

Notions de climatologie et météorologie de la **Tornado Alley**

Dossier réalisé par :

Jean-Yves Frique
Membre cofondateur de Belgorage

et

Robert Vilmos
Membre responsable de Belgorage

Relecture et mise en page réalisée par :

Michael Baillie
Membre cofondateur de Belgorage

A. Introduction



Crédit photo : **Samina Verhoeven – Belgorage**

1. Éléments de géographie

La Tornado Alley est la région des États-Unis où le risque de tornades est statistiquement le plus élevé. Ce qui ne veut pas dire, évidemment, que des tornades ne se produisent que dans cette zone, mais la fréquence du phénomène y est telle que l'utilisation du terme « Tornado Alley » n'est certainement pas abusive.

Il s'agit en fait d'une région immense, qui traverse tout le centre des États-Unis du Minnesota au Texas.



Source de la carte : Larousse

La Tornado Alley inclut la partie centrale et méridionale des Grandes Plaines américaines, et déborde quelque peu sur le Midwest, plus précisément sur les bassins du Mississippi et du Missouri.

La région est plutôt plate. En allant vers l'Ouest, la plaine ne se transforme que très progressivement en haut plateau. Le voyageur ne se rend absolument pas compte de la différence d'altitude qui existe entre la partie orientale (300 à 400 mètres) et la partie occidentale (plus de 1500 mètres) des Grandes Plaines.

Nous trouvons également quelques régions plus accidentées, comme les Monts Ouachita et les Ozarks, mais qui ne font plus vraiment partie de la Tornado Alley. Elles se trouvent à l'est de celle-ci alors que les Montagnes Rocheuses se trouvent à l'ouest.

Ci-dessous, une illustration des plaines, parfois (très) faiblement ondulées.



Crédit photo : **Samina Verhoeven – Belgorage**

Les États affectés par un grand nombre de tornades sont les suivants :

- Le Dakota du Sud (surtout dans sa partie sud-est)
- Le Minnesota (surtout dans sa partie sud-ouest)
- Le Nebraska
- Le Colorado (surtout dans sa partie est)
- Le Kansas
- L'Oklahoma
- Le Texas (surtout dans sa partie nord)

Quelques États comme le Missouri et l'Arkansas, pourtant situés en dehors de la Tornado Alley proprement dite, sont eux aussi souvent confrontés au phénomène. D'ailleurs les limites même de la Tornado Alley prêtent encore à discussion et peuvent varier selon les sources.

Une autre région à forte fréquence tornadique est la Dixie Alley, incluant entre autres l'Arkansas, le Mississippi et la Louisiane. En termes de victimes, la Dixie Alley peut même être considérée comme pire que la Tornado Alley, mais ceci est principalement dû à une densité de population plus élevée, une plus grande part de tornades nocturnes, surprenant les gens dans leur sommeil, et un contexte climatique différent, bien plus humide, rendant souvent les tornades invisibles en raison des fortes précipitations qui les entourent.

Dans le présent ouvrage, nous allons essentiellement nous intéresser à la Tornado Alley.

2. Climatologie générale

La Tornado Alley dans son ensemble connaît un climat continental marqué, avec des écarts supérieurs à 25°C entre le mois le plus froid et le mois le plus chaud. Localement, cet écart atteint même 30°C. Le nord connaît des hivers très rigoureux, dignes du Canada, tandis que le sud n'est pas vraiment épargné non plus par les rigueurs de l'hiver.

Prenons l'exemple d'Oklahoma City : située à 35° de latitude Nord et à un petit 400 mètres d'altitude, cette ville connaît encore régulièrement le gel, tandis que Wichita (Kansas), à quelques 37° de latitude Nord et une altitude d'environ 400 mètres, connaît une moyenne globale de températures inférieure à 0°C en janvier. L'été en revanche, il fait chaud partout avec des températures moyennes, en journée, qui dépassent les 30°C dans pratiquement toute la Tornado Alley. En Oklahoma et au sud-est du Kansas, la chaleur devient étouffante avec 34°C en journée et des taux d'humidité excessivement élevés.

Il convient de noter, cependant, que les moyennes de température, à elles seules, ne disent pas grand-chose sur le climat réel des Grandes Plaines qui change tout le temps, parfois d'un jour à l'autre. Si l'on examine les valeurs d'Oklahoma City par exemple, on constate que la température en janvier, dans un contexte d'air polaire, peut aisément chuter en dessous de -20°C, alors que quelques jours plus tard, il suffira d'une remontée d'air en provenance du Golfe du Mexique ou des déserts du Sud-ouest pour qu'il se mette à faire plus de 25°C en plein hiver. Ainsi, dans le premier cas, l'air sera sec et le ciel parfaitement serein, tandis que dans le second, l'air sera moite et le ciel, nuageux.

En juillet et août, on observe cette même variabilité. Toujours à Oklahoma City, il arrive que la température atteigne voire dépasse les 40°C pendant des jours et des jours, puis brusquement, lors d'une descente d'air polaire, il nous sera donné de vivre d'agréables 25°C sous un ciel tout aussi ensoleillé. Et bien entendu, ce qui est vrai pour Oklahoma City l'est aussi pour le reste de la Tornado Alley, nonobstant une tendance plus froide au Nord qu'au Sud et une tendance plus sèche à l'Ouest qu'à l'Est. Enfin, pour toute la région, c'est au printemps qu'on observe les contrastes les plus marqués. Nous y reviendrons.

3. Les masses d'air en présence

La géographie de la Tornado Alley simplifie notablement sa météorologie par comparaison à celle de l'Europe, qui est très accidentée avec des rivages très découpés. Dans la région centrale des États-Unis, nous avons généralement affaire à trois masses d'air qui s'affrontent régulièrement :

- l'air tropical maritime
- l'air tropical continental (désertique)
- l'air polaire continental

Avant de pousser plus loin notre étude des phénomènes météorologiques susceptibles d'être rencontrés dans ces régions, nous allons d'abord analyser dans le détail ces trois masses d'air et leur transformation sur les Grandes Plaines.

a. L'air tropical maritime

Dans la région centrale des États-Unis, l'air tropical maritime provient toujours du Golfe du Mexique, lequel constitue à peu de choses près un véritable milieu tropical. Seule la partie nord du Golfe connaît des conditions un peu plus fraîches en hiver, avec des températures un brin trop basses pour faire de cette région une zone tropicale à part entière.

La masse d'air située au-dessus de ces eaux a le temps de s'élaborer lentement, au fil des saisons. En altitude, les températures suivent assez bien ce rythme, et garantissent de ce fait une certaine continuité dans la décroissance de la température avec l'altitude. À quelques petites inversions sporadiques près, la décroissance est même souvent proche de celle de l'atmosphère standard, avec une diminution de 6 à 7°C tous les 1000 mètres.

Nous pouvons donc parler d'une instabilité conditionnelle presque constante, avec comme conséquence la présence presque constante de cumulus au-dessus de la mer, de jour comme de nuit. Ceux-ci relèvent le plus souvent des espèces fractus, humilis ou mediocris, dans le cadre d'un temps très lumineux en journée. Il s'en trouve toujours quelques-uns, cependant, pour réussir à évoluer en cumulonimbus, entraînant les typiques averses tropicales.



Source : [Wikipedia](#)

De temps à autre, un accident thermique (réchauffement additionnel sur des îles ou des eaux moins profondes) ou dynamique (perturbation dans la circulation intertropicale) permet la formation de zones ou de lignes de convergence, avec un risque d'orages et de précipitations très intenses, notamment en raison de la tropopause très élevée dans ces régions.

Au-dessus des eaux tropicales, les averses peuvent se produire à n'importe quel moment de la journée et de la nuit, en raison de l'absence de variations thermiques diurnes (sauf près des îles). Il existe même un petit maximum tôt le matin, dû à un léger refroidissement du sommet de la tropopause en fin de nuit, lequel augmente l'instabilité. Ce refroidissement du sommet de la tropopause est présent ailleurs dans le monde aussi, mais là, il est le plus souvent largement masqué par les variations diurnes de la température dans les basses couches.

Ces variations diurnes affectent aussi l'air du Golfe du Mexique, dès qu'il arrive sur le continent américain. À quelques dizaines de kilomètres à l'intérieur des terres déjà, la convection principale ne s'opère plus le matin, mais durant l'après-midi et en début de soirée, au moment le plus chaud de la journée.

Sur les Grandes Plaines, cet air tropical maritime se continentalise encore un peu plus tout en maintenant sa grande humidité. La convection, à présent, garde son rythme et continue d'atteindre son maximum en après-midi ou en soirée. Nous détaillerons tout cela lorsque nous étudierons le conflit des masses d'air pendant la saison des tornades, c'est-à-dire à la fin du printemps et au début de l'été.

b. L'air tropical continental désertique

Cette masse d'air se forme sur les grandes zones arides du sud-ouest des États-Unis, englobant entre autres l'Arizona, le Nouveau Mexique et une partie du Texas. Ces zones désertiques ou semi-désertiques se caractérisent par le fait qu'elles se situent à des altitudes souvent largement supérieures à 1000 mètres.

Il s'agit donc de hauts plateaux surchauffés en été avec des températures pouvant dépasser les 40°C malgré l'altitude. En hiver, ces déserts deviennent frais voire froids, mais il s'agit alors généralement d'un refroidissement pelliculaire de l'air en contact avec le sol. Les couches moyennes et élevées de l'atmosphère, influencées par les anticyclones chauds subtropicaux, tendent à rester assez chaudes même en hiver.



Source : **Wikipedia**

Cette configuration géographique fait en sorte que l'air désertique, une fois en déplacement vers les Grandes Plaines, reste chaud surtout dans les couches moyennes. Dans les basses couches, ces courants chauds ont souvent du mal à s'imposer. L'air tropical maritime, qui s'y trouve souvent, est un brin plus frais, et tend à former des inversions thermiques coriaces, même en été.

Mais si la turbulence et le vent sont suffisants pour assurer un bon brassage de l'air, la température peut alors s'envoler dans toute la Tornado Alley, avec 40°C voire 45°C en été et encore 25°C ou plus en plein hiver. Ceci sera également analysé en détail dans le cadre de la saison des tornades.

c. L'air polaire continental

Les caractéristiques de l'air polaire continental peuvent fort varier en fonction de l'origine, du déplacement et de la latitude où cet air finit par se retrouver. Mais le plus souvent, l'air polaire continental engendre de gros contrastes par rapport à l'air tropical, tant maritime que désertique.

En hiver, le grand gel arrive jusque très loin dans le Sud, où il peut imposer des conditions parfaitement hivernales jusque sur les rives du Golfe du Mexique. D'habitude, l'air polaire continental est sec mais parfois, des perturbations parviennent à s'infiltrer dans ces courants ou bien à se former à l'endroit où l'air polaire rencontre l'air plus chaud. Dans ces cas, le risque devient grand de voir de véritables blizzards s'abattre sur une grande partie du territoire américain.

La ville de Tulsa (Oklahoma) par exemple, située à 36° de latitude nord et à 200 mètres d'altitude seulement, n'est pas du tout épargnée par ces blizzards, comme le montre la photo ci-dessous.



Source : **Wikipedia**

En été par contre, le réchauffement intense du continent compense largement l'origine froide de la masse d'air, et le temps est alors très agréable, avec des températures de 20 à 25°C et un ciel (parfois) garni de cumulus de beau temps. Mais si le ciel est très nuageux et surtout si le temps est en outre pluvieux, la température peut rester étonnamment basse.

4. Caractéristiques de la saison des tornades

Les tornades et les orages violents résultent la plupart du temps de la rencontre des masses d'air que nous venons de décrire. Précisons que la délimitation saisonnière de ces phénomènes, à l'instar de la délimitation géographique, n'a rien d'absolu mais relève juste de tendances qui ressortent des moyennes à long terme. Les phénomènes sont toutefois suffisamment récurrents pour que la notion de « saison des tornades » trouve bien sa place dans ce contexte.

À présent, nous allons nous intéresser plus particulièrement au cœur de la Tornado Alley, qui se situe non pas au milieu de la zone mais aux endroits où les tornades sont les plus fréquentes. Là aussi, les différentes sources peuvent diverger selon que l'on inclut toutes les tornades ou seulement celles qui dépassent un certain seuil en intensité. Ainsi, certaines statistiques ne prennent en compte, par exemple, que les tornades à partir de l'intensité F3.

Quoiqu'il en soit, il ne serait sûrement pas faux de dire que les zones qui présentent le plus de risques sont l'Oklahoma et certaines parties du Kansas et du Texas. Dans une moindre mesure, on peut encore y ajouter certaines portions du Nebraska et du Colorado. Cela revient à dire que nous nous occuperons principalement du centre-sud des Grandes Plaines, une région où la saison des tornades concerne la fin du printemps et le début de l'été, avec un pic entre la mi-mai et la mi-juin.

Pour bien comprendre ce qui se passe à ce moment-là dans la région qui nous intéresse, nous allons revenir à nos trois masses d'air et en étudier les caractéristiques telles qu'elles se présentent à cette époque de l'année.

a. L'air tropical maritime

Nous avons vu que les caractéristiques de cette masse d'air sont déterminées par les eaux du Golfe du Mexique. Celles-ci ont en moyenne des températures de 23°C à la fin de l'hiver et de 30°C à la fin de l'été (lieu de référence : Key West). À la charnière des mois de mai et de juin, cette eau se trouve à une température de 28°C.

Cette période, qui correspond au début de la saison des tornades dans la partie de la Tornado Alley qui nous intéresse, correspond aussi au début de la saison des pluies sur le Golfe du Mexique. Même s'il n'y a pas de véritable saison sèche, le mois de mai marque une nette recrudescence de la convection.

La constance des températures au-dessus des eaux tropicales, au sein d'une saison donnée, se retrouve aussi en altitude, constance aisément vérifiable sur les sondages atmosphériques effectués à Key West. Dans les basses couches, la température de l'air, proche de celle de l'eau, se situe vers les 28-29°C. À 850 hPa (vers 1550 mètres), nous trouvons souvent des températures à 17 ou 18°C, et des valeurs de 8 à 10°C à 700 hPa (vers 3150 mètres).

Peu de variations d'un jour à l'autre, et à saison égale, peu de variations d'une année à l'autre. Nous avons donc presque toujours une instabilité conditionnelle, et comme déjà évoqué, des cumulus se forment aisément à n'importe quel moment de la journée, quelques-uns se développant jusqu'au stade de cumulonimbus.

Sur le continent américain, au mois de mai, cette masse d'air présente déjà un comportement parfaitement estival. En effet, malgré une latitude plus élevée, le centre des États-Unis est plus chaud en journée que le Golfe du Mexique alors que la nuit, il continue à y faire plus frais. Ceci a, pour conséquence, une convection diurne classique avec un ciel tendant à être peu nuageux voire serein le matin, puis avec des cumulus se développant progressivement en journée jusqu'à atteindre souvent le stade de cumulonimbus en fin d'après-midi ou en soirée.

Mais en dehors du rythme de la convection, qui est celui de l'intérieur des terres, la masse d'air va conserver en grande partie ses caractéristiques maritimes, sa chaleur moite notamment. À l'est de la Tornado Alley, c'est sur toute son épaisseur que la masse d'air est humide, avec rien qui n'arrête la convection diurne (peu ou pas d'inversions). Les orages sont donc nombreux, mais moins souvent supercellulaires dans cette partie de la Tornado Alley.



Crédit photo : **Samina Verhoeven – Belgorage**

Dans certains cas cependant, l'humidité est telle qu'à la moindre petite couche de stabilité, des stratocumulus se forment et coexistent avec la convection, rendant cette dernière peu visible pour l'observateur au sol.



Crédit photo : **Samina Verhoeven** – Belgorage

Dans le centre et l'ouest de la Tornado Alley, il en va tout autrement. L'air maritime humide a une épaisseur moindre et se glisse souvent en dessous d'une masse d'air encore plus chaud et surtout beaucoup plus sec, en provenance des déserts américains. Une inversion thermique se forme, qui inhibe dans un premier temps la convection, avant de la rendre explosive.

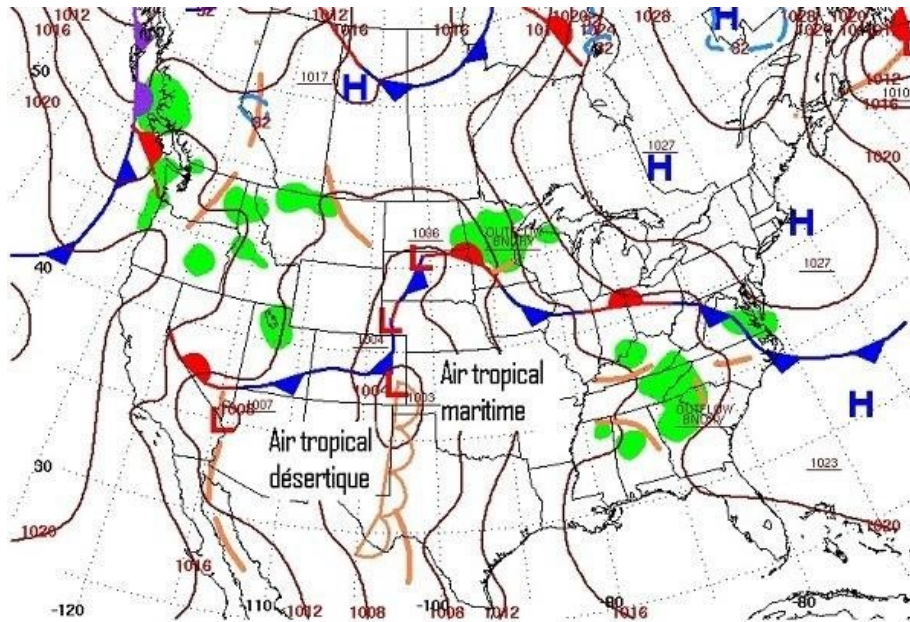
En effet, l'air en journée devient de plus en plus instable dans les basses couches, et des ascendances finissent par vaincre l'inversion par endroit. Alors, toute l'énergie convective disponible va se concentrer à ce seul endroit, et l'orage qui s'y forme peut devenir très intense. Un peu plus loin par contre, l'inversion résiste, continue à inhiber la convection et il ne se passe strictement rien. De tels orages, isolés mais très puissants, se produisent souvent non loin de la zone de rencontre entre l'air humide et l'air désertique très sec (ce que les Américains appellent la « dry line »).

La photo ci-dessous illustre le développement d'une cellule non loin de la « dry line »



Crédit photo : Samina Verhoeven – Belgorage

Et ci-après, une carte météorologique illustrant la présence d'une « dry line ». Nous en reparlerons.



Surface Weather Map at 7:00 A.M. E.S.T.
Source : NOAA

b. L'air tropical continental désertique

Ce qu'il faut en retenir surtout, à ce stade, c'est la grande rapidité de réaction du désert aux variations saisonnières et, qu'à la fin du mois de mai, les températures y sont déjà presque aussi élevées qu'en plein été. Il n'est donc pas étonnant d'y rencontrer des températures dépassant parfois déjà les 40°C en journée.



Crédit photo : Samina Verhoeven – Belgorage

Un élément moins connu reste la mousson nord-américaine, en provenance du Golfe du Mexique. Celle-ci affecte une grande partie des déserts du Sud-ouest. Exactement à l'image de ce qui se passe en Inde, la surchauffe des terres, à ces latitudes méridionales, crée un appel d'air en provenance des eaux du Golfe du Mexique. La seule différence, c'est qu'ici, contrairement à l'Inde, les conditions géographiques ne se prêtent pas à une mousson pleinement développée mais juste à l'arrivée d'un air un peu plus humide qui tempère légèrement la chaleur du cœur de l'été, avec la possibilité de survenue de quelques orages qui, eux, peuvent se révéler très spectaculaires.

On retrouve d'ailleurs cet aspect des choses dans les statistiques à long terme. Ainsi, à El Paso, au Texas, les maximas de juin sont plus élevés qu'en juillet et août. Ceci va de pair avec une certaine augmentation des précipitations et de l'humidité, même si globalement, le climat y reste sec y compris durant ces mois-là.

Comme nous le verrons, cette petite rupture dans l'évolution saisonnière des températures et des précipitations, entre autres au Texas, demeure l'une des causes de la fin de la saison des tornades, à 500 voire 1000 kilomètres plus au nord.

Au mois de mai et au début du mois de juin, par contre, le climat désertique exerce encore tous ses droits. L'air chaud formé sur ces hauts plateaux donne des températures extraordinairement élevées dans les couches moyennes lorsqu'il se déplace vers les Grandes Plaines, situées plus bas. Ainsi, n'est-il pas rare, au-dessus de Dodge City à l'ouest du Kansas, d'observer 27-28°C à 850 hPa vers 1550 mètres d'altitude (un bon 700 mètres au-dessus du sol à cet endroit-là), alors qu'une température de 25°C reste encore possible à ce niveau au-dessus de l'est du Kansas, où le sol est à une altitude bien moindre. Mais dans les basses couches, comme déjà dit plus haut, cet air chaud et sec a parfois du mal à s'imposer.

Ceci n'est pas sans rappeler, sous des formes moins extrêmes, la « Spanish Plume » que l'on rencontre en Europe occidentale, où des couches moyennes chaudes en provenance des hauts plateaux surchauffés de l'Espagne ont également tendance à rester au-dessus d'une inversion, ne s'imposant que très partiellement dans les basses couches.

Lorsque l'air parvient malgré tout à atteindre les basses couches, en Amérique comme en Europe, le temps peut devenir réellement très chaud en raison de l'affaissement de l'air, qui provoque en plus un réchauffement adiabatique de 1°C par 100 mètres. Dans la Tornado Alley, une température de 40°C est possible dès le mois de mai.

Si le brassage de l'air est imparfait, l'inversion va subsister mais de l'air humide risque alors de se mélanger à l'air sec, ce qui peut produire des situations très intéressantes en matière orageuse, notamment au moment où l'inversion finit par céder ici ou là, mais pas assez pour créer des situations tornadiques à grande échelle. C'est là qu'intervient un troisième larron : l'air polaire continental.

c. L'air polaire continental

Contrairement à l'air tropical continental désertique, l'air polaire continental n'est pas toujours estival en mai et début juin, malgré le réchauffement habituellement rapide de la masse continentale. Mais les régions nordiques, parfois, ne sortent que lentement de leur hibernation, surtout lorsque d'abondantes couches de neige mettent du temps à fondre. Alors, l'air demeure froid, et ce froid peut encore se faire sentir, de façon atténuée certes, jusque dans des régions aussi méridionales que l'Oklahoma.

À Oklahoma City par exemple, la température n'a même pas dépassé les 10°C le 2 Mai 2013. La nuit par ailleurs, des températures inférieures à 5°C restent possibles tout au long du mois de mai. Au début du mois de juin, si le temps est couvert, les maxima ne dépassent toujours pas 13 ou 14°C.

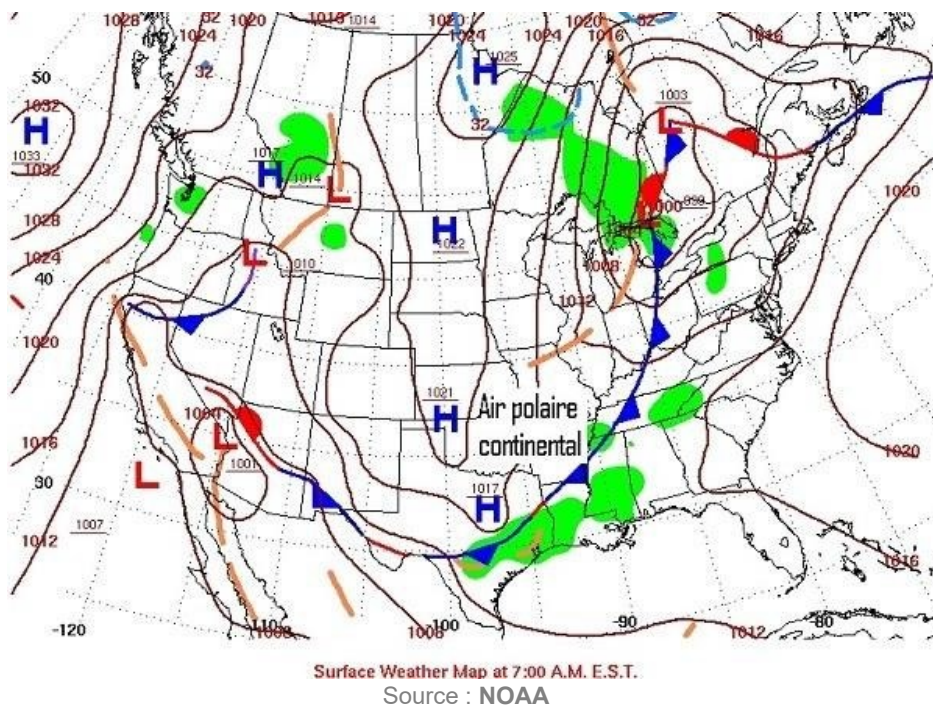


Source : **Wunderground**

Par temps ensoleillé par contre, les températures remontent fort en journée. Les couches moyennes de l'atmosphère, toutefois, demeurent froides et l'instabilité peut alors devenir forte dans les basses couches. Les cumulus sont alors nombreux mais souvent plats, butant contre une inversion de subsidence liées à des conditions de plus en plus anticycloniques à haute altitude.

Dans certains cas, l'air polaire continental aura tellement longtemps stagné sur les plaines méridionales que la différence de température avec l'air tropical finit par devenir faible. Dans les cas extrêmes, le front froid va même se retrouver quasiment réduit à une zone de convergence. Mais cela ne l'empêchera pas (nécessairement) de demeurer virulent, vu les cisaillements de vent qui y persistent.

Voici une illustration d'un front froid typiquement américain :



d. La rencontre des différentes masses d'air

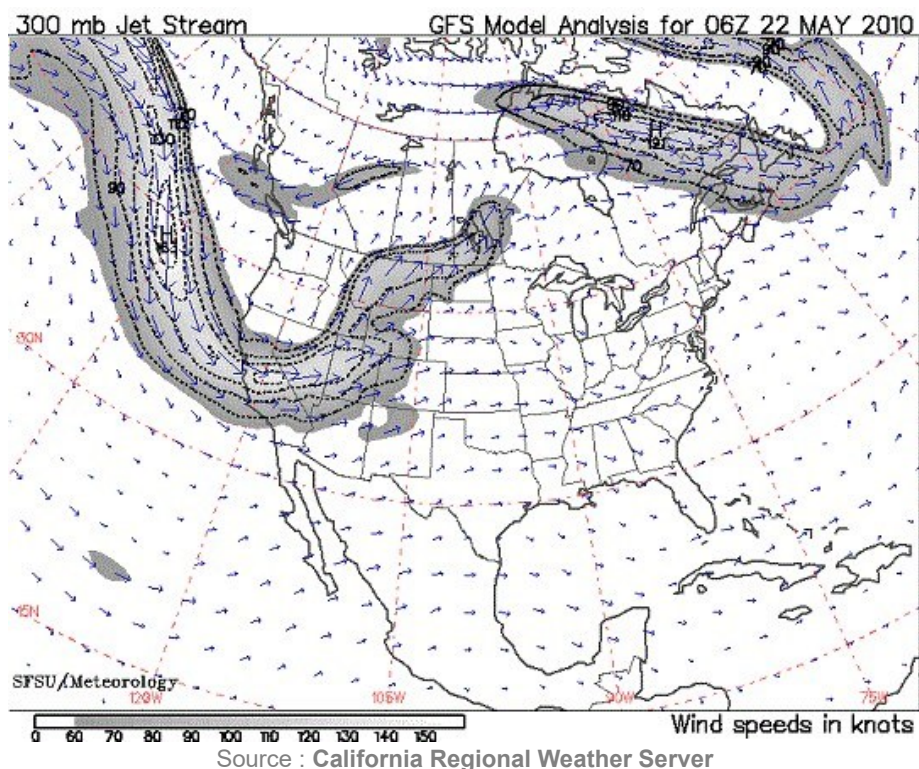
Pour comprendre la dynamique des rencontres de masses d'air aux États-Unis et des perturbations que cela génère, nous allons maintenant, dans un premier temps, nous pencher sur les phénomènes permanents et semi-permanents. Nous commencerons par étudier les phénomènes de grande échelle, liés à la géographie générale des États-Unis et notamment à la présence des Montagnes Rocheuses, qui ont une énorme influence sur le climat américain. Dans le cadre de cette étude, nous nous intéresserons plus particulièrement aux Rocheuses Méridionales, qui s'étendent du Nouveau Mexique au Wyoming. Il s'agit de montagnes élevées, avec de nombreux pics supérieurs à 4000 mètres parmi lesquels nous retiendrons entre autres le Mont Elbert (4399 mètres), le Pic Blanca (4372 mètres) ou le Pic Uncompahgre (4361 mètres).



Source : Larousse

Comme on peut le voir sur cette carte, les Montagnes Rocheuses sont en outre doublées par la Sierra Nevada, située plus près de la côte. Bien que plus petite, cette chaîne de montagnes n'en demeure pas moins imposante et entre les deux se situent les plateaux arides du Grand Bassin et du désert des Mohaves.

À l'instar du rôle joué par tous les massifs très importants, l'impact de cet ensemble montagneux sur la circulation générale va bien au-delà de son altitude. Du côté au vent, il se forme une zone de hautes pressions semi-permanente, obligeant les courants d'ouest hémisphériques à remonter vers le nord. Du côté sous le vent, il se forme au contraire une zone de basses pressions, elle aussi semi-permanente, qui rejette les courants d'ouest loin vers le Sud. Ceci se fait sentir jusqu'à l'altitude des jet-streams, lesquels tendent à former une crête à l'ouest des Montagnes Rocheuses et un creux à l'est de celles-ci.



Ce creux en altitude se fait en outre doubler par une dépression thermique au sol, liée à la surchauffe des terres du Nouveau Mexique et du Texas. La combinaison des effets dynamiques et thermiques entraîne un positionnement moyen de cette dépression au-dessus du nord du Texas.

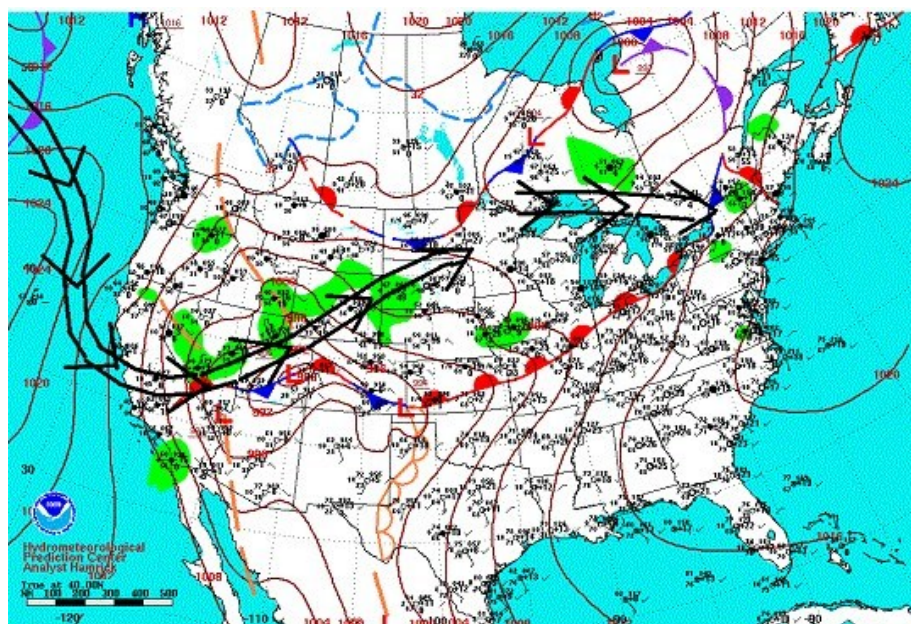
Comme la dépression au sol est fermée, nous avons donc souvent affaire à un courant de sud-est ou de sud sur le Kansas, l'Oklahoma et le Missouri, avec une remontée d'air humide et chaud du Golfe du Mexique.

Plus en altitude par contre se trouve un creux et de ce fait les courants tendent davantage à venir du sud-ouest, avec l'air sec et encore plus chaud en provenance des régions arides.

Le Texas, lui, se trouve majoritairement au sud de la dépression thermique, et le vent tend à souffler du sud-ouest à tous les niveaux. L'air désertique y est brûlant et, au cœur de la journée, il forme un front chaud sec (appelé « Texas dry line ») qui avance vers le nord-est en poussant devant lui (par un processus complexe de mélange turbulent) l'air humide du Golfe du Mexique. La nuit, si aucune autre perturbation n'affecte le phénomène, l'air chaud et sec tend à nouveau à se retirer vers l'ouest du Texas.

Les perturbations du flux d'Ouest

Il arrive cependant très souvent, à la suite d'ondulations du jet-stream, que la dépression sur le Nord du Texas devienne suffisamment active pour attirer derrière elle l'air polaire continental en provenance des régions septentrionales des États-Unis, formant ainsi une véritable perturbation frontale, qui va ensuite se déplacer vers l'est au gré de ce même jet-stream (se situant, lui, au nord de ladite perturbation).



Surface Weather Map and Station Weather at 7:00 A.M. E.S.T.

Les grosses flèches noires représentent le jet stream

Source de la carte : **NOAA**

Lorsque la perturbation arrivera à maturité, elle prendra schématiquement l'aspect représenté ci-dessous.



Source : Weather or Not ! The Web Site and Blog of Ted Keller

Nous sommes donc maintenant en présence d'un véritable conflit entre les trois masses d'air fondamentales du centre des États-Unis. La « dry line » (« Texas dry line » à l'origine) suit le secteur chaud de la perturbation et y forme une véritable ligne de convergence préfrontale, tandis que l'air continental polaire frais va être acheminé par le front froid.

On note que, dans le secteur chaud, au sol, nous avons de l'air humide et assez chaud à l'est de la « dry line » tandis qu'à l'ouest, l'air est plus chaud encore, mais sec. Il s'ensuit que, lors du passage de la « dry line », l'humidité relative de l'air peut chuter très brutalement. Plus en altitude cependant, l'air très chaud et sec tend à occuper la totalité du secteur chaud et à former une inversion couvercle au-dessus de l'air humide et moins chaud.

En raison de la forte dynamique et des cisaillements (le vent souffle de sud-ouest en altitude y compris au-dessus de la zone à l'avant de la « dry line », alors que le vent au sol y souffle de sud-est ou de sud), les chances de percement de l'inversion sont grandes.

En effet, cette inversion va tout d'abord retarder la convection, avant que toute l'énergie accumulée ne se décharge d'un seul coup quelques heures plus tard, en après-midi ou en soirée, formant des cellules d'autant plus gigantesques que du côté chaud, la tropopause se situe à des altitudes très élevées. Avec les cisaillements précités, le risque de formation de supercellules et donc de tornades, ainsi que le risque de survenue de fortes grêles sont très importants. Le schéma de la page précédente montre bien d'ailleurs dans quelle portion du secteur chaud le risque de supercellules est le plus grand.



Crédit photo : **Samina Verhoeven – Belgorage**

Il faut encore savoir qu'en progressant vers l'est, le système va se retrouver au-dessus de plaines de plus en plus basses. La couche en dessous de l'inversion couvercle (qui garde à peu près son altitude) devient donc de plus en plus épaisse, jusqu'à atteindre près de 2000 mètres au-dessus du Missouri ou de l'est de l'Oklahoma. Là, des cumulus pourront aisément se former voire s'étaler en stratocumulus en cas de forte humidité. On risque donc d'avoir affaire à des développements orageux traîtres, au sein d'une atmosphère à l'allure pourtant plutôt monotone.

Sur l'ouest du Kansas ou de l'Oklahoma ainsi qu'au Texas, la plaine se situe largement au-dessus de 500 mètres d'altitude (parfois au-dessus de 1000 mètres). La couche humide est donc plus mince, en même temps qu'elle se retrouve desséchée par un long parcours sur les terres. Là, tant que l'inversion résistera, le ciel restera parfaitement bleu mais, quand le couvercle cèdera, le risque sera très grand de voir se développer des supercellules de type LP, visibles de loin et de façon très détaillée dans leurs structures.



Crédit photo : Samina Verhoeven – Belgorage

Mais la possibilité que rien ne se passe, par manque d'humidité ou en raison de l'inversion trop forte (air désertique trop chaud) n'est pas négligeable non plus.

En moyenne, nous pouvons affirmer que plus l'on se rapproche du sommet du secteur chaud, plus les chances seront grandes pour le traqueur d'orages de rencontrer des supercellules. Au contraire, plus l'on s'en éloigne et plus les orages tendront à être multicellulaires voire monocellulaires dans la partie méridionale de ce secteur chaud. Mais il existe une multitude d'exceptions à cette règle, qui ne se vérifie donc pas toujours dans la réalité.

Ajoutons enfin que les lignes de convergence préfrontale américaines ne ressemblent en rien aux lignes de convergence préfrontale européennes. En Europe, et plus particulièrement dans nos contrées, l'air très chaud et très sec est acheminé à l'avant de la ligne de convergence par des vents de sud-est tandis qu'à l'arrière, le vent tourne au sud-ouest ou à l'ouest, avec de l'air maritime plus frais. L'activité orageuse cesse donc après le passage de la ligne de convergence, et même le front froid qui suit se trouve en général très affaibli.

Dans la Tornado Alley, les directions du vent autour de la ligne de convergence préfrontale sont certes à peu près les mêmes que chez nous, mais à l'inverse de nos contrées, l'air à l'avant est humide tandis que celui à l'arrière est sec.

Il n'est donc pas exclu, dans certaines conditions « idéales », qu'il se mette à faire plus chaud après les orages qu'avant leur passage, avec un ciel qui se dégage très rapidement. Dans ces mêmes conditions, l'air chaud et sec pourra même de nouveau s'imbiber de l'humidité laissée par les orages précédents et en générer ainsi de nouveaux. Des supercellules peuvent alors se former les unes après les autres dans une même zone, engendrant une succession ininterrompue de violents orages jusqu'à ce que le front froid mette fin à la situation. Et pour peu que ce dernier se mette à onduler en stationnant au nord-ouest de la zone en question, des « tornado outbreaks » peuvent même s'y produire pendant plusieurs jours consécutifs.

Il ne faut pas oublier non plus qu'aux États-Unis, les fronts froids eux aussi peuvent être très virulents en raison des forts contrastes thermiques existant entre les différentes masses d'air. C'est là un aspect fondamentalement différent du contexte européen. Par contre, les phénomènes orageux qui tendent à se développer au nord des systèmes (c'est-à-dire du côté froid) ressemblent davantage à nos orages européens. Encore que... même en un tel contexte, l'intense réchauffement du centre des États-Unis, des suites de la latitude très basse, demeure toujours capable de générer un surplus d'instabilité avec des intempéries très violentes à la clé.

Notons enfin que de très beaux orages sont à même de se développer même en dehors de toute perturbation. La « dry line » à elle seule peut engendrer de puissantes supercellules, surtout dans sa partie orientale (du côté humide donc), lorsque l'inversion se trouve tout juste à la bonne altitude.

Enfin, pour conclure cette longue introduction à la Tornado Alley, retenons que c'est dans le courant du mois de juin que se termine, petit à petit, la saison des tornades pour l'Oklahoma, le Kansas et le nord du Texas.

Deux raisons à cela :

- Les régions septentrionales du continent américain finissent par se réchauffer à leur tour, ce qui diminue le contraste avec les régions méridionales. Le jet stream s'affaiblit en moyenne et remonte vers le nord, tandis que les perturbations frontales s'affaiblissent à leur tour.
- La mousson du Golfe du Mexique apporte de l'air un peu plus humide sur les déserts du Sud-ouest, ce qui en atténue quelque peu la chaleur. Pendant ce temps, les eaux du Golfe du Mexique continuent leur lent réchauffement, ce qui entraîne un affaiblissement des contrastes également dans le sud. La « Texas dry line » s'estompe et, avec elle, c'est l'un des moteurs principaux pour la formation des tornades qui s'arrête de tourner.



Crédit photo : **Samina Verhoeven – Belgorage**

B. Un cas d'école : la tornade de Moore du 20 mai 2013



Crédit photo : **Gabe Garfield (National Weather Service)**

La tornade de Moore (Oklahoma) est restée tristement célèbre en raison du nombre élevé de victimes et des dégâts impressionnants qu'elle a occasionnés. Des enfants, notamment, sont morts sous les décombres de leurs écoles.

Une image qui restera forte est sans nul doute celle des nounours, fleurs et autres objets se rapportant aux enfants, accrochés aux grilles de l'école élémentaire de Briarwood, ayant subi la tornade au moment où elle était la plus puissante.



Crédit photo : Samina Verhoeven – Belgorage

Malgré son extrême puissance, cette tornade a eu un mode de formation on ne peut plus classique dans la météorologie américaine, avec front froid, dry line, inversion et convection explosive là où l'inversion cédait.

Commençons par le début. Dans une première approche, on peut subdiviser l'Oklahoma en trois zones distinctes :

- 1) Au nord-ouest du front froid, le temps est particulièrement lumineux, avec un ciel serein si l'on excepte la formation de quelques petits cumulus ici et là après la dissipation de quelques rares stratocumulus matinaux. Les températures sont agréables, avec des valeurs souvent proches de 26-28°C dans le nord de l'Oklahoma ainsi qu'au Kansas.



Webcam de Dodge City (Kansas) – Source : [Wunderground](#)

- 2) Dans la partie sud-ouest de l'Oklahoma, au sud du front froid et à l'ouest de la dry line, le temps est très chaud et très sec. La région est soumise à l'air désertique surchauffé des Hautes Plaines méridionales, qui s'échauffe encore davantage en descendant dans les Plaines situées à plus faible altitude. Les maximas y atteignent près de 37°C sous un vent desséchant et irrégulier d'ouest à sud-ouest.



Webcam Carnegie (Oklahoma) – Source : **Wunderground**

- 3) À l'est du front et de la dry line, le temps est très nuageux et particulièrement humide, avec un temps souvent étouffant l'après-midi.

Entre autres en raison des orages de la nuit précédente, la journée démarre sous un ciel couvert, notamment sur le nord-est de l'État, avec d'épais stratocumulus persistant toute la matinée et distillant parfois un peu de pluie et de bruine. Sous cette grisaille, les températures sont souvent de l'ordre de 23-24°C, mais elles explosent à la moindre éclaircie, pour atteindre très vite des valeurs de 28 à 30°C.

Alors la convection démarre au sein d'un mix de cumulus et de stratocumulus, avec des développements orageux dépendant de la proximité du front et du degré d'affaiblissement de l'inversion. Mais le ciel tend à rester assez blanchâtre et flou.



Webcam Pryor (OK) – Source : [Wunderground](http://www.wunderground.com)

Plus au sud de la zone humide, le ciel est également très nuageux, mais on y observe des zones à éclaircies plus larges, principalement vers la frontière avec le Texas. Les stratocumulus sont moins nombreux, voire absents, et des cumulus se forment rapidement dans l'air humide. Leur développement est cependant arrêté de façon nette par l'inversion. Sauf le soir, où les conditions deviennent plus favorables aux orages, dans cette région-là aussi.



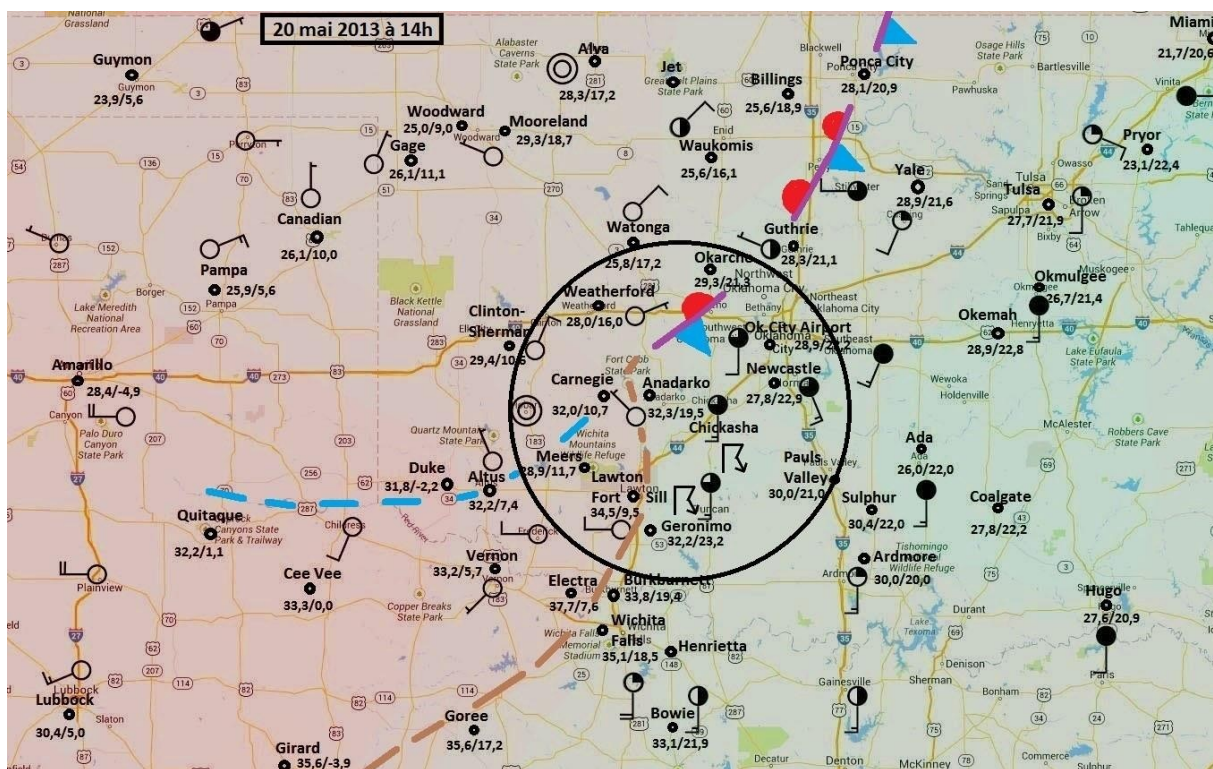
Webcam Frisco (TX) – Source : **Wunderground**

Entre ces deux zones d'influence, toute une série de supercellules se forment en début d'après-midi et se succèdent les unes aux autres, entraînées par un puissant courant de sud-ouest en altitude. L'une d'elles formera la sinistre tornade EF5 de Moore.

Ces développements se font le long d'une ligne un peu à l'est du front et de la « dry line », à un endroit où la combinaison entre d'une part la température au sol et d'autre part l'intensité, l'épaisseur et l'altitude de l'inversion est telle que cette dernière sera percée juste dans cette zone-là, libérant d'un coup toute l'énergie accumulée dans les basses couches. Ensuite, la dynamique en altitude fera le reste...

Voyons cela en détail.

La carte ci-après reprend la situation telle qu'elle se présente à 14h00.



Légende :

- Ligne hachurée en brun : la « dry line »
- Ligne violette avec demi-cercles rouges et triangles bleus : le front stationnaire
- Ligne hachurée en bleu : un front froid sec qui ne concerne que les basses couches
- Couleurs tirant sur le rose : la région où l'air est sec
- Couleurs tirant sur le bleu-vert : la région où l'air est humide
- Chiffres : le premier indique la température, le second, le point de rosée
- Flèches de vent : 1 barbule = 10 nœuds ; ½ barbule = 5 nœuds
- Stations météo : 1^{er} chiffre = température de l'air ; 2^e chiffre = point de rosée
- N.B. : le cercle en noir sert uniquement à attirer l'attention

On assiste ici à une véritable rencontre des trois masses d'air, le fameux « triple point » comme le nomment les Américains. Il est situé, pour être plus précis, un peu au nord de Carnegie et d'Anadarko. Et à une petite cinquantaine de kilomètres à l'est (dans la zone humide donc), très près de la petite ville de Chickasha, est en train de naître la cellule qui générera, une heure plus tard, la tornade meurtrière de Moore.

Pourquoi là et pas ailleurs ?

Regardons une fois encore la carte, à l'intérieur du cercle. On y voit bien la convergence des vents autour de Chickasha et d'Anadarko. Nous pouvons en déduire que la méso-dépression se trouve là. En plus, nous avons la chance de disposer d'un sondage atmosphérique récent et proche, qui permettra de répondre au moins partiellement à cette question.

Dans le sondage de Norman, réalisé à 13h00, nous avons repris les éléments suivants, qui nous semblent pertinents :

PRES	HGHT	TEMP	DWPT	RELH	DRCT	SKNT
hPa	m	C	C	%	deg	knot
966.0	345	27.4	22.4	74	185	10
876.0	1202	18.2	17.1	93	209	27
850.0	1461	16.6	14.6	88	215	29
825.0	<u>1715</u>	<u>14.6</u>	<u>14.3</u>	98	236	31
781.0	<u>2182</u>	<u>17.4</u>	<u>-1.6</u>	27	225	40
757.6	2438	15.2	-2.9	28	225	41
524.0	5410	-9.1	-26.1	24	246	59
218.2	11582	-54.7	-72.3	10	250	<u>76</u>

Source : University of Wyoming

En premier lieu, nous pouvons y voir une couche d'inversion entre 1700 et 2200 mètres environ (voir chiffres soulignés). En dessous, l'air est particulièrement humide, avec une couche nuageuse (stratocumulus) bien identifiable grâce aux taux d'humidité proches de 100%. Mais la couche est suffisamment mince pour laisser passer le soleil de temps en temps, avec un réchauffement significatif des basses couches. En d'autres termes, nous avons de l'instabilité dans les basses couches, avec des décroissances de 1°C par 100 mètres jusqu'à 1200 mètres.

Au-dessus de l'inversion, dans les couches moyennes, nous avons une forte décroissance thermique aussi, un peu supérieure à 0,8°C par 100 mètres (voir chiffres en bleu), entre 2400 et 5400 mètres. C'est beaucoup pour les couches moyennes. Nous avons donc deux niveaux particulièrement instables, séparés par un véritable couvercle qui empêche (à ce moment-là encore) toute convection.

Les vents, au-dessus de l'inversion, proviennent de sud-ouest et acheminent l'air sec en provenance du Texas et du sud-ouest de l'Oklahoma, d'où la chute brutale de l'humidité à partir de cette altitude. Une centaine de kilomètres au sud-ouest de Norman, on retrouvera la dry line au niveau du sol, du côté de Lawton.

Remarquons enfin la vitesse du vent à haute altitude (chiffre souligné), qui révèle la présence d'un jet stream.

Forts de tous ces renseignements, nous pouvons à présent extrapoler des profils atmosphériques, d'abord à Lawton, puis à Chickasha.

Avec une température mesurée de 34°C à Lawton à 13h, nous pouvons nous imaginer que le profil atmosphérique donnerait à peu près ceci (chiffres arrondis) :

HGHT	TEMP	DWPT	DRCT	SKNT
m	C	C	deg	knot
340	34.0	15.0	220	15
1200	25.0	8.0	240	25
1460	22.0	5.0	240	30
1720	19.0	3.0	240	35
2180	17.0	0.0	230	40
2440	15.0	-3.0	230	40
5410	-9.0	-26.0	250	60
11580	-55.0	-72.0	250	80

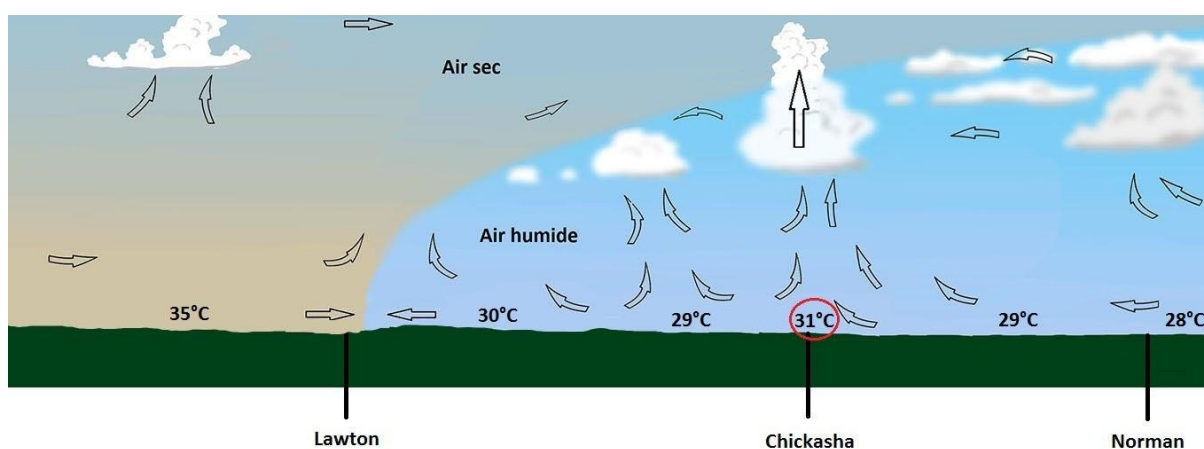
Nous y trouvons un air sec et chaud donc, à part un peu d'humidité laissée par le mélange de l'air aux abords immédiats de la dry line, avec une forte instabilité sur toute l'épaisseur de l'atmosphère sans la moindre inversion. Quelques cumulus, liés à cette humidité résiduelle, se forment dans la région, sans plus.

En traçant une ligne droite entre Norman et Lawton (nord-est – sud-ouest), nous tombons à mi-chemin sur Chickasha, située donc à quelques 50 kilomètres de la dry line. En tenant compte de la courbure de la surface frontale de la dry line, qui a les caractéristiques d'un front chaud, nous pouvons raisonnablement estimer que l'inversion doit se trouver vers 1200-1300 mètres d'altitude au-dessus de Chickasha, soit un petit millier de mètres au-dessus du sol. Le profil atmosphérique, alors, pourrait donner à peu près ceci :

HGHT	TEMP	DWPT	DRCT	SKNT
m	C	C	deg	knot
350	29.0	23.0	180	15
1200	20.0	17.0	210	25
1350	22.0	3.0	230	25
1460	22.0	0.0	240	30
1720	19.0	-2.0	240	35
2180	17.0	-2.0	230	40
2440	15.0	-3.0	230	40
5410	-9.0	-26.0	250	60
11582	-55.0	-72.0	250	80

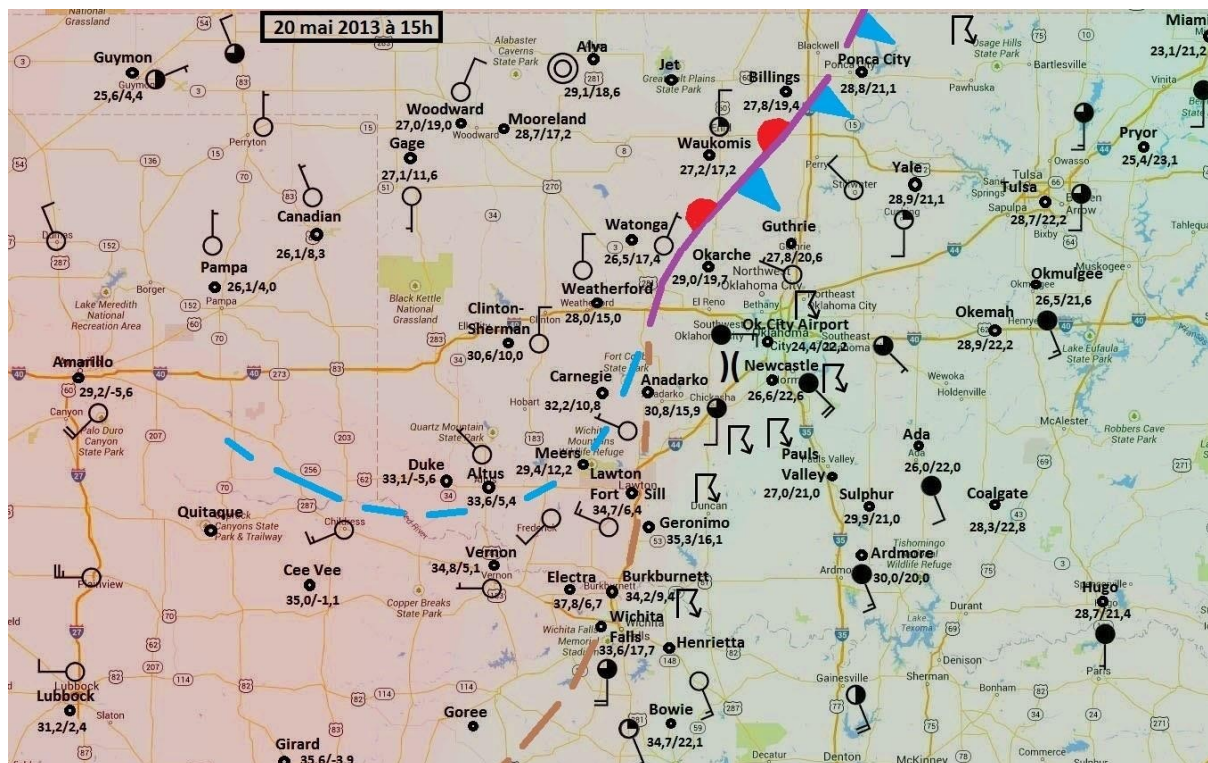
L'inversion est plus faible ici, mais encore capable de retenir la convection. En outre, l'humidité un brin plus faible au sommet de l'inversion permet une dissipation partielle des stratocumulus. Et c'est à partir de là que tout va se déclencher !

Les données réelles de l'aéroport de Chickasha donnent une nébulosité qui passe de 6/8 à 2/8. Sous les éclaircies, le sol s'échauffe et la température gagne soudain quelques degrés, pour atteindre temporairement 31°C à 13h15. Le point de rosée, alors, monte jusqu'à 24°C. En outre, la position de la méso-dépression va faire converger les vents très près de Chickasha. Cette hausse locale et momentanée de la température (également attestée à la station météorologique voisine de Pocasset) va éroder l'inversion à cet endroit et, la convergence aidant, cette inversion cèdera brutalement pour former une cellule particulièrement virulente, qui évoluera très vite...

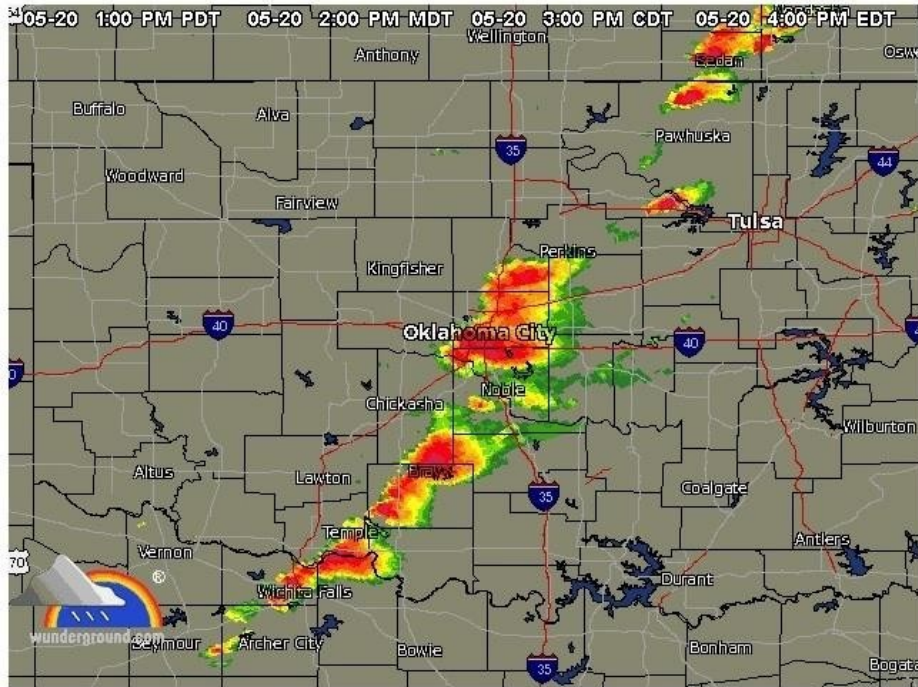


Comme on peut le constater, c'est presque l'effet papillon ! Un concours de circonstances très locales, une mini-hausse de la température à 13h15 et une convergence des vents vont faire naître, 40 minutes plus tard et à cinquante kilomètres au nord-est, l'une des tornades les plus catastrophiques de l'histoire des États-Unis !

Voyons maintenant la situation à 15 heures.



De nombreux orages se sont formés entre-temps. La tornade, quant à elle, a touché le sol près de Newcastle, et elle fonce droit sur Moore. Sur la carte, on reconnaît toujours le schéma de convergence des vents, centré sur la tornade désormais. En dehors de cela, la convergence persiste aussi le long de la ligne du front, prolongé au sud par la dry line, et une série d'autres supercellules y sont présentes aussi.



Source : Wunderground

Il y a cependant gros à parier que ces autres supercellules n'aient pas reçu de coup de pouce supplémentaire, comme décrit ci-dessus, ce qui fait qu'aucune autre tornade EF5 n'a été générée.

Nous verrons par la suite que les tornades américaines ne se forment pas toutes selon un schéma aussi classique. Mais d'abord, nous vous proposons encore de voir, sur la page suivante, quelques photos de l'évolution de la tornade de Moore.



Source : **Justin Cox - Chance Coldiron**



Source : **Justin Cox - Chance Coldiron**



Source : **Basehunters**

C. Un cas un peu différent : la tornade de Rozel du 18 mai 2013

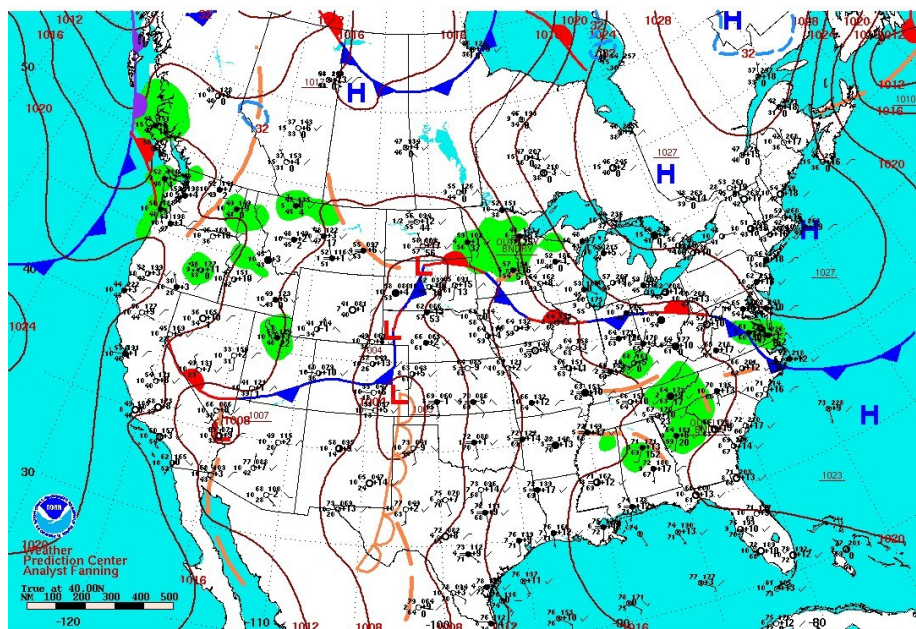


Crédit photo : Valentina Abinanti – Tornado Seeker

La principale différence entre les tornades de Moore (Oklahoma) et de Rozel (Kansas), au niveau de leur mode de formation, réside dans le fait que dans le second cas, c'est la dry line à elle seule qui est le moteur de la supercellule tornadique, le front froid et un outflow orageux voisin ne jouant qu'un rôle secondaire.

Voyons à présent, étape par étape, ce qui se passe au niveau de la dry line.

Commençons par la carte météorologique du 18 mai 2013.



Surface Weather Map and Station Weather at 7:00 A.M. E.S.T.

Source : NOAA

Le front froid, en effet, est trop au nord pour intervenir d'une quelconque façon sur la formation de la tornade de Rozel. Par contre, nous y retrouvons la fameuse dépression semi-orographique, semi-thermique, située entre le Colorado, le Kansas l'Oklahoma et le Texas. Et associée à cette dépression, nous voyons une sorte de front orangé, représenté comme un front chaud et faisant un peu penser à une convergence préfrontale : c'est la dry line.

Revenons de façon plus précise sur certaines notions.

Au départ, une dry line, aussi appelée « front de point de rosée » en français, est une séparation entre des masses d'air qui n'ont pas une température différente, mais une humidité différente. À l'est de la dépression, nous avons des courants de sud ou de sud-est qui acheminent un air chaud et humide originaire du Golfe du Mexique ; à l'ouest de la dépression, nous avons un air chaud aussi, mais très sec, soit en provenance des déserts américains et desséché par effet de foehn en passant au-dessus des Montagnes Rocheuses. Le vent, là, souffle de sud-ouest, d'ouest ou parfois de nord-ouest. Cependant, dans ce dernier cas aussi, il s'agit d'air chaud en raison de l'effet de foehn.

Même à température égale, l'avancée d'un air sec sur de l'air humide va se comporter comme un front chaud, et l'avancée d'un air humide sur de l'air sec va se comporter comme un front froid. C'est lié au fait que l'air humide est plus dense que l'air sec, car la vapeur d'eau est plus lourde que l'air. Au début du printemps notamment, nous pouvons assister à ce type de dry line mettant en jeu des masses d'air aux températures sensiblement égales.

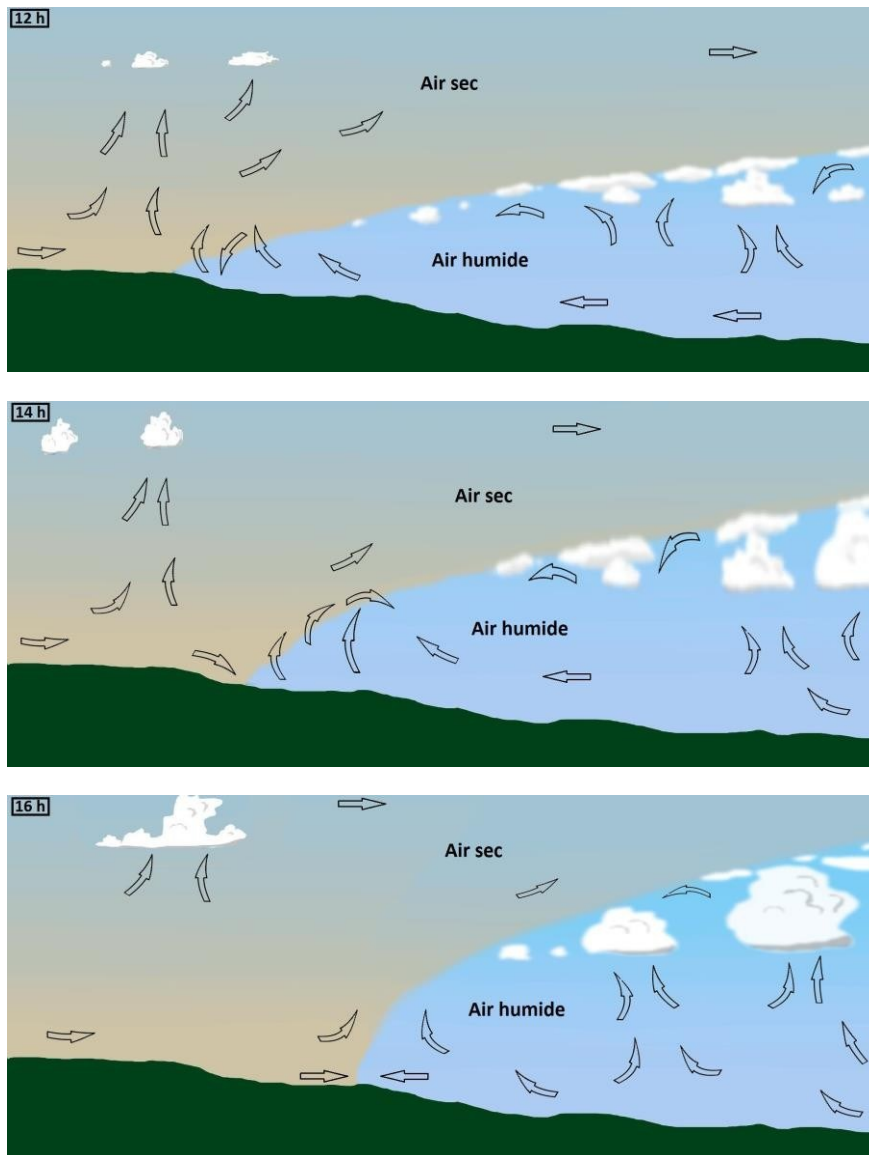
À la fin du printemps par contre, lors de la saison des tornades au Kansas et en Oklahoma, l'air des déserts américains, par continentalité, est devenu nettement plus chaud que l'air originaire du Golfe du Mexique. Nous avons donc affaire à un véritable front chaud quand la « dry line » s'avance, mais ce front chaud possède des caractéristiques bien particulières et assez complexes. Nous allons donc essayer de comprendre tout cela en avançant pas à pas.

Ce qui suit ici est largement inspiré des théories de Howard Bluestein, célèbre météorologue et chasseur de tornades américain.

En matinée, nous retrouvons l'air sec et chaud sur les Hautes Plaines américaines, région très plate mais située à plus de 1000, voire 1500 mètres d'altitude, tandis que les Grandes Plaines, situées plus bas (400 à 500 mètres d'altitude) et à l'est des Hautes Plaines, sont affectées par l'air humide du Golfe du Mexique. Mais le réchauffement diurne va progressivement changer la situation puisque la dry line a tendance à s'avancer vers l'est en journée (surtout l'après-midi), puis à se retirer à nouveau vers l'ouest en soirée.

Pourquoi ce mouvement de balancier ?

Les illustrations ci-dessous nous montrent la progression de la dry line, telle qu'on peut l'observer durant une journée quelconque de mai ou de juin.



La première image représente l'air sec et très chaud qui, au départ, passe simplement au-dessus de l'air humide et un peu moins chaud. Vers midi, en raison du fort réchauffement du sol, les deux masses d'air deviennent turbulentes, avec mouvements convectifs, et là où la couche humide est fort mince, la turbulence est suffisante pour permettre le mélange de l'air humide et de l'air sec. En raison de la grande épaisseur de l'air sec, l'air humide mélangé se « perd dans la masse » et se dessèche : la « dry line » avance.

En après-midi, le réchauffement se poursuit, la turbulence devient suffisante pour mélanger l'air humide d'une couche plus épaisse. Cette fois-ci, l'humidité se perd déjà moins dans la masse, mais la sécheresse, dans la zone de mélange, prédomine et la dry line avance encore. C'est pour cette raison, d'ailleurs, que les prévisions du Storm Prediction Center disent souvent : « a dry line will mix eastwards » ce qui, littéralement traduit, veut dire « une ligne sèche se mélangera en allant vers l'est ». Ce n'est donc pas le vent d'ouest (ou de sud-ouest) qui pousse la dry line vers l'est, mais le mélange par étapes successives qui fait que cette dry line progresse (même si en réalité, le vent y contribue un peu aussi).

À partir d'une certaine épaisseur d'air humide, la turbulence n'est plus suffisante pour mélanger les deux masses d'air, l'inversion au-dessus de l'air humide résiste et la dry line n'avance plus (voir troisième image). Notez qu'à ce stade, la convection s'est déjà bien mise en route, mais le développement des cumulus reste limité, d'une part à cause du manque d'humidité à l'ouest (petit cumulus à base élevée ou altocumulus castellanus), et d'autre part à cause d'une inversion à l'est, qui forme un véritable couvercle (cumulus buttant sur cette inversion et s'étalant parfois en stratocumulus).

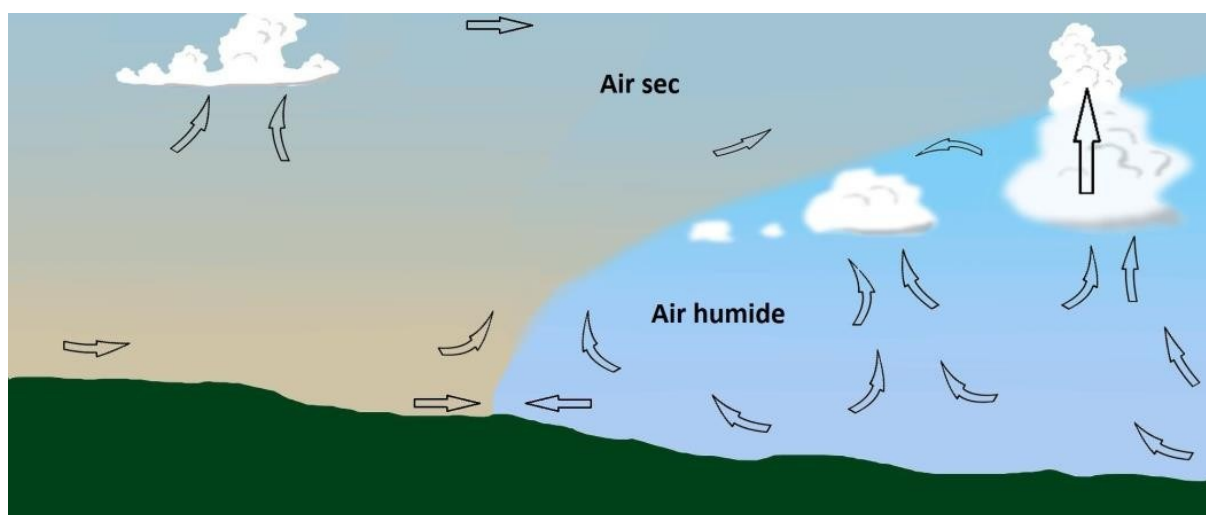
Une fois que la dry line n'avance plus, c'est un appel d'air en sens inverse qui va se faire. L'air humide et plus frais poussera vers l'air chaud et sec un peu à la façon d'une brise de mer : la dry line recule à nouveau. Ce recul peut tout aussi bien s'enclencher en fin d'après-midi que tard dans la soirée. Et surtout, une certaine partie de la dry line peut encore avancer alors qu'une autre partie recule déjà.

Contrairement à ce que l'on voit sur les cartes de prévisions, la dry line est rarement une belle ligne droite ou légèrement courbe, mais une ligne irrégulière, dépendant de facteurs locaux comme la topographie, la nature du sol ou la turbulence plus ou moins forte de l'air. Il arrive même que des poches d'air humide se retrouvent dans l'air sec et des poches d'air sec, dans l'air humide. Dans ce dernier cas, des orages peuvent se former très brutalement, car l'air humide va converger vers cette zone plus sèche et plus chaude en formant éventuellement une énorme cheminée d'ascendance.

La dry line proprement dite peut aussi générer des orages car elle peut former à son tour une zone de convergence entre les vents de sud à ouest qui règnent du côté sec et les vents de sud à est qui règnent dans la zone humide. Ce risque est d'autant plus marqué si les vents sont forts (et irréguliers).

Mais la zone la plus dangereuse pour les orages voire les tornades se trouve du côté humide, à quelques dizaines de kilomètres à l'est de la « dry line ». Là, à un endroit qui est souvent difficile à déterminer à l'avance, l'inversion est juste assez forte pour retenir l'essentiel de la convection, avec accumulation énorme d'énergie, et juste assez faible pour permettre, ici et là, que des cellules parviennent à la percer quand même. Alors, le développement peut devenir ultra-rapide et, le cisaillement aidant (vent de sud-est dans les basses couches humides, vent de sud-ouest dans l'air sec qui continue à passer au-dessus), des supercellules peuvent aisément se former. Et si en plus, un jet stream d'ouest souffle à haute altitude au bon endroit (plaçant notre cellule sous la sortie gauche ou l'entrée droite d'un jet streak), toutes les conditions sont réunies pour une tornade de grande puissance.

L'illustration ci-dessous montre comment une cellule (ici encore un cumulus congestus) peut brutalement percer l'inversion, avec un air très instable en dessous de l'inversion, un air très instable au-dessus de l'inversion, et une énorme énergie accumulée en raison de cette inversion.



Enfin, à côté de l'énergie thermique, un élément dynamique (topographie, convergence, aspiration par un jet stream situé plus haut en altitude) fait parfois en sorte aussi que l'inversion cède à quelques endroits seulement, avec les mêmes résultats que ceux décrits ci-dessus. Cet élément dynamique est souvent constitué par le « troisième larron », le front froid. En fait, là où la convergence du front froid rencontre la convergence de la « dry line », des super-ascendances se forment près d'un endroit que les Américains appellent le « triple point ». En réalité, là aussi, le plus grand danger se trouve à quelques dizaines de kilomètres à l'est, pour les mêmes raisons que celles décrites ci-dessus.

a. Description minutieuse des conditions atmosphériques du 18 mai

Cette fois-ci nous avons, au départ tout au moins, un jeu à deux acteurs seulement.

1. L'air tropical continental d'origine désertique. Les valeurs, en ce 18 mai, sont les suivantes : 32 à 34°C dans les Hautes Plaines, 37 à 40°C dans les Plaines plus basses, en dessous de 800-900 mètres d'altitude. Le vent y est irrégulier et parfois fort, avec un ciel serein tantôt très limpide, tantôt délavé par les poussières en suspension. Quelques voiles de cirrus, ainsi que des altocumulus floccus et castellanus, et l'un ou l'autre cumulus à base élevée sont présents. Ce type de temps, en matinée, ne concerne encore que l'extrême sud-ouest du Kansas, mais au moment de l'avancée maximale de la « dry line », en début de soirée, chaleur et sécheresse concerneront un bon tiers sud-ouest du territoire de cet État.
2. L'air tropical maritime originaire du Golfe du Mexique. Moins chaud certes, mais très humide, ce qui ne rend pas l'impression de chaleur moindre. En matinée, le ciel y est souvent très nuageux voire couvert avec des stratocumulus et pas mal de brume. En après-midi, ces stratocumulus se transforment en cumulus, avec des éclaircies parfois belles mais un ciel par moment délavé et des nuages gardant des contours flous. À cela s'ajoutent des altocumulus castellanus qui, en réalité, dérivent dans l'air désertique qui se trouve au-dessus d'une inversion. Celle-ci, d'ailleurs, est très coriace, ce qui empêchera la formation d'orages au sein de cette masse d'air pendant la majeure partie de la journée. Ce type de temps concernera la plus grande partie du Kansas, et notamment sa partie orientale.

Notons encore quelques valeurs concernant cette inversion : en début d'après-midi, on observe environ 20°C au sommet de la couche humide, donc **juste en dessous** de l'inversion, vers 1100 mètres (700 à 800 mètres au-dessus du sol), et 26°C au bas de la couche sèche, **juste au-dessus** de l'inversion, vers 1300 mètres. Sur ces 200 mètres, l'humidité relative passe de 80-90% à 20% environ.

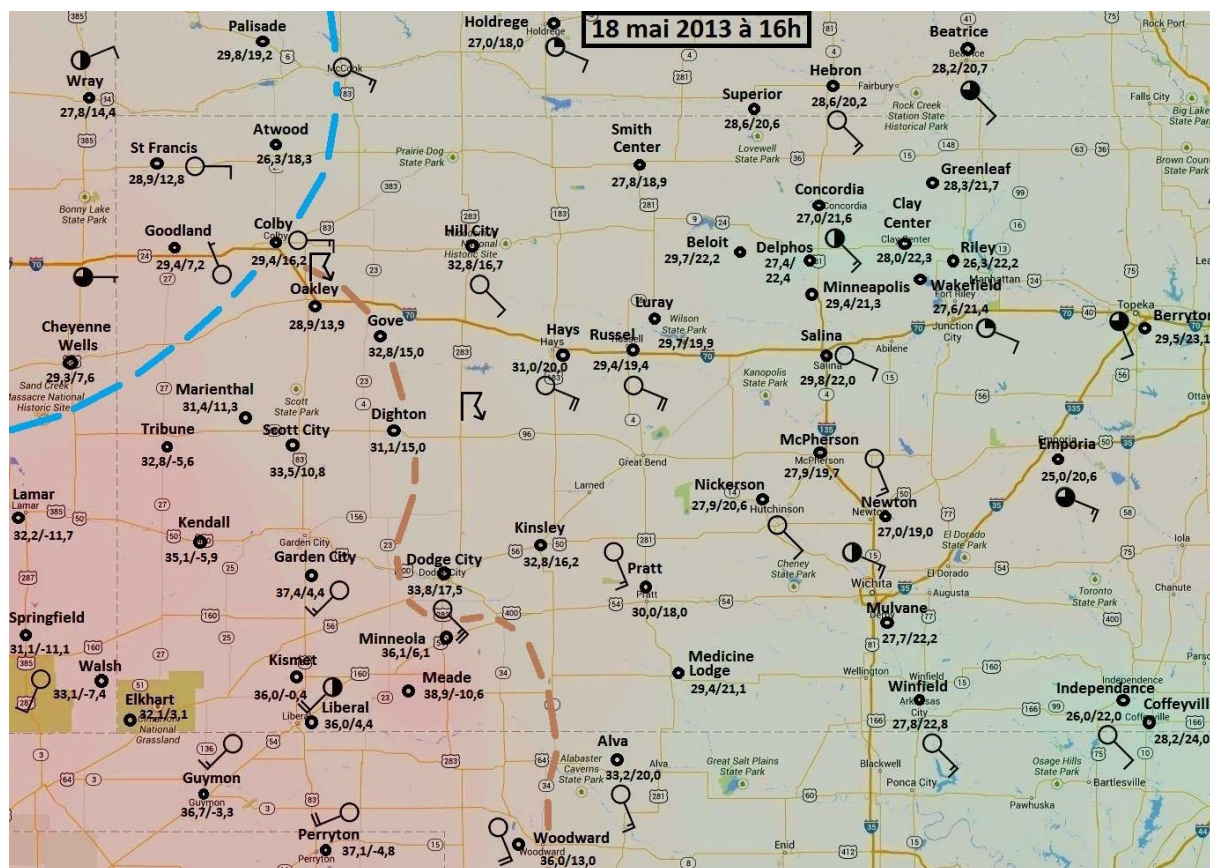
En début de soirée, à la suite du réchauffement intense des basses couches en après-midi à partir du sol, l'inversion s'affaiblit nettement. Mais il reste une épaisse quasi-isothermie entre 1200 et 1800 mètres (autour de 23°C), ne laissant (encore) aucune chance aux développements orageux.

Examinons à présent de plus près le comportement de la dry line qui, comme dit précédemment, sera cette fois-ci le principal acteur dans la genèse des phénomènes météorologiques violents qui séviront sur le Kansas.

En fin de matinée, la zone sèche ne touche encore qu'un tout petit morceau du sud-ouest du Kansas, avec une dry line orientée nord-nord-ouest – sud-sud-est, traversant le Kansas sur un axe allant de Goodland (un peu plus au sud en réalité) à Liberal pour continuer ensuite vers Perryton (Texas).

Un peu plus tard, cette dry line avancera par à-coups, avec beaucoup d'irrégularités tant dans son tracé que dans son mouvement. C'est ainsi que Liberal passe et repasse plusieurs fois du côté humide au côté sec durant l'après-midi et la soirée, tandis que Kinsley, à l'est-nord-est de Dodge City, voit son point de rosée s'effondrer en soirée seulement (pour une raison qui sera encore expliquée). À Dighton (nord-nord-ouest de Dodge City) au contraire, l'air sec ne se manifeste qu'un petit moment en fin d'après-midi, tandis que l'humidité reprend tous ses droits dès le début de la soirée. Mais attention ! La sécheresse revient brutalement à 22h00 !

L'illustration suivante montre la situation telle qu'elle se présente à 16h00.



Légende :

Ligne hachurée en brun : la « dry line »

Ligne hachurée en bleu : le front froid (ou ce qu'il en reste)

Couleurs tirant sur le rose : la région où l'air est sec

Couleurs tirant sur le bleu-vert : la région où l'air est humide

Flèches de vent : 1 barbule = 10 nœuds ; ½ barbule = 5 nœuds

Stations météo : 1^{er} chiffre = température de l'air ; 2^e chiffre = point de rosée

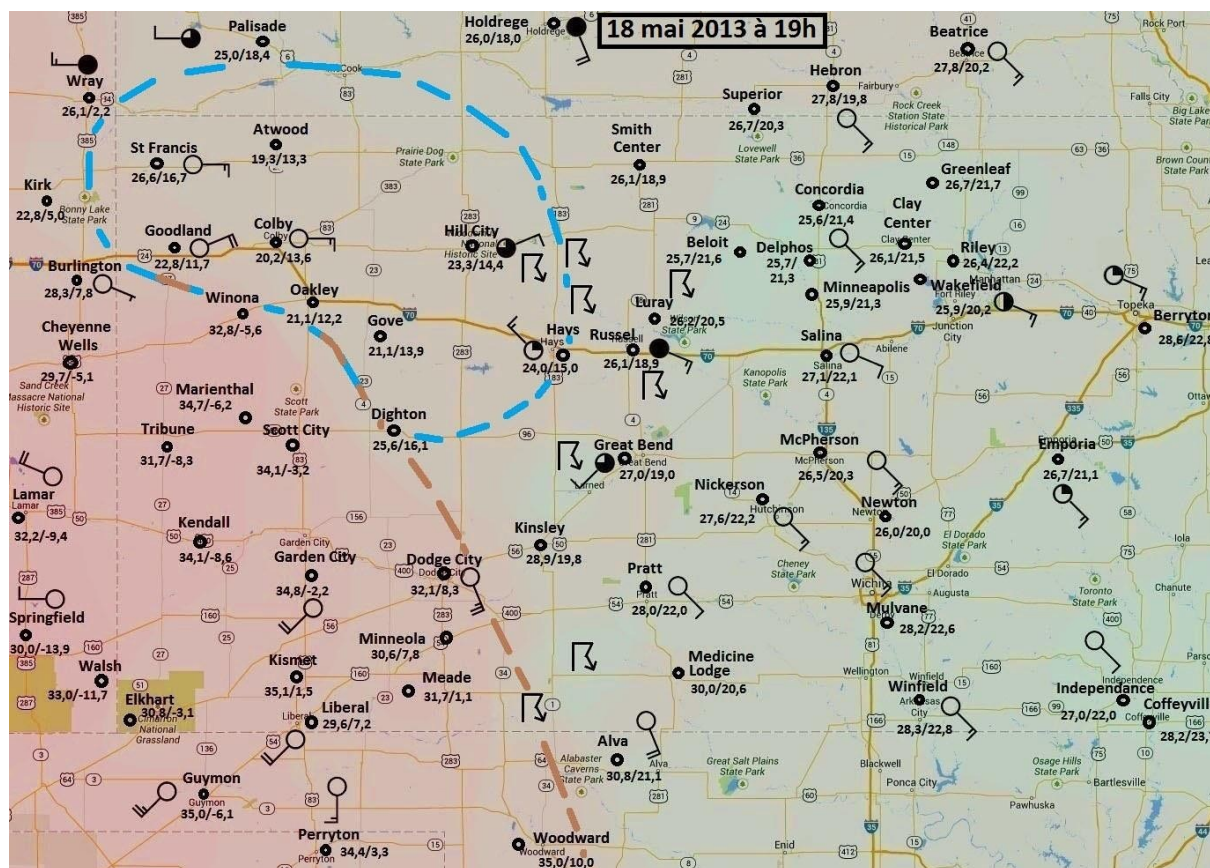
Cette carte vous permet de voir que la transition entre la zone sèche et la zone humide est plus ou moins abrupte selon les endroits. Au nord et au sud de la carte, cette transition est assez progressive, tandis qu'au centre, près de Dodge City, l'air humide et l'air (très) sec se côtoient parfois de très près. On note que Dodge City se retrouvera dans l'air sec seulement 23 minutes plus tard. Mais en attendant, à 16h00, la ville se trouve encore dans une excoissance d'air humide au milieu de l'air sec, tandis qu'une bulle d'air extrêmement sec s'est détachée au-dessus de Meade.

Cette poche d'air resté extrêmement sec se retrouve, elle, dans un environnement où l'air, quoique sec aussi, s'est déjà davantage mélangé avec l'air humide en raison de la turbulence / convection / convergence près de la dry line.

Cette convergence des vents, d'ailleurs, est particulièrement visible sur la carte, avec des vents de sud-est, voire d'est-sud-est à l'avant de la dry line, et des vents de sud-ouest à l'arrière. Ajoutons enfin que ces vents sont forts irréguliers, avec des rafales souvent supérieures à 50 km/h, principalement du côté sec. Tout cela n'est évidemment pas sans conséquence sur l'évolution orageuse à venir.

En effet, le ciel est déjà très bouillonnant autour de Dodge City, avec la formation de cumulus congestus et de petit cumulonimbus, mais il manque encore un petit quelque chose pour que la convection se mette vraiment en route. « *Les tours convectives s'élevaient dans le ciel... puis s'effondraient, laissant derrière elles des enclumes tristes et orphelines, s'éloignant dans le désespoir* », raconte Jeremy Perez, traqueur d'orage opérant dans la région à ce moment-là. Pourtant, quelques heures plus tard, une tornade EF4 naîtra non loin de là !

Jetons à présent un coup d'œil sur la situation à 19h00.



Si l'on regarde du côté de Dodge City, nous voyons à présent que la ville est du côté sec, mais que l'air humide ne demeure pas loin. En outre, les points de rosée moins bas que dans les villes situées plus à l'ouest indique qu'un certain mélange entre les deux masses d'air a bel et bien eu lieu à la lisière de la dry line.

Nous voyons aussi qu'à quelques (bonnes) dizaines de kilomètres à l'est, une activité orageuse est déjà bien développée (symboles du tonnerre). D'un autre côté, nous apercevons aussi une poche d'air plus frais du côté nord-ouest de la carte, laissée par les restants du front froid en déliquescence, mais surtout par l'outflow d'orages qui ont éclaté dans cette zone quelques heures plus tôt, en raison de ce même front affaibli sur lequel est venu buter l'air chaud.

Mais de ce côté-là, la situation est désormais trop floue (mélange front froid – pseudo-front orageux) pour former un véritable « triple point ». La naissance des orages sévères, en ce 18 mai, est exclusivement le fruit de la dry line et de ses irrégularités. 18 minutes seulement après l'heure indiquée sur la carte, à quelques 70 kilomètres au nord-est de Dodge City, la fameuse tornade EF4 de Rozel touchera le sol...

Pour analyser ce phénomène, nous allons à nouveau revenir en arrière, mais cette fois-ci à un niveau beaucoup plus local.

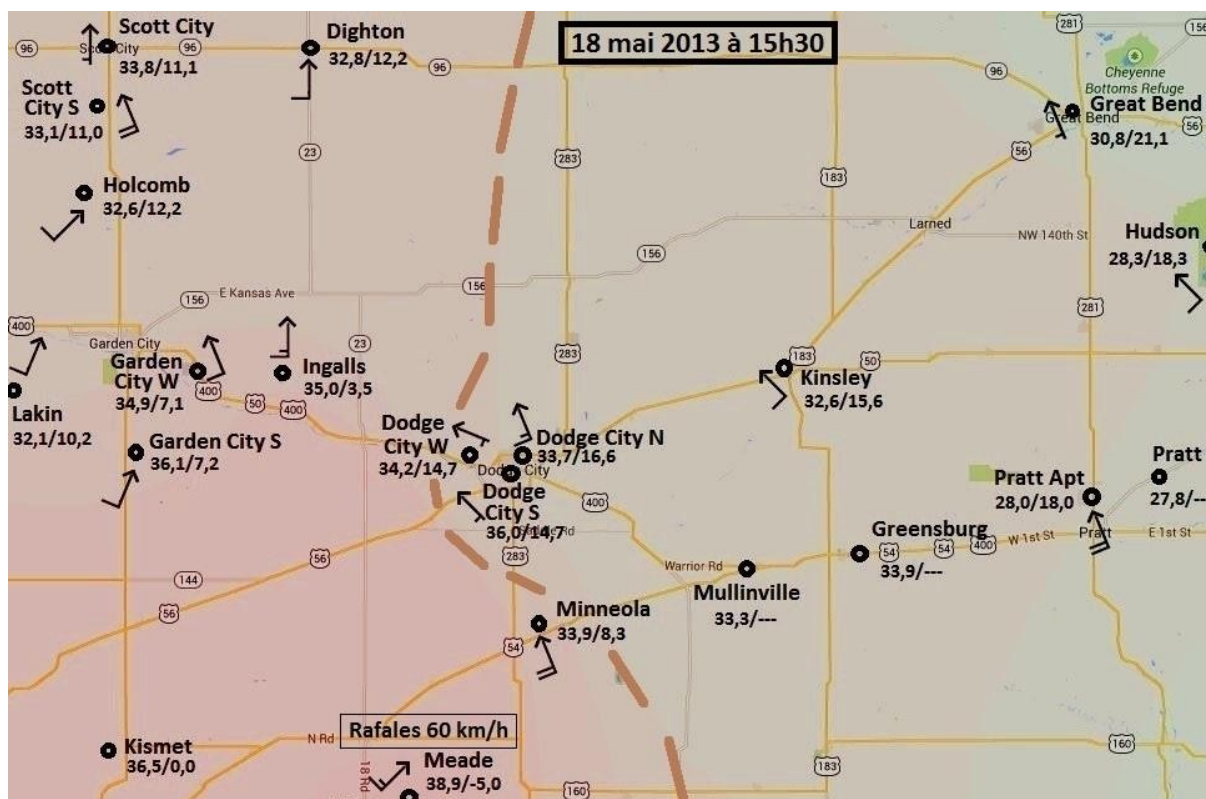
À midi et en début d'après-midi, le ciel est très clair à Dodge City (quelques cirrus et altocumulus, sinon le ciel est serein) et ce, malgré le fait que l'air est assez humide. La « dry line » est pourtant tout près, mais l'excroissance d'air humide dont il a été question plus haut tarde encore à s'évacuer. Au-dessus de la ville, cet air a une épaisseur de 800 mètres environ, et une inversion couvercle empêche dans un premier temps toute convection. Mais la surchauffe du sol et la faible épaisseur de la couche d'air vont rapidement faire monter les températures, jusqu'à 35-36°C, et l'inversion s'érode fortement. Vers 15h00, la convection explose, des cumulus atteignent le stade congestus et de petit cumulonimbus se forment.



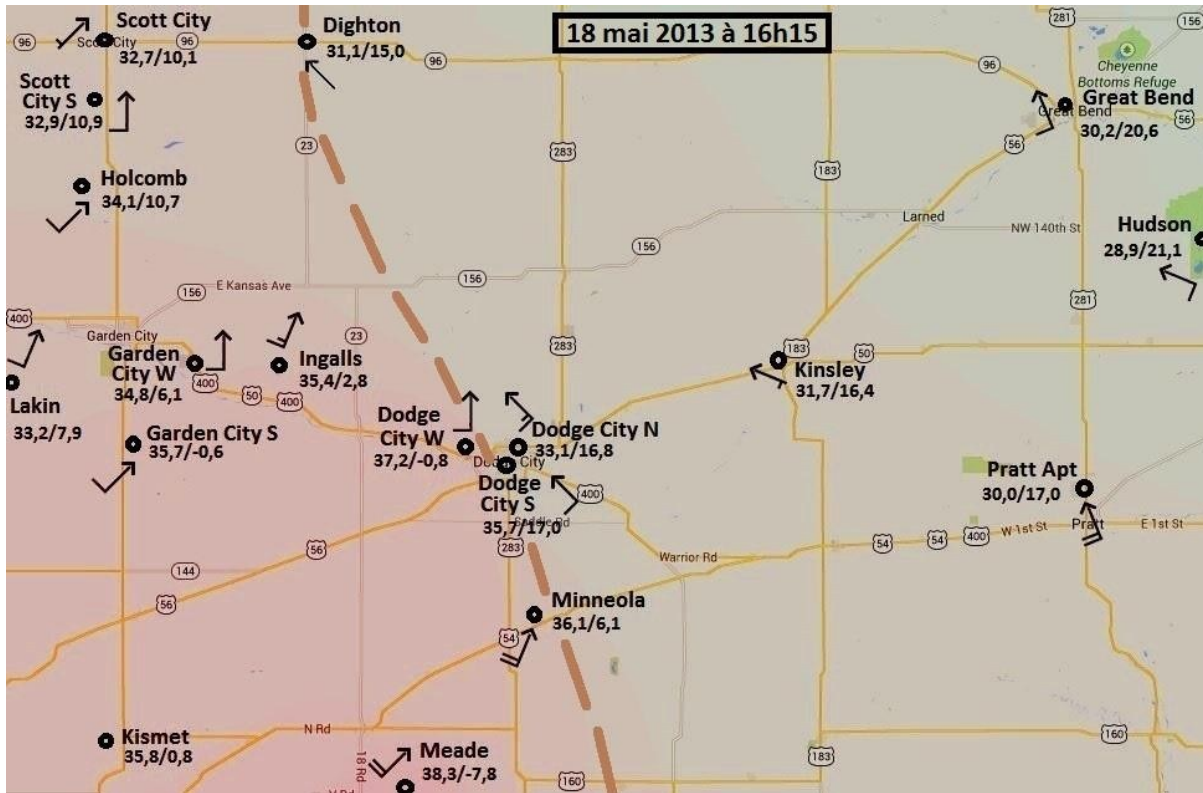
Source : Wunderground

Mais la mince couche d'air humide se mélange alors à l'air sec, se perd dans la masse de l'air sec et bien vite, les tours convectives s'effondrent à nouveau par manque d'humidité.

Analysons à présent la situation autour de Dodge City à 15h30 L.T.



Nous voyons bien l'excroissance de l'air humide au-dessus de Dodge City, avec des vents de sud-est qui repoussent l'air sec. En même temps, un peu plus au sud, un fort vent de sud-ouest, qui souffle en rafales, pousse une bulle d'air extrêmement sec et chaud vers Dodge City.



À présent, l'excroissance d'air humide a complètement disparu. La « dry line » est en train de traverser Dodge City, avec une chute très brutale du point de rosée (alors que la transition est plus progressive au nord et au sud). Il n'est donc pas étonnant que la convection disparaisse au-dessus de la ville.



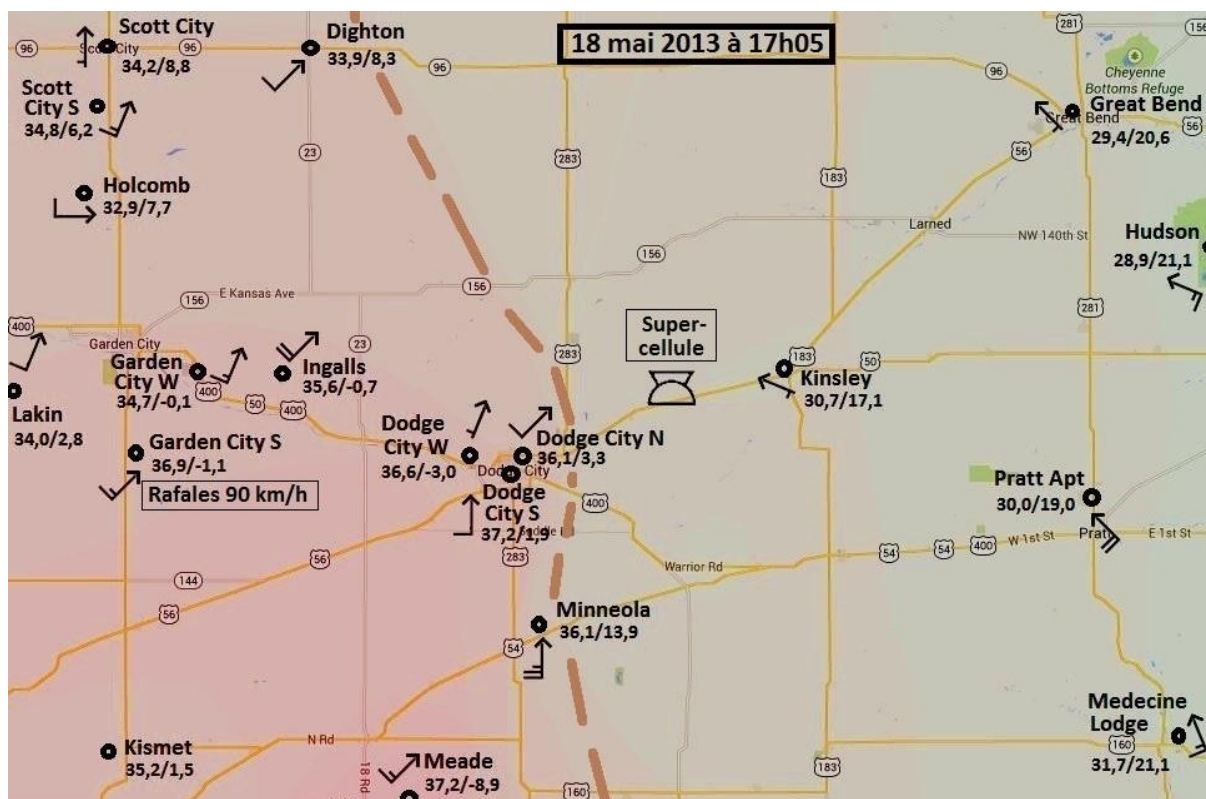
Source : Wunderground

Les cumulus s'effondrent, cependant ce qui ressemble à des cirrostratus sur la photo sont des enclumes de cumulonimbus formés plus loin, là où l'humidité est restée suffisante.

L'air sec est certes extrêmement instable, avec des gradients à la limite du superadiabatique jusqu'à 5000 mètres au-dessus du sol aux endroits les plus chauds. Mais il n'y a pas (ou peu) de nuages.

L'air humide est quant à lui soumis à une inversion couvercle tenace (à cause de l'air très chaud qui passe au-dessus), ce qui empêche également la convection. Mais, comme expliqué précédemment, il existe des endroits où l'humidité est tout juste suffisante, et l'inversion tout juste pas assez coriace pour que la convection se mette en route malgré tout, et ce avec toute l'énergie accumulée en dessous de ladite inversion. Avec le cisaillement en prime (vent de sud-est humide dans les basses couches, vent de sud-ouest sec au-dessus), les cumulonimbus deviennent aisément des supercellules, de type LP (low precipitations) dans un premier temps.

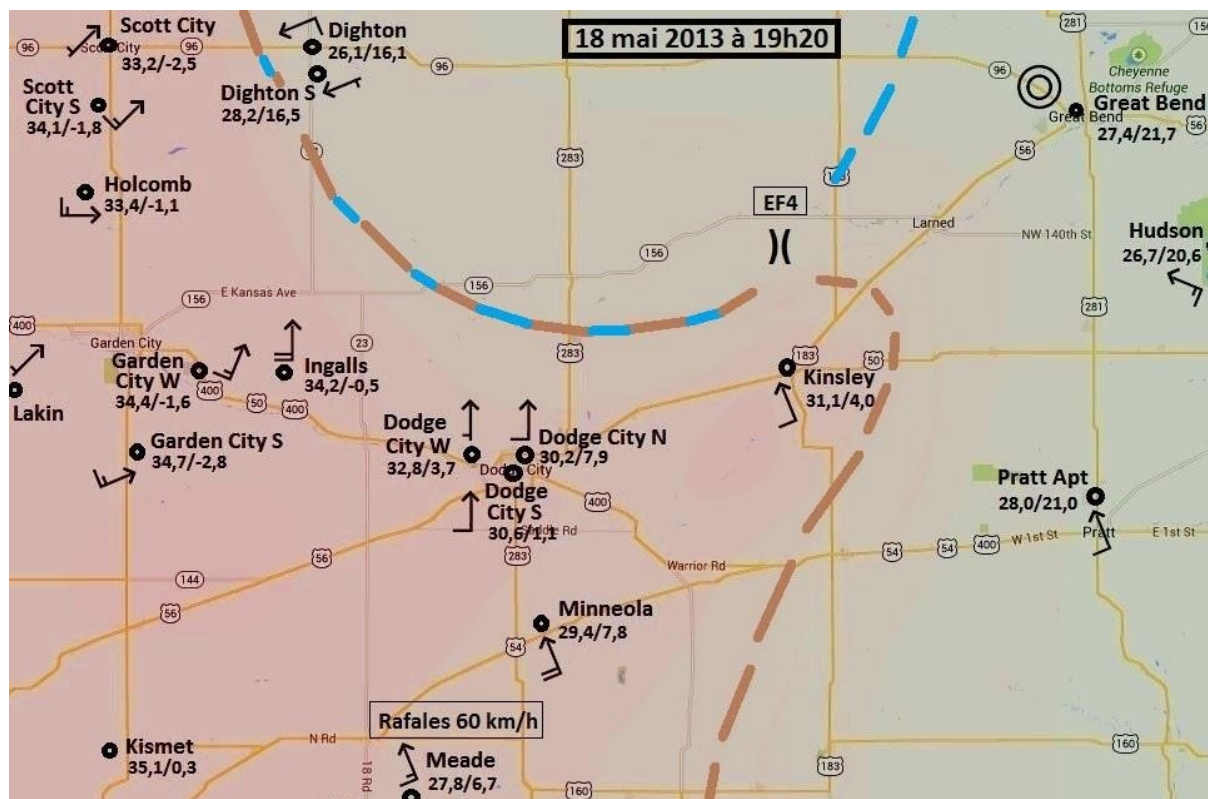
Penchons-nous sur la situation à 17h05 soit à peine 50 minutes plus tard.



Désormais, la situation s'est inversée au-dessus de Dodge City : nous sommes en présence d'une excroissance d'air sec. Ces irrégularités dans la « dry line », associées aux fortes rafales d'air sec qu'on observe par endroit et aux fortes zones de convergence qui se créent ici et là, ne sont certainement pas étrangères à cette évolution supercellulaire. Néanmoins, c'est la supercellule elle-même qui contribue aussi à cette avancée d'air sec. Comme si souvent en météorologie, il y a interdépendance des causes et des conséquences.

La supercellule en question, qui s'est développée exactement au-dessus de Spearville, se dirige lentement vers Offerle (les deux bourgades se situent entre Dodge City et Kinsley) en gardant son caractère de « Low Precipitations ». Cependant, vers 18h15 – 18h30, un petit entonnoir se formera en dessous d'elle. Mais la véritable tornade, l'EF4 de Rozel, sera le fruit d'une autre supercellule, formée peu de temps après.

À présent, regardons la situation à 19h20, au moment où la tornade en question touche le sol.



Ce qui frappe sur cette carte, outre la tornade proprement dite, c'est la forte avancée de l'air sec en direction de Kinsley, qui est littéralement attiré par la supercellule. En même temps, les restants du front froid et du pseudo-front laissés par les orages du nord semblent attirés, eux aussi, par la supercellule en question. Ici aussi, il y a interdépendance des causes et des conséquences, mais il n'est franchement pas à exclure que la formation de la tornade, et surtout sa puissance, doive beaucoup aux courants de nord-est qu'on voit se développer au-delà du (pseudo-)front.

En d'autres termes, si la formation des supercellules ne s'est pas faite à un « triple point », le front froid (ou tout au moins ce qu'il en reste) finira quand même par jouer un rôle au niveau de la tornade. En outre, il ne faut jamais perdre de vue que même au-delà du (pseudo-)front, le vent continue à souffler fort de sud-ouest à quelques centaines de mètres d'altitude, avec comme conséquence des cisaillements énormes.

Pour bien cerner ce genre de situation, et pour encore améliorer la prévision à très court terme en matière de tornades, il faudrait multiplier les stations d'observation pour arriver à un maillage très fin de mesures (température, humidité, vent, précipitations) afin de pouvoir reconnaître, au niveau très local, les patrons atmosphériques types qui font qu'une tornade se forme, gagne en puissance ou, au contraire, ne se développe pas. Les cartes ci-dessus nous donnent déjà pas mal d'informations, mais il reste des trous, par manque de stations d'observation.

Mais un œil alerte, dans un tel cas, aidera bien plus les traqueurs d'orages que les cartes modélisées.

D. Un cas très différent : les tornades de Simla du 4 juin 2015



Crédit photo : **Samina Verhoeven – Belgorage**

Les tornades de Simla (Colorado) sont très différentes de ce qui a été décrit jusqu'ici. Il n'y a pas de front, ni de dry line dignes de ce nom. Et l'humidité n'est pas énorme. Il y a juste l'instabilité qui va générer des orages quelconques. Et ces orages quelconques, pour finir... vont créer les conditions pour pas moins de huit tornades !

Commençons par le début : déjà géographiquement, la situation de Simla est très différente des localités situées au Kansas ou Oklahoma. Donc climatiquement aussi. Ci-après, nous allons détailler tout cela.

a. Situation géographique de Simla

Simla est une petite bourgade américaine, située dans les Hautes Plaines du Colorado, à quelques 75 km à l'est des Montagnes Rocheuses et à une centaine de kilomètres au sud-est de Denver.

Ses coordonnées sont les suivantes : 39°08'N, 104°05W et 1833 m au-dessus du niveau de la mer.



Source : Google Street View

1833 mètres ! C'est bien la raison pourquoi on parle de « Hautes » Plaines ici. Il s'agit en réalité d'un plateau, parfois quelque peu accidenté mais le plus souvent plat, sur lequel les Montagnes Rocheuses tombent de façon abrupte sur une ligne presque droite orientée nord-sud.

Si l'on ne regarde que le relief, on pourrait presque comparer le paysage à celui du Nord de la France ou du centre de la Belgique, avec certes quelques endroits un peu vallonnés, mais surtout une prédominance de vastes étendues planes ou presque. Ce n'est que l'altitude qui est fort différente, plus de 1800 mètres au-dessus du niveau de la mer, plus haut, donc, que les sommets du Jura, des Vosges ou de la Forêt Noire.

Pourtant nul ne s'en rendrait compte. Les Plaines américaines, à l'ouest du Mississippi, s'élèvent tellement progressivement qu'on se sent toujours dans une plaine, même après un bon millier de kilomètres de route où l'on n'aura vu, pour ainsi dire, aucune élévation significative. Nous y voilà donc à cette étrange dénomination de « Hautes Plaines », avec majuscules, au lieu de « hauts plateaux ».

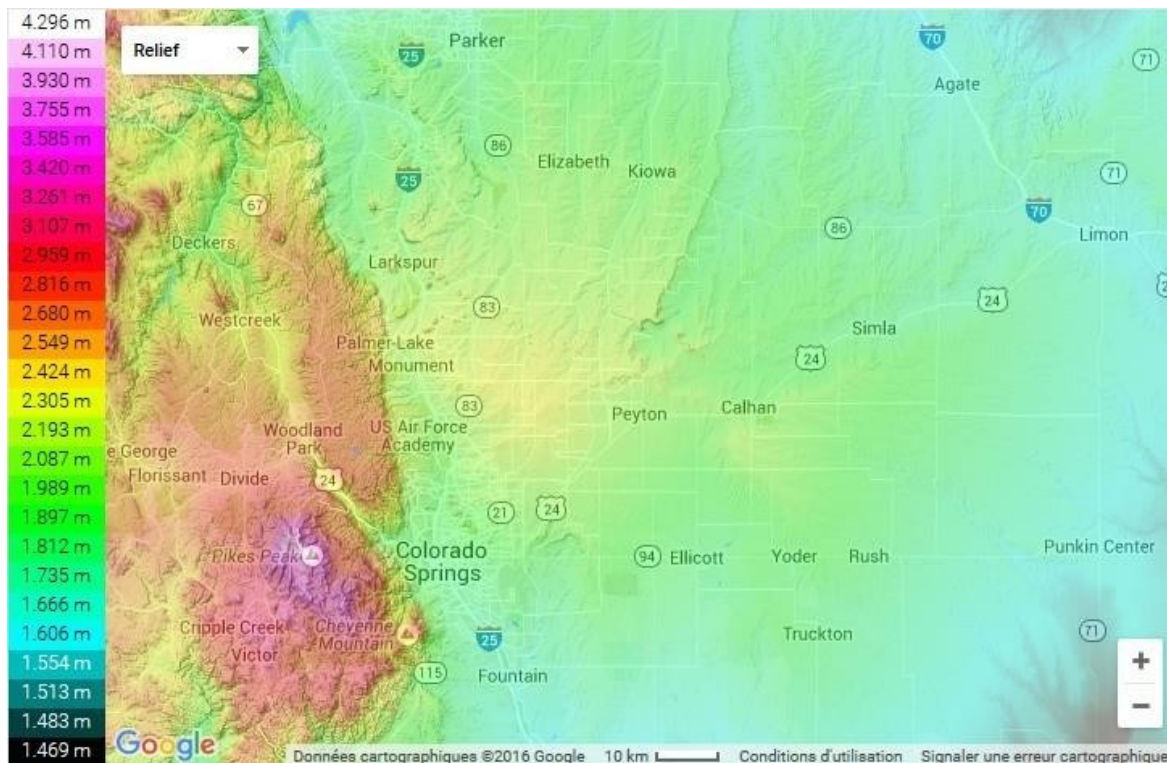
Par temps clair cependant, les cimes des Montagnes Rocheuses sont visibles de très loin, comme nous le laisse deviner la photo suivante.



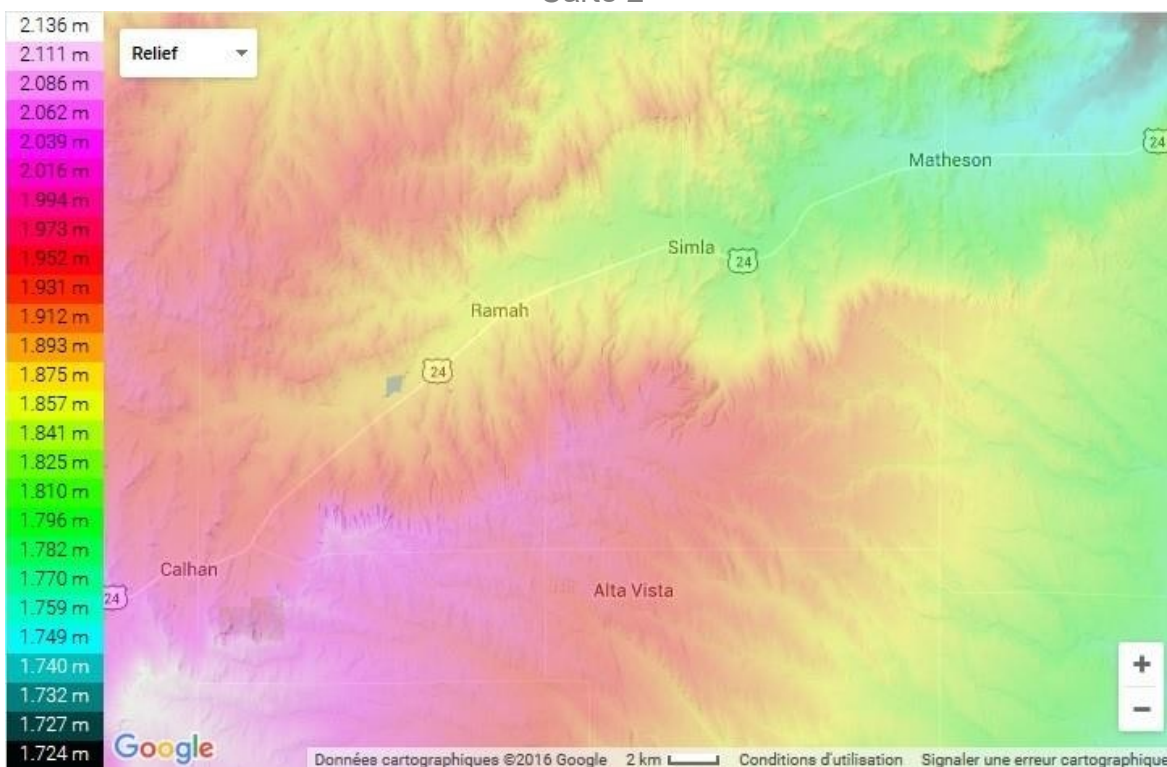
Source : Wunderground

Grâce aux cartes ci-dessous, nous allons pouvoir étudier la topographie de plus près.

Carte 1



Carte 2



La carte 2, notamment, nous enseigne que Simla se trouve dans une vallée à faible relief, grosso modo orientée ouest-sud-ouest – est-nord-est, avec les plus hautes collines (situées à quelques distances toutefois) qui dépassent de 300 mètres environ le fond de la vallée. Ce qui revient à dire que, par rapport au niveau de la mer, l'altitude oscille entre 1800 et 2100 mètres.

Il va sans dire qu'une telle altitude impose un climat rude à la région, en dépit de sa latitude assez basse, en dessous du 40° parallèle. C'est ainsi qu'en janvier, dans la région de Simla, les températures ne dépassent guère 4 à 5°C en moyenne en journée, pour replonger jusqu'à -8°C environ la nuit. En juillet, ces valeurs sont respectivement de 30°C et de 14°C, avec une humidité relative assez basse tout au long de l'année.

Les variations, toutefois, sont extrêmes. Avec le foehn (le « chinook » comme on l'appelle là-bas, qui descend des Rocheuses), les températures peuvent atteindre 25°C en pleine période de Noël aux endroits privilégiés, alors qu'une descente d'air arctique fera dégringoler le mercure jusqu'à -30°C à la même saison. L'été n'est pas davantage à l'abri de ces variations, avec des pics de chaleur jusqu'à presque 40°C malgré l'altitude, ou alors une grande fraîcheur avec des nuits froides jusqu'au cœur de l'été (températures inférieures à 5°C possibles même en juillet et août).

À la fin du printemps, de grandes différences au niveau de l'humidité et des précipitations se surimposent à la variabilité thermique, ce qui fait que les tornades restent fréquentes et que la région appartient encore à la Tornado Alley, même si la zone de risque majeur se trouve bien plus à l'est.

Nous allons à présent analyser la journée du 4 juin 2015.

b. Situation atmosphérique

Pour cela, nous allons jeter un coup d'œil sur les « Mesoscale Discussions ».

« Les Mesoscale Discussions » sont des prévisions à très court terme, émises par le Storm Prediction Center (centre américain de prévisions des orages), qui concernent une région limitée, de « méso-échelle » comme si bien précisé. Ces Mesoscale Discussions peuvent nous donner de précieuses informations sur la météorologie régionale, mais aussi fortement nous induire en erreur. Comme nous allons le voir, les phénomènes violents, pour ce 4 juin, sont prévus tout à fait ailleurs.

Ci-dessous, la traduction du bulletin émis à 11h46 MDT (heure locale au Colorado) :

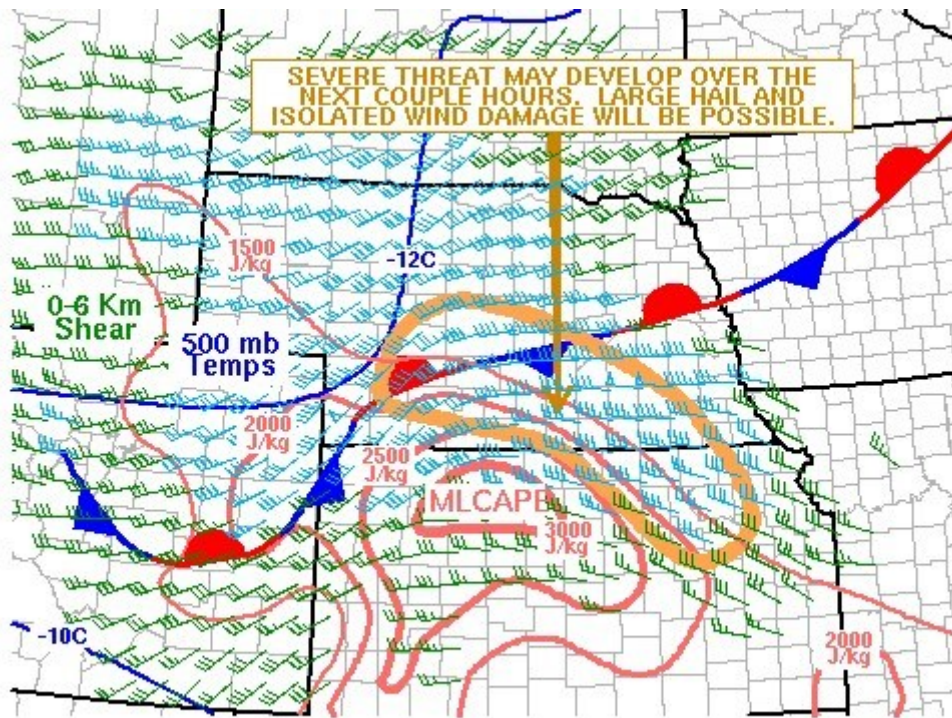
« Une situation à haut risque pourrait se développer sur le centre et le sud du Nebraska durant les prochaines heures. Les cellules les plus vigoureuses sont à même de produire de gros grêlons et des rafales destructrices.

« Les dernières analyses en surface révèlent un front quasi-stationnaire s'étendant de l'est du Colorado au centre-nord de l'Iowa en passant par le centre-sud du Nebraska. Les points de rosée dans la zone proche de ce front sont de l'ordre de 16 à 18°C, alors que la prévision des températures de surface a dû être revue en raison de la présence d'un pseudo-front lié aux flux sortants d'orages matinaux.

Un certain nombre de cellules se sont récemment formées dans le Comté de Lincoln, au Nebraska, dans la zone d'intersection entre le front et un flux qui se renforce dans les moyennes couches. Ceci est la cause d'un important cisaillement 0-6 km qui approche les 40 nœuds. Cet environnement cisailé, accompagné d'une instabilité suffisante, permet le développement de supercellules, même si leur base reste assez élevée en raison d'une couche d'air relativement frais en dessous (de l'inversion).

Le risque de fortes rafales reste limité, mais le danger de gros grêlons est bien présent, surtout en dessous de cellules avec mouvement rotatoire.

Plus au sud-est, des orages violents sont en cours au Kansas, du côté nord-est de cet État. Cette activité est associée à une instabilité augmentant graduellement vers le sud-est et aux restants d'un vieux pseudo-front orageux. Ces orages vont cependant être contrariés par des ascendances de plus en plus faibles et la présence de plus en plus marquée d'une inversion. Malgré cela, des violentes rafales et de la grêle restent possibles, même si c'est de façon isolée. »

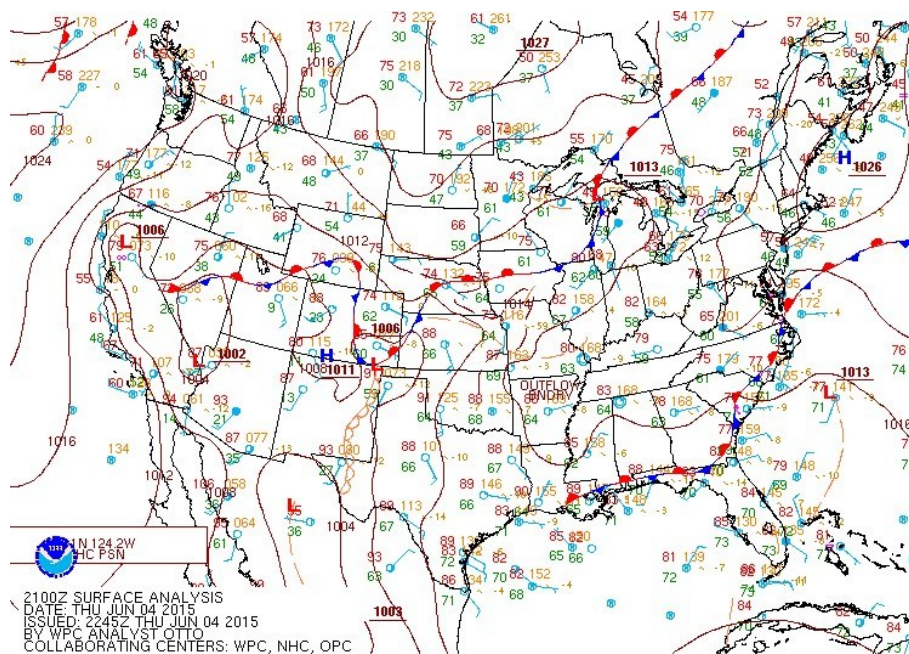


SPC MCD #0885

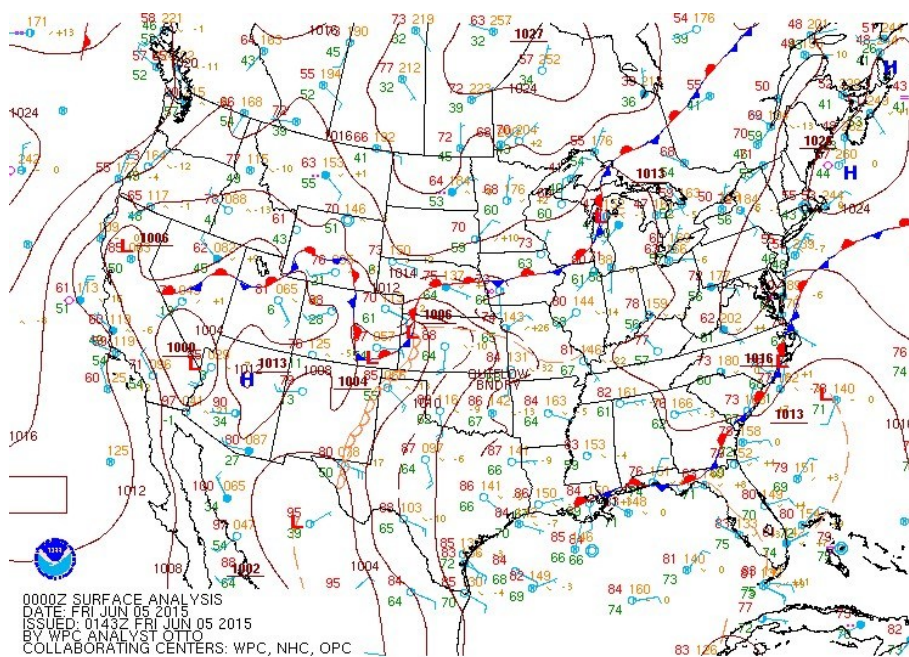
Source : SPC

Tous les indicateurs annoncent donc le gros des orages plus à l'est. Et même si cela éclate assez bien aux endroits prévus par le bulletin, l'essentiel de l'offensive n'est pas là, mais à Simla, avec un développement de tornades qui est vraiment extraordinaire !

Avant de chercher des explications, nous allons d'abord recadrer la carte ci-dessus par rapport à la situation atmosphérique générale sur les États-Unis, analysée à 12h00 et à 15h00 MDT.



Source : WPC



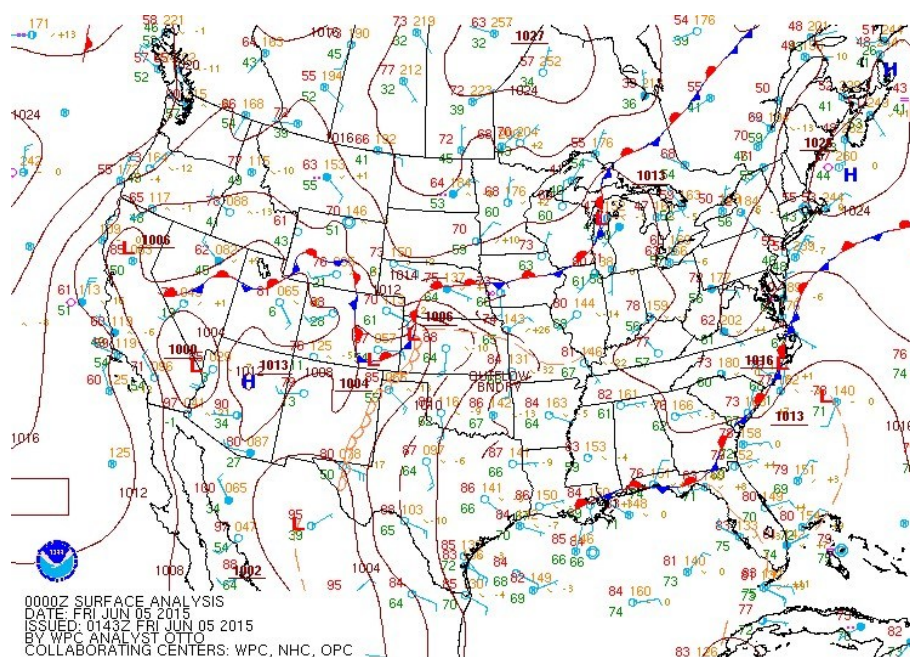
Source : WPC

Nous retrouvons bien, ici, le front présent sur le Colorado, mais aussi sur le nord-est du Kansas, sur le Nebraska et l'Iowa. En fait, il s'agit d'un véritable enfoncement d'air froid sur la moitié orientale du Colorado, avec un front courbe qui ne bouge pratiquement pas. Cette situation, d'ailleurs, existait déjà la veille, le 3 juin 2015.

Et la veille en effet, le temps était gris, humide et trop frais pour la saison, avec de nombreux stratocumulus, persistant longtemps, et des nuages d'instabilité l'après-midi, accompagnés d'une activité orageuse se concentrant surtout autour de Denver.

Mais le 4 juin, l'air présent dans ce renfoncement s'est tellement réchauffé que la différence de température, par rapport aux autres masses d'air, ne se ressentait plus qu'à peine.

Revoyons la dernière carte d'analyse.



Source : WPC

À l'est de la descente d'air froid (ou plutôt ancienne descente d'air froid), nous avons la typique remontée d'air chaud et humide originaire du Golfe du Mexique, accompagnée d'infiltrations d'air plus sec formant la célèbre « dry line », bien visible sur la carte ci-dessus.

À Dodge City au Kansas, l'air est en effet chaud et humide (33°C), mais le temps est lumineux avec quelques cirrus, des altocumulus et des nuages convectifs se développant à partir du milieu de l'après-midi, ici et là jusqu'au stade de cumulonimbus. À Johnson City, également au Kansas mais plus à l'ouest, nous retrouvons le même type de temps, mais avec des incursions d'air sec (dry line) et un maximum montant jusqu'à 35°C.

Le front et la dry line, qui formeront le fameux « triple point », sont cependant trop affaiblis pour générer des orages véritablement violents.

À l'ouest de l'ancienne descente d'air froid, nous avons un air chaud et très sec, d'origine désertique, avec un ciel serein ou garni de cumulus aplatis, et l'apparition de cirrus spissatus le soir. Les températures, au fond des vallées des Rocheuses, atteignent 25°C environ.

Dans l'ancienne descente d'air froid, le temps est d'abord brumeux, avec des stratus évoluant en cumulus/stratocumulus avant de se dissiper pour de très belles éclaircies en matinée. Puis une formation de cumulus l'après-midi, se développant ou non en orages selon les endroits. Les températures atteignent le plus souvent des valeurs de 26-28°C.

À première vue, les trois masses d'air semblent présenter des températures très différentes, mais il ne faut pas perdre de vue les grandes différences d'altitude qu'il y a dans la région. À l'ouest du Kansas (Dodge City, Johnson City), la plaine (faisant encore partie des Grandes Plaines) se situe autour de 800-1000 mètres d'altitude. Au Colorado, où il est déjà question de Hautes Plaines, l'altitude est souvent de 1500-1800 mètres, tandis que les vallées dans les Rocheuses se trouvent fréquemment à des altitudes largement supérieures à 2000 mètres. Si l'on corrige ces effets de l'altitude, on se rend compte que les trois masses d'air ont des températures presque similaires.

D'un autre côté, la grande disparité dans l'humidité est également liée à la géographie locale : plus on s'enfonce dans la chaîne de montagnes des Rocheuses, plus l'air est sec. Et nous allons bientôt voir que ces éléments de climatologie locale ont pu jouer un grand rôle dans la formation des tornades de Simla.

Nous commençons cependant notre étude météorologique à micro-échelle autour de Simla par l'analyse, ensemble avec notre équipe de traqueurs sur place, de tout ce qui s'est passé d'heure en heure, voire de minute en minute.

c. Les huit tornades de Simla, évolution de minute en minute

Les tous premiers cumulonimbus se développent non loin de Denver vers 13h00 MDT, tandis que les premières précipitations sont détectées par le radar vers 14h00 MDT. À Elizabeth, une très courte mais intense averse est observée vers 14h15, tandis que Comanche Creek et Kiowa (environ 40 km au nord-ouest de Simla), subissent, sans recevoir de précipitations, l'outflow orageux avec des températures baissant de 26 à 23°C en quelques minutes. Ceci aura son importance dans l'analyse à très petite échelle de la situation météorologique, décrite au chapitre suivant.

Entre 15h00 et 16h00, on voit un important développement, de nature supercellulaire, un peu plus à l'est, du côté d'Agate (à un petit 40 km au nord-nord-est de Simla) qui subit une chute de température devenue entre-temps spectaculaire, avec une baisse de 30 à 19°C !

À 16h14 MDT, la supercellule se trouve à l'est de Matheson, à une bonne dizaine de kilomètres à l'est-nord-est de Simla. C'est l'heure où notre équipe de traqueurs d'orage arrive sur place. Le premier nuage mur, à ce moment-là, était déjà développé. La photo ci-dessous a été prise à 16h27 MDT.



Crédit photo : **Samina Verhoeven** – Belgorage

Ce nuage mur se déstructure cependant aux environs de 16h45 MDT et file vers le courant descendant tandis qu'un autre le remplace à l'arrière à peu près au même moment, peut-être un peu avant.

L'existence de deux mésocyclones est corroborée par Michael Bath, faisant partie d'une équipe australienne de traqueurs d'orage : *« Il y a un moment où deux mésocyclones étaient très apparents. Les bases étaient fort élevées, mais baissaient au fur et à mesure. L'orage se traînait lentement vers le sud. Nous avons trouvé un point de vue au sud-ouest de Simla, où la structure évoluait en supercellule classique »*.

Ci-dessous, les photos prises par notre équipe.



Crédit photo : Samina Verhoeven – Belgorage



Crédit photo : **Samina Verhoeven – Belgorage**

La première tornade a été aperçue à 17h15 MDT, à mi-chemin entre Simla et Matheson.



Crédit photo : **Samina Verhoeven – Belgorage**

Cette tornade a très brièvement touché le sol entre 17h14 et 17h15 MDT. L'entonnoir était visible de 17h11 à 17h17 MDT, heure de la dissipation complète du phénomène.

La seconde tornade a sévi à peine quelques minutes plus tard, toujours au même endroit.



Crédit photo : **Samina Verhoeven – Belgorage**

Il s'agissait en fait d'une tornade « sauteuse », qui a deux fois touché le sol, à 17h19 et à 17h20 MDT. La totalité du phénomène a duré trois minutes, entre 17h17 et 17h20, heure de la dissipation totale.

La troisième tornade, qui est passée à l'ouest de la ville de Simla, a sévi aux environs de 17h30 MDT alors que l'équipe était positionnée aux portes de la ville, légèrement plus à l'est.



Crédit photo : **Samina Verhoeven – Belgorage**

Il s'agit d'une tornade plus large, également de nature « sauteuse », qui a touché le sol à deux reprises, à 17h30 et 17h31 MDT. La durée totale du phénomène n'a été que de deux minutes.



Crédit photo : **Samina Verhoeven – Belgorage**

La quatrième tornade s'est produite pendant que l'équipe entamait un déplacement afin de se repositionner pour la suite des événements. Son évolution s'est opérée entre 17h33 et 17h41 MDT. Il s'agissait d'une tornade large, rendue invisible par la pluie dès 17h41.



Crédit photo : **Samina Verhoeven – Belgorage**

La cinquième tornade a sévi à 18h00 MDT pendant que notre équipe se trouvait sur la route 149, entre Matheson et Rush.



Crédit photo : **Samina Verhoeven** – Belgorage

Les sixième et septième tornades étaient simultanément présentes vers 18h20 MDT, toujours visibles depuis la même route, mais un peu plus au sud.



Crédit photo : **Samina Verhoeven – Belgorage**

Il est particulièrement intéressant de noter que la tornade la plus proche tourne dans le sens anticyclonique ! Elle a touché le sol entre 18h19 et 18h21 MDT.



Crédit photo : **Samina Verhoeven** – Belgorage

La huitième tornade, quant à elle, a été vue à 18h30 MDT alors que l'équipe se trouvait encore un peu plus au sud.



Crédit photo : **Samina Verhoeven – Belgorage**

La dernière photo, montrant le nuage mur en état de dissipation, a été prise peu avant 20h00 MDT, entre Rush et Punkin Center, depuis la route 94, puis 71.

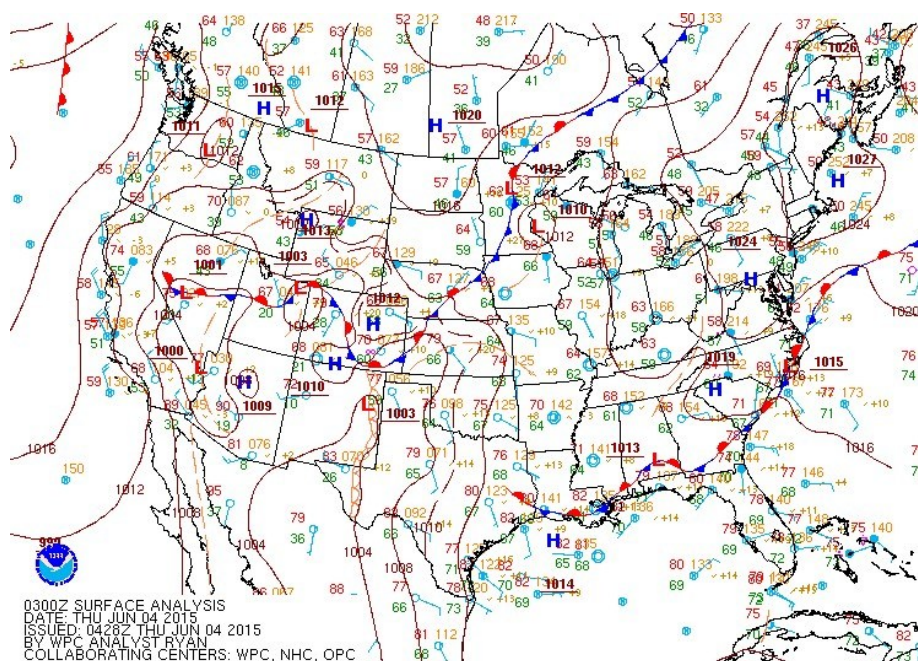


Crédit photo : Samina Verhoeven – Belgorage

La durée totale de la supercellule est estimée à environ 4 heures, entre 16h00 et 20h00 MDT, et même plus si l'on tient compte de la phase de développement de la cellule qui, comme précisé au début de ce chapitre, s'est située entre 15h00 et 16h00 MDT.

d. Analyse météorologique à très petite échelle.

Comme déjà dit précédemment, l'enfoncement d'air froid, entouré d'un front quasi-stationnaire, s'était surtout fait ressentir durant la veille, soit le 3 juin 2015, avec un temps gris, humide et trop frais accompagné par de nombreux stratocumulus, et la présence de nuages d'instabilité surtout autour de Denver, où éclatent des orages en fin d'après-midi et en soirée.



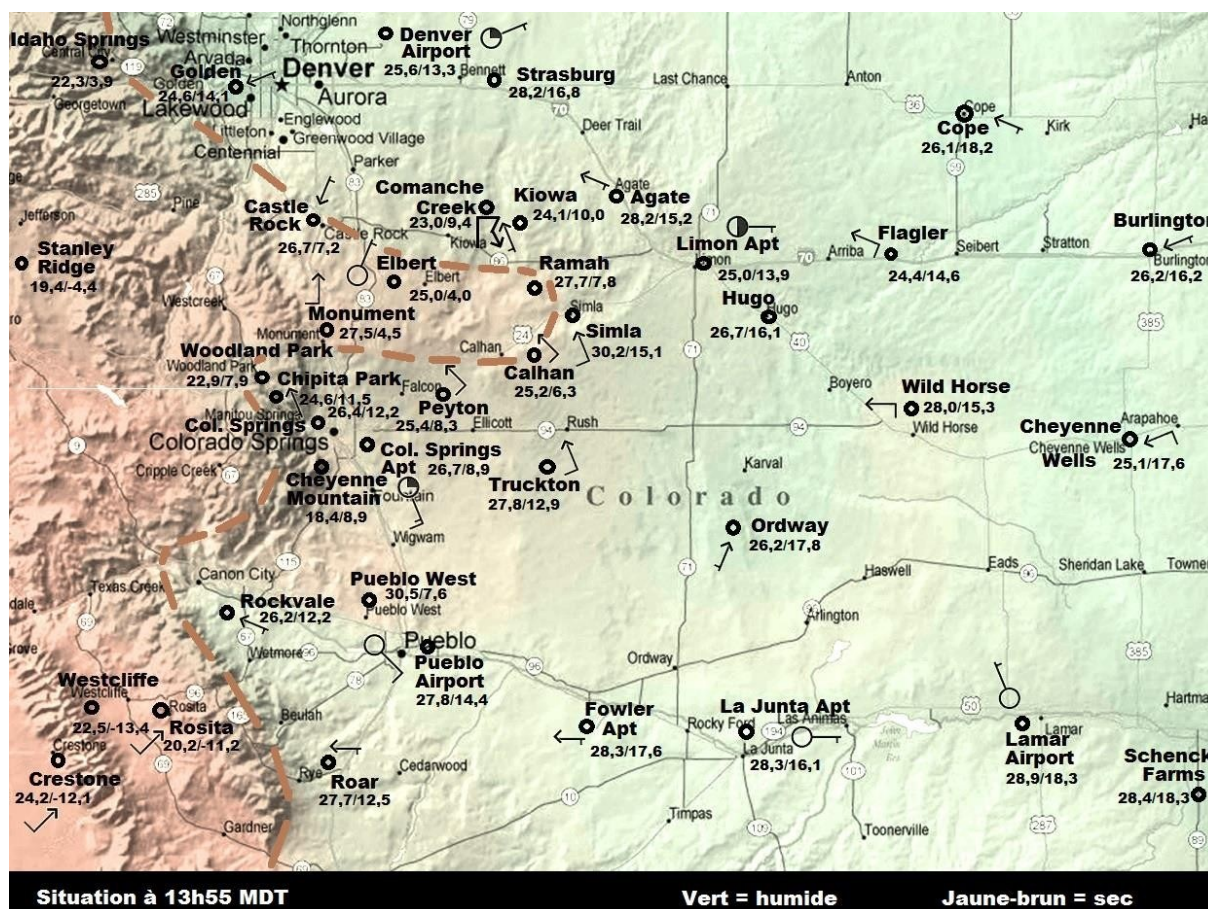
Source : WPC

Ce mauvais temps de la veille a été responsable, le 4 juin, d'un surplus d'humidité dans la région entourant Simla, avec de nombreuses brumes voire du brouillard, évoluant ensuite en stratus, stratocumulus puis cumulus avant de se disperser en début ou milieu de matinée.

Mais du front stationnaire, il ne reste pratiquement rien. Sa branche orientale est devenue complètement perméable et on peut parler d'un flux général d'est à sud-est qui affecte la quasi-totalité des Hautes Plaines du Colorado avant de venir buter contre les Montagnes Rocheuses. Il s'agit d'un air chaud et humide ayant une lointaine origine au Golfe du Mexique. Cependant, le long parcours sur les terres arides fait qu'en journée, cet air se desséchera quelque peu, tout en gardant suffisamment d'humidité pour maintenir un potentiel orageux sur la région.

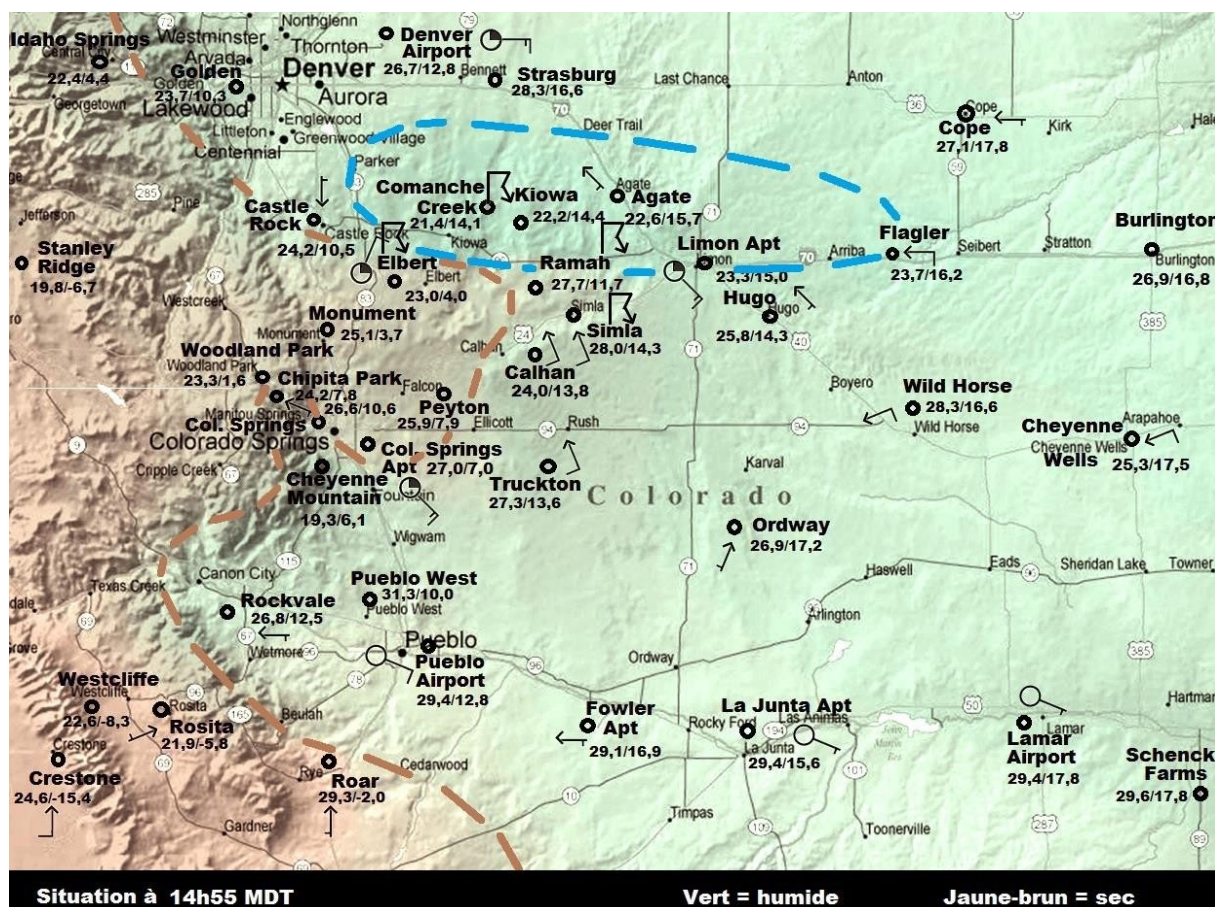
D'un autre côté, la branche occidentale du front se confond désormais avec une « dry line » naturelle, formée par le Front Range, une chaîne de montagnes formant le bord oriental des Montagnes Rocheuses et séparant l'air très sec des plateaux semi-désertiques à l'ouest de l'air moins sec des Hautes Plaines à l'est.

En ce 4 juin 2015, la dry line n'épouse cependant pas parfaitement les limites du Front Range, avec des enfoncements d'air humide au niveau de Pueblo et des renflements d'air sec débordant des plateaux semi-désertiques au sud de Denver.



Nous pouvons voir aussi, au symbole d'orage présent sur la carte, qu'une première cellule s'est développée juste au nord de cette avancée d'air sec.

Notons d'abord, cependant, que dans la langue d'air sec, les brumes et stratus matinaux font très rapidement place à un ciel tout à fait serein et une visibilité devenant très bonne, alors qu'au nord de cette langue d'air sec, les cumulus issus de l'évolution diurne des stratus et stratocumulus matinaux ont tendance à persister, d'abord sous une forme humilis en matinée avant de se développer de façon explosive en début d'après-midi pour former plusieurs cellules juste au nord de la zone sèche (où des cumulus finiront par se former aussi, mais avec un développement beaucoup plus limité).



Ces cellules orageuses vont créer un flux sortant d'air humide et plus frais sur une zone assez étendue et mettre en place un pseudo-front froid (symbolisé par la ligne discontinue bleue sur la carte) tandis que le versant sud du complexe orageux continue à attirer l'air sec (dont la limite est symbolisée par la ligne discontinue brune sur la carte).

Toutefois, si on regarde bien les températures et les points de rosée, nous sommes très loin d'une situation extrême avec plus de 20°C de différence dans les points de rosée. C'est bien plus modeste ici, et les contrastes thermiques n'ont rien de remarquable non plus. On peut véritablement parler d'une situation un peu « molle », et les orages tendent déjà à se déstructurer quelque peu.

Le schéma global, par contre, ne parvient pas à être bousculé et, au fil des heures, les contrastes thermiques se renforcent même, en raison d'une baisse plus prononcée des températures dans les zones à précipitations.



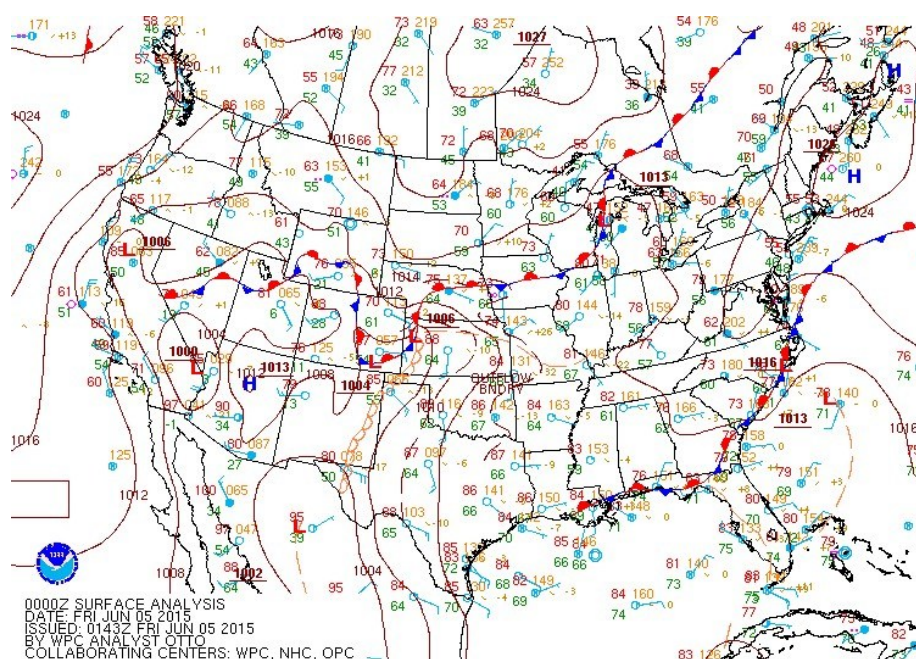
À présent, nous voyons qu'une sorte de « triple point » en miniature s'est formé quelque part à l'ouest de Calhan, à une bonne trentaine de kilomètres à l'ouest-sud-ouest de Simla. En sachant qu'en pareil cas, cet air sec, sous forme de couche sèche, va se retrouver à quelque altitude au-dessus de Simla, il n'est pas étonnant que la supercellule reprenne de la vigueur juste à ce moment-là, avec un nouveau nuage mur qui vient remplacer celui qui était en train de se déstructurer. Et en peu de temps, cette supercellule deviendra tornadique, avec la formation de non moins de huit tornades !

Un coup d'œil sur les sondages atmosphériques de Denver nous permet d'affirmer aussi que les conditions de cisaillement étaient idéales, avec un vent soufflant en moyenne de sud-est en surface (avec une zone de convergence sur le pseudo-front) et de sud-ouest dans les couches moyennes et élevées de l'atmosphère, avec une dynamique bien présente, mais pas trop forte, de telle manière qu'elle n'écrête pas le cumulonimbus.

Notons enfin la très forte décroissance des températures avec l'altitude dans les couches moyennes, avec des gradients montant jusqu'à 0,9°C par 100 mètres entre 3000 et 5000 mètres d'altitude.

Avec le réchauffement diurne, l'instabilité des basses couches est devenue à son tour très importante. L'existence ou non d'une inversion dans les couches moyennes est difficilement démontrable en l'absence de sondage réalisé sur place au bon moment, mais d'après le développement des nuages, il semblerait bien qu'un léger « couvercle » ait existé, ralentissant un instant la convection et la rendant plus explosive par la suite. Mais ce qui a surtout « boosté » la supercellule tornadique, c'est la situation très complexe laissée par des orages précédents.

En tout cas, ceci montre une fois de plus le côté imprévisible des éléments. Car le véritable front, et la véritable dry line se trouvaient tout à fait ailleurs.



Source : WPC

Un beau « triple point » était à l'ordre du jour quelque part sur l'ouest ou le nord-ouest du Kansas, avec un risque accru d'orages de ce côté-là, ou alors plus au nord, sur le front même au Nebraska. Mais du côté de Simla, ce front s'était affaibli et ce sont des phénomènes locaux qui ont pris le relais, pour produire à Simla des phénomènes tornadiques parmi les plus extraordinaires que l'on puisse connaître aux États-Unis.

E. Conclusion



Crédit photo : **Samina Verhoeven – Belgorage**

Il est sûr que trois exemples ne suffisent pas pour se faire une image générale des tornades dans la Tornado Alley. Mais ils permettent déjà de se faire une idée pour distinguer ce qui est classique comme situation atmosphérique de ce qui l'est moins.

Comme il existe déjà une littérature abondante sur les modèles de prévision, le présent ouvrage en parle moins, et se concentre davantage sur les petits détails que les modèles ont encore beaucoup de mal à interpréter, comme les petits changements au niveau de la dry line ou l'influence exacte qu'aura le flux sortant d'un orage sur la formation d'autres orages. Dans les cas extrêmes, cela peut complètement changer la donne.

Nous espérons que le présent ouvrage ait pu apporter la petite touche en plus, permettant aux traqueurs d'orages et de tornades d'avoir beaucoup de succès au cours de leurs traques.

F. Sources



Membres de l'équipe de Belgorage – capture d'écran de l'émission
« Quel temps ! » de la RTBF

- National Centers for Environmental Prediction, Weather Prediction Center
- Wikipedia : « Géographie des États-Unis »
- NOAA : « Clues from Climatology : When and Where Do Tornadoes Occur ? »
- Ruminations of Thunder (Blog)
- Wunderground
- OGIMET
- University of Wyoming
- California Regional Weather Server