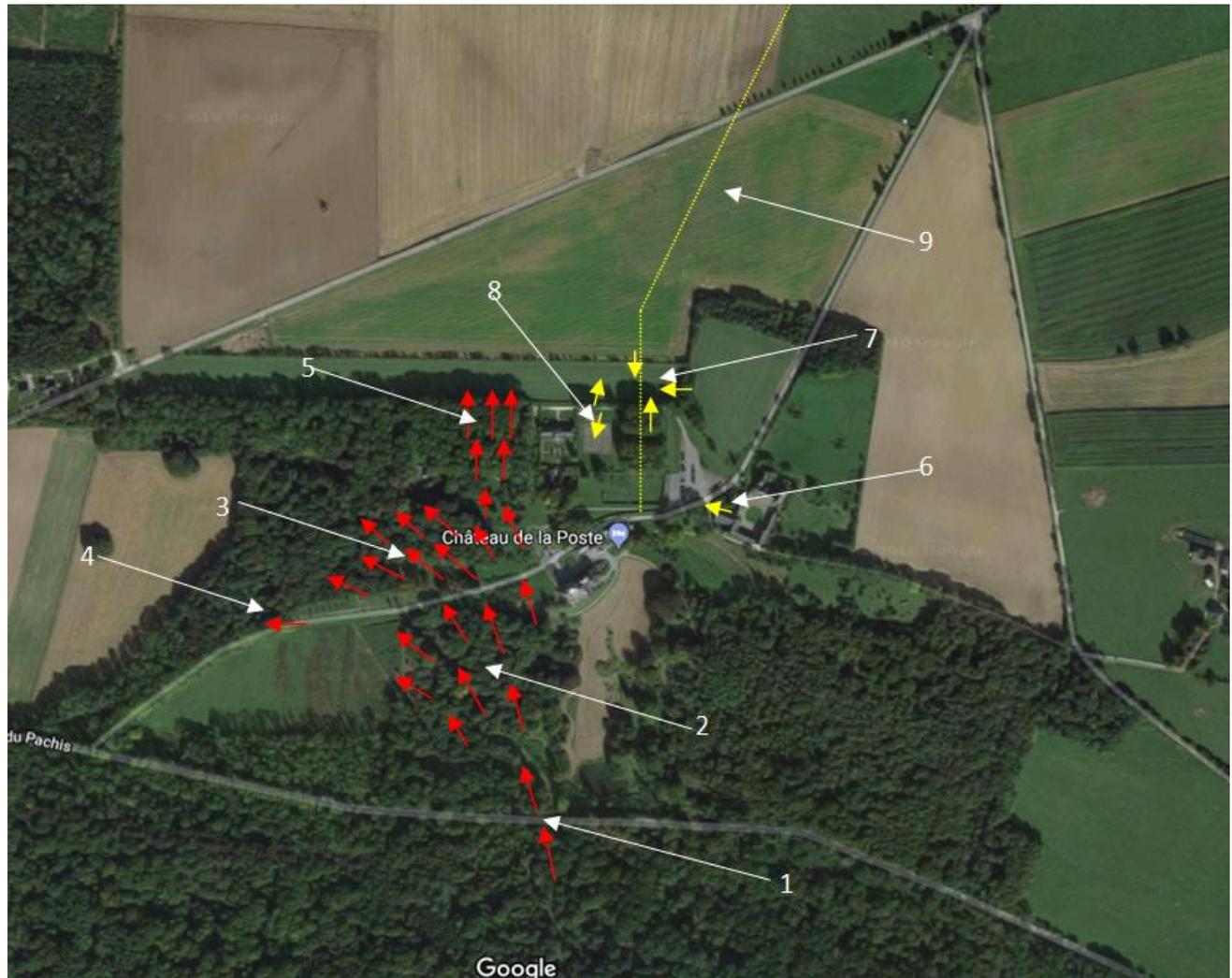
Il se peut que le relief très accidenté ait pu faire en sorte que le tourbillon ne touchait plus le sol à cet endroit là et que les dégâts observés soient en fait provoqués par le courant descendant de flanc arrière.

Par contre, les dégâts observés un peu en amont du camping de Bauche (et de Bauche lui-même) sont bien imputables au passage d'un tourbillon.

Ainsi, nous avons encore là un cas où le relief a pu influencer le comportement du vortex en l'affaiblissant provisoirement et en le renforçant par la suite.



Analyse des dégâts de la seconde tornade à Ronchinne.



Carte illustrant l'orientation des dégâts. Source : Google Maps
Flèches rouges : dégâts attribués à une rafale descendante.
Ligne pointillée jaune : parcours probable de la tornade.
Flèches jaunes : dégâts attribués à une tornade.



De l'autre côté du massif forestier, des dégâts à la rue du Pachis (1) sont engendrés. Une véritable tranchée est faite dans le bois par les arbres déracinés qui sont tous couchés dans le même sens. La largeur du couloir de dégâts n'excède pas une dizaine de mètres. L'hypothèse d'une microrafale est donc privilégiée.



La route (1) est obstruée par des arbres brisés ou déracinés dont certains dans le sens opposé au déplacement du phénomène. Source : André P. (Crup'écho)



Cela est confirmé par après dans le domaine de Ronchinne où une parcelle forestière est dévastée (2). Presque tous les arbres sont sectionnés, déracinés ou fortement dépouillés. Ils sont encore alignés globalement dans la même direction, de façon légèrement divergente. L'intensité est estimée au niveau T3 et la largeur du couloir atteint 250 mètres.



Vue aérienne de la parcelle (2). Source : André P. (Crup'écho)

Après le chemin du château de la poste, un parc est touché également et présente les mêmes dommages (3). Quelques hêtres déracinés vers la gauche (4) montrent clairement une divergence. La largeur du couloir augmente à 350 mètres environ.



Domages constatés dans le parc (3).

Un peu plus loin, une autre partie du parc est également dévasté (5). Les arbres sont déracinés dans la même direction dans un couloir de 50 mètres de large environ. Il pourrait s'agir ici d'un burst swath (couloir d'accélération en français).



Photo aérienne d'une partie du parc (5). Source : André P. (Crup'écho)

Le château ainsi que plusieurs bâtiments se situant sur la droite ne présentent aucun dommage car ils sont justes en dehors du couloir.



Cependant, un peu plus à droite, d'autres dégâts sont visibles quoique beaucoup plus légers. De plus, aucun indice ne plaide en faveur d'une rafale descendante mais bien pour une tornade. Cela commence par un arbre plié et quelques tôles faitières déplacées (6).



Eléments de toiture envolés à la suite du passage probable d'un tourbillon (6).



Ensuite, quelques arbres sont brisés ou déracinés de façon convergente (7). Une cime d'épicéa est retrouvée également dans le sens opposé à celui du déplacement du phénomène. De même, des débris végétaux sont projetés contre la façade d'un bâtiment, du côté protégé du vent. Ce phénomène montre un mouvement probablement tourbillonnaire.



Débris végétaux retrouvés sur la façade opposée au déplacement du phénomène (7).

À côté, une barrière métallique se plie et se couche dans la même direction (8). Quelques épicéas sont aussi brisés et des ardoises sont déplacées.



Barrière couchée dans le sens opposé au déplacement du tourbillon (7).



La thèse du passage d'une tornade est d'autant plus confortée qu'un sillon est visible dans le champ voisin (9). L'intensité de celle-ci n'excède pas le niveau F0/T1 et la largeur du couloir est de quelques dizaines de mètres.



Sillon visible dans un champ (9). Source : André P. (Crup'écho)

Sur cette partie, les analyses mettent clairement en évidence que le tourbillon ne touche plus le sol qu'à certains endroits. Par contre, les dégâts infligés par les rafales descendantes (probablement toujours issues du courant descendant de flanc arrière) sont nombreux.



Analyse des dégâts de la seconde tornade à Ivoy et Maillen.

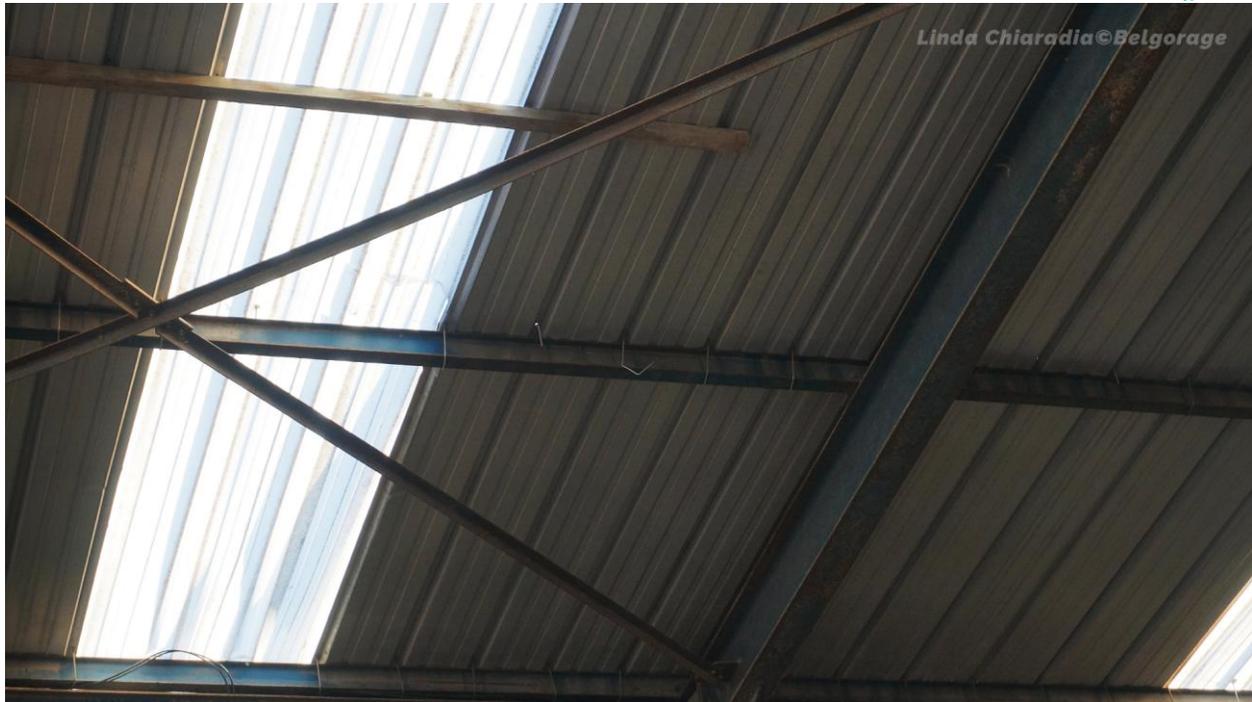


Carte illustrant l'orientation des dégâts. Source : Google Maps

Ligne pointillée jaune : parcours probable de la tornade.

Flèches jaunes : dégâts attribués à la tornade.

Par après, le tourbillon arrive à Ivoy et touche une ferme. Un hangar est endommagé (1) et voit ses portes ainsi que quelques planches sur un mur arrachées. Les dégâts sont nettement convergents et montrent une aspiration. Des tôles se retrouvent dans toutes les directions. De plus, la toiture est soulevée, cela étant visible via la structure interne où des attaches métalliques ont sauté ou ont été tordues. L'intensité ne dépasse pas le niveau F0/T1 et la largeur du couloir est de quelques dizaines de mètres.



Tôle abimée sur un hangar (1). Les autres éléments de toiture ont bougés, cela est visible par le décrochement d'attaches.

Un autre hangar est aussi concerné (2) et voit quelques tôles de sa toiture s'envoler. Certaines auraient été retrouvées dans les champs à plusieurs centaines de mètres.



Domages visibles sur la toiture d'un autre hangar (2).



Ensuite, la tornade frôle une autre ferme (3) où quelques petites branches sont brisées et où un silo tombe. Un témoin raconte que la pluie tombait et qu'il est alors rentré dans la ferme. Au moment où il a ouvert la porte, un brusque coup de vent s'est manifesté. Une fois rentré en ayant refermé celle-ci, c'était déjà terminé.



Silo renversé dans une ferme (3).



Par après, plus aucun dégât n'est visible jusqu'au château-ferme d'Arche à l'ouest de Maillen (4). Quelques branches sont brisées et les tôles faitières des bâtiments sont décrochées de façon convergente.

Juste après, un tilleul de l'allée est sectionné (5) et, une fois la nationale 931 atteinte, plus aucun dommage n'est visible. L'intensité est estimée au niveau F0/T0 sur les bâtiments et F0/T1 sur le tilleul. Le couloir de dégâts est large d'une dizaine de mètres.

Par la suite, un nouveau massif forestier se présente mais aucun dégât n'y est trouvé. Comme il n'a pas pu être entièrement parcouru durant l'enquête de terrain, il se peut que la tornade ait encore continué un peu et fait quelques dégâts ponctuels mais il est impossible de le vérifier. Tout porte à croire qu'elle s'est définitivement dissipée après le château-ferme d'Arche.

Sur cette dernière partie, le tourbillon fait encore quelques dégâts mais comme à Ronchennes, celui-ci peine à garder le contact avec le sol.



Conclusion

L'intensité ainsi que la largeur de la tornade de Waulsort a été très variable. Elle a aussi fréquemment opéré de brusque changement de direction. Celle de Dion a été brève. Comme il a été vu, il est possible que celle-ci ait bénéficié d'une intensification temporaire du courant descendant de flanc arrière pour se développer.

En plus des deux tourbillons, quatre microrafales ont été identifiées.

Concernant la tornade de Waulsort, le fait que trois des microrafales sont survenues au moment où un contact avec le sol du vortex est avéré apportent du crédit au fait qu'elles auraient eu un impact sur celle-ci. Cela est conforté par le fait que les microrafales se sont produites sur le côté droit de la tornade dans le sens de son déplacement, juste après son passage.

Bien sûr, le relief a aussi joué un rôle important pour ne pas dire capital dans le développement, l'intensification et l'affaiblissement des vortex.

Nous espérons que ces recherches menées pourront, à l'avenir, aider dans la compréhension des tornades en zones de relief. À ce propos, la tornade du 20 septembre 1982 demeurerait une « énigme » pour notre équipe, surtout sur le fait qu'elle ait parcouru une très longue distance en ayant développé une intensité encore supérieure à la tornade de Waulsort.

Il n'est pas impossible que les recherches menées permettent d'avancer à l'avenir des hypothèses sur les raisons qui ont amené la tornade de 1982 à parcourir une aussi grande distance et surtout à faire autant de dégâts.



Sources et références

Sources générales

<https://www.weather.gov/>
<https://kachelmannwetter.com/de>
<https://www.knmi.nl/home>
<http://www.meteociel.fr/>
<https://www.infoclimat.fr/>

Références détaillées

<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00972040/document>
<https://www.nssl.noaa.gov/education/svrwx101/lightning/types/>
<http://radarmet.atmos.colostate.edu/~tlang/steps.html>
<https://journals.ametsoc.org/doi/full/10.1175/1520-0493%282002%29130%3C2671%3ATSONSC%3E2.0.CO%3B2>
<https://www.nssl.noaa.gov/tools/decision/cases/990503/StormD.html>
<https://tornadoquest.wordpress.com/tag/inflow-notch/>
<https://www.weather.gov/lot/2008aug04>
<http://www.theweatherprediction.com/weatherpapers/103/index.html>
<https://mwenzbauer.wordpress.com/>
<https://www.wunderground.com/blog/JeffMasters/super-tuesday-tornado-outbreak-deadliest-in-23-years.html>
<https://www.ustornadoes.com/2013/03/14/tornadoes-dont-happen-in-mountains-or-do-they-debunking-the-myth/>
<https://pdfs.semanticscholar.org/e14f/2f2dc2c8036045af9e72285bb5db35119870.pdf>
<http://birmingham.raycomweather.com/2012/04/local-influences-on-tornadoes-and-miniature-tornado-alleys.html>
<http://nwafiles.nwas.org/ej/pdf/2009-EJ11.pdf>
https://www.researchgate.net/publication/255988201_A_Multiscale_Analysis_of_the_1_June_2011_Northeast_US_Severe_Weather_Outbreak_and_Associated_Springfield_Massachusetts_Tornado
https://ams.confex.com/ams/11aram22sls/techprogram/paper_81734.htm
<https://slideplayer.com/slide/3352359/>



<https://www.slideshare.net/JeremyBuckles/bucklesresearch>

<https://ams.confex.com/ams/26SLS/webprogram/Paper220492.html>

<https://pdfs.semanticscholar.org/4060/c24075b18dceb0bbfad55d29331178a7460f.pdf>

http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/30037/meteo_2009_67_31.pdf

<https://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/JAMC-D-16-0228.1>

<https://journals.ametsoc.org/doi/10.1175/MWR-D-14-00357.1>

<https://pdfs.semanticscholar.org/a593/42fff464405f86ed3429c70e8c9f0842c8ca.pdf>

<http://www.keraunos.org/recherche-tornade-hautmont-maubeuge-mahieu-wesolek.pdf>

<https://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/1520-0434%282002%29017%3C1277%3ATIOTOT%3E2.o.CO%3B2>

<https://www.alabamawx.com/?p=28988>

<https://ams.confex.com/ams/pdfpapers/155703.pdf>

<http://www.damweather.com/2018/04/the-anatomy-of-april-15-2018-tornado-in.html>

<https://www.weather.gov/mrx/terraininfluences>

<https://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/JAMC-D-15-0225.1>

<https://core.ac.uk/download/pdf/80559400.pdf>

https://www.researchgate.net/publication/294295754_Supercell_tornadogenesis_over_complex_terrain

<https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1603/1603.00539.pdf>

http://www.meteor.iastate.edu/~ckarsten/tornado/tusc_birm/railcars.html