

II - PHENOMENES DANGEREUX POUR L'AERONAUTIQUE

par M. MEZIN

Ingénieur en Chef de la Météorologie

1 - Etat du sol.

On trouve parmi les phénomènes influant sur l'état du sol de l'aérodrome: pluies importantes transformant le sol en borbier ou provoquant éventuellement des inondations; chutes de neige nécessitant le déblayage du sol; formation de glace (en anglais: ice) rendant le sol glissant. La glace au sol peut provenir de l'évolution d'une couverture de neige ou d'une chute de pluie sur fondue se prenant en verglas en arrivant au sol, ou du gel ultérieur d'une pluie ordinaire tombant sur un sol très froid.

2 - Brouillard et visibilité.

Lorsque la visibilité, par suite du trouble de l'atmosphère, s'abaisse au-dessous de 1km, on dit qu'il y a brouillard (en anglais: fog). Pour une visibilité supérieure à 1km., mais limitée, on emploie l'appellation brume (en anglais: mist) ou brume sèche (en anglais: haze). La visibilité est surtout limitée par la présence de particules diffusantes en suspension dans l'atmosphère, c'est-à-dire de particules renvoyant dans toutes les directions la lumière reçue.

Pour les très petites particules, de diamètre inférieur au micron (millième de millimètre), la diffusion vers les côtés et vers l'arrière est plus importante pour les petites longueurs d'onde (violet, bleu, etc...) que pour les grandes (rouge, orange, etc...). Il s'ensuit que, par temps de brume, une lumière blanche lointaine paraît roussâtre, la partie de courtes longueurs d'ondes de la lumière étant fortement diffusée vers les côtés et l'arrière. Pour les particules plus grosses, la diffusion devient à peu près indépendante de la longueur d'onde, de sorte qu'une lumière vue à travers un brouillard ou un nuage conserve sa couleur.

Les particules diffusantes dévient une partie de la lumière dirigée initialement de l'objet regardé vers l'oeil de l'observateur; d'autre part, les particules diffusantes envoient vers l'oeil de l'observateur des lumières d'origine latérale (soleil, ciel, autres régions du paysage). Les lumières parasites correspondant à ce dernier phénomène constituent le "voile atmosphérique". Celui-ci est un voile plus ou moins blanchâtre masquant d'autant plus les objets qu'ils sont plus éloignés.

La visibilité dépend de l'éclairement des particules diffusantes interposées. Si celles-ci sont dans l'ombre, la visibilité est meilleure que si elles étaient isolées, ce dernier cas permettant la production d'un voile atmosphérique intense.

La visibilité dépend des positions relatives de l'observateur et du soleil. Lorsque l'on regarde vers des directions voisines du soleil, le voile atmosphérique est important, et, d'autre part, il se produit un éblouissement. Lorsque l'on a le soleil dans le dos, le voile atmosphérique est généralement moins intense. D'un avion, on peut parfois apercevoir le sol embrumé, tandis que l'observateur ne peut pas voir l'avion.

Au moment du lever ou du coucher du soleil, il y a un brusque changement de visibilité, l'intensité du voile changeant avec l'éclairement reçu du soleil.

Dans le cas des petites particules diffusantes (brume), le voile atmosphérique est d'autant plus réduit que la radiation utilisée est de plus grande longueur d'onde (utilisation de l'infrarouge pour la photographie des lointains). Le bénéfice des grandes longueurs d'onde cesse pour les grosses particules (brouillard, nuages).

La visibilité verticale ou oblique peut être très différente de la visibilité horizontale. Par exemple: Stratus s'abaissant presque au sol où la visibilité horizontale est bonne; brouillard limité à la proximité du sol, laissant visible le zénith et son voisinage.

Dans le cas d'un avion survolant une région embrumée, il y a lieu de remarquer que le rayon de la zone de sol visible diminue au fur et à mesure que l'avion s'abaisse.

Etudions maintenant la constitution des brouillards:

Il s'agit de gouttelettes d'eau pleines, de rayons compris entre 4 et 40 microns, dont la vitesse de chute est de 0,2 à 20 centimètres par seconde. Un brouillard contient un petit nombre de grammes d'eau condensée par mètre cube, répartis entre des gouttelettes très nombreuses (quelques centaines à quelques milliers par centimètre cube).

On peut classer les brouillards en types essentiels que nous allons étudier maintenant:

Le brouillard de rayonnement se forme pendant les soirées et les nuits à ciel dégagé et à vent faible, par suite du rayonnement intense du sol amenant un refroidissement de celui-ci et de l'air du voisinage.

Si le vent est calme, le refroidissement de l'air au contact du sol provoque la formation de rosée. Si le vent est faible, les remous permettent au refroidissement de s'étendre en hauteur et la condensation se propage à partir du sol. Si le vent est trop fort, le refroidissement est réparti sur un trop grand nombre de particules et il est insuffisant pour amener la condensation. Ce brouillard ne peut donc se produire que par vent faible.

S'il y a des nuages, surtout des nuages épais et bas, ceux-ci envoient vers le sol un rayonnement compensateur et le refroidissement du sol devient insuffisant pour amener du brouillard.

En terrain accidenté, le brouillard de rayonnement correspondant à de l'air refroidi, plus dense, s'écoule dans les bas fonds. Le brouillard de rayonnement se forme d'autant plus tôt que l'air est initialement plus humide. Il s'évapore le lendemain matin d'autant plus tard qu'il s'est formé plus tôt. En effet, s'il s'est formé tôt, il a pu acquérir un grand développement et une longue insolation est nécessaire pour l'évaporer.

En hiver, ce brouillard peut persister pendant le jour par suite de l'insuffisance de l'insolation.

Après le lever du soleil, ce brouillard décolle souvent du sol par suite du réchauffement de ce dernier. On est alors en présence d'un Stratus qui se déchiquète avant de s'évaporer complètement.

Ce brouillard peut donner rapidement de mauvaises visibilités et il faut d'autant plus s'en méfier qu'il se produit par vent faible et ciel dégagé, c'est-à-dire dans des conditions qui semblent favorables au vol.

Le brouillard d'advection est dû au transport de l'air sur des sols de plus en plus froids. Il se produit l'hiver quand l'air passe de l'océan sur le continent, en toutes saisons, lorsque l'air se déplace des basses vers les hautes latitudes (cas de l'air tropical), quand l'air passe d'un courant marin chaud à un courant froid (banes de Terre-Neuve par vent des régions Sud-Est). Ce brouillard se transporte avec les vents; il persiste avec la cause qui le produit. On peut trouver ce brouillard par vent modéré ou assez fort. Comme pour le brouillard de rayonnement, l'opacité la plus forte se situe près de la surface.

Le brouillard d'évaporation est dû à un afflux de vapeur d'eau dans une masse d'air froid surmontant une surface évaporante chaude. L'afflux de vapeur d'eau amène une saturation de l'air, puis des condensations en brouillard. L'échauffement de l'air par le bas a tendance à produire des remous, amenant la dislocation du brouillard qui se présente sous forme de bouffées. Cette dislocation peut se trouver combattue par une stabilité importante préalable de l'air (cas d'inversion de température, fréquent si l'air a séjourné sur des glaces).

Le brouillard d'évaporation se rencontre surtout dans les mers polaires lorsque l'air provenant de la banquise se déplace sur la mer. On le rencontre sur les parages de Terre-Neuve, en hiver, par vent de Nord-Ouest, arrivant sur le Gulf-Stream. Ce type de brouillard est en général durable. Sur mer, sa variation diurne est pratiquement nulle.

Le brouillard élevé (Stratus) se forme dans la partie supérieure d'une couche d'air turbulente reposant sur le sol. Cette turbulence favorise la diffusion vers le haut de la vapeur d'eau évaporée du sol, dont l'accumulation dans la partie supérieure de la couche finit par amener les condensations. Le nuage peut se développer par la suite en direction du sol et même atteindre celui-ci. L'opacité maximum se trouve dans la partie supérieure du nuage. Au-dessus de celui-ci, on trouve généralement une inversion de température plus ou moins marquée. La surface supérieure du nuage est en général horizontale, la base est à un niveau assez variable, dans l'espace comme dans le temps. Par conséquent, le brouillard élevé est susceptible d'amener inopinément un plafond nul.

La turbulence dans le nuage et au-dessous de celui-ci fait préconiser le vol au-dessus si, toutefois, on est sûr de trouver une éclaircie pour l'atterrissage.

Le brouillard de mélange correspond au fait physique suivant: si on mélange deux volumes d'air proches de la saturation et à des températures différentes, ils prennent une température intermédiaire, et des condensations apparaissent. Ce type de brouillard peut apparaître le long des fronts séparant deux masses d'air différentes.

Le brouillard dynamique est consécutif à une détente de l'air gravissant une pente.

La brume sèche (anglais: haze) est due à la présence de très fines particules diffusantes, en suspension dans l'air (poussières, sables, fumées). On l'observe pour des états hygrométriques inférieurs à 60%. Pour des états hygrométriques supérieurs, certaines particules hygroscopiques amènent une condensation partielle de la vapeur d'eau et l'on est en présence d'une brume humide (anglais: mist).

3 - Nuages bas et précipitations.

En terrain accidenté, les nuages et les précipitations risquent de masquer les obstacles dus au relief du sol. Pour une intensité donnée, la neige rend les visibilités notablement plus basses que la pluie.

La pluie surfondue provoque des formations de verglas. La neige, au voisinage de 0°C., se présente en gros flocons qui adhèrent aux surfaces touchées. La grêle peut produire des dégâts importants sur les aéronefs en vol.

4 - Givrage.

Le givrage des carburateurs qui peut se produire, tant en air limpide qu'en air nuageux, est dû au refroidissement de l'air

admis, principalement sous l'influence d'une évaporation partielle de l'essence. On peut l'observer à des températures de l'air extérieur notablement supérieure à 0°C. Ce risque de givrage n'existe plus dans le cas de l'injection directe.

Examinons les phénomènes pouvant se produire sur les surfaces externes de l'avion:

Si celles-ci sont notablement plus froides que l'air ambiant limpide, la vapeur d'eau de l'atmosphère peut donner un dépôt direct de gelée blanche (hoar-frost). Le dépôt forme une mince pellicule rugueuse diminuant considérablement les propriétés aérodynamiques de l'aile et doit être balayé avant l'envol. On peut observer ce dépôt si l'avion a été laissé sur le terrain par nuit calme et sercine et en climat froid.

Une formation de gelée blanche peut se produire peu après le décollage si l'avion, très refroidi au sol, traverse une couche d'inversion de température avec forte humidité.

Les cas les plus classiques de givrage s'observent lorsque l'avion traverse un nuage ou un brouillard en surfusion. Les gouttes en surfusion sont très fréquentes dans l'atmosphère, où on les observe de façon à peu près systématique jusqu'à environ -6°C. et, parfois, jusqu'à des températures inférieures à -40°C. L'eau des gouttes en surfusion atteignant l'avion peut se solidifier sur celui-ci en donnant un dépôt de givre. Ce dépôt se forme essentiellement sur les parties de l'avion abordées par le courant d'air relatif (bords d'attaque des ailes ou pales des hélices, etc..).

S'il s'agit d'une pluie surfondue, le phénomène est analogue à un givrage dans le cas de l'avion, mais diffère dans le cas du ballon libre. Ce dernier est peu atteint par le givrage puisqu'il n'a pas de mouvement relatif par rapport à l'air, mais une précipitation surfondue le recouvre d'une calotte de verglas.

Examinons les phénomènes se produisant sur une aile: si les gouttelettes surfondues sont très petites, le courant d'air a tendance à les rejeter de part et d'autre de l'aile et une faible fraction des gouttes atteint le bord d'attaque. Si les gouttes sont grosses, elles sont moins déviées par suite de leur inertie et atteignent l'aile dans une plus forte proportion. La proportion des gouttelettes captées par l'aile varie aussi avec le profil de celle-ci et avec l'angle d'attaque. L'apport d'eau surfondue est fonction aussi de la teneur en eau du nuage traversé (jusqu'à environ 2 gr. par m³). En général, la teneur en eau des nuages diminue avec la température observée au sol. A un niveau donné, elle est plus grande pour les nuages à développement vertical (Cumulus et Cumulonimbus) que pour les autres nuages. La teneur en eau est accrue aussi par le mouvement ascendant de l'air en aval et au-

dessus d'une montagne. L'influence de la température au sol montre que les nuages des basses latitudes ont une teneur en eau plus grande que les nuages des régions polaires. La vitesse d'apport d'eau croît avec la vitesse de l'avion.

Il y a lieu d'examiner maintenant la vitesse de congélation de l'eau surfondue sur l'aile: si cette vitesse est pratiquement nulle, l'eau s'écoule le long des ailes et s'égoutte par le bord de fuite. Si la vitesse de congélation est faible, les gouttes se soudent entre elles sur le bord d'attaque de l'aile et gèlent peu à peu sous forme d'un dépôt de glace compact, dense, dur et transparent. C'est le givre dur ou givre transparent, ou givre compact (clear ice). Si la vitesse de congélation est forte, les gouttes gèlent instantanément en formant sur le bord d'attaque un agglomérat de grains de glace séparés par des inclusions d'air. On a un dépôt poreux, cassant, d'aspect blanc, diffusant la lumière: c'est le givre mou ou givre blanc, ou givre granuleux (rime).

Le givre se développe souvent en émettant des sortes de cornes vers le haut et vers le bas, c'est-à-dire vers les régions où arrivent le plus grand nombre de gouttelettes déviées par le courant d'air.

Examinons les facteurs régissant la vitesse de congélation de l'eau surfondue. Le passage de l'eau de l'état liquide à l'état solide exige l'évacuation de 80 calories par gramme d'eau. L'eau liquide à 0°C. se transforme en glace à 0°C. par évacuation de 80 calories par gramme. L'eau surfondue à -10°C. se transforme en glace par évacuation de 70 calories, etc... Il y a donc d'autant moins de calories que l'air est à une température plus basse et une basse température tend donc à favoriser une congélation rapide. Une basse température de l'avion (avion provenant de hautes altitudes par exemple) favorise une congélation rapide, l'évacuation des chaleurs latentes correspondant au changement d'état de l'eau se faisant dans la masse de l'avion qui tend à prendre la température ambiante.

D'après ce qui a été dit précédemment, c'est surtout aux basses températures que la congélation est rapide et l'on pourrait atteindre à ces températures les givrages les plus dangereux. En fait, aux basses températures, la teneur en eau des nuages est généralement réduite et la surfusion est bien moins fréquente. C'est pourquoi, les givrages les plus rapides et les plus dangereux se situent aux environs de -4° et depuis 0° jusqu'à environ -10° ou -15°C.

Il y a lieu de mentionner la difficulté de mesurer la température en avion. Le thermomètre doit être à l'abri des sources de chaleur de l'avion; il tend à être échauffé par le frottement du courant d'air relatif; les variations dynamiques de pression au voisinage de l'appareil créent des zones d'excédent ou de déficit de température.

A l'intérieur d'un nuage, le thermomètre risque d'être touché par des gouttelettes et de tendre à fonctionner comme le thermomètre mouillé du psychromètre. S'il y a givrage, les chaleurs latentes évacuées dans le réservoir du thermomètre tendent à faire remonter la température à 0°, bien que la température de l'air libre puisse être notablement inférieure.

Au point de vue aéronautique, on peut noter en particulier que le givre réduit les qualités aérodynamiques de l'aile de sorte que la perte de vitesse se produit à une vitesse supérieure à celle qui est habituelle. Pour une même vitesse de rotation des hélices, la vitesse aérodynamique est diminuée. Il y a lieu de ne pas réduire la vitesse de l'avion pour éviter la perte de vitesse.

Le givrage est susceptible d'amener des inconvénients très variés et très graves. Si l'on dispose de dégivreurs automatiques, il faudra noter que si le givre s'étend en arrière de ceux-ci l'usage du dégivreur amènera l'apparition de ressauts du profil dus à la persistance de la glace en arrière du dégivreur. Si l'on dispose d'un dégivreur thermique, il faudra que le réchauffage soit suffisant sur toute la surface de l'aile, sinon l'eau fondue sur le bord d'attaque risquerait de venir se congeler sur l'arrière de l'aile et de bloquer les ailerons.

Au point de vue météorologique, il y a lieu d'éviter de passer dans les brouillards, les nuages ou précipitations surfondues, surtout par température entre 0° et -10° ou -15°. Le météorologiste étant encore en général dans l'impossibilité d'indiquer l'état physique (liquide ou solide) des particules nuageuses, il y aura lieu d'éviter de passer dans tout nuage ou précipitation aux températures précipitées. Selon la distribution verticale des nuages et des températures, il y aura intérêt à monter ou à descendre, soit pour sortir des nuages, soit pour chercher un niveau où la teneur en eau surfondue est plus faible, ou bien où le nuage est complètement solide, ou encore à une température supérieure à 0°.

5 - La turbulence.

Celle-ci est constituée par toutes les irrégularités et les remous dans l'écoulement de l'air.

La turbulence mécanique correspond à l'écoulement de l'air sur un sol rugueux. Cette turbulence est d'autant plus marquée que le vent est plus fort. Elle persiste un certain temps en aval des régions rugueuses. La rugosité du sol provient des accidents de terrain (collines, montagnes) ou simplement de la présence d'objets au sol (bâtiments, arbres, etc...).

La turbulence mécanique se rencontre encore au voisinage de la surface de séparation de deux masses d'air animées d'un mouvement différent (cas des surfaces de discontinuité).

La stabilité verticale de l'air contrôle la turbulence mécanique. Si l'air est stable verticalement (décroissance lente de la température vers le haut ou inversion de température) la turbulence ne se propage guère verticalement et s'amortit vite. Ce phénomène explique pourquoi, lorsqu'il règne une inversion de température dans les basses couches de l'atmosphère, la turbulence mécanique, due à la rugosité du sol, ne se propage pas au-dessus de l'inversion. Il y a donc intérêt, dans ce cas, à voler au-dessus de l'inversion de température.

Si la stabilité verticale de l'air est faible; la turbulence pourra gagner des altitudes importantes et il sera nécessaire de voler haut pour l'éviter.

La turbulence thermique est provoquée par l'échauffement marqué du sol sous l'influence de l'insolation. Si la stabilité préalable de l'air est suffisamment faible, l'insolation déclenche de grands remous à axe horizontal appelés tourbillons de convection. Le phénomène est surtout net par vent calme. Les tourbillons de convection ont des diamètres de plusieurs centaines de mètres. On les rencontre principalement dans les régions chaudes ou dans des masses d'air polaire d'origine froides. Dans la partie ascendante du tourbillon, il peut se former un nuage (Cumulus ou Cumulonimbus). Sur un terrain homogène, les nuages de convection se distribuent en quinconces et leur base est partout au même niveau. En terrain varié, les ascendances se présentent sur les régions les plus chaudes: rochers, sable, bâtiments, marais. La nuit, la distribution en terrain varié des zones ascendantes et descendantes tend à s'inverser.

Le long des côtes, il existe une turbulence thermique donnant la brise de terre pendant la nuit et la brise de mer pendant le jour.

En montagne, on observe la brise de vallée pendant le jour et la brise de montagne pendant la nuit.

Avec des vents faibles ou modérés, la turbulence mécanique et la turbulence thermique peuvent coexister.

Les filets d'air, dans le cas du franchissement d'une colline, se resserrent près du sommet de la colline, ce qui correspond à un accroissement de la vitesse du vent. Aux faibles vitesses de vent, les filets d'air restent à peu près parallèles à la surface du sol. Aux vitesses moyennes de vent, on voit généralement apparaître des tourbillons à axe horizontal en amont et en aval. Pour des vents plus forts, on voit apparaître, en aval, un sillage d'air très turbulent, que franchit l'écoulement général. Il y a lieu d'éviter le vol dans ce sillage.

Au voisinage d'arêtes du sol, l'écoulement se modifie parfois brusquement; des modifications de ce genre peuvent se rencontrer aussi parfois en aval d'obstacles. Il y a lieu d'éviter le vol dans ces régions.

La turbulence rend le vol inconfortable, provoque un accroissement de la consommation d'essence et ralentit le vol. La turbulence fatigue aussi l'appareil, en raison des accélérations qu'elle fait subir à celui-ci. Une turbulence excessive pourra même provoquer des ruptures. Une réduction de la vitesse de l'avion amène une diminution des accélérations subies et rend le vol moins désagréable. Il faut éviter une diminution excessive de la vitesse de l'avion, car on risquerait de tomber dans le domaine de la perte de vitesse au moment d'une accélération négative du vent relatif.

Dans le cas de la turbulence mécanique, on a intérêt à augmenter l'altitude de vol. Dans le cas des tourbillons de convection, on aura intérêt à voler au-dessus des sommets des cumulus.

6 - Les grains (en anglais: squall).

Le grain consiste en une variation brutale considérable et passagère de la vitesse du vent. Normalement, il s'agit d'un accroissement de vitesse d'environ 10 à 20 mètres par seconde. Il existe aussi des grains dits "à perte de vitesse", où il y a une chute brutale de la vitesse du vent.

Les grains sont des phénomènes qui se transportent dans l'atmosphère, et un grain à perte de vitesse devient généralement un grain normal à quelque distance de là. Les grains peuvent être des phénomènes isolés ou s'organiser de façon à constituer une ligne, appelée ligne de grains, dont la longueur peut atteindre un millier de kilomètres ou plus, et qui peut se déplacer en balayant des espaces considérables.

Les grains dépressionnaires accompagnent les dépressions intenses observées à nos latitudes, en particulier pendant la saison froide. Ils sont organisés généralement en lignes de grains correspondant à des fronts froids. Leur vitesse de déplacement est souvent d'environ 60km./h.

Les grains orageux accompagnent les systèmes nuageux orageux d'été et sont, en général, séparés les uns des autres.

Examinons ce qui se passe au passage d'un grain:

A l'avant du grain, existe une zone d'air ascendant relativement chaud et humide, dont la vitesse verticale peut dépasser par endroits 10 mètres par seconde. La détente accompagnant

le mouvement ascendant amène la formation de nuages (Cumulonimbus) et de précipitations abondantes (averses de pluie, neige ou grêle).

A l'arrière du grain, il existe une cascade d'air froid. C'est la différence du mouvement entre l'air chaud et l'air froid qui cause un brusque changement de vitesse du vent au passage du grain. Ce changement de vitesse est accompagné d'une saute de vent qui, en général, est d'environ 90° (par exemple: SW, avant le grain, sautant à NW). Entre l'air chaud et l'air froid, il existe une zone à turbulence très active, grâce à laquelle, d'ailleurs, le nuage s'étend jusque dans l'air froid. La précipitation, sous forme d'averses (shower), est en général très intense; il en résulte une faible visibilité sous le nuage.

Au point de vue aéronautique, le vol dans les nuages est à déconseiller, à cause des mouvements verticaux brutaux de l'air, de la forte turbulence, des phénomènes de givrage éventuels aux températures habituelles de givrage, des phénomènes orageux possibles, ceux-ci sont observés surtout aux températures négatives voisines de 0°C. Le vol sous le nuage est à déconseiller, surtout en terrain accidenté et si la précipitation réduit beaucoup la visibilité: en effet, si l'avion garde son cap, le changement brutal de direction de vent risque de le faire dévier sur une colline voisine. Dans le cas d'un grain isolé, il faudra contourner celui-ci. Dans le cas d'une ligne de grains, il faudra survoler les nuages si les performances de l'avion le permettent, ou sinon, longer la ligne de grains à quelque distance et la franchir dans une trouée en passant au-dessus des nuages. En l'absence de trouée, les nuages peuvent s'étendre jusqu'à des altitudes de 6 à 8 kilomètres (souvent plus, en particulier en région chaude). On pourra aussi mettre l'avion à l'abri, attendre le passage du grain et partir ensuite.

Il y aura lieu d'éviter le décollage ou l'atterrissage au moment du passage d'un grain.

En général, le grain est rendu apparent par la présence d'un Cumulonimbus, dont l'enclume est visible du sol à l'horizon, à peu près une demi-heure avant l'arrivée du grain. Dans le cas d'une perturbation occluse, c'est-à-dire où le front froid a rejoint le front chaud, le Cumulonimbus s'est accolé au Nimbostratus, et l'enclume n'est plus visible. Mais le grain a, en général, perdu de son intensité.

Les grains s'accompagnent parfois de grêle. Les grêlons peuvent atteindre de grandes dimensions et produisent sur l'avion qui s'y aventurerait un véritable mitraillage, susceptible de détériorer l'appareil. On cite le cas de planeurs en perdition dans un Cumulonimbus de grain, dont le pilote fut blessé par des grêlons lors de la descente en parachute.

Dans le cas d'un ballon captif, le coup de vent du grain exerce une traduction brutale sur le câble, susceptible de rompre celui-ci. A cet effet dynamique s'ajoute un effet hydrostatique, la force ascensionnelle du ballon se trouvant accrue par la substitution de l'air froid à l'air chaud précédent.

7 - La trombe.

Les Cumulonimbus présentent parfois à leur base un appendice nuageux plus ou moins effilé, plus ou moins long, constituant une trombe. Celle-ci est due à l'organisation d'un tourbillon d'air à axe à peu près vertical. L'air entrant dans ce tourbillon, y rencontrant les basses pressions axiales, se détend pour former un tube nuageux.

Le phénomène de trombe est, en général, de peu de durée.

Lorsque la trombe passe sur un bâtiment clos, la face supérieure du toit est soumise à une pression notablement inférieure à la pression intérieure qui est la pression atmosphérique régnant auparavant; le toit a donc tendance à voler en éclats.

La tornade est un phénomène tourbillonnaire d'assez grand diamètre (quelques centaines de mètres) se rencontrent dans les plaines du centre des Etats-Unis. En Afrique Occidentale Française, on donne improprement le nom de tornade à des grains orageux.

8 - Phénomènes de soulèvement de sable ou de neige.

Le passage d'une ligne de grains dans le désert s'accompagne d'un mur de sable (haboob). Ce sable est soulevé en même temps que l'air chaud antérieur. Il peut exister seul ou coexister avec un nuage, si l'humidité est suffisante. Au passage du mur de sable, le vent est très turbulent et des grains de sable pénètrent jusque dans les maisons malgré la fermeture des portes et des fenêtres. L'avion doit éviter d'être touché par le phénomène, le sable risquant de s'introduire dans les moteurs et pouvant, en frappant brutalement les vitres de l'habitacle, dépolir celles-ci et supprimant toute visibilité.

On appelle une chasse-sable le soulèvement par un vent fort et turbulent de sable et même de petits cailloux dans les très basses couches. On trouve dans les régions polaires ou avoisinantes un phénomène analogue. C'est la chasse-neige, qui correspond au soulèvement par un vent fort et turbulent de la neige fraîchement tombée.

Les tourbillons de sable (sand devils) correspondent à des colonnes de sable soulevées par des courants ascendants se produisant sporadiquement sur une région désertique surchauffée par l'insolation.

Le sable soulevé dans l'atmosphère tombe d'autant plus lentement que les grains sont plus ténus et constitue la brume de sable (sand haze). Il s'agit donc d'une brume sèche.

9 - Phénomènes électriques.

En régime permanent, le sol, assez bon conducteur de l'électricité, est partout au même voltage et les surfaces d'égal voltage sont à peu près parallèles au sol; elles se resserrent toutefois au-dessus des reliefs du terrain. Par beau temps, le champ électrique près du sol est de 100 à 200 volts par mètre. Dans certaines circonstances, le champ électrique de l'atmosphère peut atteindre des valeurs beaucoup plus fortes, amenant la rupture de l'isolant air. C'est la foudre, dont la manifestation visible est l'éclair et la manifestation audible, le tonnerre. La différence de vitesse de propagation de ces deux manifestations permet de calculer la distance de la foudre.

Examinons la déformation du champ électrique par un appareil aérien.

Si l'appareil laisse pendre une antenne, les lignes d'égal voltage sont détournées vers le haut et vers le bas de celles-ci et il y a accroissement du champ à l'extrémité de l'antenne. Si le champ primitif était déjà important, la présence de l'antenne peut provoquer la foudre. Par temps orageux, il faut donc éviter de laisser pendre une longue antenne.

Dans le cas du ballon captif, dont le câble est supposé relié électriquement au sol, il existe un champ très fort près du ballon captif favorisant le foudroiement. On est conduit à pourvoir le ballon de paratonnerre relié électriquement au câble.

Un appareil aérien est susceptible de porter des charges électriques. Les gaz d'échappement du moteur, ionisés, tendent à équilibrer électriquement l'aéronef avec le voisinage.

Plusieurs causes peuvent amener l'apparition de charges électriques sur un avion: le frottement des particules sèches (grains de sable ou cristaux de glace), est une de ces causes. Le bris de gouttelettes d'eau venant frapper l'avion peut également provoquer l'apparition de charges. Enfin au voisinage des nuages orageux, il peut se produire des charges par influence électrostatique.

Lorsque la charge de l'aéronef devient importante, elle tend à s'échapper sous forme de décharge en aigrettes (effluves): feu Saint-Elme. Ces décharges gênent les communications radio-électriques, en amenant un bruit de friture.

On a recherché à éliminer cet inconvénient à l'aide de dispositifs dénommés "déchargeurs statiques".

Les parasites atmosphériques correspondant aux phénomènes précédents sont différents de ceux qui correspondent aux coups de foudre et qui se traduisent par des bruits violents mais espacés.

Les premiers parasites seront généralement éliminés en changeant de niveau de vol. L'élimination des seconds exigera de fuir les zones orageuses. Prenons le cas d'un avion porteur de charge retournant au sol: une étincelle est particulièrement à craindre au moment où l'on procédera au plein d'essence. On évitera tout risque d'accident en égalisant les voltages de l'avion et du camion citerne. Il suffira de relier électriquement ceux-ci au sol à l'aide d'une chaîne métallique par exemple. On a étudié des pneumatiques spéciaux conducteurs, déchargeant automatiquement l'avion à son arrivée au sol.

Il arrive parfois qu'au moment du coup de foudre l'avion se magnétise. Il s'agit d'une aimantation par choc, due au champ magnétique terrestre, qui n'a rien à voir avec le champ magnétique du courant correspondant à la foudre. Cette magnétisation provoque le dérèglement du compas; elle diminue peu à peu, ce qui oblige à renouveler fréquemment la compensation. On la réduit notablement en soumettant l'avion à des cycles d'hystérésis de plus en plus réduits. Signalons aussi que l'éclair, se produisant la nuit devant le pilote, est susceptible d'éblouir celui-ci pendant quelques temps, ce qui peut avoir de graves conséquences à l'atterrissage.