

	AERO-CLUB DU CSE AIRBUS OPERATIONS TOULOUSE	 <small>Comité Social et Économique Airbus Operations Toulouse</small>
	CISOA - Commission Interne pour la Sécurité des Opérations Aériennes	
13/12/2021	Note de synthèse	Page 1/17

Rédacteurs : P.Cadei, J.Loury, en collaboration avec D.Boutonnet

Interprétation des paramètres T/Td du METAR-AUTO et de l'ATIS

Objet

Cette note de synthèse rappelle quelques éléments théoriques attachés aux notions d'humidité relative, de saturation de l'air et de condensation de la vapeur d'eau. Ces rappels aident à la compréhension des mécanismes de formation et de dissipation des nuages et des phénomènes météorologiques du Temps significatif¹.

Une seconde partie développe en quoi la connaissance des paramètres Température T de l'air et Température du Point de rosée Td est utile en VFR² au départ d'un aérodrome et/ou à l'arrivée.

Pour les départs et arrivées en IFR lors desquels une partie du vol peut s'effectuer dans les nuages ou le brouillard, le lecteur doit se référer au programme de formation à la Qualification IR. Quelques éléments spécifiques à ces situations de vol sont toutefois mentionnés.

Le propos est limité aux phases de décollage, de montée initiale (les 300 premiers pieds) et d'atterrissage. En effet avec la prise d'altitude et l'éloignement de l'aérodrome, les paramètres T et Td du METAR et/ou de l'ATIS ne sont plus "représentatifs" de la masse d'air dans laquelle le vol est réalisé. Dès que l'on monte et selon l'heure de la journée, la variation des températures devient notable et spatialement elle peut être assez différente pour peu que dans le secteur il y ait une forêt, des champs, une ville, du relief, etc.

Documents de référence

DR1 : La météorologie du navigant, André Viaut, Editions BLONDEL LA ROUGERY

DR2 : [Fiche givrage](#), AEROWEB/Aller plus loin/Documentation

DR3 : [Prévoir et anticiper brume et brouillard](#), Denis Capdegelle, Info Pilote n°730

DR4 : [Pour ne pas volez givré](#), Revue VOLEZ N°165

DR5 : [La Météo eXpliquée](#), Jean Nicolas, Cépaduès Editions

DR6 : [Perte de contrôle GIVRAGE FATAL](#), Aviation et Pilote n°114

¹ Cf. Guide Aviation Météo France, page 18

² Petit rappel réglementaire : un vol VFR ne peut pas être entrepris ni poursuivi si les conditions météorologiques du vol à vue (VMC) ne peuvent pas être respectées. Une visibilité horizontale minimum de 1500 m, voler hors des nuages et en vue du sol sont les conditions exigées en espace G sous une altitude maximum de 3000 ft ou une hauteur maximum de 1000ft au-dessus la surface si cette hauteur est au-dessus de l'altitude de 3000ft.

ACAT-CISOA	Interprétation des paramètres T/Td du METAR-AUTO et de l'ATIS	Note de synthèse
13/12/2021		Page 2/17

Contenu

1. Vocabulaire	3
2. Définitions	3
3. La saturation	3
4. La condensation	5
5. Diagrammes des températures et de l'humidité relative	6
6. En quoi la connaissance des paramètres T et Td est utile au départ de l'aérodrome et à l'arrivée ?	7
6.1. Point d'attention préliminaire	7
6.2. Procédure Démarrage du moteur	8
6.3. Procédure Essais du moteur	8
6.4. Détermination des performances de décollage, de montée et d'atterrissage	8
6.5. T/Td : un bon indicateur du risque de dépôt de cristaux de glace	8
6.5.1. Risque de dépôt en cas d'observation ou de suspicion de brouillard	8
6.5.2. Risque de givrage du carburateur	9
6.6. T/Td : un bon indicateur de formation/dissipation de brume ou de brouillard et de stratus ...	10
6.7. T/Td : un bon indicateur de la hauteur de la base des cumulus	11
7. En résumé	12
8. Annexe	13
8.1. Diagramme psychrométrique de l'air humide à 1013 hPa	13
8.2. L'eau surfondue et les précipitations verglaçantes (FZRA)	14
8.3. TEMSI avec iso0°C à double étiquette, Pluie verglaçante et Givrage fort	17

ACAT-CISOA	Interprétation des paramètres T/Td du METAR-AUTO et de l'ATIS	Note de synthèse
13/12/2021		Page 3/17

1. Vocabulaire

L'eau est partout dans la nature mais n'est visible qu'à l'état liquide ou solide. Elle n'est pas visible à l'état gazeux (i.e. de vapeur d'eau). Ainsi en hiver la buée de nos expirations, les volutes aperçues au-dessus d'un étang au lever du jour ou en été au-dessus du bitume surchauffé après une averse ne sont pas de la vapeur mais de l'eau liquide, à l'instar de la brume et du brouillard³ !

L'**humidité** traduit la présence dans l'air de vapeur d'eau en plus ou moins grande quantité.

L'adjectif **condensé** signifie que l'eau n'est plus à l'état gazeux.

L'adjectif **saturé** caractérise une masse d'air dans laquelle la quantité de vapeur d'eau a atteint son maximum possible : toute quantité additionnelle (sursaturation) passera à l'état condensé.

La **condensation** désigne le passage de l'état gazeux à l'état liquide ou solide, qui dans le premier cas est une liquéfaction (ou condensation liquide), l'inverse étant l'évaporation. De l'état liquide à l'état solide c'est une solidification (ou congélation), l'inverse une fusion (ou décongélation). Le passage direct de l'état solide à l'état gazeux est une sublimation, l'inverse une déposition (ou condensation solide).

La déposition peut se produire lors de vols effectués par température négative en ciel clair (i.e. sans nuage donc sans eau à l'état condensé). Par exemple si l'avion a volé longuement dans une masse d'air à température très négative (peu humide) et qu'il entre dans une masse d'air plus chaude et donc plus humide (mais non saturée puisque le ciel est clair) mais à température encore négative, une fine couche de givre blanc peut se déposer sur la cellule très froide et qui tarde à se réchauffer du fait de son inertie thermique. C'est également le processus dont résulte le givrage du carburateur [dépôt et accréation de glace sur les parois du col du Venturi et le papillon des gaz].

2. Définitions

T° : température de l'air à 2 mètres du sol (mesurée sous abri à un instant t).

Td° : température du Point de rosée [« d » pour dew (rosée), en anglais] ou du Point de saturation : température à laquelle il faut refroidir, à pression constante, une particule d'air pour qu'elle soit juste saturée en vapeur d'eau (apparition des premières gouttes de rosée). Son écart avec la Température donne une idée de l'humidité de l'air à 2 mètres du sol.

Td n'est pas une valeur mesurée mais calculée à partir de la valeur de l'**humidité relative** mesurée à un instant t au moyen de capteurs électroniques*.

Humidité relative : rapport entre la pression partielle de la vapeur d'eau (donnée par Td) et la pression partielle de cette même vapeur à partir de laquelle sa condensation commence, dite « pression (ou tension) de vapeur saturante » ou encore « pression saturante » (donnée par T).

Lorsque $T = Td$ l'humidité relative est de 100% [Cf. Diagramme psychrométrique de l'air humide].

*Les capteurs d'humidité de qualité aéronautique sont des capteurs capacitifs étalonnés en laboratoire avant d'être installés. La mesure de la capacité électrique donne directement l'humidité relative.

3. La saturation

Plus l'air est chaud plus il peut contenir de vapeur d'eau et inversement plus il est froid moins il peut en contenir.

La saturation de l'air désigne le basculement entre l'état gazeux de l'eau et son état liquide ou solide.

La quantité de vapeur d'eau à ce point de basculement [désigné Point de rosée ou de saturation] augmente avec la température et inversement.

³ Brouillard : visibilité horizontale < 1000 mètres ; Brume : visibilité horizontale < 5000 mètres

Généralement la saturation résulte d'un refroidissement (i.e. baisse de la température T^*) qui peut être « isobare » i.e. à pression constante [cas de la formation du brouillard de rayonnement, principalement la nuit par ciel clair (nébulosité maximum : FEW)] ou faire suite à une détente adiabatique [cas de la formation des nuages].

*L'air est un très bon isolant : l'échange de chaleur entre masses d'air de températures différentes est très faible. Le réchauffement ou le refroidissement isobare de l'air s'effectue par « contact » avec le sol (qui se refroidit ou se réchauffe via le rayonnement infrarouge)

La saturation peut aussi résulter d'un apport de vapeur d'eau (i.e. augmentation du rapport massique vapeur d'eau/air et donc de Td) : par exemple la vapeur d'eau naturellement présente au-dessus** de sols mouillés (pluie récente), de zones marécageuses, de ruisseaux ou d'une rivière, de grandes étendues d'eau (étang, lac, mer, océan) [cas de la formation de brume ou de brouillard d'évaporation].

**Si le vent déplace une masse d'air plus humide et qu'il y a du refroidissement isobare, la saturation interviendra plus tôt. [Cas du brouillard d'advection se formant quand de l'air chaud et humide arrive au-dessus d'un sol plus froid =>refroidissement=>saturation=>condensation BR/FG/St].
Ces conditions se présentent parfois à LFCL par vent modéré du secteur Nord. Situé au Sud des vallées du Tarn et de l'Agout, cet aérodrome reçoit (par advection) l'air très humide de ces vallées, qui vient ajouter de la vapeur d'eau à un air déjà humide à cause de la proximité de l'Hers qui le borde et donc augmenter Td. Si l'écart T-Td est faible, cette advection va le réduire à zéro : l'air se sature et la condensation forme des stratus bas qui progressivement envahissent l'aérodrome et parfois jusqu'au sol (brouillard) et assez rapidement !

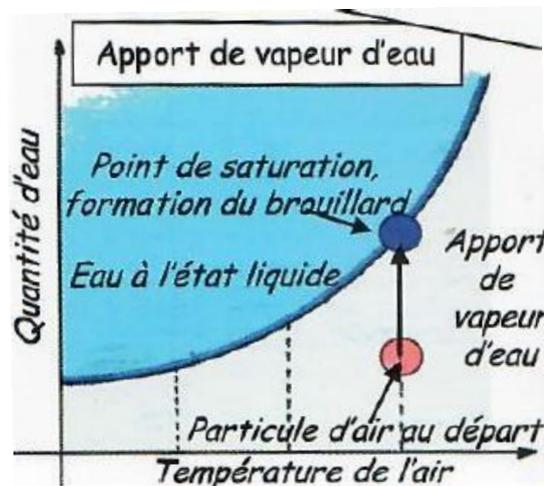
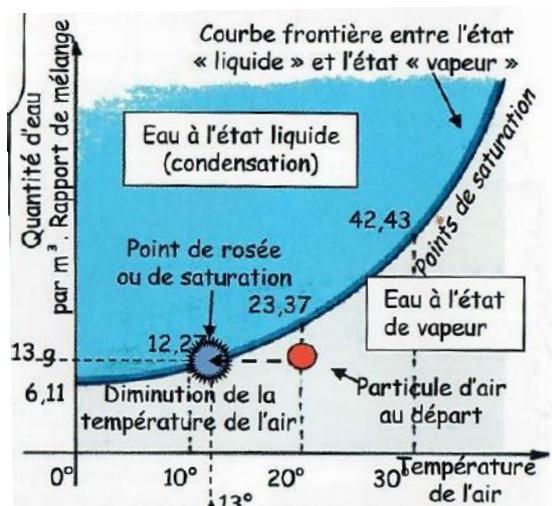
Dans la plupart des cas, ces deux processus interviennent simultanément : refroidissement et un peu d'évaporation d'eau. Ainsi la formation de brouillard est moins probable au-dessus de sols secs qu'au-dessus de sols mouillés.

Les vallées sont le cas typique de cette simultanéité : recueil de l'air froid qui descend des collines (par gravité) et de la vapeur d'eau émise par la rivière ou le fleuve coulant dans la vallée. Il suffit de regarder les images satellite matinales pour le constater !

Inversement la désaturation résulte de son réchauffement [via le rayonnement infrarouge du sol combiné à celui du soleil, effet de serre nocturne par nébulosité BKN/OVC] et de son assèchement. [Cf. Effet de Foehn].

Les diagrammes ci-dessous⁴ illustrent :

- l'augmentation avec la température de la quantité d'eau au point de saturation;
- l'effet sur cette quantité d'un refroidissement sans apport de vapeur d'eau ou d'un apport de vapeur d'eau sans refroidissement



⁴ Extraits de DR5

ACAT-CISOA	Interprétation des paramètres T/Td du METAR-AUTO et de l'ATIS	Note de synthèse
13/12/2021		Page 5/17

4. La condensation

La formation de brumes, de brouillards, de nuages, de la pluie ou de la neige, du givre et du verglas résulte d'une condensation, selon le processus suivant :

- si de l'air humide s'est refroidi jusqu'à la saturation et que son refroidissement se poursuit, le tout en présence de noyaux * de condensation, la quantité excédentaire de vapeur d'eau (sursaturation) se transforme en gouttes d'eau (condensation liquide) ou en cristaux de glace (condensation solide) lorsque la température devient négative⁵.

Dans certains cas les gouttes d'eau ne se congèlent pas, bien qu'elles soient à température négative : cet état d'**eau surfondue** est éminemment instable⁶.

- Vigilance accrue si un METAR reporte RA, une T proche de 0°C et une Td < 0°C

*Particules fines, fumée, poussière, sel, sable, pollen, aérosols, etc. ou surfaces quelconques : sol, étendue d'eau, bâtiment, élément d'infrastructure ou surface de la piste, cellule de l'avion, etc.

Ceci explique les traînées de condensation dans le sillage des avions volant à haute altitude, où la température de l'air est voisine de - 40 °C : il a été établi que si à l'altitude du vol l'humidité relative est supérieure à 63%, la vapeur d'eau produite par la combustion du kérosène sature cet air très froid et se condense immédiatement en cristaux de glace au contact des aérosols présents à haute altitude.

Le **brouillard givrant** (FZFG) est un exemple : il apparaît quand le refroidissement ayant conduit à sa formation se poursuit jusqu'à une température négative.

Les fines gouttelettes d'eau qui composent le brouillard n'ayant pas congelé (eau surfondue), tout aéronef ou véhicule de surface se déplaçant dans ce brouillard verra se former un dépôt de verglas sur toutes les parties soumises au vent relatif.

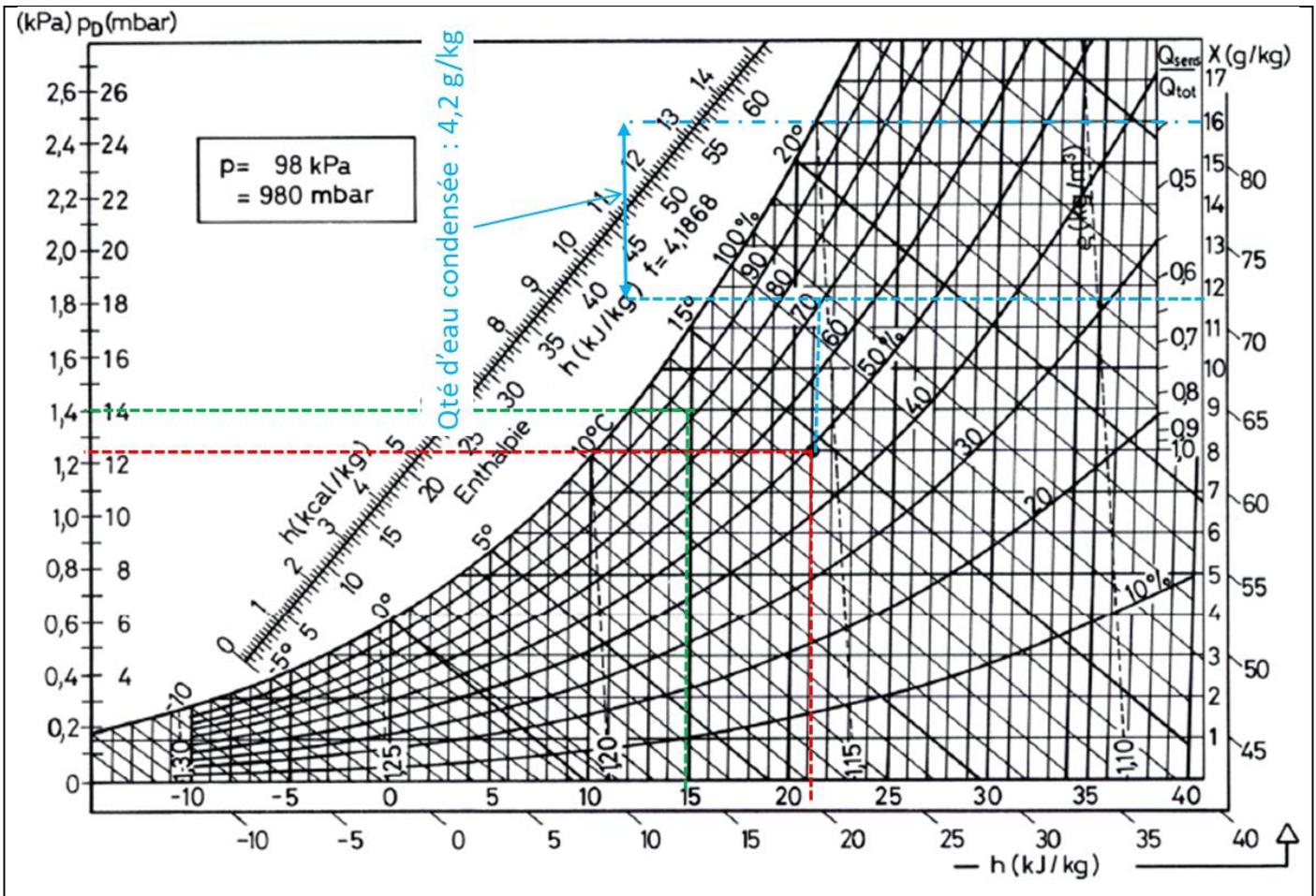
De même ce dépôt peut se former quand le vent au sol devient suffisant pour déplacer ce brouillard.

⁵ Cf. Annexe : L'eau surfondue et les précipitations verglaçantes (FZRA)

⁶ Cf. Conseil Sécurité de Janvier 2011 intitulé Bruine ou pluie verglaçante = DANGER ! et Annexe

5. Diagrammes des températures et de l'humidité relative

Divers diagrammes sont disponibles : les plus connus sont le **diagramme psychrométrique de l'air humide**⁷ et le diagramme de sévérité du givrage carburateur (Cf. §6.5.2). L'exemple ci-dessous est un diagramme psychrométrique pour un QNH de 980 hPa.



Ce diagramme permet, selon la **température $T^\circ\text{C}$** de l'air [plage $-10 < T^\circ\text{C} < +40$] et l'**Humidité relative $H\%$** de connaître :

- la **température du point de rosée T_d** .
Par exemple à $T = 21^\circ\text{C}$ et $H = 50\%$ ($Q_{\text{sens}}/Q_{\text{tot}} = 1,0$) : $T_d = 10^\circ\text{C}$.
Inversement si $T = 15^\circ\text{C}$ et $T_d = 12^\circ\text{C}$: $H = 81\%$ et à $T = 15^\circ\text{C}$ et $T_d = 14^\circ\text{C}$: $H = 93\%$
- la **pression partielle de vapeur d'eau P_D** [en kilo Pascal (kPa) ou millibar (mbar)] et le Rapport massique $Q_{\text{sens}}/Q_{\text{tot}}$ en grammes d'eau par kilogramme d'air (g/kg) ;
- la **masse volumique** de l'air en kg/m^3
- diagonalement, l'**enthalpie h** (kJ/kg) [énergie calorifique totale de la masse d'air en kilo Joules par kilogramme d'air (kg)].

En pratique un écart $T - T_d \leq 3^\circ\text{C}$ correspond à une Humidité relative $\geq 80\%$.

Pour condenser il faut atteindre puis dépasser le Point de rosée [par baisse de T ou augmentation de T_d par apport de vapeur d'eau à T constante].

La quantité d'eau condensée est \pm grande selon T_d et l'écart $T - T_d$: elle détermine l'intensité du phénomène : brume légère, brume, brouillard, givre (dépôt de glace) si $T < 0^\circ\text{C}$:

La quantité d'eau condensée est lue sur le diagramme au-dessus de la masse en g de vapeur d'eau par kg d'air au Point de rosée. Cf. exemple : de 21°C à 16°C : $T - T_d = 5^\circ\text{C}$; $Qt = 4.2 \text{ g/kg}$.

⁷ Source : AFPA (clic [ICI](#))

Ce diagramme montre que :

- à température T constante, un apport de vapeur d'eau fait croître l'humidité relative et par conséquent la Td et la masse en g de vapeur d'eau par kg d'air au Point de rosée ;
- à basse température T, la masse en g de vapeur d'eau par kg d'air au Point de rosée est plus faible qu'à haute température (exemples, 4 g/kg à T= 0°C et 16 g/kg à T= 21°C) ;
- un air froid se saturera plus facilement qu'un air chaud [la brume et le brouillard sont plus fréquents en saison froide].

6. En quoi la connaissance des paramètres T et Td est utile au départ de l'aérodrome et à l'arrivée ?

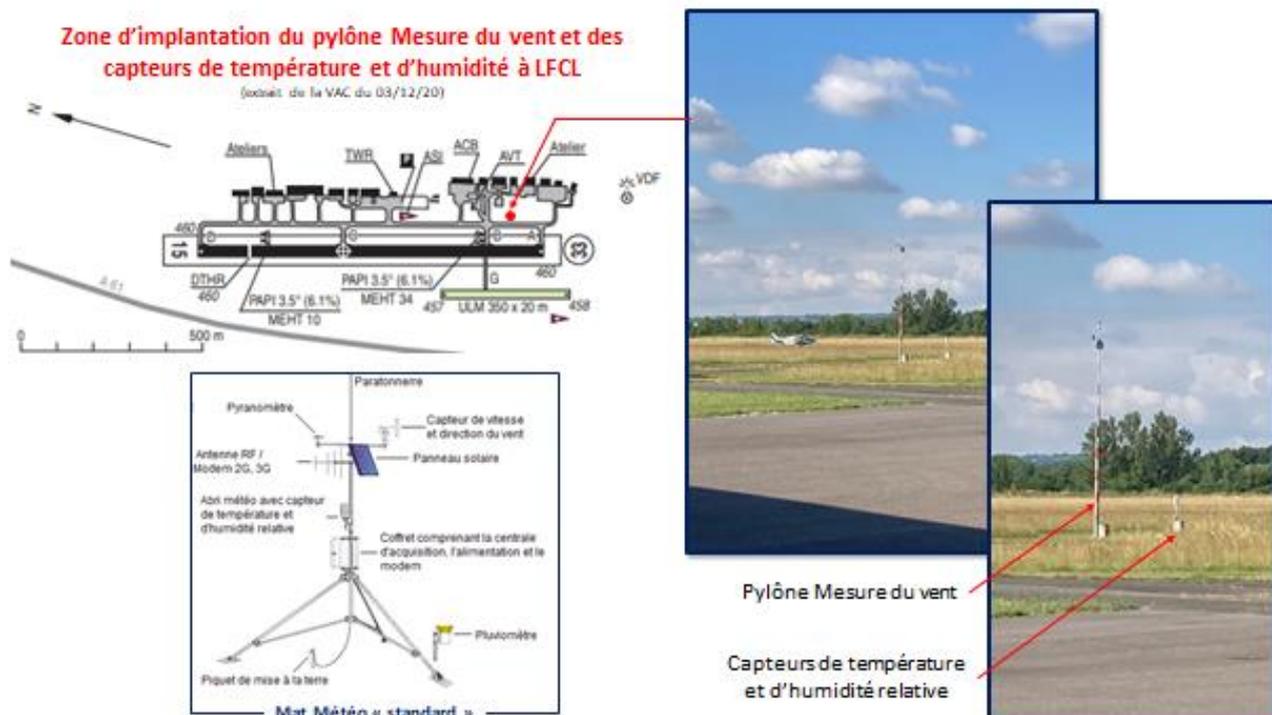
Le paramètre T est pris en considération dans :

- La procédure Démarrage du moteur ;
- La procédure Essais du moteur ;
- La détermination des performances de décollage, de montée et d'atterrissage.

Le couple des paramètres T/Td est un bon indicateur :

- du risque de dépôt de cristaux de glace :
 - dans le carburateur ;
 - en cas d'observation ou de suspicion de brouillard ;
- de la formation/dissipation de brume ou de brouillard et de stratus ;
- de la hauteur de la base des cumulus en formation.

6.1. Point d'attention préliminaire



Du fait de cette implantation, parfois relativement distante de l'aire de manœuvre, le paramètre T de l'ATIS ou du METAR peut être inférieur à la température de l'air au-dessus de ou sur la piste d'envol lorsqu'elle est exposée au soleil en l'absence de vent : d'où l'intérêt d'avoir dans l'avion un indicateur de température extérieure [OAT : Outside Air Temperature] et de tenir compte de celle-ci lors de l'examen des limitations/menaces au décollage et à l'atterrissage (Cf. Briefing Départ).

ACAT-CISOA	Interprétation des paramètres T/Td du METAR-AUTO et de l'ATIS	Note de synthèse
13/12/2021		Page 8/17

6.2. Procédure Démarrage du moteur

Cette procédure commence par la détermination, selon la température d'huile et la température extérieure, du nombre d'injections à effectuer avec la manette de gaz (moteur à carburateur) ou de la durée d'injection (moteur à injection) avant activation du démarreur. (cf. Conseil Sécurité 06/2012 : Démarrer et arrêter un moteur d'avion ... tout un art!)

6.3. Procédure Essais du moteur

Pour délivrer de la puissance en étant bien lubrifié, le moteur doit avoir atteint une certaine température. La procédure prévoit que si l'indicateur de température d'huile n'a pas atteint le début de l'arc vert, une durée minimum de chauffe doit être respectée avant d'afficher les RPM requis pour ces essais. Cette durée est définie selon la température extérieure, comme suit :

- T ext > 10°C : durée minimum de chauffe : 0,10 h
- T ext < 10°C : durée minimum de chauffe : 0,15 h

6.4. Détermination des performances de décollage, de montée et d'atterrissage

Ces performances (distance de décollage, pente et Vz de montée, distance d'atterrissage) dépendent directement de la masse volumique de l'air qui elle-même dépend, entre autres, de sa température : elles seront différentes par temps froid ou très froid (l'hiver) ou par temps chaud voire très chaud (l'été).

Par forte température la masse volumique de l'air est plus faible. Le moteur est moins puissant, la voilure génère moins de portance et l'hélice moins de traction. La longueur de piste peut devenir « limitative » par allongement des distances ; le franchissement d'obstacles dans la trouée d'envol peut s'avérer difficile voire impossible à cause d'une plus faible pente de montée.

Pour plus de détails se référer au Chapitre 5 PERFORMANCES des Manuels de vol et aux Conseils Sécurité d'Avril et Mai 2011 intitulés [Les performances se dégradent avec les beaux jours !](#) et [Bientôt l'Eté, le régime minceur équilibré s'impose !](#).

6.5. T/Td : un bon indicateur du risque de dépôt de cristaux de glace

En aviation le givrage est un phénomène dangereux qui se manifeste par le dépôt et l'accrétion d'une couche de cristaux de glace plus ou moins épaisse à l'intérieur du carburateur notamment quand le moteur est au ralenti ou à puissance réduite (Givrage du carburateur) et sur la cellule de l'avion.

Sa prise en considération permet d'anticiper pour s'en protéger : couvrir l'avion et protéger ses orifices s'il est parqué à l'extérieur, activer le système de réchauffage du carburateur, ne pas partir en vol avec une cellule couverte de givre ni en présence de FZRA ou de FZFG, ne pas entrer dans un nuage⁸.

6.5.1. Risque de dépôt en cas d'observation ou de suspicion de brouillard

Le signal d'alerte est une température T très proche de 0°C avec un écart $T - T_d \leq 3^\circ \text{C}$.

Par exemple en fin de journée quand le soleil décline, le rayonnement infrarouge est moins intense avec pour conséquence un refroidissement isobare de la masse d'air qui peut réduire l'écart T - Td à zéro.

L'air devient saturé et la condensation liquide démarre en formant dans le meilleur des cas de la brume sinon du brouillard. Si la température T est proche de 0°C, le refroidissement peut l'amener au-dessous de 0°C : dans ce cas il y aura dépôt de givre.

⁸ Dans les nuages par température négative en présence d'eau surfondue, celle-ci gèle dès son contact avec l'avion. Le dépôt se fait principalement sur les parties exposées au vent relatif (bords d'attaque, pare-brise, entrées d'air, Pitot, antennes, jambes de train) mais peut aussi s'étendre à toute la cellule.

6.5.2. Risque de givrage du carburateur

Le diagramme de sévérité du givrage carburateur ci-dessous montre un givrage léger à 30°C et 25% d'humidité relative (Point de rosée : +8°C) ainsi qu'à 15°C et 30% d'humidité relative (Point de rosée : - 4°C).

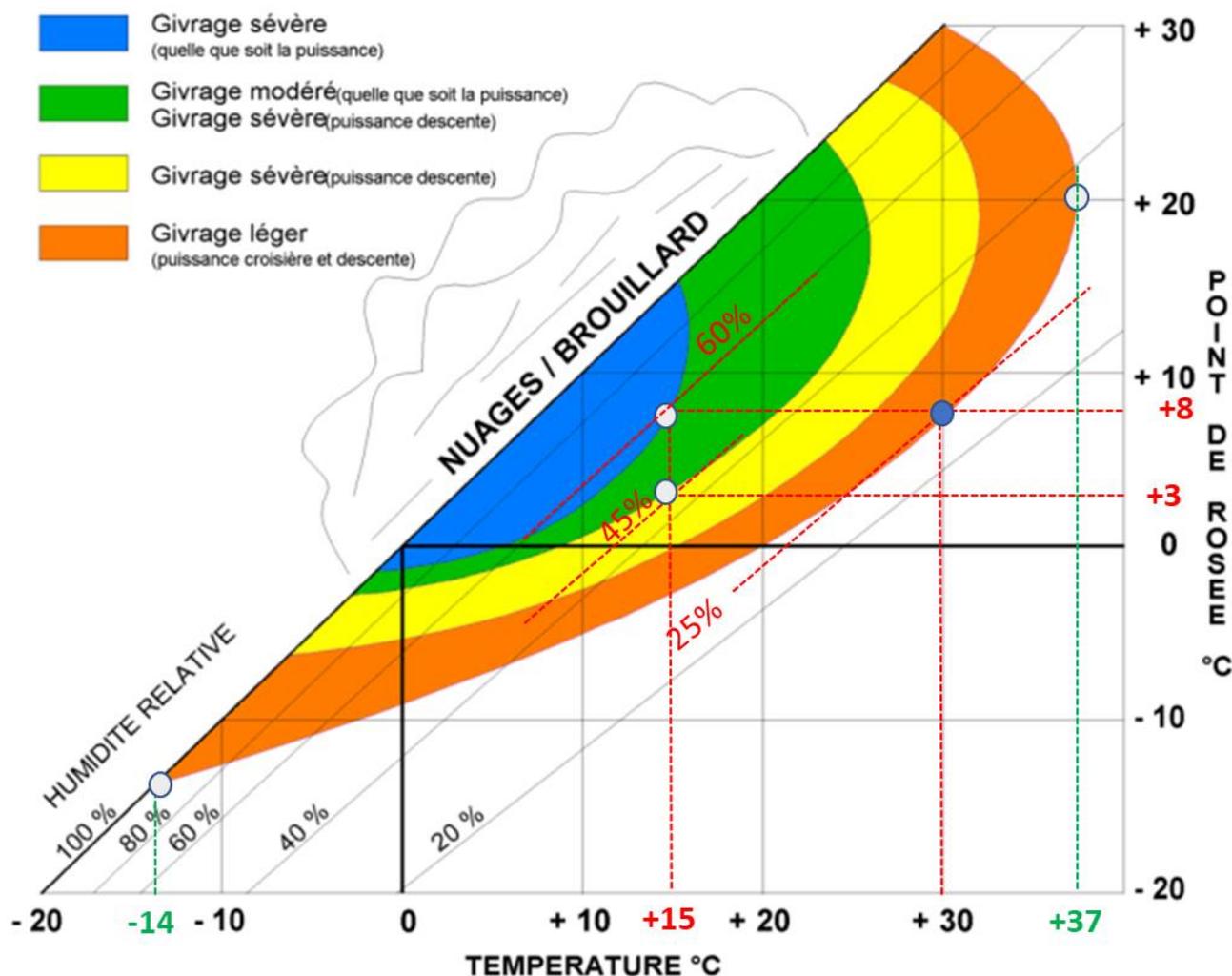
L'importante amplitude du refroidissement jusqu'à la saturation puis la congélation de la vapeur d'eau est dû principalement à :

- la diminution de la pression par effet Venturi [Cf. Loi de Boyle-Mariotte $PV=nRT$: à volume égal si P diminue (détente), T diminue] ;
- l'évaporation⁹ du carburant, favorisée par la faible pression de l'air dans lequel il est injecté.

La température du corps du carburateur et celle à l'intérieur du capot moteur influent sur l'amplitude de ce refroidissement : un moteur sera plus ou moins sensible au givrage carburateur selon la façon dont il est avionné.

Le dépôt de glace [qui se fait essentiellement sur la paroi du col du Venturi et le papillon des gaz] et la sévérité du givrage dépendent directement de trois paramètres : la température de l'air, son humidité relative, la puissance appliquée.

Le débit d'air à l'entrée du carburateur, qui varie selon la puissance appliquée, fait que l'accumulation de glace (l'accrétion) qui finira par réduire puis bloquer l'alimentation du moteur, est ± rapide (plus de débit => plus d'air => plus de vapeur d'eau => plus de glace déposée).



⁹ Le passage de l'état liquide à l'état gazeux absorbe de la chaleur et inversement une condensation en libère.

ACAT-CISOA	Interprétation des paramètres T/Td du METAR-AUTO et de l'ATIS	Note de synthèse
13/12/2021		Page 10/17

Utilisation du diagramme

Température T = 30°C (température extérieure) :

H = 25% (Pt de rosée : 8°C, **T-Td = 22°C**) : **léger** en croisière ou descente.

H = 60% (Pt de rosée : 22°C, **T-Td = 8°C**) : **sévère** à toutes puissances

Température T = 15°C :

H = 45% (Pt de rosée : 3°C, **T-Td = 12°C**) : **modéré** à toutes puissances, **sévère** en descente

H = 60% (Pt de rosée : 8°C, **T-Td = 7°C**) : **sévère** à toutes puissances

Aucun risque de givrage si T < -14°C et T > +37°C.

Ces exemples montrent l'impossibilité de définir à l'intérieur de cette plage un seuil d'alerte sur la température T et l'écart T-Td qui permettrait de s'affranchir totalement de l'usage de la réchauffe carburateur.

Il convient en conséquence d'appliquer le **1^{er} principe de prévention** ci-après :

- En vol, dès que la puissance utile appliquée est inférieure à la puissance de croisière tirer la Réchauffe carburateur.

L'air admis n'étant pas filtré quand la réchauffe carburateur est tirée [ou quand l'Alternate Air est sur ON], le système d'alimentation du moteur risque d'être contaminé par des corps étrangers lors du roulage sur l'aire de trafic et le taxiway et dans l'attente des essais du moteur.

Il convient donc d'appliquer le **2^{ème} principe de prévention** ci-après :

- Ne pas rouler avec la Réchauffe carburateur tirée ;
- Si en roulant le moteur a tendance à perdre des tours ou s'arrêter, tirer la Réchauffe carburateur à intervalles réguliers pendant une dizaine de secondes ;
- En stationnement sur l'aire de trafic et au hangar ou en extérieur, veiller à ce que la Réchauffe carburateur soit poussée, pour éviter l'intrusion de poussières ou d'insectes.

6.6. T/Td : un bon indicateur de formation/dissipation de brume ou de brouillard et de stratus

Lorsqu'à la suite d'un refroidissement T devient égale à Td et qu'il se poursuit, l'excédent de vapeur d'eau se condense en microgouttes d'eau.

En présence de vent et en deçà d'une certaine taille, ces microgouttes restent en suspension et forment la brume ou le brouillard (3 kt < Vent < 7 kt) voire les stratus bas (7 kt < Vent < 10 kt).

En l'absence de vent (< 3 kt), la probabilité qu'il y ait de la brume ou du brouillard est plus faible : la vapeur d'eau se condense sur place en gouttes de « rosée ».

Localement, selon que la situation est anticyclonique ou dépressionnaire, la probabilité diffère.

Par exemple la nuit qui suit un temps de traîne, la température de l'air peut baisser jusqu'au point de rosée (saturation) et pourtant il n'y aura ni FG ni BR du fait de l'absence d'une inversion de température marquée, condition propice à l'apparition de phénomènes en basse couche (Cf. DR3).

Une situation où le profil vertical des températures comporte une inversion de température, avec une forte humidité et un QNH élevé, la probabilité de BR ou de FG est plus grande.

Il convient donc en plus de T/Td de considérer le Vent, le QNH et la situation générale : types des fronts (cf. Carte des fronts), hauteurs du plafond, de la couche limite et de l'inversion de température, H% à 1000 hPa (Cf. Modèle maille fine), leur évolution spatiale et temporelle.

L'examen de l'évolution des paramètres T/Td durant les heures qui précèdent l'heure de l'ATIS ou le HH du METAR horaire ou semi-horaire¹⁰ est important : un refroidissement ou un réchauffement est-il en cours ? avec augmentation ou régression de l'humidité ? Les valeurs antérieures au dernier METAR sont accessibles sur la Carte METAR-TAF d'AEROWEB.

¹⁰ Cf. Conseil Sécurité 02/2019 : [METAR AUTO et TAF: deux inséparables dans la tendance !](#)

ACAT-CISOA	Interprétation des paramètres T/Td du METAR-AUTO et de l'ATIS	Note de synthèse
13/12/2021		Page 11/17

Les paramètres T et Td ne concernent que l'air présent à 2 m au-dessus de la zone d'implantation des capteurs de température et d'humidité sur l'aérodrome. Des prévisions pour ces paramètres et de nombreux autres, quel que soit le lieu mais avec une moindre précision de position, sont disponibles dans le bloc Aérologie du Modèle maille fine. La consultation de ces prévisions est primordiale pour les aérodromes sans METAR ou ATIS.

Lors d'un réchauffement, la quantité de vapeur d'eau au point de saturation augmente : s'il n'y a pas eu de nouvel apport d'humidité, les microgouttes s'évaporent.

La durée nécessaire à la désaturation dépendra de la masse d'eau à évaporer et de l'existence de conditions favorables : rayonnement infrarouge suffisant pour réchauffer l'air, faible nébulosité de la couche nuageuse au-dessus (s'il y en a une), convection déclenchée, présence de vent.

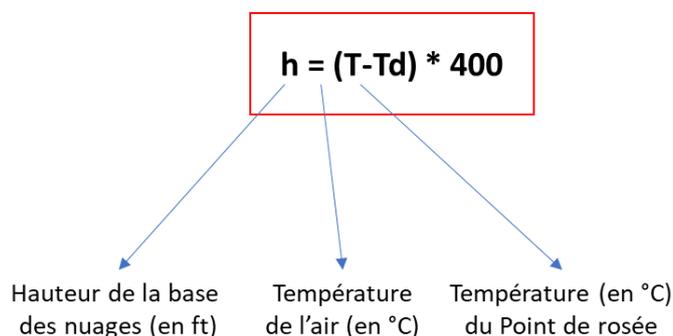
Par exemple du brouillard surmonté d'une autre couche de nuages mettra beaucoup plus de temps à se dissiper qu'avec un ciel clair au-dessus (sauf vent modéré venant balayer ce brouillard).

6.7. T/Td : un bon indicateur de la hauteur de la base des cumulus

Les paramètres T et Td offrent la possibilité d'estimer grâce à la **formule d'ESPY** la hauteur en pieds (ft) de la base des cumulus en cours de formation au-dessus de l'aérodrome.

Cette estimation sera utile lorsque :

- le paramètre Nébulosité/Hauteur de la couche nuageuse n'est pas diffusé dans l'ATIS ;
- le METAR n'est pas disponible.



La formule d'ESPY ne fonctionne bien qu'en air homogène et principalement à la période de la journée où la convection débute.

Elle ne fonctionne pas bien voire pas du tout sur le relief à cause de la convergence de brises.

Exemples

METAR: LFBO 221030Z AUTO 28005KT 250V330 9999 SCT028 BKN042 OVC050 **20/13**
Q1015 BECMG SCT035TCU=
(20-13)x400 = **2800ft** pour **2800** ft observés

METAR: LFBO 240330Z AUTO 25005KT 220V280 9999 ///TCU **15/13** Q1021 TEMPO
BKN007=
(15-13)x400 = **800ft** pour **700** ft observés

METAR: LFSL 220900Z AUTO 17006KT 130V220 9999 FEW014/// SCT021/// BKN034/// **17/14**
Q1014 TEMPO 4000 SHRA SCT050CB=
(17-14)x400 = **1200** ft pour **1400** ft observés

METAR: LFBO 191930Z AUTO 36009KT CAVOK **22/17** Q1012 TEMPO VRB18G30KT 2000
TSRA SCT025CB BKN030=

Selon le TEND TEMPO on peut s'attendre à trouver des CB (nuage convectif) dont la base est à **2500** ft quand le calcul donne (22-17)x400 = **2000ft**

Nota : les T et Td du METAR ou de l'ATIS sont codées avec des nombres entiers : 9, 10, 11, 12, 13, etc. alors que les mesures de la température et de l'humidité relative sont effectuées avec une précision de 0,1°C et 1% respectivement.

ACAT-CISOA	Interprétation des paramètres T/Td du METAR-AUTO et de l'ATIS	Note de synthèse
13/12/2021		Page 12/17

Des écarts entre l'humidité relative lue sur un diagramme psychrométrique avec les valeurs codées T et Td et celle mesurée par capteur capacitif ainsi que sur l'estimation de la hauteur de la base des cumulus via la formule d'EPSY peuvent par conséquent être constatés.

Exemple : ATIS : T/Td = 10/09 (90% - Hauteur : 400 ft) en réalité ça pouvait être 10,4/8,5 (88,1% - Hauteur : 360 ft) ou 9,6/9,4 (98,7% - Hauteur : 80 ft).

[Calculateur du Point de rosée : clic [ICI](#)].

7. En résumé

Une attention particulière doit être portée aux paramètres T et Td afin de :

- respecter les conditions du démarrage et des essais du moteur lors du départ de l'aérodrome ;
- prendre en compte les limitations dues à la dégradation des performances de décollage et d'atterrissage par forte température T ;
- évaluer les menaces (nature du danger et probabilité d'occurrence) et décider de la conduite à tenir en cas d'observation et de suspicion :
 - de formation de brume épaisse, de brouillard et de stratus :
probabilité + élevée si écart $T - Td \leq 3$ °C et variable selon la saison, la température T, l'heure dans la journée (refroidissement 1 à 2 heures après l'aube et à l'approche du crépuscule), la nébulosité et la hauteur de la base des nuages ;
 - de dépôt de cristaux de glace au sol (gelée blanche, verglas) et sur la cellule de l'avion (givre blanc, verglas) :
probabilité + élevée si T très proche de 0°C et écart $T - Td \leq 3$ °C.

Les facteurs contributifs au givrage du carburateur étant nombreux et changeants après l'envol, la réchauffe carburateur doit être tirée dès que la puissance appliquée est inférieure à celle de la croisière. Dans la mesure du possible l'usage en continu de la réchauffe lors du roulage doit être évité.

La saturation puis la condensation réduisent la visibilité et peuvent, dans certaines conditions de température, d'humidité et de vent, induire un envahissement soudain et rapide de l'aérodrome par de la brume, du brouillard et des stratus.

La durée nécessaire à leur dissipation dépend de la masse d'eau condensée à évaporer et donc de conditions propices au réchauffement ou à l'assèchement de l'air. Cette durée peut difficilement être prédite à partir des seuls paramètres T et Td du METAR et/ou de l'ATIS.

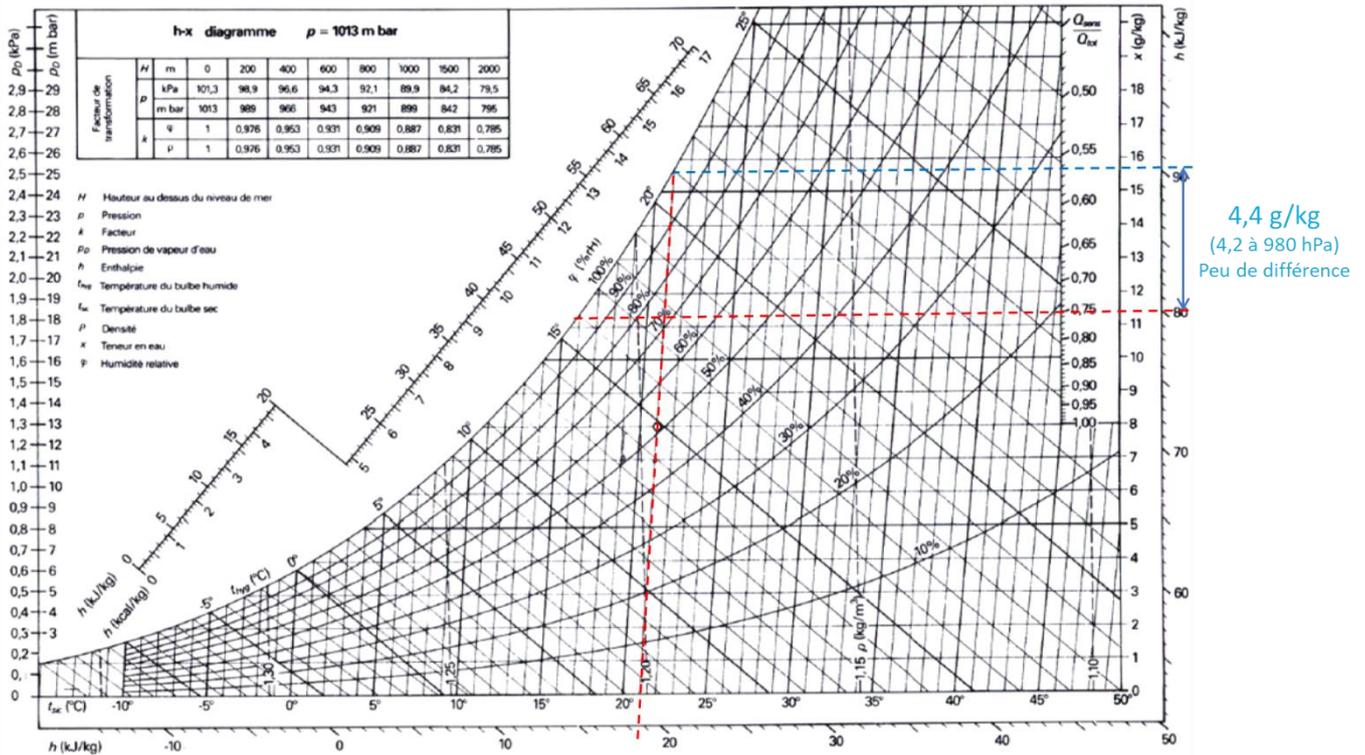
L'analyse de la situation météorologique et de son évolution ne doit pas se limiter aux paramètres Direction et intensité du vent, T/Td et QNH mais prendre en compte les autres observations et les prévisions météorologiques mises à disposition par Météo France sur AEROWEB.

8. Annexe

8.1. Diagramme psychrométrique de l'air humide à 1013 hPa

Dans le cadre de cette note, dont le propos est limité aux phases de décollage, de montée initiale (les 300 premiers pieds) et d'atterrissage, la pression atmosphérique (somme des pressions partielles des divers gaz qui composent l'air) est considérée constante à +/- quelques hectos Pascal (situation isobare).

Ce diagramme montre qu'effectivement la pression atmosphérique a peu d'impact sur la quantité de vapeur d'eau condensée.



ACAT-CISOA	Interprétation des paramètres T/Td du METAR-AUTO et de l'ATIS	Note de synthèse
13/12/2021		Page 14/17

8.2. L'eau surfondue et les précipitations verglaçantes (FZRA)

L'eau est **surfondue** lorsqu'elle est encore à l'état liquide à température négative (Cf. DR2 et Conseil Sécurité de Janvier 2011 intitulé [Bruine ou pluie verglaçante = DANGER !](#)).

Il n'y a pas d'eau surfondue en ciel clair, i.e. hors des nuages et en absence de brume ou de brouillard, mais de l'eau à l'état gazeux en plus ou moins grande quantité selon l'humidité relative.

Ci-après un extrait de DR1 :

1,614. - L'HUMIDITÉ

L'eau dans l'atmosphère - Etats - Définition

L'eau peut exister dans l'atmosphère sous les trois états :

- gazeux : vapeur d'eau;
- liquide : pluie, bruine, brouillard, nuages d'eau;
- solide : neige, grêle, grésil, nuages glacés.

A l'état de vapeur, l'eau est invisible. La quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air dépend de sa température; **plus la température est élevée, plus l'air peut contenir de vapeur d'eau.**

La buée qui s'échappe d'une marmite lorsqu'on soulève son couvercle n'est pas, ainsi qu'on le dit couramment, de la vapeur d'eau mais bien de l'eau déjà condensée en très fines gouttelettes.

On appelle humidité **spécifique** d'une masse d'air humide le **rapport** de la masse de vapeur d'eau qu'elle contient à la masse d'air humide :

Si l'on n'ajoute pas de vapeur d'eau ou qu'on n'en retire pas, l'humidité spécifique d'une masse d'air reste **constante** si cette masse d'air change de volume ou de température; la vapeur d'eau qu'elle contient, considérée isolément, a une certaine pression appelée force élastique ou **tension** de vapeur. Cette tension possède pour chaque température une valeur maximale; lorsque la tension **maximale** est atteinte, l'air est dit **saturé**; la vapeur est dite **saturante**.

Lorsque la tension dépasse, même de peu, cette valeur, la vapeur d'eau passe à l'état liquide : il y a **condensation**. Dans le cas contraire, tension devenant inférieure à la tension maximale, l'eau liquide passe à l'état gazeux; il y a **évaporation**.

Enfin, il se produit souvent des retards à la condensation ; l'air est alors **sursaturé** et en état de faux équilibre, dit de **sursaturation**; c'est ce qui se produit lorsque les noyaux de condensation sont absents ou en nombre insuffisant devant la vitesse d'accroissement de l'humidité relative de l'air, cas assez fréquent dans les couches élevées de l'atmosphère, très rare dans les basses couches.

Nous venons de voir les conditions d'équilibre de l'eau liquide en présence de sa vapeur.

De même, l'équilibre entre un bloc de glace et la vapeur d'eau qui l'entoure n'est possible, pour une température inférieure à 0°, que si la tension de vapeur au voisinage de la glace a une valeur déterminée pour chaque température. C'est la **tension de sublimation** (la **sublimation** étant le passage direct de la glace à la vapeur d'eau, c'est-à-dire de l'état solide à l'état gazeux). Si la tension est **supérieure** à la tension de sublimation, la vapeur d'eau se transforme en glace; au contraire, si la tension est inférieure à la tension de sublimation, la glace se sublime. Comme la condensation et l'évaporation, ces deux phénomènes peuvent présenter des retards.

38 La météorologie du navigant

Si de l'eau, de la glace et de la vapeur d'eau sont en présence simultanément dans une même masse d'air, elles ne peuvent être en équilibre véritable que pour une température très voisine de 0° et une pression donnée (4,58 mm de mercure) qui déterminent le **point triple** de l'eau (voir figure 18 des Courbes d'équilibre).

A côté des équilibres précédents, il convient de considérer aussi un pseudo-équilibre qui joue en météorologie un rôle **fondamental** : c'est l'équilibre entre la vapeur d'eau et l'**eau surfondue** (c'est-à-dire liquide par températures au-dessous de zéro degré). C'est un équilibre **instable** puisqu'une simple agitation de l'eau ou l'introduction du moindre cristal de glace dans l'eau surfondue, suffit à faire cesser la surfusion. Cette situation n'en est pas moins fréquente et durable dans l'atmosphère.

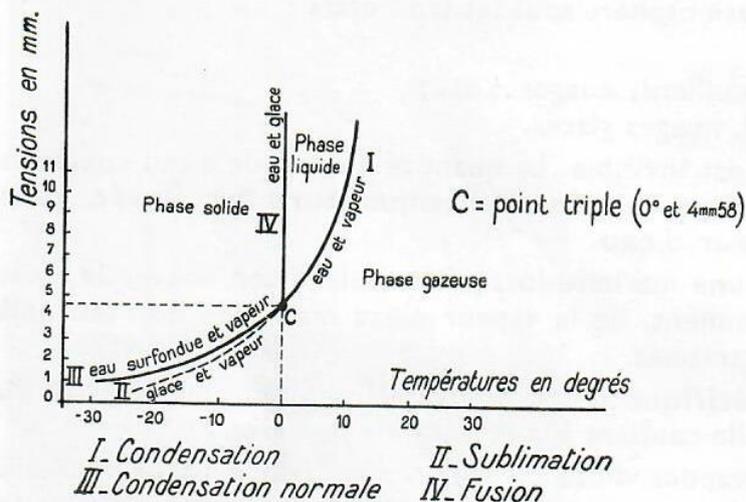


Fig. 18. — Courbes d'équilibre.

Un exemple simple de condensation est celui qui donne la **rosée**; pendant les nuits claires, lorsque l'air près du sol s'est suffisamment refroidi par suite du **rayonnement** du sol, la vapeur d'eau qu'il contient atteint sa tension maximale puis se condense sous forme de gouttes d'eau très fines; la température ainsi atteinte s'appelle le « Point de rosée », nom qu'on donne aussi à l'état de saturation.

Par ailleurs, pour fixer les idées, refroidissons une masse d'air humide non saturée, ayant par exemple à 30° une tension de vapeur de 13 mm, c'est-à-dire contenant 12 g de vapeur par mètre cube d'air; lorsqu'elle atteint 15° , l'air est **saturé** puisque, à cette température, il ne peut contenir plus de 12,7 g/m³. Par conséquent, si l'air continue à se refroidir au-dessous de 15° , une partie de la vapeur d'eau se « condense », l'air demeurant à chaque température à sa limite de saturation. Ainsi, si l'on atteint la température finale de 5° , comme il ne peut exister à ce moment plus de 6,8 g de vapeur d'eau par mètre cube, l'air contiendra $12,7 - 6,8 = 5,9$ g d'eau liquide par mètre cube (voir pp. 39 et 40).

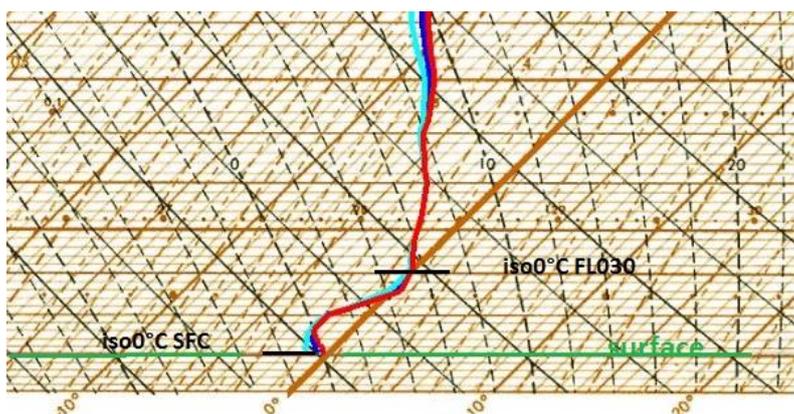
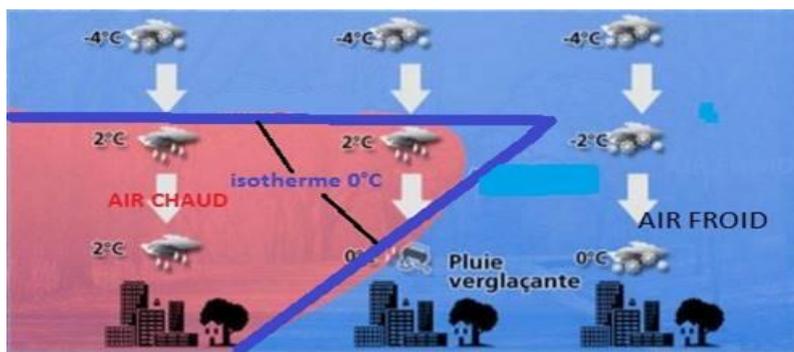
Les précipitations verglaçantes

A l'avant d'un front chaud les précipitations peuvent être verglaçantes, c'est-à-dire être liquides alors qu'elles sont à température négative.

En tombant la neige fond puis cette eau à l'état liquide se refroidit sans se congeler (**eau surfondue**) en traversant la couche d'air froid encore présente près du sol. Elle se congèlera dès qu'elle entrera en contact avec la surface du sol ou un objet quelconque.

Cf. DR2, le Schéma et le profil vertical des températures ci-contre.

Ce phénomène est fréquent après un épisode de temps froid ou en fond de vallée en zone montagneuse.



- **Donc vigilance accrue en hiver dans les vallées alpines ou pyrénéennes !**

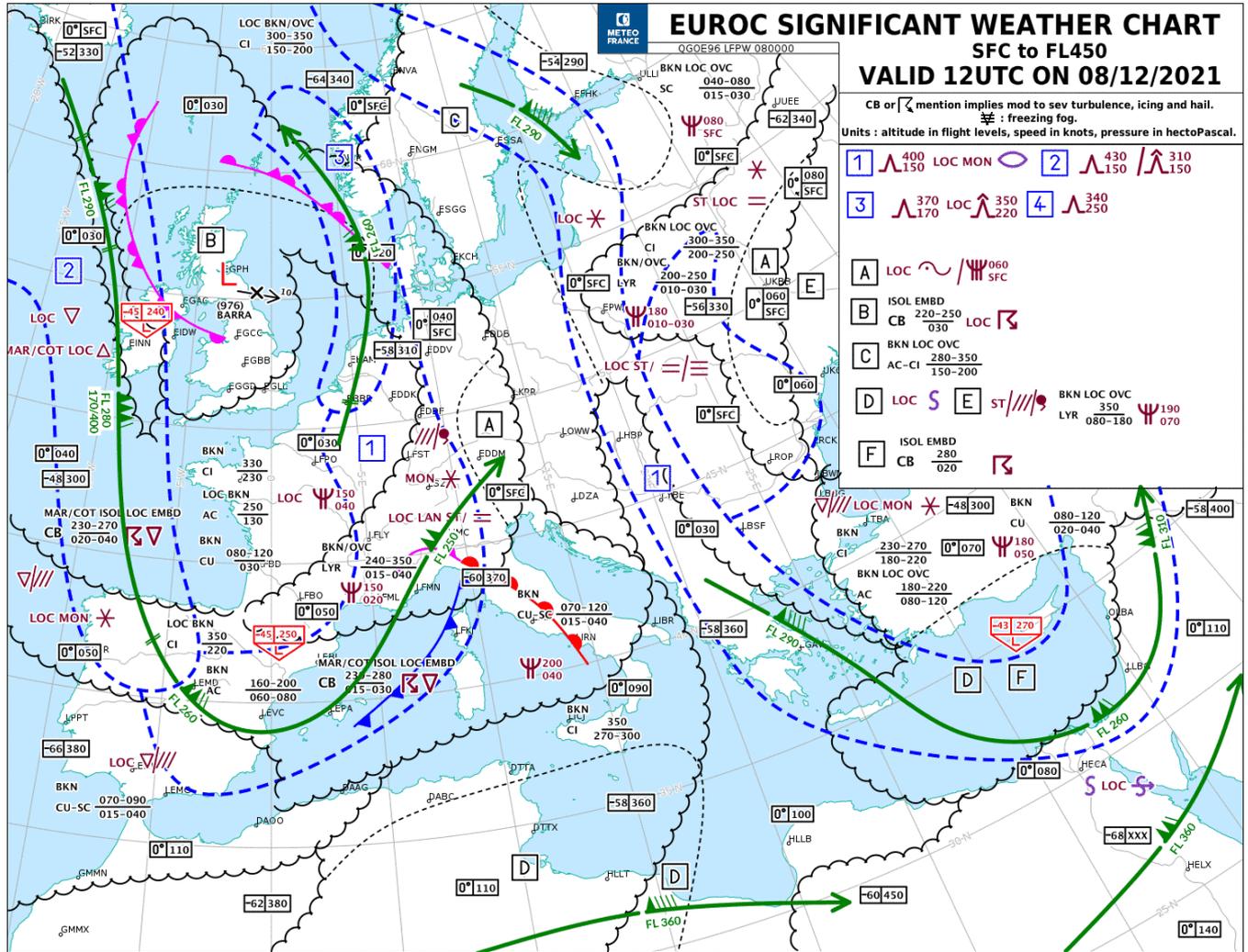
Dans ce cas la TEMSI comportera une iso0°C « à double étiquette » : l'une indiquant le niveau du sommet de l'air chaud et l'autre SFC, signifiant la présence de l'air froid au sol.

0°C	030 SFC
-----	------------

Cf. autres exemples d'iso0°C « à double étiquette » page suivante.

Petit rappel de la norme OACI : l'isotherme 0°C marque le passage d'une température < 0°C (depuis l'air « négatif ») à une température > 0°C (vers l'air « positif ») dans le sens de la descente.

8.3. TEMSI avec iso0°C à double étiquette, Pluie verglaçante et Givrage fort



Zone A (région de KIEV) : localement, pluie verglaçante (FZRA) et givrage fort entre la surface et le FL 060.

Cette zone correspond à la limite entre l'air chaud qui remonte sur la Russie et l'air froid qui persiste sur l'Europe centrale : cet air chaud pénètre dans la masse d'air froid en créant cette zone positive où la neige va fondre puis l'eau se refroidir dans la couche froide près du sol.

