



LES ORAGES

Association Météo Centre

8 RUE DE VILLERS – 36250 ST MAUR

Votre contact :

Mr Renard Olivier

olivier.renard@meteo-centre.fr

06 83 85 04 87

Effrayants, fascinants, comparables à de véritables piles électriques, les orages ont toujours intrigué l'Homme... Mais comment se forment-ils ? Comment se forment les éclairs ? Comment se forme la grêle ? Quels sont les risques ?



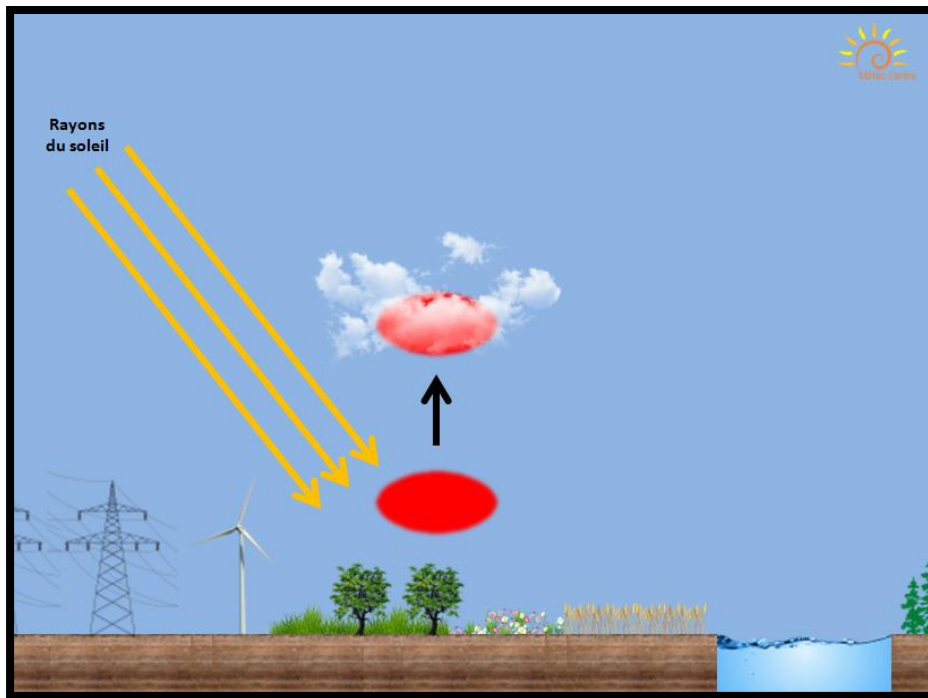
Orage près de Saint-Maur, dans l'Indre (@ Olivier Renard pour l'association Météo Centre).

Comment se forment les nuages ?

L'air qui nous entoure contient de l'eau sous forme de vapeur. En fonction de la température, on en trouve en plus ou moins grande quantité : plus la température est basse, moins il y a de vapeur d'eau et inversement, plus la température est élevée, plus l'air en contient. Lorsqu'une masse d'air chaud saturée en vapeur d'eau se refroidit, cette dernière va se condenser autour de minuscules particules de poussière : les noyaux de condensation. Ainsi, un ensemble de gouttelettes d'eau ou de cristaux de glace vont se former et rester en suspension dans l'air : un nuage apparaît alors dans le ciel.

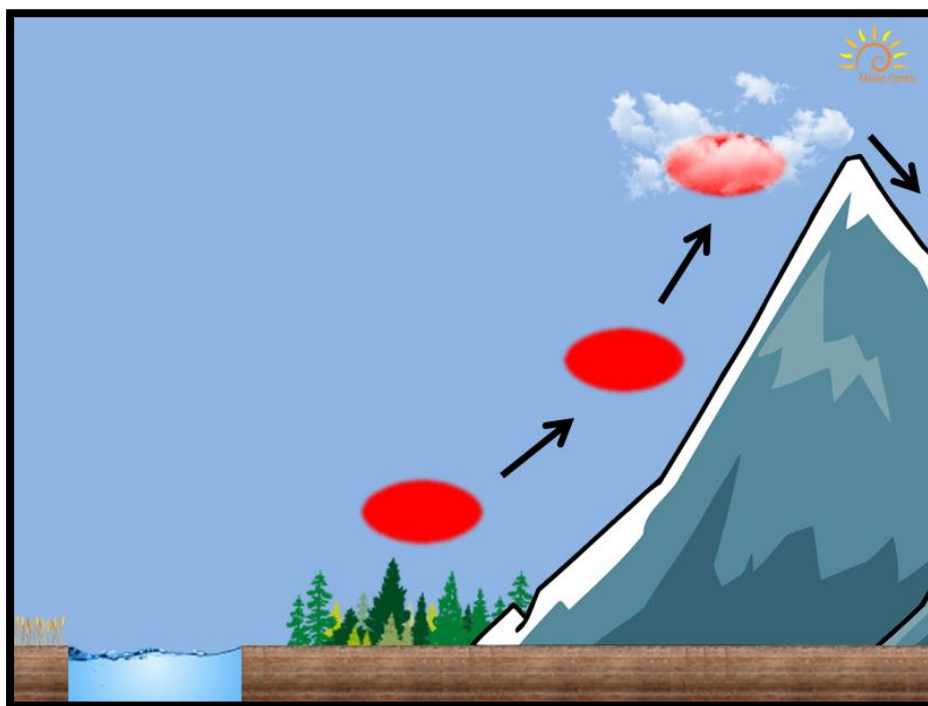
On distingue quatre types de formation de nuages (quel que soit le cas de figure, avec l'altitude la température diminue et la vapeur d'eau se condense, un nuage se forme, un cumulus) :

- 1 Le sol est chauffé par les rayons du soleil ce qui réchauffe la masse d'air. L'air ambiant autour de celle-ci est plus frais. Par conséquent, l'air chaud se dilate et la masse d'air monte, formant un nuage en se refroidissant. On appelle cela la *convection*.



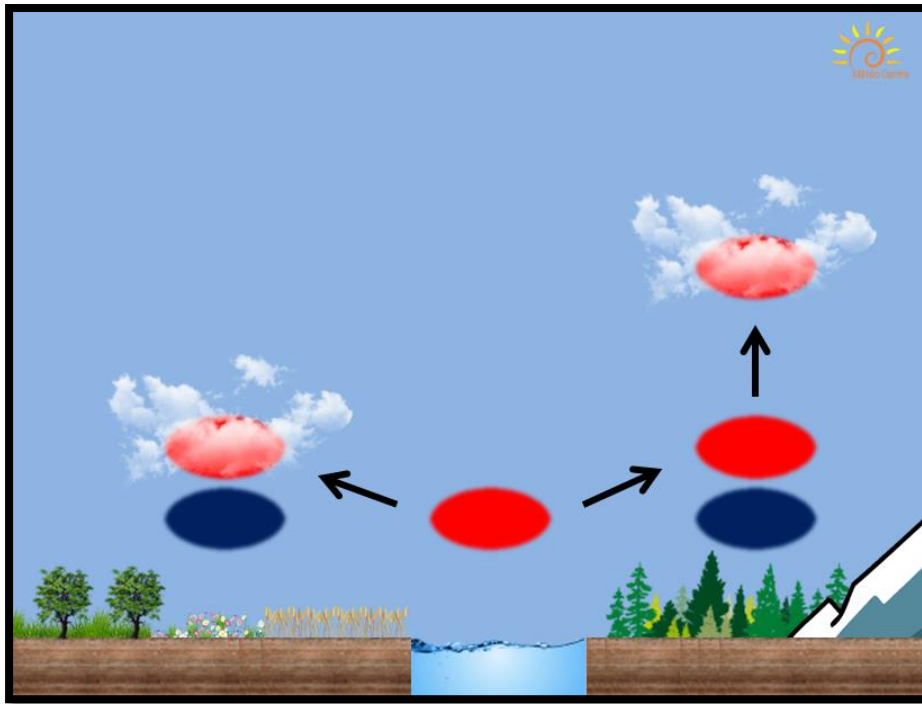
1 La convection (© Association Météo Centre)

- 2 La masse d'air chaud et humide rencontre un relief et comme elle est poussée par le vent, elle monte. On appelle cela le *soulèvement orographique*. Un nuage va alors se former sur le versant « au vent ».



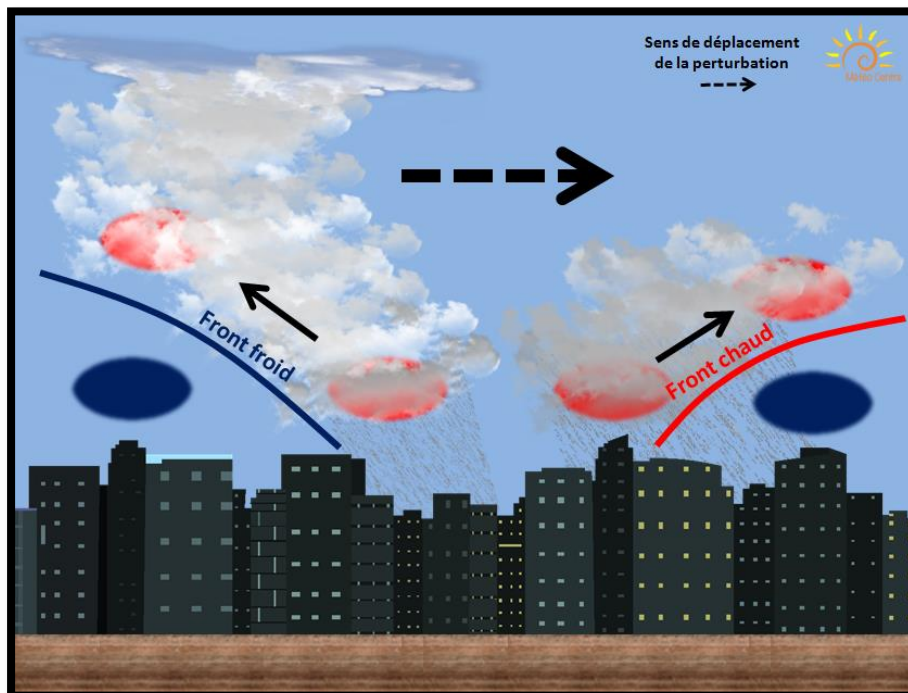
2 Le soulèvement orographique (© Association Météo Centre)

- 3 Une masse d'air froid (plus dense que la masse d'air chaud) se glisse sous la masse d'air chaud et la fait remonter (ou une masse d'air chaud circule sur une masse d'air plus froid et forme des nuages). On appelle cela le *refroidissement par la base*.



3 Le refroidissement par la base (© Association Météo Centre)

- 4 Lorsqu'une perturbation se déplace, on distingue un front chaud (la masse d'air chaud se soulève au-dessus de la masse d'air froid antérieur) et un front froid (masse d'air chaud rejetée rapidement en altitude dû à une progression rapide de la masse d'air froid postérieur). Dans les deux cas, à l'interface des deux masses d'air, des nuages se forment : c'est le *soulèvement frontal*.



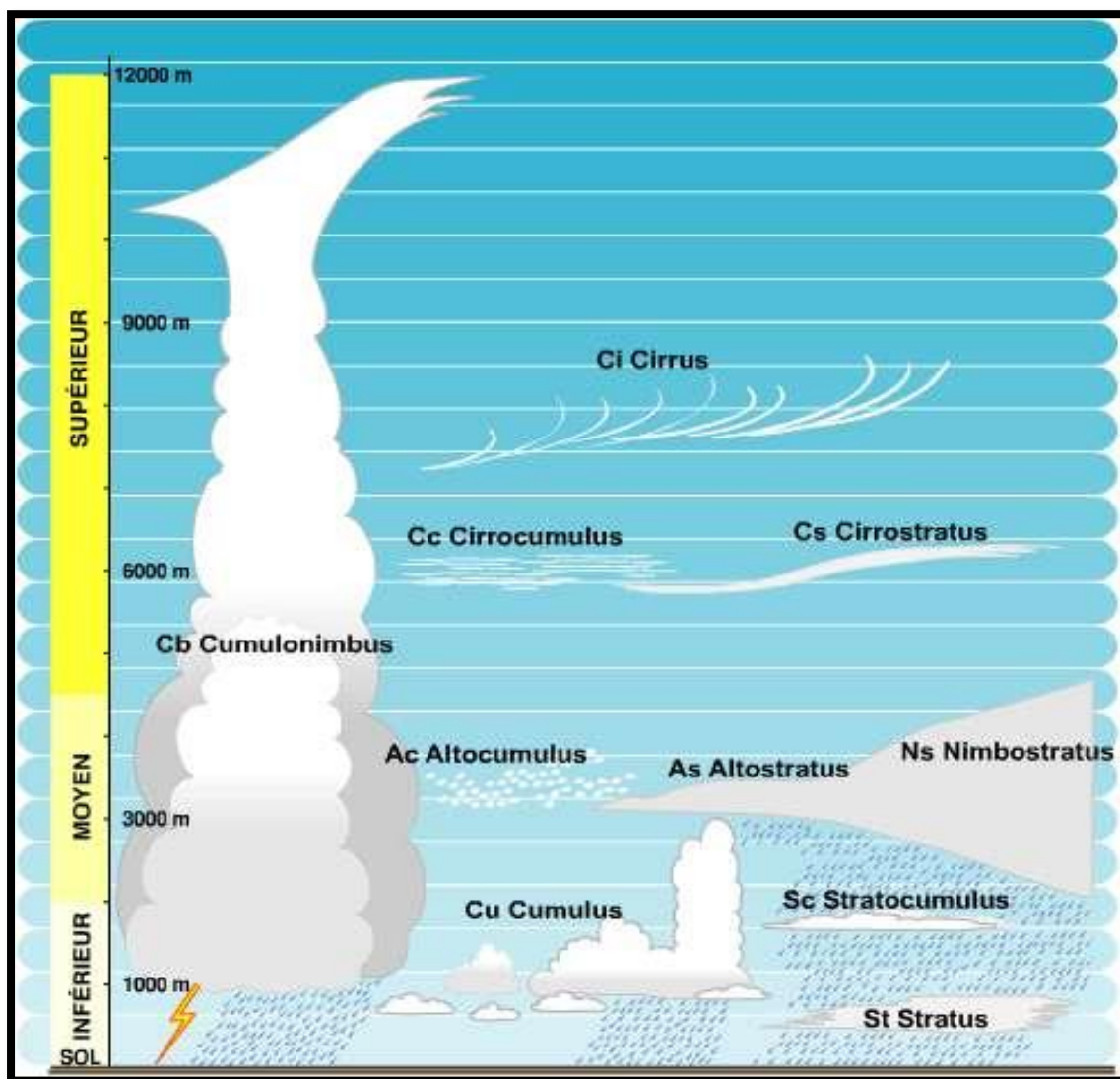
4 Le soulèvement frontal (© Association Météo Centre)

Quels sont les différents types de nuages ?

Tous les nuages se forment dans la troposphère, une zone mesurant 8 km (les pôles) à 16 km (l'Équateur) d'altitude et allant de la surface de la Terre à la tropopause. Dans cette couche de l'atmosphère, on distingue trois étages :

- étage inférieur (du sol à 2000 m d'altitude) où on trouve les stratus et stratocumulus ;
- étage moyen (de 2000 m à 5000 m) où on retrouve les altocumulus et les altostratus (nuages constitués de gouttelettes d'eau surfondues et de cristaux de glace) ;
- étage supérieur (+ de 5000 m d'altitude) où on observe les cirrus (nuages essentiellement constitués de cristaux de glace).

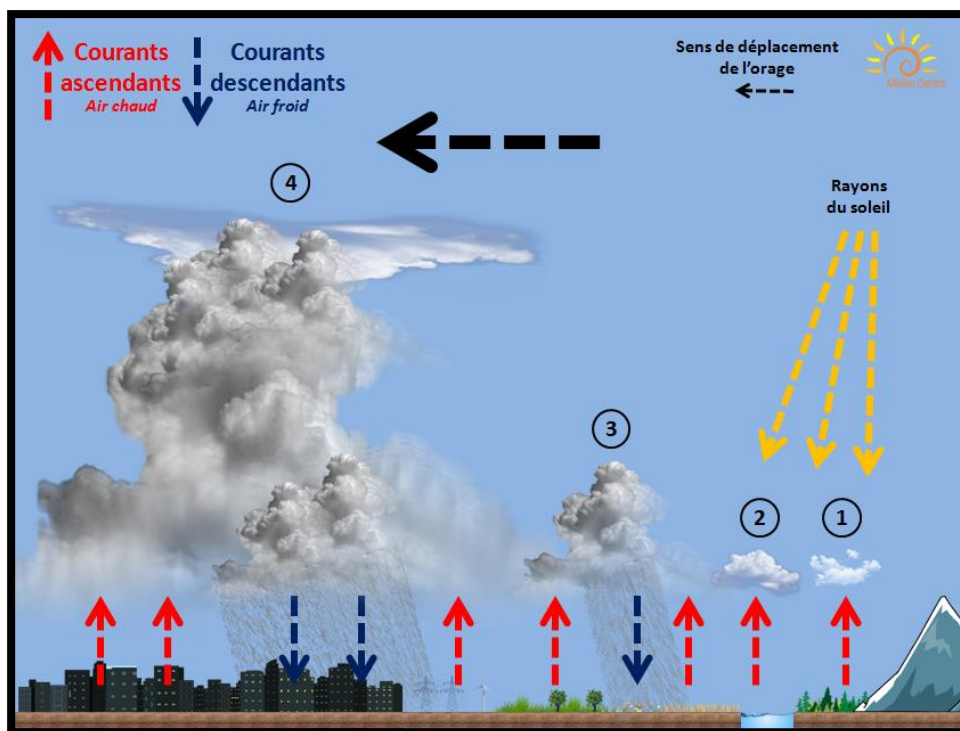
A noter que la majorité des nuages présente un développement horizontal sauf les cumulus, les cumulonimbus ou encore les nimbostratus qui présentent un développement vertical.



Les différents types de nuages (© Météo France).

Comment se forment les orages ?

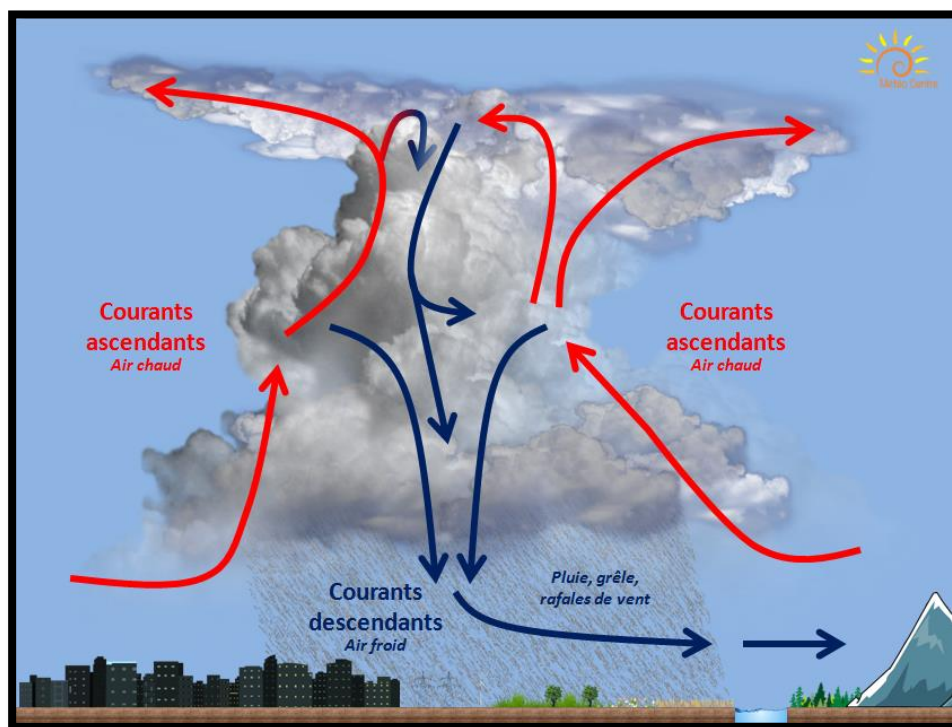
Lorsqu'un nuage va se former, l'eau va libérer de l'énergie sous forme de chaleur. Ainsi, un cumulus contenant une importante concentration d'humidité va se refroidir moins vite que l'air ambiant (1) et (2). Comme la température de la masse d'air soulevée va diminuer plus lentement avec l'altitude que l'air ambiant, le cumulus va continuer de se développer et va grandir très rapidement (3), formant un cumulonimbus (4). A environ 10 000 m d'altitude, la température de l'air ambiant se stabilise à -40°C et l'écart entre l'air ambiant et l'air du cumulonimbus diminue et finit par être nul. La tête du cumulonimbus s'étale alors, donnant à ce nuage sa forme caractéristique d'enclume (4).



Formation d'un orage (© Association Météo Centre)

Les cumulonimbus peuvent atteindre leur taille et leur intensité maximale en moins de 20 minutes et absorber jusqu'à 9000 tonnes de vapeur d'eau et 700 000 tonnes d'air chaque seconde à la surface de la Terre et précipiter jusqu'à 4000 tonnes d'eau sous forme de pluie ou de grêle.

Par définition, un orage est donc une perturbation atmosphérique plus ou moins violente, accompagnée d'éclairs, de tonnerre, de rafales de vent, de pluie et de grêle.



Fonctionnement d'un cumulonimbus (© Association Météo Centre)

Comment se forment les éclairs ?

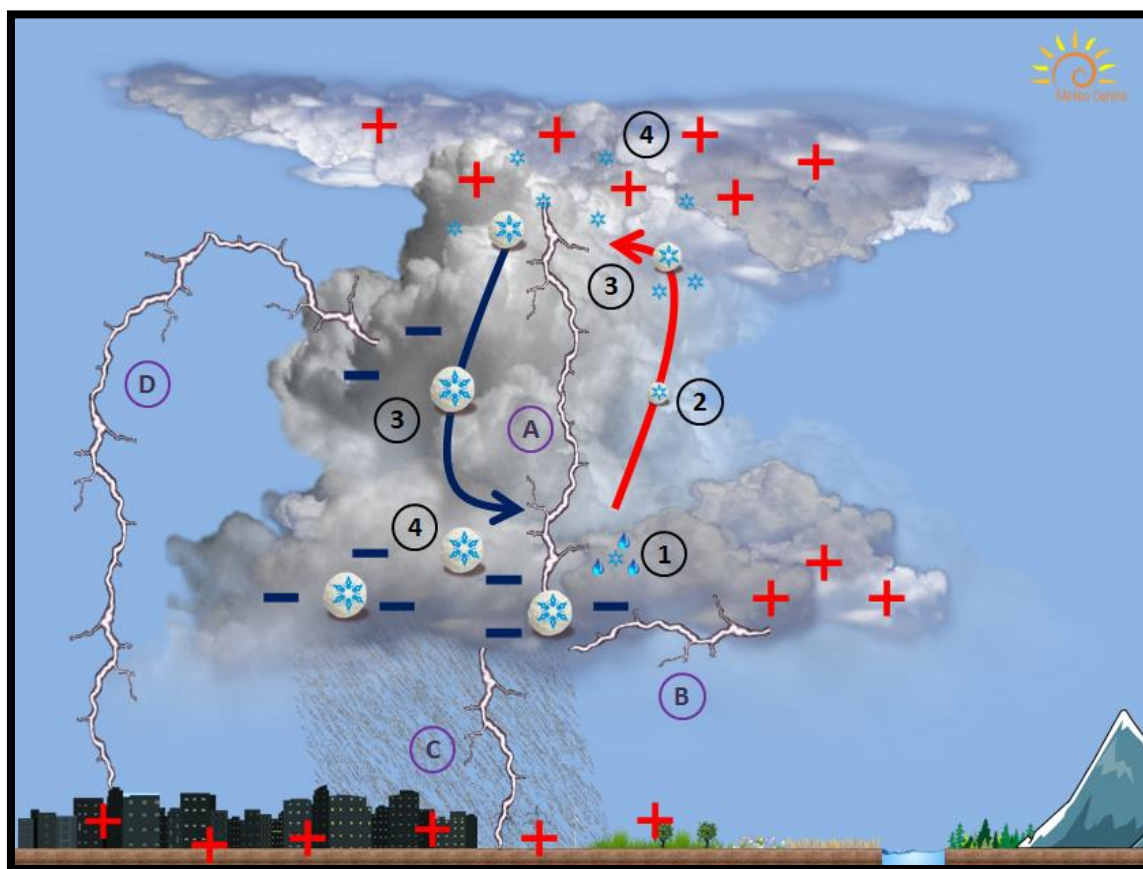
Dans un cumulonimbus, les gouttes d'eau et les cristaux de glace sont entraînés par des courants ascendants et agités dans tous les sens (1). Entre 0 et -20°C, les gouttes surfondues qui rentrent en contact avec les cristaux congèlent instantanément et forment des grains de grésil (2).

Au fur et à mesure, ces grains prennent du volume et lorsqu'ils sont devenus trop lourds, ils tombent. Dans leur chute, ils percutent d'autres grains de grésil mais aussi de simples cristaux de glace (3). Lors de ces chocs, les grains de grésil arrachent des charges électriques négatives aux cristaux, des électrons. Les grains de grésil se chargent négativement et les cristaux positivement.

Sachant que les grains de grésil tombent et que les cristaux sont eux entraînés par les courants ascendants, ainsi la base du cumulonimbus devient négative, tandis que le sommet devient positif (4). On observe alors un excès de charges négatives d'un côté et un déficit de l'autre : une véritable pile électrique !

Dans un premier temps, comme il y a une couche d'air isolante entre les deux bornes, le courant ne passe pas. Quand la différence de potentiel devient trop importante, le courant électrique commence à se frayer des passages. Depuis les deux bornes du nuage, il cherche sa route en zigzagant : des précurseurs ! Quand deux de ces derniers se rencontrent, un pont se forme. Le courant passe alors brusquement entre les deux bornes du nuage. Le passage des électrons crée alors un brusque réchauffement de l'air (jusqu'à 30000°C), ce qui provoque l'apparition de l'éclair.

Un éclair traduit donc visuellement une décharge électrique dans l'atmosphère lors d'un orage.



Les différents éclairs et formation de la grêle (© Association Météo Centre)

Quand les charges sont de même signe, elles se repoussent comme les pôles d'un aimant. Par conséquent, les charges négatives qui s'accumulent à la base du nuage vont petit à petit repousser les charges négatives présentes dans le sol. On se retrouve alors avec une différence de potentiel entre la base du nuage (-) et le sol (+). Quand elle devient trop importante, les précurseurs se frayent un chemin en partant à la fois de la base du nuage et du sol. Ces précurseurs ont tendance à se rejoindre là où le chemin est le plus court. Voilà pourquoi la foudre tombe sur les points les plus hauts le plus souvent.

Quand le courant passe, il provoque un échauffement. L'air à cet endroit se dilate. Ce phénomène génère une onde sonore qui va se déplacer jusqu'à nos oreilles et qui est à l'origine du coup de tonnerre.

La lumière se propage à 300 000 km/s. Le son lui, se propage plus lentement, soit 340 m/s environ, il met donc plus de temps à nous parvenir. Ce décalage va nous permettre de savoir à quelle distance on se trouve de l'orage. S'il met 10 s par exemple, c'est qu'il aura parcouru 10 fois 340 m, l'orage se trouve alors à 3400 m.

On distingue différents éclairs : les plus nombreux, les intra-nuageux (A) ; les inter-nuageux (B) ; la foudre ou éclair nuage-sol (C) et les extra-nuageux (D). On différencie également plusieurs catégories d'éclairs nuage-sol : les éclairs ascendants positifs ; ascendants négatifs ; descendants positifs (les plus puissants : superbolts ou mégabolts) et descendants négatifs (les plus communs : + de 90% des cas).

A noter qu'on parle d'orage à partir du moment où un éclair se produit.

Quels sont les phénomènes liés aux orages ?

➤ La grêle et le grésil

Dans un cumulonimbus, des grains de grésil vont se former. Quand ces derniers sont pris dans un courant ascendant, il monte très rapidement. Au fil de l'ascension, l'eau surfondue gèle autour de lui. Le grain de grésil se transforme alors en petit grêlon. Arrivé au sommet du nuage, il tombe et continue de grossir. Si les courants ascendants sont assez puissants, il peut remonter une nouvelle fois au sommet du nuage tout en continuant de grossir. Quand il est vraiment trop lourd, il finit par tomber sur le sol (voir schéma page précédente : « Les différents éclairs et formation de la grêle »).

Le plus gros grêlon au monde homologué par l'Organisation Mondiale de la Météorologie (OMM) mesurait 20,32 cm de diamètre. Il a été observé le 23 juillet 2010 aux États-Unis (Vivian, Dakota du Sud). Le plus lourd grêlon au monde trouvé pesait 1,9 kg. Il a été recueilli au Kazakhstan en 1959. En France, le plus gros grêlon pesait 972 g. Il a été relevé à Strasbourg, le 11 août 1958 !



Grêlons de 2 à 4 cm à Voussac, dans l'Allier, le 27 juin 2017 (© Karine Dujon)

➤ **Les microrafales et les macrorafales**

Les rafales descendantes sont de violentes rafales de vent engendrées par l'orage lui-même, lorsque les courants descendants atteignent le sol. Elles sont soit sèches, soit humides (avec précipitations). Ces dernières, en se heurtant à plusieurs obstacles difficilement franchissables, deviennent très virulentes. On parle de microrafale lorsqu'on observe un couloir impacté sur une distance inférieure à 4 km et on évoque le terme de macrorafale lorsque le couloir impacté dépasse 4 km ! On caractérise également ces rafales descendantes par la divergence des vents au sol dépendant de la composante verticale du courant, d'où le fait que les lieux exposés à ces rafales soient souvent très localisés avec d'importants dégâts, montrant des « signes d'écrasement ». On peut mesurer des rafales convectives de l'ordre de 120 à 200 km/h pour les plus virulentes (très rarement un peu plus) en France.

Rafales descendantes près de Bressolles, dans l'Allier, le 27 juin 2017 (© Nathalie Cabuzel).



➤ **Les tubas et les tornades**

Lors d'un orage, les cisaillements des vents sont parfois importants donnant lieu à la formation de tubas voire de tornades. Par définition, une tornade est un tourbillon de vents violents se manifestant sous un cumulonimbus et touchant le sol. Une tornade prend souvent la forme d'un entonnoir, le tuba étant le début d'une tornade. A noter qu'on emploie le terme de tornade uniquement lorsque le tuba touche le sol (sinon on ne parle que de tuba). Une tornade est visible grâce à la poussière, aux gouttelettes d'eau et aux débris présents dans l'entonnoir. Les débris et le nuage de poussière observés à la base de la tornade se nomme « le buisson ».



Tornade de Liniez vue depuis Levroux, dans l'Indre, le 29 mai 2013 (© Roberto Fadalti).

En France, on observe quelques dizaines de tornades par an et d'intensité généralement très faible. Elles parcourent quelques mètres à une quinzaine de kilomètres en général. Dès qu'une tornade touche l'eau, on parle de trombe marine. Les tubas sont par contre bien plus fréquents dans nos régions mais souvent inoffensifs s'ils ne touchent pas le sol. On évalue la force d'une tornade sur l'échelle Fujita améliorée (EF0 à EF5).

➤ **Les inondations**

Certains orages sont parfois très pluvieux, donnant d'importantes lames d'eau en quelques minutes et parfois plus d'un mois de pluie en quelques heures... Les orages stationnaires sont généralement synonymes d'importants cumuls de précipitations en peu de temps.

➤ **Les nuages associés aux orages**

Les orages donnent parfois de magnifiques structures nuageuses. En voici quelques-unes...

- les asperatus (nuages en forme de vagues) :



Asperatus, dans l'Indre, le 05 octobre 2017 (© Florentin Cayrouse pour l'association Météo Centre).

- les mammatus (nuages en forme de bulles ou de formes sphériques) :



Mammatus près de Crozon sur Vauvre, dans l'Indre, le 11 mai 2017 (© Léa Bretin).

- les arcus (nuages en forme de rouleau) :



Arcus, dans l'Allier, le 12 mai 2017 (@ David Bournadet pour l'association Météo Centre).

- Un nuage mur (abaissement nuageux en rotation) :



Orage supercellulaire, dans l'Indre, le 17 mai 2017 (@ Olivier Renard pour l'association Météo Centre).

Quels sont les différents types d'orage ?

On peut distinguer divers types d'orage dans le monde : les orages monoclulaires, multicellulaires et supercellulaires.

➤ Orages monoclulaires

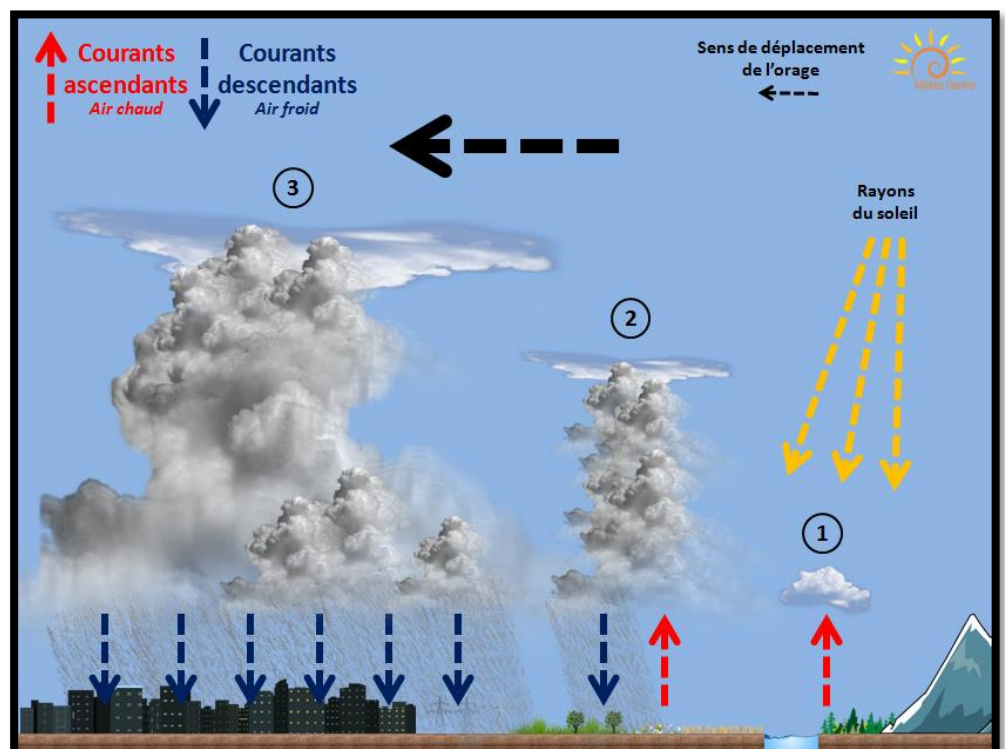
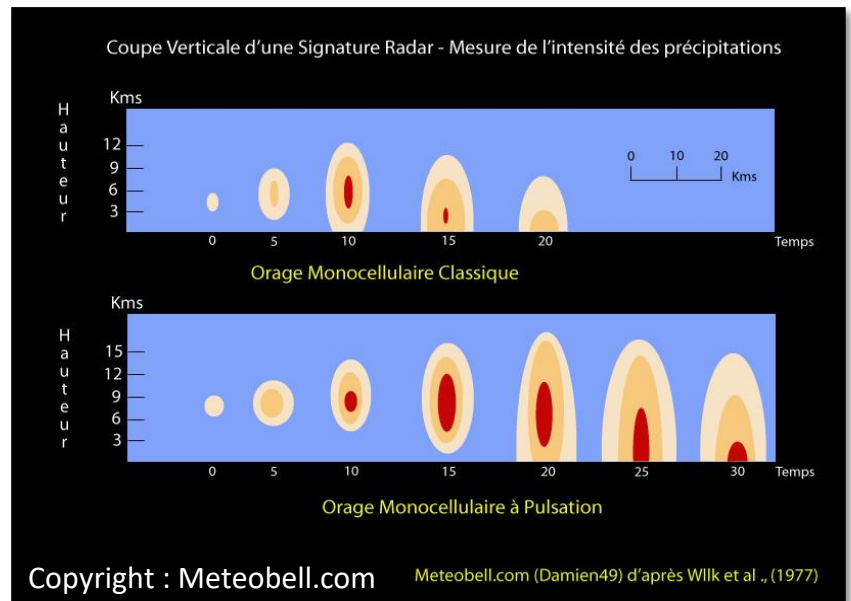
Dans les orages monoclulaires, on note deux types d'orage : les orages classiques et les orages à pulsation.

Les orages de type monoclulaire classique ou ordinaire sont des orages constitués d'une seule cellule ayant une espérance de vie courte durant trente minutes à environ une heure. Ces orages sont souvent faiblement mobiles ou stationnaires. On les retrouve le plus souvent en été près des reliefs ou encore en plaine localement après une journée très chaude. On peut aussi les observer lors des giboulées de mars par exemple dans une traîne active (orages de masse d'air froid). Ils se forment aussi vite qu'ils se dissipent. On observe 3 phases :

-1: phase de croissance : le cumulus se développe en hauteur avec des courants ascendants ;

-2: phase de maturité : le cumulus devient un cumulonimbus avec des courants descendants (premières précipitations).

-3: phase de dissipation : l'orage n'est plus alimenté en air chaud à cause du refroidissement qui s'opère avec les précipitations, l'orage va petit à petit se dissiper.



Succession des phases lors d'un orage monoclulaire
(© Association Météo Centre).

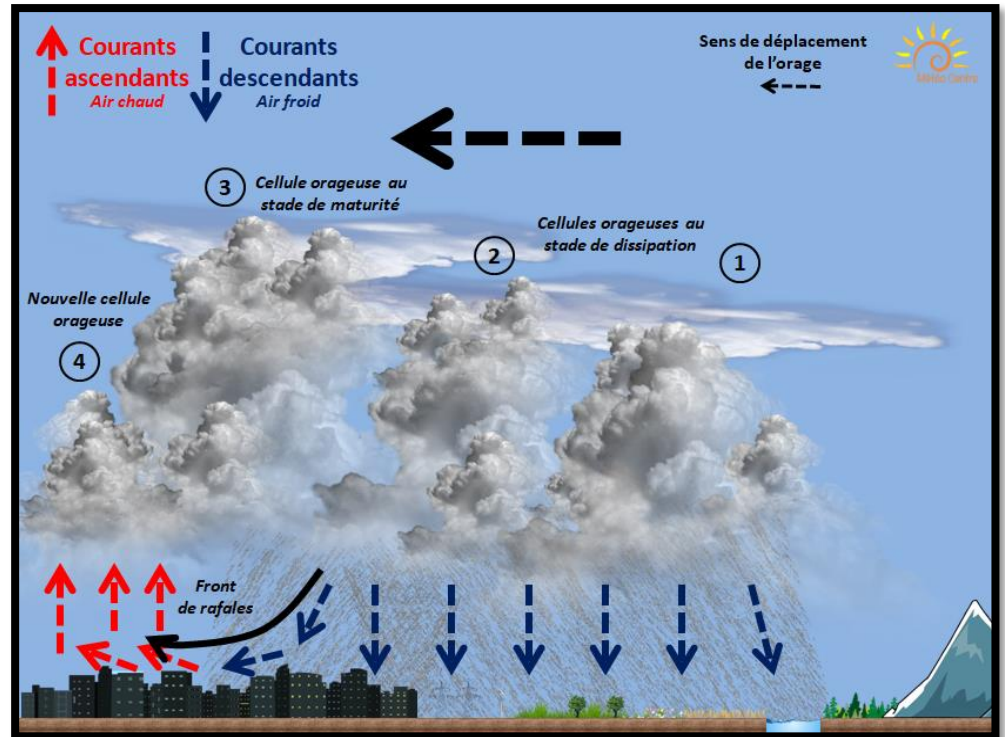
Les orages de type monocellulaire à pulsation sont des orages ayant une espérance de vie courte mais moins brève qu'un orage monocellulaire classique. Ils peuvent être parfois violents avec de fortes rafales de vent, des lames d'eau importantes et de la grêle. Ces orages se forment lorsqu'il y a une forte instabilité et très peu de vent. On observe une seule poussée convective avec de violents courants ascendants alimentant très rapidement l'orage avec un bouillonnement convectif important. La zone de formation des précipitations est plus élevée qu'un orage monocellulaire classique. Lors de la phase de dissipation, il peut donner de violents courants descendants (downburst = rafales de vent virulentes).



Exemples d'orages monocellulaires, dans l'Indre, en juillet 2014 et mars 2017 (@ Florentin Cayrouse).

➤ Orages multicellulaires

Les orages multicellulaires sont un ensemble d'orages interagissant entre eux à divers stades de maturité. Au départ, on observe plusieurs cellules orageuses éloignées les unes des autres de quelques kilomètres. Suite à une forte convection, toutes ces cellules orageuses ne vont plus former qu'un amas nuageux convectif. On observe alors plusieurs orages au sein de cet amas à différents stades de maturité (voir schéma d'un orage multicellulaire). Une instabilité élevée et un important cisaillement des vents sont les facteurs principaux pour générer des orages multicellulaires.



Succession des phases lors d'orages multicellulaires
(© Association Météo Centre).

Au cœur de cet amas orageux, le courant descendant (air froid) doit être assez fort pour soulever la masse d'air chaud présente à l'avant de la dégradation et près du sol. Grâce à ce système, on a alors un cycle : une alimentation permanente et une formation incessante de nouvelles cellules orageuses avec une direction précise. Cependant, si l'instabilité et les cisaillements des vents sont trop faibles, les orages ne parviendront pas à s'organiser en amas orageux et on aura une dégradation très désorganisée sans direction très précise.

L'intensité des orages multicellulaires est la plupart du temps plus forte que celle des orages monocellulaires avec une durée plus longue et des phénomènes météorologiques parfois destructeurs (grêle, fortes rafales de vent, inondations). Quelques fois, les orages monocellulaires peuvent être bien plus virulents que des orages multicellulaires.

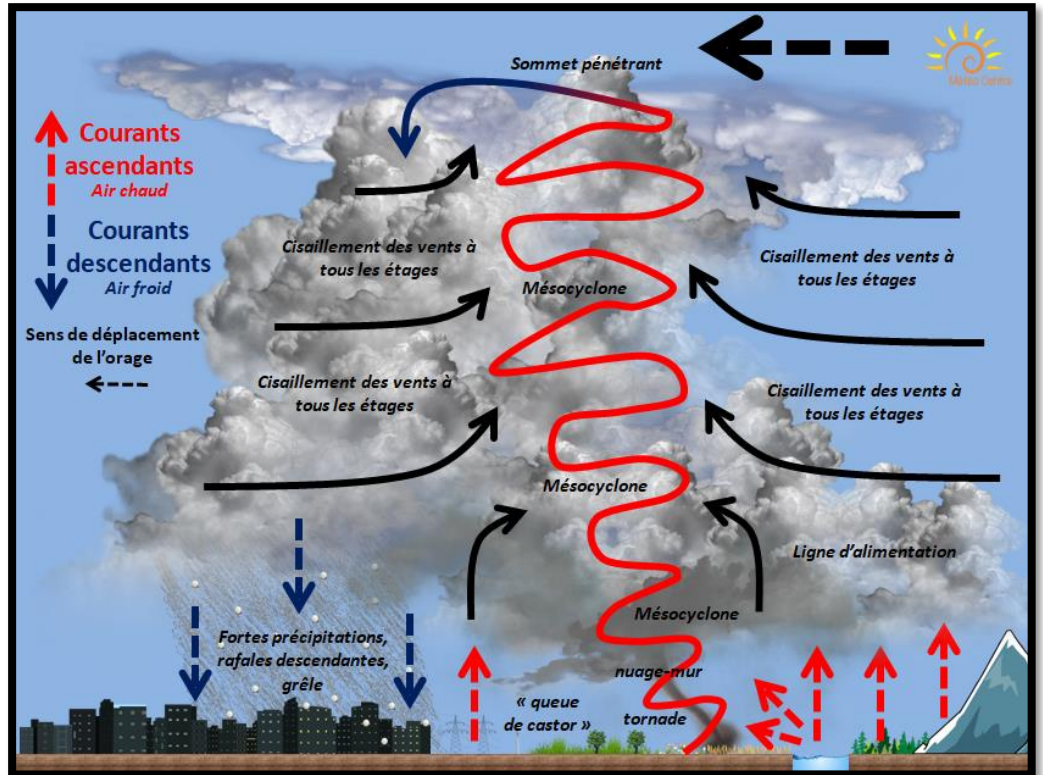
On distingue donc deux principaux types d'orage multicellulaire appelés aussi « les Clusters » :

- Formation par propagation : lorsqu'un orage arrive à maturité, on observe un courant ascendant et un courant descendant. Ce dernier va créer un front de rafales qui va soulever l'air chaud près du sol. Quand les cisaillements des vents sont bien présents, les précipitations présentes dans le courant descendant vont s'écarter de l'emplacement initial de la cellule. La présence d'une forte humidité et d'une importante instabilité va permettre la formation d'une nouvelle cellule orageuse ;
- Fusion des cellules orageuses entre elles : dégradation très désorganisée avec des cisaillements des vents trop faibles.

➤ Orages supercellulaires

Un orage supercellulaire est composé d'une seule cellule orageuse tout comme l'orage monocellulaire. Cependant, les cisaillements des vents sont très importants (assez virulents et dans plusieurs directions) permettant la mise en place d'une rotation et l'apparition d'un mésocyclone (zone de rotation au sein d'un orage), caractéristique des supercellules. En général, les orages supercellulaires sont souvent virulents (grêle, vents violents, possibles tornade(s)) et peuvent durer plusieurs heures.

Dans un orage supercellulaire, si on observe une importante rotation sur une grande partie de la colonne d'alimentation, le risque de tornade est alors très élevé. Sur les échos radar, on peut facilement repérer une supercellule par sa trajectoire (déviation par rapport au flux dominant), sa forme en crochet, sa longévité, des précipitations intenses et généralement un sommet pénétrant (cumulonimbus atteignant la tropopause). Quand une



Structure d'un orage supercellulaire classique (© Association Météo Centre).

cellule dévie vers la droite du flux principal, on dit qu'elle est moteur droit et si elle dévie vers la gauche, on dit qu'elle est moteur gauche. A noter que quand un orage se scinde en deux parties, on appelle cela un « Splitting Storm », un « orage dédoublé ».

On distingue quatre sous-types de supercellules :

- les supercellules classiques : précipitations intenses, fortes rafales de vent, risque de grêle, très propice à la formation d'une tornade, peu visible sur le terrain et reconnaissable sur le radar par son écho en crochet et par la présence des précipitations au Nord / Nord-Ouest et d'un mésocyclone au Sud/Sud Est de la cellule) ;
- les supercellules HP (High Precipitations) : précipitations très intenses, risque de grêle, inondations, possible tornade (cachée par le rideau de précipitations), crue subite/crue éclair, très fortes rafales de vent (microrafales ou macrorafales possibles), peu visible sur le terrain et reconnaissable sur le radar quelques fois ;
- les supercellules LP (Low Precipitations) : peu de précipitations, possible tornade, risque de grêle (gros grêlons), facilement visible sur le terrain (très esthétique) et difficilement reconnaissable sur le radar ;
- les supercellules LT (Low Topped) : très petite supercellule se formant dans un contexte météorologique peu favorable à sa formation, précipitations intenses, possible tornade, possible grêle.

Dans tous les cas, le risque de tornade reste présent avec la présence d'un mésocyclone et d'un nuage-mur (abaissement nuageux rotatif à la base du nuage). La ligne d'alimentation est également bien visible la plupart du temps sur le terrain tout comme la « queue de castor » (ligne nuageuse à l'avant des courants descendants). La rotation de la cellule orageuse trahit souvent la présence d'un mésocyclone à l'intérieur de l'orage.



Exemple d'orage supercellulaire LP, dans l'Indre, en mai 2017 (© Florentin Cayrouse).

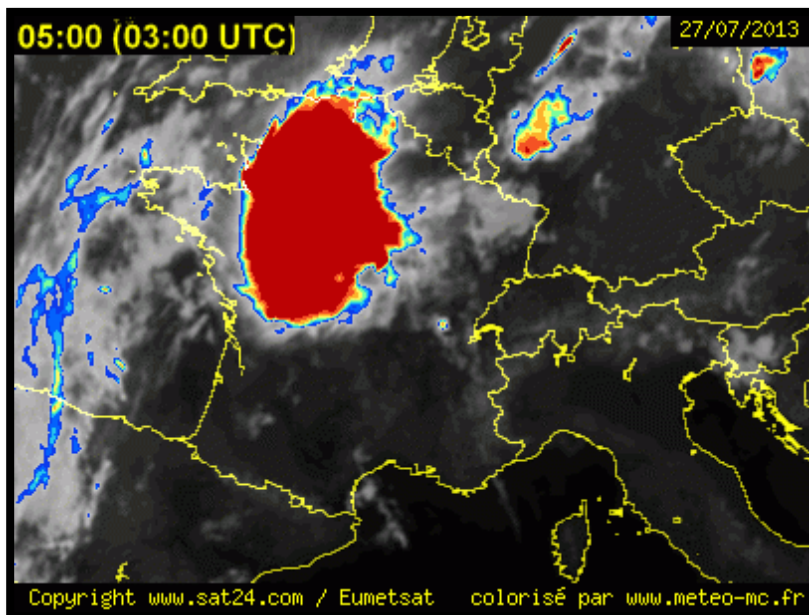
➤ **Autres**

Voici quelques autres organisations convectives :

- les lignes de grains :

- ligne de grains classique : ligne orageuse très active sur une grande distance (d'une dizaine de kilomètres à plusieurs centaines de kilomètres) ;
- un écho en arc (bow echo) : ligne orageuse plus intense que la classique présentant une forme courbée (la partie centrale avance plus vite que les extrémités) ;
- LEWP (Line Echo Wave Pattern) : ligne orageuse ondulante (comme une vague) encore plus forte que celle en arc et souvent très venteuse et pouvant être accompagnée de violents phénomènes tourbillonnaires. Une des extrémités de la ligne orageuse avance plus vite que le reste de la ligne ;
- un derecho : ligne orageuse très venteuse, très rapide, très intense et la plus destructrice produit par un système convectif de méso-échelle répondant à des critères bien précis selon Fujita, Wakimoto, Johns et Hirt (rafales descendantes et/ou convectives avec des rafales de vent supérieures à 90 km/h sur une grande zone, pas d'interruption de plus de trois heures entre deux rafales de vent supérieures à 90 km/h, au moins trois rafales de vent d'au moins 120 km/h sur la zone touchée et espacées de 64 km les unes des autres, une zone / une diagonale d'au moins 400 km où on observe des dégâts). Les derechos restent relativement rares car tous ces critères sont très précis et souvent peu réunis. On trouve généralement des structures de type bow echo et LEWP dans les derechos.

- les systèmes convectifs de méso-échelle (MCS) : une organisation d'orages multicellulaires (et quelques fois supercellulaires) couvrant un important territoire (extension horizontale d'au moins 100 km).
- les complexes convectifs de méso-échelle (MCC) : un système convectif de méso-échelle de grande ampleur répondant à des critères bien précis selon Maddox (organisation couvrant au minimum 100 000 km² dont la température des sommets nuageux est inférieure à -32°C, au minimum 50 000 km² dont la température des sommets nuageux est inférieure à -52°C, une durée de vie d'au moins 6h et une excentricité supérieure à 0.7 (rapport entre petit axe/grand axe ou petite diagonale/grande diagonale)). On peut retrouver des structures de type LEWP par exemple dans cet ensemble orageux.

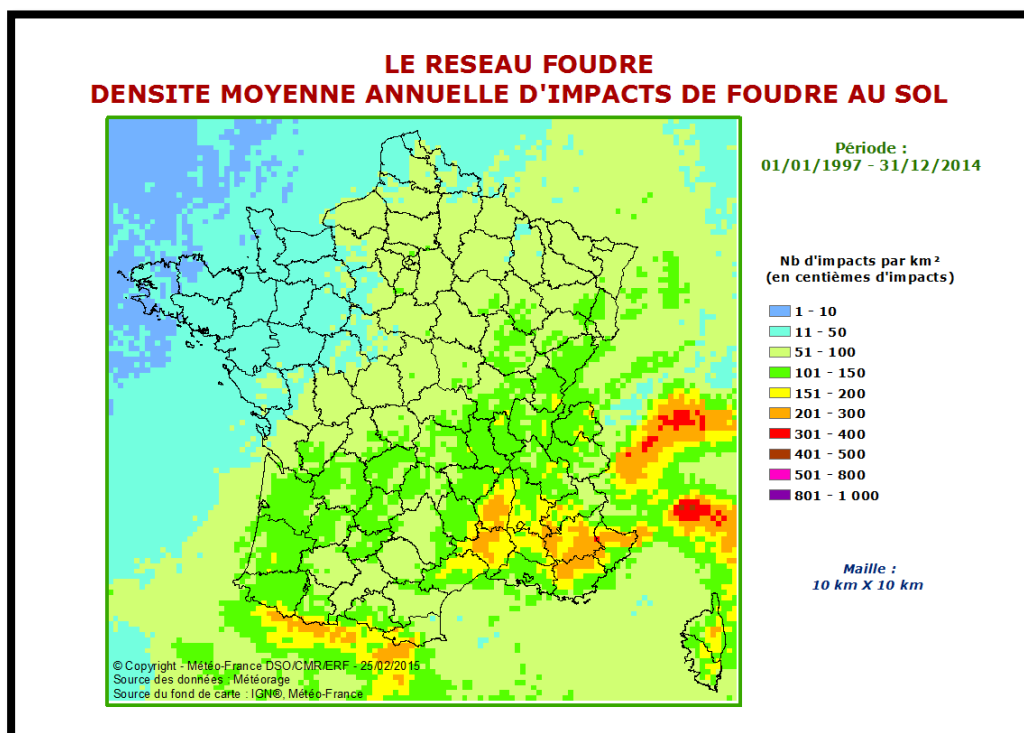


Exemple de MCC sur un quart Nord-Ouest de la France, le 27 juillet 2013
(© Image SAT24/Eumetsat, Météo Massif central / Auvergne).

Où se produisent les orages en France et sur les Régions Centre-Val de Loire et Centrales ?

En général, on retrouve les orages sur des zones bien spécifiques, là où les conditions sont réunies pour qu'ils se forment : en montagne (l'air chaud monte contre la pente) et en été (le soleil chauffe le sol très facilement).

Sur nos régions Centre Val de Loire et Centrales, le Sud-Est est la zone où il y a le plus d'orages (de l'Allier au Morvan) et à l'inverse, le Nord-Ouest est moins touché (de la Touraine au Perche, mais aussi en Sologne).



Carte du nombre moyen d'impacts de foudre au sol par km²/an, de 1997 à 2014 (© Météo-France).

Comment prévoit-on les orages ?

Les orages restent généralement difficiles à prévoir : il faut que plusieurs facteurs soient réunis pour favoriser la convection et la formation de cellules orageuses (température, humidité, type de sol, relief, indices d'instabilité, cisaillements des vents, vents en altitude et en basses couches, etc.).

D'autre part, ils touchent des zones bien précises et souvent localisées rendant la prévision complexe. Ainsi, pour mieux anticiper le risque orageux, les météorologues et passionnés de météorologie utilisent des radiosondages et/ou modèles météo qui permettent de mieux cerner les zones éventuellement touchées comme Arôme, Swiss 4*4, Euro 4 ou encore WRF. Ces derniers présentent des mailles plus ou moins fines qui prennent en compte la nature des sols et le relief (améliorant la prévision). Après analyse des modèles, nous émettons éventuellement un risque (une probabilité) et une carte de vigilance (www.meteo-centre.fr/vigilances.php). Par la suite, nous suivons l'évolution de la situation en direct pour mieux vous informer.

Quels sont les risques lors d'un orage ?

Lors d'un orage, voici quelques conseils :



Les précautions à prendre lors d'un orage (© Association Météo Centre).

➤ **Pour plus d'informations sur les orages, nous invitons à consulter les liens suivants :**

- [Météo France](#),
- [Keraunos](#), observatoire français des tornades et orages violents en France ;
- [MétéoBell](#),
- [Belgorage](#),
- [C'est pas sorcier, les « orages »](#).