

	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	
11/07/2025	Note de synthèse	Page 1/25

Rédacteur : J.Loury, en collaboration avec D.Boutonnet

Altitude et hauteur : une géométrie sous pression !

Objet

Ce document s'adresse plus particulièrement aux pilotes volant en VFR.

Il rassemble diverses connaissances théoriques et pratiques relatives au système de référence vertical, aux règles de l'air et de circulation aérienne.

Les quatre définitions de l'altitude sont brièvement présentées. Il est mis en avant que dans le domaine de l'aviation civile seule l'altitude-pression est utilisée pour le positionnement vertical des aéronefs, leur séparation, le franchissement des planchers et plafonds des divisions de l'espace aérien contrôlé, l'adoption et le maintien d'un niveau de croisière ou d'une altitude de vol prescrite sur les itinéraires publiés et dans le circuit d'un aérodrome.

Le calage altimétrique et son utilisation sont décrits ainsi que la manière d'obtenir une valeur approchée du QNH, l'incertitude instrumentale de l'altimètre, son étalonnage suivant le profil vertical de la pression dans l'atmosphère standard et la tolérance acceptable au départ d'un aérodrome sur son indication lorsqu'il est calé au QNH local.

L'effet des variations atmosphériques (pression et température) sur le QNH et l'altitude-pression est développé pour faire prendre conscience que l'erreur d'altitude due à la température de l'atmosphère peut créer des situations indésirables dans les portions de l'espace aérien non contrôlé où la navigation est restreinte ou hasardeuse ainsi que vis à vis des conditions météorologiques du vol à vue et du respect des hauteurs minimales de survol.

La gestion des erreurs et des menaces (TEM) suggère d'évaluer cette erreur et d'établir la marge d'altitude nécessaire pour éviter l'intrusion dans une zone ou un secteur dont la limite verticale est définie par une hauteur au-dessus du sol et toute navigation trop près des couches nuageuses ou en-dessous d'une hauteur minimale de survol, et cela à l'insu du pilote.

Contenu

Objet	1
Documents applicables	3
Documents en référence.....	3
1. Quatre définitions pour l'altitude	4
1.1. La hauteur orthométrique	4
1.2. La hauteur ellipsoïdale	4
1.3. L'altitude-pression Z_p	4
1.4. L'altitude-densité Z_d	5
2. Le calage altimétrique.....	5
2.1. Le QNH local et sa valeur approchée	5
2.2. Le QNH régional	6
2.3. Utilisation des calages altimétriques QNH et Standard 1013.25	7
3. Effet de la pression atmosphérique et de la température sur l'altitude-pression.....	8
3.1. L'altitude-pression indiquée Z_p n'est pas l'altitude vraie	8
3.2. Calcul de l'erreur d'altitude-pression due à la température de l'air à l'altitude de vol	9
3.3. Faut-il corriger son altitude-pression en fonction de la température extérieure ?.....	9
3.4. En pratique, à défaut de connaître la hauteur ou l'altitude vraie, prendre des marges	10
3.5. Evaluation du $\Delta TISA$ selon l'altitude de l'isotherme $0^\circ C$	10
3.6. Exemples d'application	12
4. Vérification des données d'altitude au départ d'un aérodrome	13
4.1. L'incertitude instrumentale de l'altimètre	13
4.2. Biais d'indication de l'altitude-pression au calage QNH de l'aérodrome de départ	14
4.3. Biais sur le FL qu'affiche le transpondeur	14
4.4. Tolérance acceptable sur l'indication d'altitude-pression au départ d'un aérodrome.....	14
5. En résumé	15
Annexe A : WGS-84, cartes aéronautiques, altitude(s) et GNSS	16
Annexe B : Caractéristiques de l'ISA - International Standard Atmosphere	17
Annexe C : ISA : épaisseur de l'hecto Pascal selon la Pression barométrique	18
Annexe D : Interactions de la température et de l'humidité sur la densité de l'air	19
Quelques rappels.....	19
Le QNH n'est pas exactement la P_{MER}	20
Annexe E : Exemples d'aérodromes avec des points dont la cote est différente d'ALT AD	22
Annexe F : Hauteurs minimales de survol et portions de l'espace aérien non contrôlé où la navigation est restreinte ou hasardeuse	25

ACAT-CISOA	Altitude et hauteur : une géométrie sous pression !	Note de synthèse
11/07/2025		Page 3/25

Documents applicables

DA1 : OACI DOC 8168 PROCEDURES POUR LES SERVICES DE LA NAVIGATION AERIENNE
Exploitation technique des aéronefs Volume III - Procédures d'exploitation technique des aéronefs

DA2 : eAIP France GEN 2 TABLEAUX ET CODES GEN 2.1 SYSTEMES DE MESURE,
MARQUES D'AERONEF, JOURS FERIES §2.1.4 SYSTEME DE REFERENCE VERTICAL

DA3 : eAIP France ENR1 REGLES ET PROCEDURES GENERALES ENR1.7
PROCEDURES DE CALAGE ALTIMETRIQUE

DA4 : Règles de l'Air Européennes Standardisées [SERA complet](#)

DA5 : [AIC PAC-N A 03/21 REGLES DE SURVOL](#)

DA6 : [B.A-BA DU RTBA](#)

DA7 : SYNOP Fichier d'observations sur la France pour le web

http://www.meteo.fr/meteonet/DIR_reso40/fichiers_obs_france_web_reso40_f.htm

DA8 : Paramètres du message SYNOP

https://donneespubliques.meteofrance.fr/client/document/doc_parametres_synop_167.pdf

Documents en référence

DR1 : Géoïde et Pesanteur (Laboratoire de géologie de l'ENS)

https://www.geologie.ens.fr/~ecalais/teaching/geodynamics/pesanteur_geoide_seul.pdf

DR2 : ACAT [Altimétrie-Cours](#), [Altimétrie-Références](#) (supports sur site web ACAT)

DR3 : ACAT [Note de synthèse Interprétation des paramètres T /Td du METAR et de l'ATIS](#)

DR4 : [INFO SECURITE DGAC N°2023/02](#) Risques liés aux erreurs de calage altimétrique, en particulier lors des opérations d'approche APV baro-VNAV et d'approche de non-précision

DR5 : [ACAT Conseil Sécurité 01/2016 Comment confirmer son altitude ?](#)

DR6 : [ACAT Guide de mise en œuvre des navigateurs GNS430 et GPS175](#)

DR7 : [SD VFR : Limites et précautions d'emploi](#)

DR8 : Circulaire d'information aéronautique [AIC PAC-N A 07/18](#)

DR9 : [Bulletin Sécurité DGAC N°11 : Erreurs de la chaîne altimétrique](#)

DR10 : SKYbrary Aviation Safety : [Correction des erreurs de température de l'altimètre](#)

DR11 : [INFO SÉCURITÉ DGAC N°2012/03](#) Situations d'altitude douteuse ou erronée

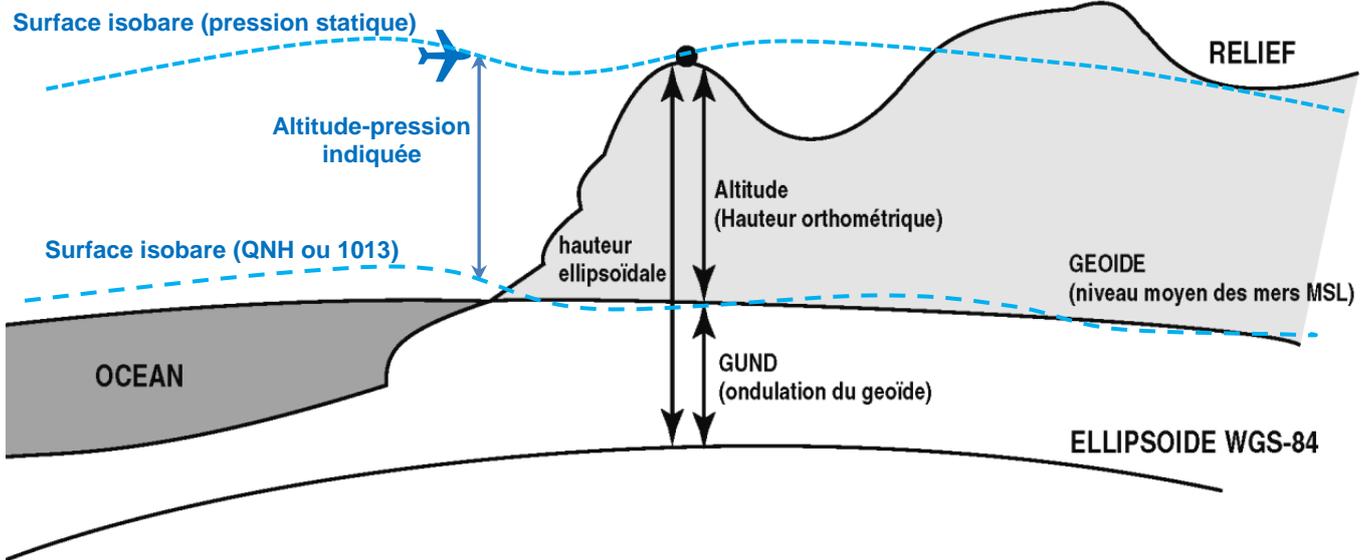
DR12 : FFA REGLES PRATIQUES RP 27 TEMPERATURES ELEVEES

1. Quatre définitions pour l'altitude

1.1. La hauteur orthométrique

Définition : distance entre un point de la surface terrestre et sa projection orthogonale sur la surface du géoïde (Cf. Annexe A : WGS84, cartes aéronautiques, altitude et GNSS).

Cette surface représente le niveau moyen des mers [MSL] et sert de référence pour l'**Altitude AMSL** [Above Mean Sea Level].



Source : cf. DA2

Les "points cotés" du fonds cartographique des cartes aéronautiques le sont en Altitude AMSL. Sauf mention contraire, il en est de même pour le sommet des obstacles, les aérodromes et leur circuit, les itinéraires et certaines limites verticales des espaces aériens contrôlés et des zones.

Définition OACI de l'Altitude [Cf. DA1 Chapitre 1 DEFINITIONS] : distance verticale entre un niveau, un point ou un objet assimilé à un point, et le niveau moyen de la mer (MSL).

1.2. La hauteur ellipsoïdale

Définition : distance entre un point et sa projection sur l'ellipsoïde de révolution (Cf. Annexe A) qui prend en compte la forme sphérique de la Terre "aplatie" aux pôles.

L'ellipsoïde est la surface de référence de la position verticale calculée par un navigateur GNSS (Global Navigation Satellites System ou Géolocalisation et Navigation via un Système de Satellites).

Corrigée du GUND (Geoïd UNDulation), la hauteur ellipsoïdale devient "Altitude GSL" - Geometric Sea Level ou "Altitude MSL(G)" - Mean Sea Level (Geometric) dans la terminologie GARMIN : elle est, mieux connue sous la dénomination "**Altitude GPS**".

eAIP GEN 2.1.4.SYSTEME DE REFERENCE VERTICAL 2.1.4.2 AVERTISSEMENT : L'attention des usagers est attirée sur le fait que la publication des valeurs d'ondulation du géoïde ne modifie pas les restrictions d'emploi du GPS. En particulier, l'information d'altitude fournie par le GPS reste inutilisable.

1.3. L'altitude-pression Z_p

Définition : distance (ou épaisseur de la couche d'atmosphère) entre deux surfaces isobares :

- celle de la pression statique à laquelle est soumise la capsule anéroïde de l'altimètre ;
- celle qui correspond au calage altimétrique **QNH** ou **Standard 1013.25 hPa**.

eAIP GEN 2.1.4.SYSTEME DE REFERENCE VERTICAL 2.1.4.1 GENERALITES Dans le domaine de l'aviation civile, les altitudes et les niveaux de vol sont définis par la pression atmosphérique.

Les aéronefs civils utilisent donc l'altitude-pression pour se situer et rendre compte de leur position dans le plan vertical sachant que les Services de la Circulation Aérienne (ATS) ne disposent que de celle transmise par les transpondeurs et dont le calage altimétrique est le Standard 1013.25 hPa (Cf. § 2.3).

Ils utilisent également l'altitude-pression pour franchir ou se maintenir au-dessus ou en-dessous des limites verticales des divisions de l'espace aérien contrôlé et à leur altitude ou niveau de croisière ainsi que pour parcourir à l'altitude prescrite les itinéraires publiés et le circuit des aérodromes.

Point d'attention : dans les Zones R et les Secteurs militaires (Cf. Annexe F) les appareils de la circulation aérienne militaire n'utilisent pas systématiquement l'altitude-pression pour se situer dans le plan vertical.

Extrait de DA6 : ...*Généralement, les appareils de type « chasseurs » évoluent dans le RTBA en mode suivi de terrain automatique dit « SDT Auto ». Les pilotes n'assurent pas la prévention des collisions.*

Les vitesses des « chasseurs » qui évoluent dans le RTBA peuvent dépasser 500 Kt (~900 km/h).

1.4. L'altitude-densité Z_d

Définition : altitude où la densité de l'air est celle de l'ISA pour la température qui règne à l'altitude-pression Z_p considérée (Cf. Annexe B).

Les performances des aéronefs dépendent directement de l'altitude-densité Z_d [Distances de décollage et d'atterrissage, Pente et Taux de montée, Vitesses, PWR max, Consommation énergétique].

Calcul de Z_d : ajouter ou retrancher à Z_p 120ft par °C d'écart entre la température de l'air à l'altitude de vol et la température dans l'ISA à cette altitude ($\Delta TISA$).

Exemple : si au niveau de croisière FL065 l'OAT est +17°C, à ce FL dans l'ISA la température est +2°C soit $\Delta TISA = +15^\circ C$. L'altitude-densité est 8300ft [6500 ft + 120 ft x 15°C)].

2. Le calage altimétrique

2.1. Le QNH local et sa valeur approchée

Le QNH local est un paramètre du METAR et de l'ATIS d'un aérodrome. Il est exprimé en hecto Pascal (hPa) et communiqué par TWR ou l'AFIS aux aéronefs en contact.

Ce paramètre est calculé à partir de la pression atmosphérique mesurée par la station météo de l'aérodrome, nommée QFE.

Nota : les stations météo des aérodromes français sont automatiques, certifiées par METEO FRANCE et vérifiées régulièrement.

Le calcul du QNH prend en compte la hauteur orthométrique **H** de l'aérodrome (**ALT AD** sur la VAC) et sa hauteur **H_{ISA}** [hauteur de l'aérodrome au-dessus de la surface isobare 1013,25 hPa dans les conditions du jour], selon la formule ci-après :

$$\text{QNH} = 1013.25 * [1 - 0.0065 * (\text{H}_{\text{ISA}} - \text{H}) / 288.15]^{5.25588}$$

$$\text{où } \text{H}_{\text{ISA}} = 44330.77 - 11880.32 * \text{QFE}^{0.190263}$$

Exemple : LFBO H = 152 m ; le 14/04/2025 1500Z, QFE : 984,3 hPa

$\text{H}_{\text{ISA}} = 243,870897157\text{m}$ $\text{QNH} = \mathbf{1002.2619}$ hPa (seule la partie entière est retenue)

METAR : LFBO 141500Z AUTO 13014KT 090V150 9999 BKN037 BKN045 BKN100 21/12
Q1002 BECMG SCT025 FEW050CB OVC100=

Nota : dans tout ce qui suit un QNH publié est considéré comme **sans erreur**.

A défaut de disposer d'un QNH local (par exemple sur aérodrome non contrôlé sans AFIS), pour obtenir sa valeur approchée, il suffit avant l'envol depuis cet aérodrome de régler les aiguilles de l'altimètre sur **ALT AD** aussi précisément que possible et de lire cette valeur dans la fenêtre de réglage du calage altimétrique.

APPROCHE A VUE <i>Visual approach</i>	Ouvert à la CAP <i>Public air traffic</i> 12 NOV 15	TOULOUSE LASBORDES AD 2 LFCL APP 01
		
ALT AD : 460 (16 hPa)		LFCL VAR : 0° (15)
LAT : 43 35 16 N LONG : 001 29 55 E		

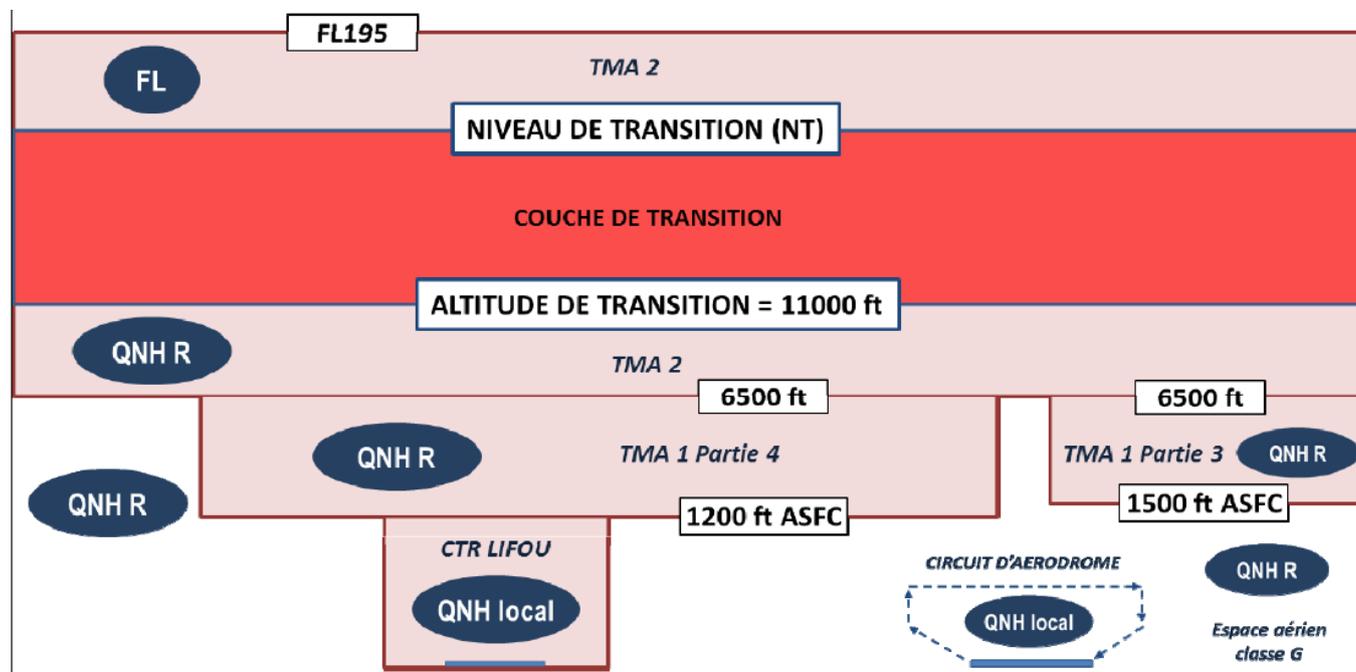
L'autre méthode consiste à régler les aiguilles de l'altimètre sur zéro et d'ajouter à la valeur du QFE lue dans la fenêtre de réglage l'écart de pression qui, dans l'atmosphère standard, correspond à l'altitude de l'aérodrome [valeur en hPa écrite entre parenthèses après **ALT AD**]. L'erreur entre le résultat de ces deux méthodes et celui du calcul effectué par la station d'aérodrome est faible et souvent masquée par l'incertitude instrumentale de l'altimètre.

2.2. Le QNH régional

Définition¹ (déduite de DR9) : référence de calage altimétrique utilisée dans certaines portions de l'espace aérien, par exemple une région de contrôle ou un secteur d'information de vol.

Ce QNH permet de garantir aux IFR une marge de franchissement d'obstacle minimale réglementaire lorsqu'ils évoluent sous le niveau de transition et la séparation verticale entre aéronefs tout en ayant l'assurance que le calage altimétrique utilisé est le même pour toute la circulation aérienne, hors secteurs où le QNH local est en usage [zones de contrôle (CTR) et aérodromes situés en espace G].

Le QNH régional est sélectionné parmi les QNH de stations d'aérodrome représentatives de la région de contrôle ou du secteur d'information de vol.



Source : DR8

La couche de transition représente la différence entre l'altitude de transition (calage altimétrique QNH) et le niveau de transition (calage altimétrique Standard).

¹ Le caractère « régional » d'un QNH n'est pas formellement défini : c'est un qualificatif d'usage.

ACAT-CISOA	Altitude et hauteur : une géométrie sous pression !	Note de synthèse
11/07/2025		Page 7/25

2.3. Utilisation des calages altimétriques QNH et Standard 1013.25

Le calage altimétrique en vigueur garantit que les erreurs d'altitude-pression dues à l'état de l'atmosphère réelle et notamment la température (Cf. § 3) sont les mêmes pour tous les aéronefs de la circulation aérienne.

Le QNH local (celui de l'aérodrome ou de l'aérodrome le plus proche) est utilisé dans la circulation d'aérodrome et son voisinage immédiat (au départ, à l'arrivée, en transit).

Au-delà, le QNH local est remplacé par le QNH régional communiqué par le SIV ou l'ATC et cela pour les vols réalisés sous 3000 ft ASFC en l'absence de TMA ou sous l'Altitude de Transition en vigueur (TA).

Le calage altimétrique Standard 1013.25 est utilisé pour les vols réalisés au-dessus du Niveau de Transition (même valeur que la TA en vigueur) et de 3000 ft ASFC en l'absence de TMA au-dessus.

Le transpondeur transmet en voie descendante une altitude-pression au Standard 1013.25 quelle que soit l'altitude de vol.

3. Effet de la pression atmosphérique et de la température sur l'altitude-pression

3.1. L'altitude-pression indiquée Z_p n'est pas l'altitude vraie

Rappel préliminaire : la loi d'étalonnage de l'altimètre [i.e. altitude versus pression statique] reproduit le profil vertical de la pression de l'atmosphère standard.

Cf. Annexe B : Caractéristiques de l'International Standard Atmosphere (ISA).

Dans l'atmosphère réelle, les profils verticaux de pression et de température sont rarement conformes à ceux de l'atmosphère standard.

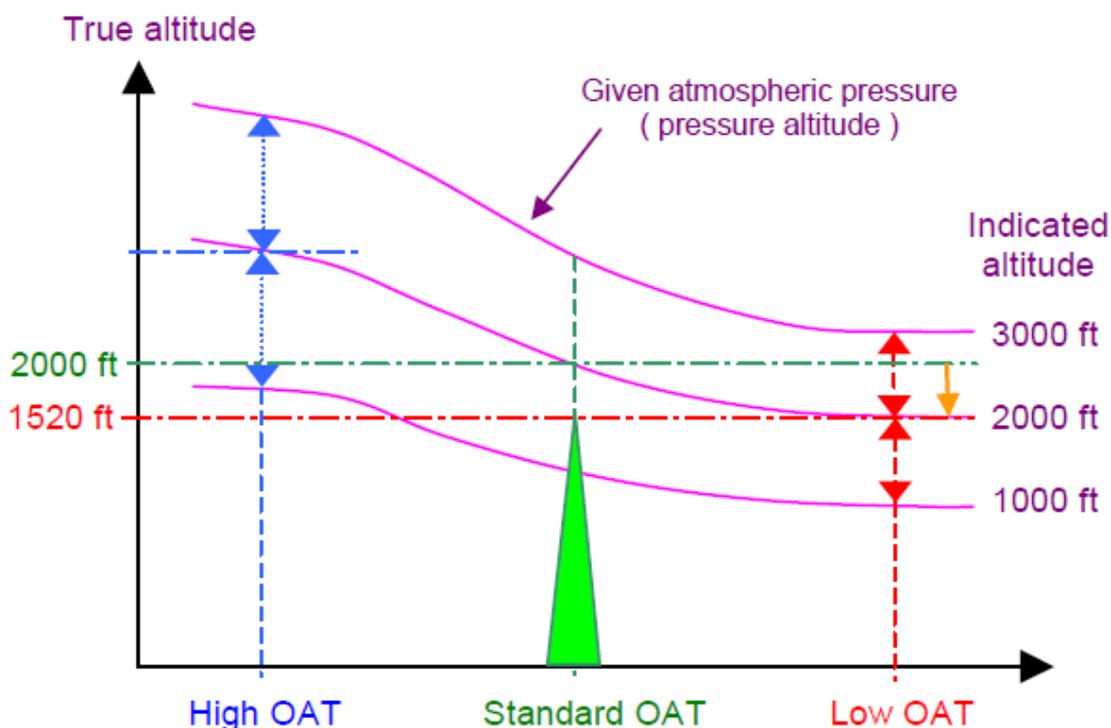
En un lieu donné la pression atmosphérique et la température de l'air varient au passage des fronts associés aux perturbations, selon les saisons et les périodes du jour et de la nuit.

Ces variations changent l'épaisseur de la couche d'atmosphère située entre les surfaces isobares (Cf. AEROWEB Cartes aérologiques Geopotentiel et Isotherme) et contribuent significativement à l'erreur d'altitude-pression vis-à-vis de l'altitude vraie (Cf. Annexe D).

A propos de l'effet de la température sur cette épaisseur il faut revenir à la loi des gaz parfaits $PV = nRT$: si T augmente à pression constante P, le volume V augmente et vice versa à densité constante (d'où l'hypothèse de l'air sec dans l'ISA : masse volumique ρ constante).

Dit autrement, si à l'altitude où vole l'aéronef l'OAT [Outside Air Temperature] est supérieure à la température $T^{\circ C}$ de l'ISA (temps chaud), l'altitude indiquée sera inférieure à son altitude vraie (+ haut qu'indiqué), situation généralement favorable vis-à-vis des hauteurs minimales de survol.

Par temps froid (OAT < $T^{\circ C}$ ISA), l'altitude indiquée sera supérieure à son altitude vraie (+ bas qu'indiqué), situation à l'opposé de celle qui par temps chaud était favorable et vice-versa. Ceci est illustré sur le graphe ci-dessous (Source : DR10) :



A propos de l'effet des variations de la pression atmosphérique, lorsque celle-ci décroît [par exemple, progressivement en se rapprochant d'une zone dépressionnaire ou localement en montagne en franchissant un col ou une crête en présence de vent fort (diminution de la pression statique par effet Venturi)], l'altitude-pression sera supérieure à l'altitude vraie et vice-versa si la pression atmosphérique croît. D'où l'importance en route d'utiliser le QNH régional.

Pour mémoire, aux basses et moyennes altitudes une baisse de la pression atmosphérique d'1hPa engendre une erreur d'altitude-pression de -28ft.

3.2. Calcul de l'erreur d'altitude-pression due à la température de l'air à l'altitude de vol

La contribution de l'écart entre la température T dans l'ISA et l'OAT ($\Delta TISA$ en °C) à l'erreur d'altitude-pression est de 4 ft par tranche de 1000 ft pour 1°C d'écart, ceci restant valable jusqu'à une OAT de -15°C.

La formule à utiliser est la suivante :

$$\text{Erreur (ft)} = 4 \Delta TISA (^{\circ}\text{C}) \times \frac{\text{Altitude (ft)}}{1000}$$

ou

$$\text{Erreur (ft)} = 4 \Delta TISA (^{\circ}\text{C}) \times \frac{\text{FL (ft/100)}}{10}$$

Quelques exemples :

Altitude-pression Z_p	$\Delta TISA$ (°C)	OAT (°C)	Erreur d'altitude (ft)	Altitude vraie (ft)
2000 ft (T°C dans l'ISA = + 11°C)	+ 10	+ 21	+ 80	2080
	- 15	- 4	- 120	1880
5 000 ft (T°C dans l'ISA = + 5°C)	+ 10	+ 15	+ 200	5200
	- 15	- 10	- 300	4700
7500 ft (T°C dans l'ISA = 0°C)	+ 10	+ 10	+ 300	7800
	- 15	- 15	- 450	7050
10 000 ft (T°C dans l'ISA = - 5°C)	+ 10	+ 5	+ 400	10400
	- 10°C	- 15	- 400	9600

3.3. Faut-il corriger son altitude-pression en fonction de la température extérieure ?

Extrait de DA3 ENR1.7.4 Procédures applicables aux exploitants d'aéronefs :

...Le ou les niveaux de vol choisis pour effectuer un vol doivent assurer une marge de franchissement d'obstacles réglementaire et le respect des hauteurs minimales de survol en tous points de la route à parcourir...

Cette exigence a un impact opérationnel du fait de l'erreur d'altitude-pression due à la température. En effet, à l'exception du radio altimètre ou d'un télémètre depuis le sol, il n'existe pas de mesure directe de la hauteur d'un aéronef au-dessus des obstacles et du sol.

Quand l'OAT est très inférieure à la température dans l'ISA, les IFR à l'approche ajoutent éventuellement à leur altitude-pression (altimètre calé au QNH régional) une correction de température afin de rester au-dessus des hauteurs minimales de franchissement d'obstacles (Cf. DA1 Chapter 4 ALTIMETER CORRECTIONS et DA3 ainsi que DR4).

Les VFR, qui par principe voient les obstacles et le sol ne font pas ce type de correction et sachant qu'ils sont parfois aidés par un indicateur visuel de pente d'approche.

Hormis le cas des IFR évoqué ci-avant et sauf instruction de l'ATC, les aéronefs de la circulation aérienne ne doivent pas ajouter de correction à leur altitude-pression en fonction de la température de leur propre initiative lorsqu'ils sont à leur altitude ou niveau de croisière ou naviguent sur les itinéraires publiés et dans le circuit d'un aérodrome (Cf. § 1.3), ceci pour ne pas introduire de disparité dans les séparations verticales et le report des altitudes.

3.4. En pratique, à défaut de connaître la hauteur ou l'altitude vraie, prendre des marges

Vis-à-vis successivement des hauteurs minimales de survol, des portions de l'espace aérien non contrôlé où la navigation est restreinte ou hasardeuse (Cf. Annexe F) et des 1000ft minimum de distance verticale à une couche nuageuse en VMC, la démarche TEM suggère de prendre une marge d'altitude-pression afin de ne pas naviguer :

- trop bas quand l'OAT est inférieure à $T^{\circ C}$ dans l'ISA ;
- trop haut quand l'OAT est supérieure à $T^{\circ C}$ dans l'ISA.

Quand l'atmosphère réelle est (très) différente de l'ISA :

- ✓ L'erreur d'altitude est d'autant plus grande que l'altitude de vol et des limites verticales est élevée.

C'est le cas par exemple des zones R46, R166, R193, R593 ou des parcs nationaux, réserves naturelles et ZSM en région montagneuse.

Si l'air est **plus chaud** que dans l'ISA, l'aéronef est **plus haut** qu'indiqué :

- ✓ les fortes températures sont :
 - favorables pour :
 - respecter les hauteurs minimales de survol ;
 - naviguer à 1000ft minimum au-dessus d'une couche nuageuse ;
 - naviguer au-dessus des zones P, R et D.
 - défavorables pour :
 - naviguer à 1000ft minimum en-dessous d'une couche nuageuse ;
 - naviguer en-dessous du plancher des zones R (très petit espace entre 800 ASFC et 500 ASFC) ;

Si l'air est **plus froid** que dans l'ISA, l'aéronef est **plus bas** qu'indiqué :

- ✓ les faibles températures sont :
 - favorables pour :
 - naviguer à 1000ft minimum en-dessous d'une couche nuageuse ;
 - naviguer en-dessous du plancher des zones R
 - défavorables pour :
 - respecter les hauteurs minimales de survol ;
 - naviguer à 1000ft minimum au-dessus d'une couche nuageuse
 - naviguer au-dessus des zones P, R et D.

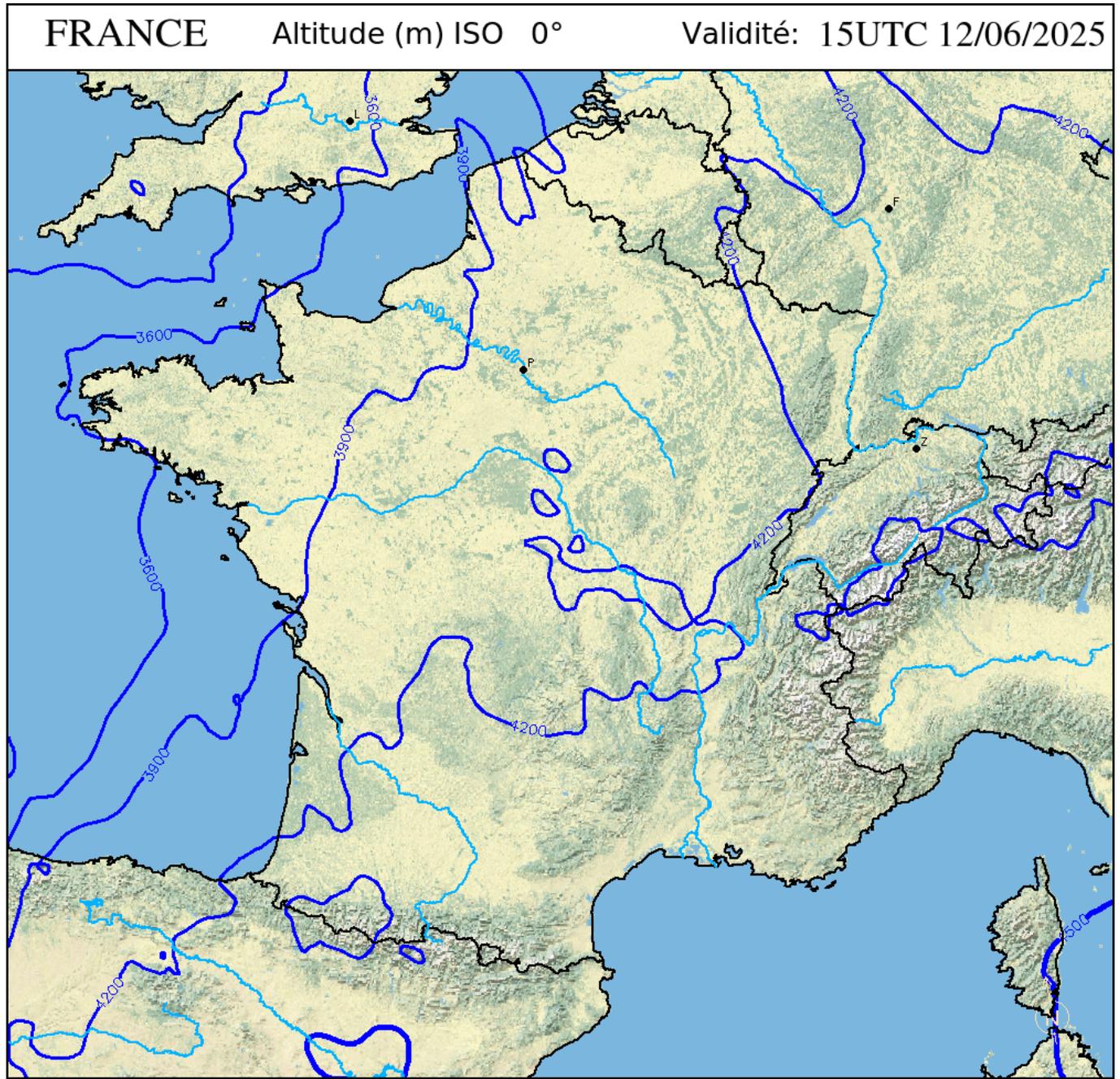
3.5. Evaluation du $\Delta TISA$ selon l'altitude de l'isotherme $0^{\circ C}$

L'altitude de l'isotherme 0° [en mètres sur les cartes aérologiques et en centaines de pieds (FL) sur la carte TEMSI] permet d'évaluer l'écart de température à l'ISA prévu sur une région (écart désigné $\Delta TISA$) et représentatif de l'état de l'atmosphère réel.

Cet écart sera utile pour calculer d'une part l'altitude-densité (Cf. §1.4) et d'autre part l'erreur d'altitude-pression du à la température.

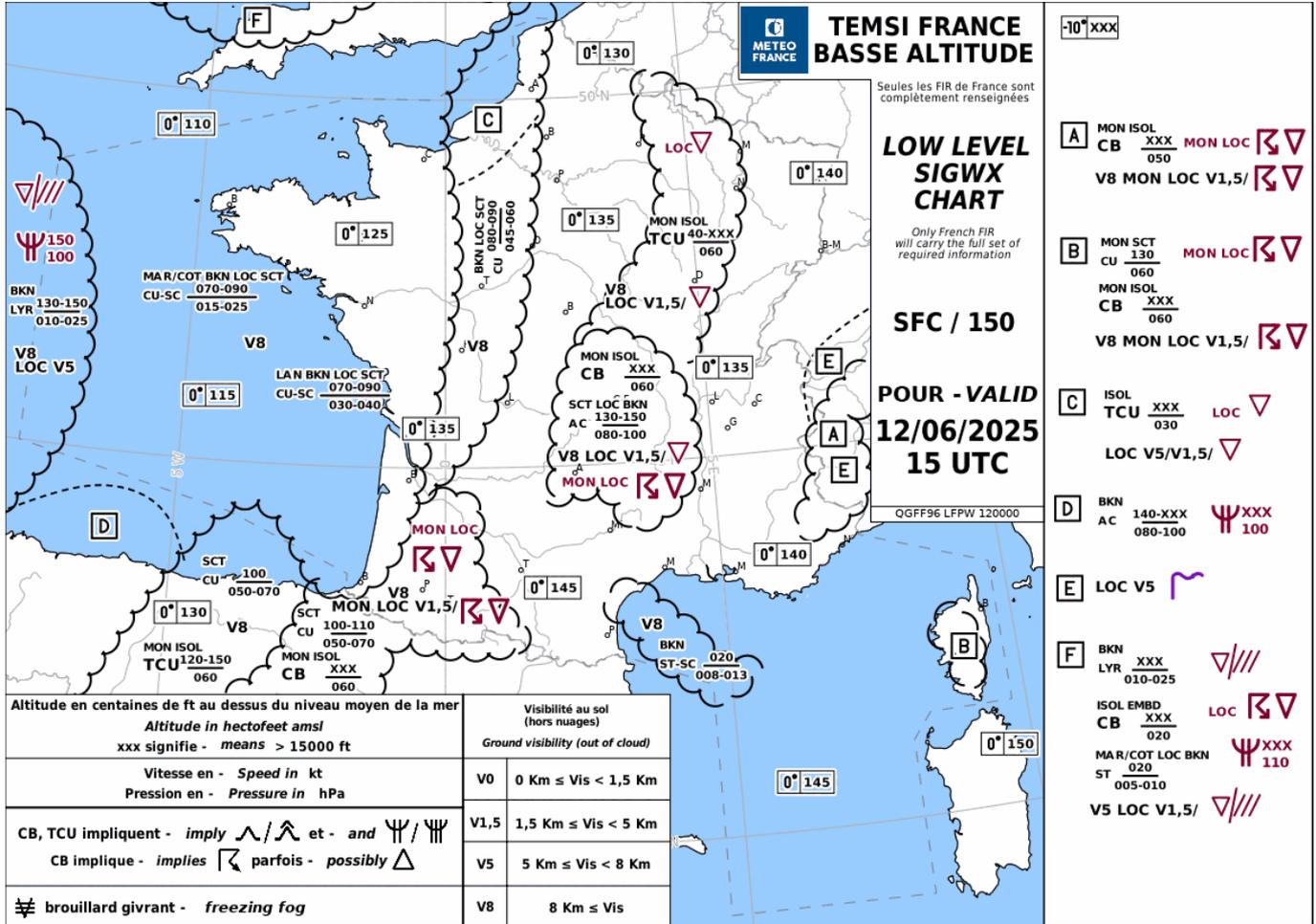
Pour mémoire dans l'ISA la température diminue de $6.5^{\circ C}$ tous le 1000 mètres ou de $2^{\circ C}$ tous les 1000ft. L'isotherme 0° est à une altitude de 2286 mètres arrondis à 2300 mètres ou à 7500 ft (FL075).

Altitude de l'ISO 0° exprimée en mètres	Altitude de l'ISO 0° exprimée en centaines de mètres (FL)
$\Delta TISA (^{\circ}C) = 0.0065 [ALT \text{ ISO } 0^{\circ} (m) - 2300]$	$\Delta TISA (^{\circ}C) = 0.2 [FL \text{ ISO } 0^{\circ} (ft/100) - 75]$

Carte aérologique ISO 0° FRANCEISO 0° à 4200 m $\Delta TISA : 0.0065 [4200-2300] = +12^{\circ}\text{C}$ ISO 0° à 4500 m $\Delta TISA : 0.0065 [4200-2300] = +14^{\circ}\text{C}$ 

Carte TEMSI FRANCE BASSE ALTITUDE

ISO 0° à FL025 ΔTISA : 0.2 [25-75] = -10°C
 ISO 0° à FL115 ΔTISA : 0.2 [125-75] = +10°C
 ISO 0° à FL145 ΔTISA : 0.2 [145-75] = +14°C



3.6. Exemples d'application

- Respecter les 1000ft minimum à la couche nuageuse

En été : ISO 0° à FL150 (ΔTISA = +15°C), Croisière au FL095, base des nuages au FL105

Erreur : 4ft x (+15°C) x 95 ÷ 10 = +570ft

Je vole à 430ft des nuages
ou 280ft si écart de pilotage adverse !

→ Croiser au FL075

En hiver : ISO 0° à FL025 (ΔTISA = -10°C), Croisière au FL075, sommet des nuages au FL065

Erreur : 4ft x (-10°C) x 75 ÷ 10 = -300ft

Je vole à 700ft des nuages
ou 550 ft si écart de pilotage adverse !

→ Croiser au FL085.

- **Marge et altitude-pression recommandées pour respecter une limite supérieure (hauteur minimale de survol, plafond de zone) ou inférieure (plancher de zone) :**

Nota : chaque marge inclut un talon de 150 ft prenant en compte les écarts de pilotage.

	$\Delta TISA$ (°C)	OAT (°C)	Marge ft	Voler à (ft)	OAT (°C)	Marge ft	Voler à (ft)	OAT (°C)	Marge (ft)	Voler à (ft)		
Temps froid	- 20	-9	310	2310	-15	550	5550	-25	950	10950	Limite supérieure ↓	
	- 15	-4	270	2270	-10	450	5450	-20	750	10750		
	- 10	+1	230	2230	-5	350	5350	-15	550	10550		
	- 5	+6	190	2190	0	250	5250	-10	350	10350		
	0	+11	150	2150	+5	150	5150	-5	150	10150		
			2000 ft AMSL			5000 ft AMSL			10000 ft AMSL			-----
Temps chaud	0	+11	150	1850	+5	150	4850	-5	150	9850	↑ Limite inférieure	
	+5	+16	190	1810	+10	250	4750	0	350	9650		
	+ 10	+21	230	1770	+15	350	4650	+5°	550	9450		
	+ 15	+26	270	1730	+20	450	4550	+10	750	9250		
	+ 20	+31	310	1690	+25	550	4450	+15	950	9050		

4. Vérification des données d'altitude au départ d'un aérodrome

A bord de l'aéronef, le pilote dispose généralement de plusieurs sources de données d'altitude, la première étant l'altimètre. Le champ FL apparaissant en face-avant du transpondeur « mode S » constitue sa seconde source, la valeur de ce champ indiquant l'altitude-pression Standard en centaines de pieds. Enfin le navigateur GNSS (Cf. DR6) ou un EFB supportant une application de préparation et de suivi de navigation (Cf. DR7) peuvent lui délivrer une altitude géométrique.

La disponibilité et la qualité de ces données d'altitude sont incluses dans les vérifications à réaliser lors du départ.

Elles sont comparées à l'altitude AMSL de l'aérodrome mentionnée sur la VAC dans le champ **ALT AD** et également disponible dans les autres AIP, notamment sur les cartes aéronautiques.

4.1. L'incertitude instrumentale de l'altimètre

Comme tout appareil de mesure un altimètre ne saurait être parfait et délivre sa mesure avec plus ou moins d'incertitude.

L'incertitude de la mesure résulte des diverses caractéristiques techniques de l'instrument dont chacune doit rester à l'intérieur des tolérances définies par le constructeur : tolérances sur la courbe d'étalonnage, l'échelle barométrique (calage altimétrique), l'hystérésis, la friction, etc.

Le respect de ces tolérances est régulièrement vérifié en atelier.

Par exemple, la tolérance sur la courbe d'étalonnage de l'altimètre pour une plage d'altitude allant de -1000ft à 14000ft est ± 20 ft sur la tranche de -1000ft à +1000ft d'altitude puis croît progressivement : ± 25 ft à 1500ft, ± 30 ft à 3000ft, ± 40 ft à 6000ft, ± 60 ft à 8000ft, ± 80 ft à 10000ft et ± 100 ft à 14000ft.

La tolérance sur l'échelle barométrique est de ± 25 ft pour une plage de 960 à 1040hPa.

La friction justifie la recommandation de faire vibrer l'instrument par tapotement lors de la vérification de l'indication de l'altimètre calé au QNH local (Cf. DA1 § 3.2).

4.2. Biais d'indication de l'altitude-pression au calage QNH de l'aérodrome de départ

Etant calé au QNH, de légers biais d'indication peuvent provenir :

- de l'incertitude instrumentale de l'altimètre ;
- d'un écart entre la température extérieure (OAT) et la température T du paramètre T/Td (surchauffe de l'air au-dessus du tarmac par temps ensoleillé en l'absence de vent) ;
- d'un écart d'altitude de l'aire de trafic ou du point d'attente avec l'altitude de l'aérodrome.
Cf. Annexe E : Exemples d'aérodromes avec des points dont la cote est différente d'ALT AD.

Par exemple sur un aérodrome situé à 1000 ft AMSL une OAT égale à T+5°C induit un biais de +20ft soit une petite division sur la grande aiguille de l'altimètre.

Hormis l'incertitude instrumentale, ces biais disparaîtront à l'envol.

4.3. Biais sur le FL qu'affiche le transpondeur

Le transpondeur code l'altitude-pression au calage Standard avec une résolution de 25 ft avant de la transmettre. La valeur FL est l'altitude-pression en centaines de pieds (3 chiffres).



Lorsqu'un biais important est constaté sur la valeur FL, il provient généralement d'un dysfonctionnement du boîtier électronique externe qui mesure la pression statique et la traduit en altitude (Cf. DR 4).

4.4. Tolérance acceptable sur l'indication d'altitude-pression au départ d'un aérodrome

Celle-ci est définie par l'OACI dans le DOC 8168 au § 3.2 TEST OPERATIONNEL AVANT LE VOL (Cf. DA1).

Après déduction de l'éventuelle contribution d'une OAT très écartée de la température T du paramètre T/Td ou de l'écart entre **ALT AD** et l'altitude de la position occupée par l'aéronef (Cf. § 4.1), **la tolérance acceptable est de ± 60 ft (3 petites graduations sur la grande aiguille de l'altimètre)** pour un altimètre calibré de 0 à 30000 ft, calé au QNH le plus récent de l'aérodrome et si son altitude est inférieure à 3500 ft AMSL.

Au-delà de 3500 ft cette tolérance est définie en Table 2-3-1 du DOC 8168.

Par déduction cette tolérance est d'une unité sur le dernier chiffre du FL qu'affiche le transpondeur.

Si l'indication d'altitude-pression au départ est « hors tolérance acceptable » il conviendra de faire vérifier l'altimètre ou le transpondeur.

5. En résumé

Hormis l'incertitude instrumentale ou un QNH publié qui serait erroné, les facteurs contributifs à l'erreur d'altitude-pression sont, par ordre décroissant d'importance :

1. L'écart $\Delta TISA$ entre la température de l'air réel (OAT) et celle de l'ISA (T^{CISA}) ;
 2. L'altitude de vol elle-même ;
 3. Le principe de calcul du QNH ;
 4. Une pression atmosphérique actuelle plus faible ou plus forte que celle ayant servi à calculer le QNH affiché sur l'altimètre ;
 5. L'étalonnage de l'altimètre selon le profil vertical de pression de l'ISA ;
 6. L'humidité spécifique en grammes de vapeur d'eau par kilogramme d'air (Cf. Annexe D).
- En préparant le vol, tenir compte des deux premiers facteurs afin de déterminer la marge nécessaire compte-tenu des prévisions d'épaisseur et d'altitude des couches nuageuses.

$\Delta TISA$	Respecter les hauteurs [SERA, Zones P, D, ENR 5.3, 5.6, 5.7]	Naviguer à 1000ft d'une couche nuageuse		Naviguer hors des Zones R et des Secteurs militaires [ENR 5.3.1.3]	
		au-dessus	en-dessous	en dessous	au-dessus
Air + chaud	Erreur de Z_p favorable	Erreur de Z_p défavorable, marge nécessaire		Erreur de Z_p favorable	
Air + froid	Erreur de Z_p défavorable, marge nécessaire	Erreur de Z_p favorable		Erreur de Z_p défavorable, marge nécessaire	

- En réalisant le vol, lorsque l'erreur d'altitude-pression est défavorable, appliquer cette marge et si l'altitude de la base des nuages le permet privilégier la navigation au-dessus des zones du RTBA (recommandation de la Direction de la Circulation Aérienne Militaire - DIRCAM, Cf. DA6 page 9).

Annexe A : WGS-84, cartes aéronautiques, altitude(s) et GNSS

Le WGS-84 (World Geodetic System) est le système géodésique mondial de "référencement" utilisé notamment en cartographie (latitude-longitude, altitude, déclinaison magnétique) et par les systèmes de géolocalisation et de navigation par satellites (GNSS). Ce système distingue le géoïde et l'ellipsoïde de révolution.

Le **Géoïde** (DR1) est un recueil de diverses caractéristiques physiques et dimensionnelles de la planète Terre. Il contient notamment une représentation mathématique (i.e. un modèle) de la surface des océans avec son "prolongement continental" et qui est la "surface de référence" pour l'altitude AMSL [Above Mean Sea Level].

L'**ellipsoïde de révolution** est une représentation simplifiée de la forme sphérique de la Terre "aplatie" aux pôles : c'est la "surface de référence" pour la géolocalisation.

Le géoïde s'écarte plus ou moins de l'ellipsoïde de révolution. Cet écart est nommé le GUND acronyme de Geoid UNDulation (ondulation du géoïde) et correspond à la fluctuation du champ de gravitation, c'est-à-dire du pouvoir d'attraction par la Terre d'une masse quelconque (e.g. l'eau des océans, un objet au sommet d'une colline ou d'une montagne, un satellite en orbite terrestre, un aéronef, etc.). Ce modèle de la surface des océans et de son prolongement continental est une **surface équipotentielle de pesanteur**. Cette fluctuation provient d'une densité non uniforme des "matériaux" qui composent la Terre.

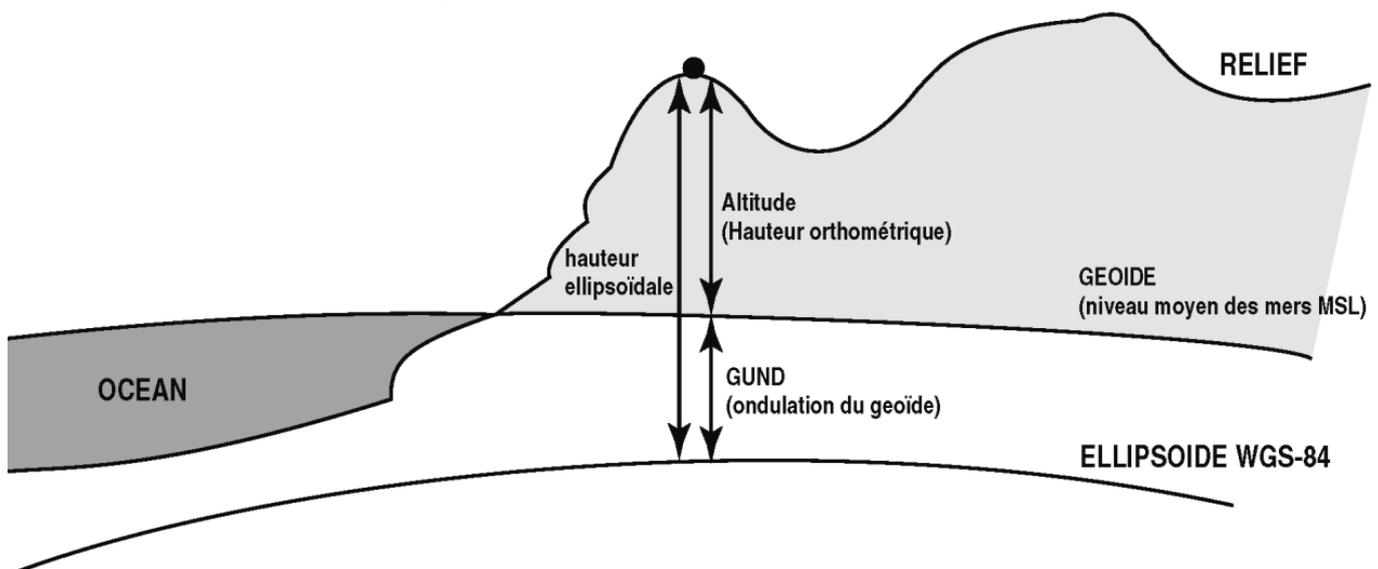
L'**altitude** figurant sur les cartes est une "hauteur orthométrique" au-dessus ou en-dessous du niveau moyen des mers (MSL : Mean Sea Level). Cette hauteur "H" est établie via des mesures de la pesanteur (gravimétrie).

Une géolocalisation via une constellation de satellites résulte de la mesure du délai de propagation de l'onde radioélectrique émise par ces satellites et reçue par l'équipement de localisation, en l'occurrence le Navigateur GNSS.

Ce délai est proportionnel à la distance entre la position actuelle de l'équipement et de celles des satellites de la constellation en visibilité, i.e. qui sont situés au-dessus de l'horizon.

Ces mesures de délai sont réalisées par le Navigateur GNSS qui, par calcul, en déduit sa position dans l'espace en référence à l'ellipsoïde de révolution WGS-84 (Lat, Long, **Hauteur**) et par conséquent avec un écart de position en vertical à son altitude AMSL.

Si ce Navigateur délivre à son utilisateur une **altitude** [désignée dans la Terminologie Garmin : GSL Geometric Sea Level ou MSL(G) Mean Sea Level (Geometric)] c'est que la position en vertical ainsi calculée est corrigée de la valeur du GUND.



Annexe B : Caractéristiques de l'ISA - International Standard Atmosphere

	Altitude Zp		Pression Ps		Température Ts		Masse Volumique ρ Kg/m ³	Densité		Vitesse du son a (Kts)	
	ft	m	hPa	in.Hg	°C	°K		$\delta=\rho/\rho_0$	$\sqrt{\delta}$		
A t m o s p h è r e	53 083	16 180	100	2,95	- 56,5	216,6				574	
	45 000	13 716	148,2	4,36	- 56,5	216,6	0,238	0,194	0,440	574	
	44 000	13 411	155,4	4,57	- 56,5	216,6	0,245	0,204	0,452	574	
	43 000	13 106	163,0	4,79	- 56,5	216,6	0,262	0,214	0,463	574	
	42 000	12 802	171,0	5,03	- 56,5	216,6	0,275	0,225	0,474	574	
	41 000	12 497	179,4	5,28	- 56,5	216,6	0,289	0,236	0,486	574	
	40 000	12 192	188,2	5,54	- 56,5	216,6	0,303	0,247	0,497	574	
	39 000	11 887	197,5	5,81	- 56,5	216,6	0,318	0,259	0,509	574	
	38 662	11 784	200	5,91	- 56,5	216,6				574	
	38 000	11 582	207,1	6,10	- 56,5	216,6	0,333	0,272	0,522	574	
	37 000	11 278	217,3	6,40	- 56,5	216,6	0,349	0,285	0,534	574	
	36 000	10 973	228,0	6,71	- 56,2	216,9	0,366	0,299	0,547	574	
	35 000	10 668	239,1	7,04	- 54,2	218,9	0,380	0,311	0,558	577	
	34 000	10 363	250,6	7,38	- 52,3	220,8	0,395	0,323	0,568	579	
	33 000	10 058	262,6	7,74	- 50,3	222,8	0,411	0,335	0,579	582	
	32 000	9 754	275,1	8,11	- 48,3	224,8	0,426	0,348	0,590	584	
	31 000	9 449	288,1	8,49	- 46,3	226,8	0,442	0,361	0,601	587	
	30 066	9 164	300	8,86	- 44,6	228,5				589	
	30 000	9 144	301,5	8,89	- 44,4	228,7	0,459	0,375	0,612	589	
	29 000	8 839	315,4	9,30	- 42,4	230,7	0,476	0,389	0,624	592	
	28 000	8 534	329,9	9,73	- 40,4	232,7	0,494	0,403	0,635	595	
	27 000	8 230	344,9	10,17	- 38,4	234,7	0,512	0,418	0,647	597	
	26 000	7 925	360,4	10,63	- 36,5	236,6	0,530	0,433	0,658	600	
	S t a n d a r d	25 000	7 620	376,5	11,10	- 34,5	238,6	0,550	0,449	0,670	602
		24 000	7 315	393,2	11,60	- 32,5	240,6	0,569	0,465	0,682	605
		23 000	7 010	410,5	12,11	- 30,5	242,6	0,589	0,481	0,694	607
		22 000	6 706	428,3	12,64	- 28,5	244,6	0,610	0,498	0,706	609
		21 000	6 401	446,8	13,18	- 26,6	246,5	0,631	0,515	0,718	612
		20 000	6 096	466,0	13,75	- 24,6	248,5	0,653	0,533	0,730	614
		19 000	5 791	485,8	14,34	- 22,6	250,5	0,676	0,551	0,742	617
18 287		5 574	500	14,76	- 21,2	251,8				618	
18 000		5 486	506,3	14,94	- 20,6	252,5	0,699	0,570	0,755	619	
17 000		5 182	527,5	15,57	- 18,7	254,4	0,722	0,589	0,767	622	
I S A	16 000	4 877	549,4	16,22	- 16,7	256,4	0,746	0,609	0,779	624	
	15 000	4 572	572,1	16,89	- 14,7	258,4	0,711	0,629	0,793	626	
	14 000	4 267	595,5	17,58	- 12,7	260,4	0,797	0,650	0,806	629	
	13 000	3 962	619,6	18,29	- 10,7	262,4	0,823	0,672	0,820	631	
	12 000	3 658	644,6	19,03	- 8,8	264,3	0,849	0,693	0,832	634	
	11 000	3 353	670,4	19,79	- 6,8	266,3	0,877	0,716	0,846	636	
	10 000	3 048	696,9	20,58	- 4,8	268,3	0,905	0,739	0,860	638	
	9 882	3 012	700	20,67	- 4,6	268,5				639	
	9 000	2 743	724,4	21,39	- 2,8	270,3	0,934	0,762	0,873	641	
	8 000	2 438	752,7	22,22	- 0,8	272,3	0,963	0,786	0,887	643	
7 000	2 134	781,9	23,09	+ 1,1	274,2	0,993	0,811	0,900	645		
6 000	1 829	812,0	23,98	+ 3,1	276,2	1,024	0,836	0,914	648		
5 000	1 524	843,1	24,90	+ 5,1	278,2	1,056	0,862	0,928	650		
4 000	1 219	875,1	25,84	+ 7,1	280,2	1,088	0,888	0,942	652		
3 000	914	908,1	26,82	+ 9,1	282,2	1,121	0,915	0,957	655		
2 000	610	942,1	27,82	+ 11,0	284,1	1,155	0,943	0,971	657		
1 000	305	977,2	28,86	+ 13,0	286,1	1,190	0,971	0,985	659		
0	0	1013,2	29,92	+ 15,0	288,1	1,225	1,000	1,000	661		
-1 000	-305	1050,4	31,02	+ 17,0	290,1	1,261	1,030	1,015	664		
-2 000	-610	1088,7	32,15	+ 19,0	292,1	1,298	1,060	1,030	666		

Annexe C : ISA : épaisseur de l'hecto Pascal selon la Pression barométrique

(cf.DR2)

Epaisseur de l'hPa en pieds	Pression barométrique en hPa	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
39,4	700	9882	9846	9809	9772	9735	9699	9662	9626	9589	9553
	710	9516	9480	9443	9407	9371	9334	9298	9262	9226	9190
	720	9154	9118	9082	9046	9010	8974	8939	8903	8867	8831
	730	8796	8760	8725	8689	8654	8618	8583	8547	8512	8477
	740	8442	8406	8371	9336	8301	8266	8231	8196	8161	8126
31,5	750	8091	8056	8022	7987	7952	7917	7883	7848	7814	7779
	760	7745	7710	7676	7641	7607	7573	7538	7504	7470	7436
	770	7402	7368	7334	7300	7266	7232	7198	7164	7130	7096
	780	7062	7029	6995	6961	6928	6894	6861	6827	6794	6760
	790	6727	6693	6660	6627	6593	6560	6527	6494	6460	6427
	800	6394	6361	6328	6295	6262	6229	6196	6164	6131	6098
	810	6065	6033	6000	5967	5935	5902	5869	5837	5804	5772
	820	5739	5707	5675	5642	5610	5578	5546	5513	5481	5449
	830	5417	5385	5353	5321	5289	5257	5225	5193	5161	5129
	840	5097	5066	5034	5002	4971	4939	4907	4876	4844	4813
28,8	850	4781	4750	4718	4687	4655	4624	4593	4561	4530	4499
	860	4468	4437	4405	4374	4343	4312	4281	4250	4219	4188
	870	4157	4126	4096	4065	4034	4003	3972	3942	3911	3880
	880	3850	3819	3789	3758	3728	3697	3667	3636	3606	3575
	890	3545	3515	3484	3454	3424	3394	3364	3333	3303	3273
	900	3243	3213	3183	3153	3123	3093	3063	3033	3003	2974
	910	2944	2914	2884	2855	2825	2795	2766	2736	2706	2677
	920	2647	2618	2588	2559	2529	2500	2470	2441	2412	2382
	930	2353	2324	2295	2265	2236	2207	2178	2149	2120	2091
	940	2062	2033	2004	1975	1946	1917	1888	1859	1830	1802
26,6	950	1773	1744	1715	1687	1658	1629	1601	1572	1543	1515
	960	1486	1458	1429	1401	1372	1344	1315	1287	1259	1230
	970	1202	1174	1146	1117	1089	1061	1033	1005	977	948
	980	920	892	864	836	808	780	752	725	697	669
	990	641	613	585	558	530	502	474	447	419	391
	1000	364	336	309	281	254	226	199	171	144	116
	1010	89	62	34	7	-20	-48	-75	-102	-129	-157
	1020	-184	-211	-238	-265	-292	-319	-346	-373	-400	-427
	1030	-454	-481	-508	-535	-562	-589	-616	-643	-669	-696
	1040	-723	-750	-776	-803	-830	-856	-883	-910	-936	-963
	1050	-989	-1016	-1042	-1069	-1095	-1122	-1148	-1174	-1201	-1227
	1060	-1254	-1280	-1306	-1332	-1359	-1385	-1411	-1437	-1464	-1490
	1070	-1516	-1542	-1568	-1594	-1620	-1646	-1672	-1698	-1724	-1750
	1080	-1776	-1802	-1828	-1854	-1880	-1906	-1931	-1957	-1983	-2009
	1090	-2035	-2060	-2086	-2112	-2137	-2163	-2189	-2214	-2240	-2265
	1100	-2291	-2317	-2342	-2368	-2393	-2419	-2444	-2469	-2495	-2520
			0	1	2	3	4	5	6	7	8

Annexe D : Interactions de la température et de l'humidité sur la densité de l'air

Quelques rappels

Pression atmosphérique

La pression atmosphérique résulte de la force exercée sur un « objet » par la masse d'air située au-dessus dudit objet. Elle est par conséquent dépendante de sa densité.

Dans ce qui suit la pression atmosphérique sera tantôt nommée :

- Pression statique
- Pression station [P_{station}]
- Pression au niveau de la mer [P_{MER}].

L'air est un mélange gazeux composé principalement d'azote, d'oxygène et de vapeur d'eau ainsi que de gaz carbonique et autres gaz rares. La proportion en masse de chaque gaz dans un volume donné du mélange est caractérisée par sa « pression partielle », leur somme étant égale à la pression du mélange, pression qui dépend de sa température. Ces proportions déterminent la masse volumique de l'air et donc sa densité en référence à l'ISA.

Cf. Loi des gaz parfaits et l'équation $P V = n R T$, avec :

P la pression du gaz (Pascal)
 le volume du gaz (m^3)
 n la quantité de matière [mol], *i.e. toutes composantes du gaz réunies*
 R la Constante universelle des gaz parfaits [$8,32 \text{ Joule} \cdot \text{K}^{-1}$]
 T la température absolue du gaz ($^{\circ}\text{Kelvin}$).

La P_{MER} figure dans les messages SYNOP², diffusés par les stations d'observation météorologiques du monde entier (162 stations françaises) et utilisés principalement par les modèles numériques de prévision.

De nombreux autres paramètres y figurent, notamment les températures T et Td et la pression atmosphérique au niveau de la station (Cf. DA7 et DA8).

Exemple : SYNOP³ du 14/04/2025 à 1500Z de la station LFBO :

202504141500 AAXX 14151 **07630** 24661 71307 **10208** **20122** **39843** **40015** 56029 87///
 333 3/011 55306 22021 59090 60007 86/37 87/45 87/60 91010 90710 91113
 555 60005 90730 91113==

Surligné en gris le code ONM de la station ; écrits en bleu T (température de l'air, groupe 1) et Td (Point de rosée, groupe 2), en rouge P_{station} (groupe 3) et P_{MER} (groupe 4).

La P_{MER} figurant dans le SYNOP résulte de l'application de la formule ci-après :

$$P_{\text{MER}} = P_{\text{station}} * e^{[(Z_{\text{station}} / (67.445 * T_{\text{vm}}) * \ln 10]}$$

avec : P_{station} : pression atmosphérique mesurée à la station d'observation ;

Z_{station} : altitude AMSL de la station

T_{vm} : Température virtuelle moyenne, qui est la température à laquelle l'atmosphère réelle (avec ce qu'elle contient de vapeur d'eau) aurait la même densité que l'atmosphère standard qui ne contient pas de vapeur d'eau (air sec).

Nota : T_{vm} est une fonction de T et de r, le rapport de mélange qui dimensionne la quantité de vapeur d'eau dans ce mélange.

² Téléchargeables sur <https://www.ogimet.com/synops.phtml.en>

³ <https://www.meteolafleche.com/temperature#temperaturevirtuelle>

Décodage : <http://francis.fortier.free.fr/ffff/codes.htm>

Une particule d'air humide est relativement plus légère qu'une particule d'air sec

Pour une pression et une température données du mélange gazeux, en l'absence de molécules de vapeur d'eau (air sec), des molécules d'azote et d'oxygène (ce sont les plus nombreuses) les remplacent ce qui augmente la pression partielle de ces deux gaz et donc la masse du mélange du fait que la vapeur d'eau a une masse moléculaire [mol] nettement plus faible que celle de l'azote et de l'oxygène.

Humidité spécifique

C'est la teneur en vapeur d'eau de l'air exprimée en grammes de vapeur par Kilogramme d'air.

La teneur maximale en vapeur d'eau de l'air à 0°C est de 4,9 g/Kg contre 17 g/Kg à 20°C et 30 g/Kg à 30°C.

Il serait un peu compliqué d'évaluer exactement les contributions respectives de la température et de l'humidité spécifique à la variation de la densité de l'air réel en référence à l'ISA.

Pour faire simple, la température contribue beaucoup et l'humidité spécifique un peu moins. En effet, la capacité de l'air froid à contenir de la vapeur d'eau est bien moindre que celle de l'air chaud d'où une prépondérance de la température dans la variation de la densité alors qu'en air chaud, la contribution de la vapeur d'eau à cette diminution devient non négligeable, sa capacité à en contenir étant plus grande.

Air chaud : grande teneur en vapeur d'eau donc moins dense que l'ISA pour cette température (expansion du gaz → occupe un plus grand volume mais avec moins de particules d'air sec par m³ → diminution de la masse volumique → moins de pression atmosphérique).

Air froid : faible teneur en vapeur d'eau donc plus dense que l'ISA pour cette température (contraction du gaz → occupe un plus petit volume mais avec moins de particules d'air humide par m³ → augmentation de la masse volumique → plus de pression atmosphérique).

Le QNH n'est pas exactement la P_{MER}

Les exemples ci-après (messages SYNOP et METAR LFBO) montrent que dans une atmosphère plus chaude que l'ISA, la P_{MER} est inférieure au QNH et vice versa. (Rappel : le QNH est la partie entière de la pression ramenée au niveau de la mer dans l'ISA).

Ce « décalage » entre ces pressions se traduit par un biais entre l'altitude-pression et l'altitude vraie. En effet, dans une telle atmosphère, où la pression varie en fonction de la température :

- la P_{MER} y est plus basse car l'air chaud est plus léger que l'air froid ;
- la couche entre surfaces isobares s'épaissit car l'air en s'échauffant prend plus de volume (Cf. loi des gaz parfaits PV = nRT : si à pression constante P, la température T croît, le volume V augmente) alors que dans l'ISA où l'air est sec (et où par conséquent la densité varie de façon constante) la variation du volume n'est pas tout à fait la même.

Par exemple, la variation d'épaisseur pour 1hPa dans l'atmosphère standard est fonction de l'altitude donc de la densité :

Pour l'altitude	Pression ISA	Variation de l'épaisseur
360 ft	1000 hPa	8,40 m/1hPa (27 ft)
2000 ft	950 hPa	8,50 m/1hPa (28 ft)
3000 ft	900 hPa	9,15 m/1hPa (30 ft)
5000 ft	850 hPa	9,45 m/1hPa (31 ft)
10000 ft	700 hPa	11,30 m/1hPa (37 ft)

Nota : ces épaisseurs peuvent être utilisées pour calculer une valeur approchée du QNH avec le QFE en lui ajoutant l'altitude de la station divisée par cette épaisseur.

Exemple : LFBO Altitude station : 152 m

Valeur approchée du QNH le 14/04/2025 à 1500Z QFE : 984,3 hPa

152/8.40 = 18,09 hPa QNH = 984,3 + 18,09 = **1002,39** hPa

soit **au dixième près** le QNH **1002.2619** hPa calculé par la station automatique (Cf. § 2.1).

SYNOP LFBO le 14/04/2025 à 1500Z

202504141500 AAXX 14151 07630 24661 71307 **10208 20122 39843 40015** 56029 87///....

Z_{station} : 152 m (499 ft) P_{station} : 984,3 (groupe 3) P_{MER} = 1001,5 hPa (groupe 4)

T_{réelle} : 20.8°C (groupe 1) T_d : 12.2°C (groupe 2) [air + chaud qu'ISA, 50 % d'humidité]

P_{MER} = 1001.5 hPa < QNH (décalage de pression : 1002,39 - 1001.5 = 0,89 hPa)

METAR: LFBO 141500Z AUTO 13014KT 090V150 9999 BKN037 BKN045 BKN100 **21/12 Q1002** BECMG SCT025 FEW050CB OVC100=

En AIR CHAUD la P_{MER} réelle est inférieure au QNH

Pour cet exemple, + 6.8°C d'écart à l'ISA induit un décalage de pression de 0.9 hPa et donc un biais d'altitude « défavorable » de 25 ft.

SYNOP LFBO le 01/01/2025 à 0600Z

202501010600 AAXX 01061 07630 04007 90201 **11006 21007 30119 40310** 55007 60002 749//...

Z_{station} : 152 m (499 ft) P_{station} : 1011,9 hPa P_{MER} = 1031,0 hPa

T_{réelle} : - 0,6°C T_d : - 0,7°C [air + froid qu'ISA, 99 % d'humidité]

Valeur approchée du QNH : le 01/01/2025 à 0500Z QFE : 1011,9 hPa

152/8.40 = 18,09 hPa QNH = 1011,9 + 18,09 = **1029,99** hPa

P_{MER} = 1031,0 hPa > QNH (décalage de pression : 1031.0 - 1029,99 = 1,09 hPa)

METAR : LFBO 010600Z AUTO VRB02KT 4700 0650 R14R/0750D R32L/P2000 R14L/1400D R32R/P2000 BCFG VV/// **M01/M01 Q1030** TEMPO 0300=

En AIR FROID la P_{MER} réelle est supérieure au QNH

Pour cet exemple, un écart de -15°C à l'ISA induit un décalage de pression de 1 hPa et donc un biais d'altitude « favorable » de 28ft.

En résumé :

Le décalage entre la P_{MER} et le QNH fait que la surface de référence de l'altitude-pression "n'épouse pas fidèlement" la surface du Géoïde en tant que référence de l'altitude AMSL.

Ce décalage engendre un biais d'altitude [le plus souvent imperceptible si l'atmosphère réelle est proche de l'ISA] favorable ou défavorable et imputable d'une part au mode de calcul du QNH et d'autre part à la température de l'air et à son humidité spécifique.

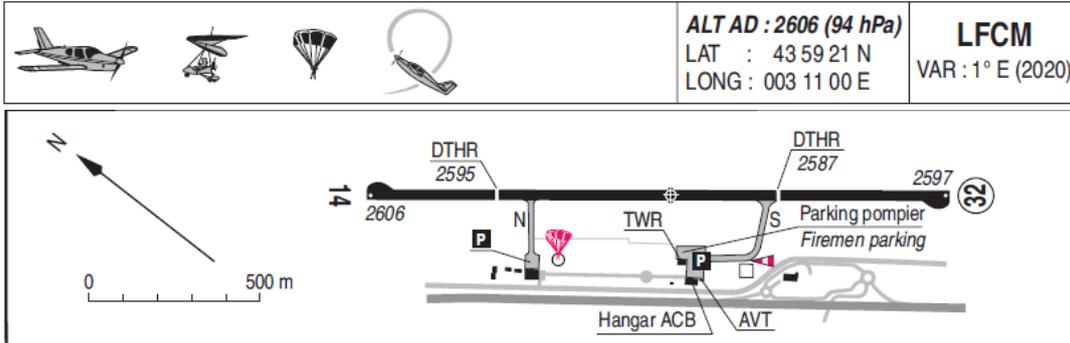
Aux moyennes latitudes (par exemple le domaine EUROCC) ce biais dépasse rarement la quarantaine de pieds.

Annexe E : Exemples d'aérodromes avec des points dont la cote est différente d'ALT AD

ATTERRISSAGE A VUE
Visual landing

Ouvert à la CAP
Public air traffic
28 NOV 24

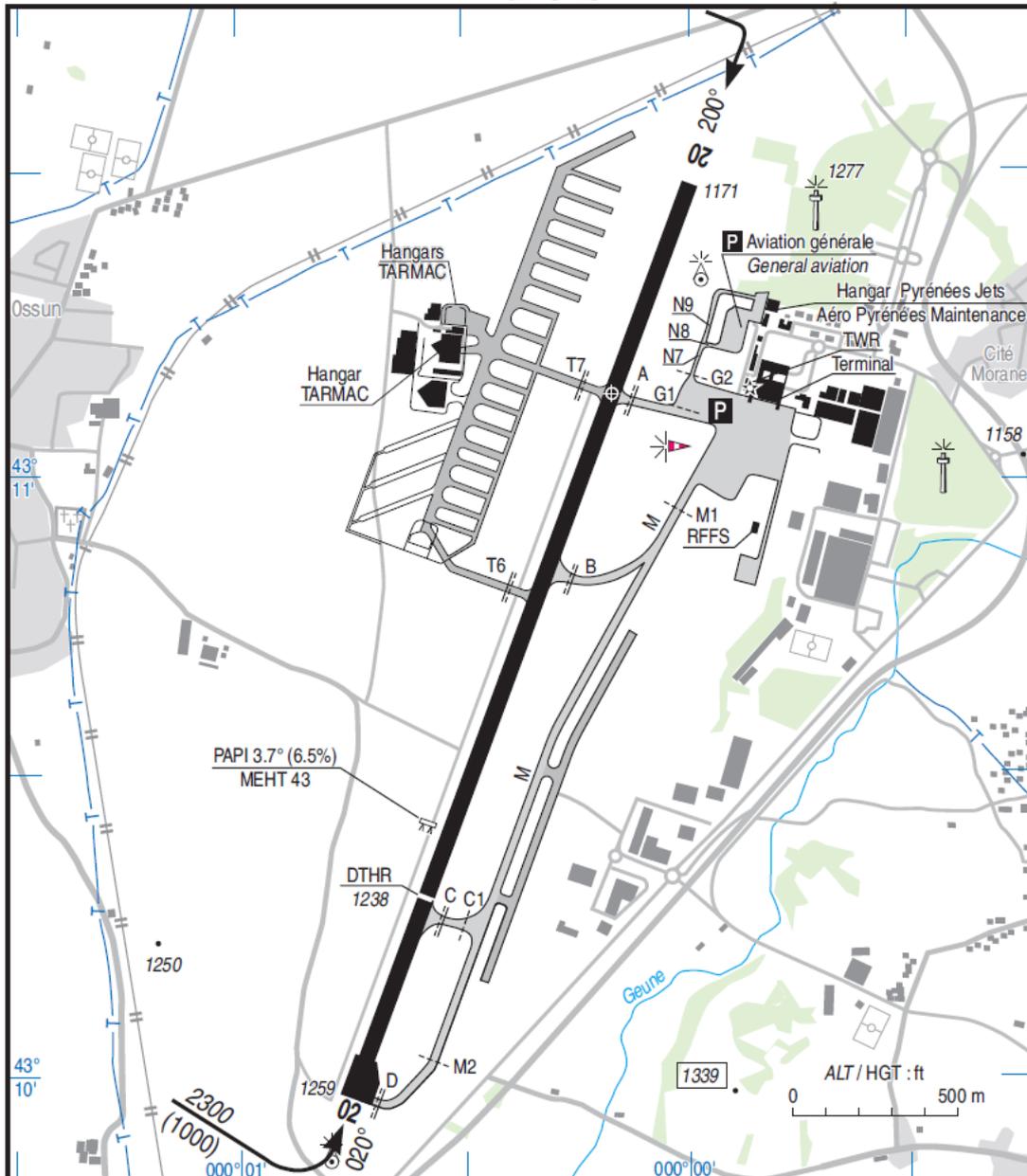
MILLAU LARZAC
AD 2 LFCM ATT 01



TARBES LOURDES PYRENEES
AD 2 LFBT ATT 01

02 NOV 23

ATTERRISSAGE A VUE
Visual landing

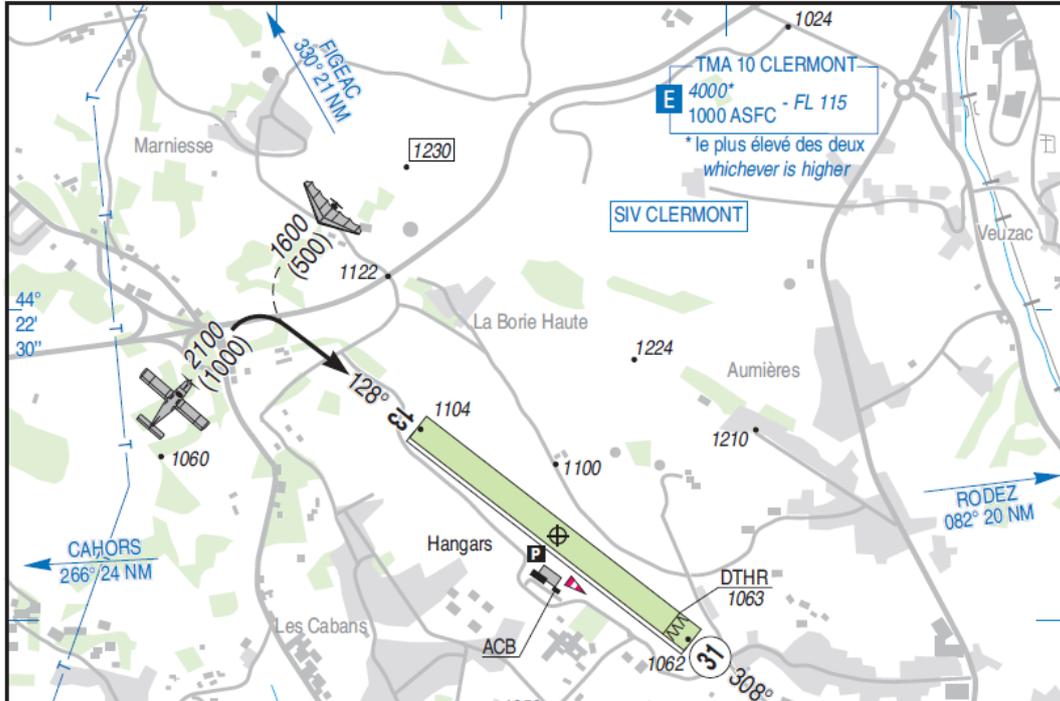


ATTERRISSAGE A VUE
Visual landing

Ouvert à la CAP
Public air traffic
28 NOV 24

VILLEFRANCHE DE ROUERQUE
AD 2 LFCV ATT 01

	ALT AD : 1104 (40 hPa) LAT : 44 22 08 N LONG : 002 01 37 E	LFCV VAR : 1° E (2020)
---	---	----------------------------------



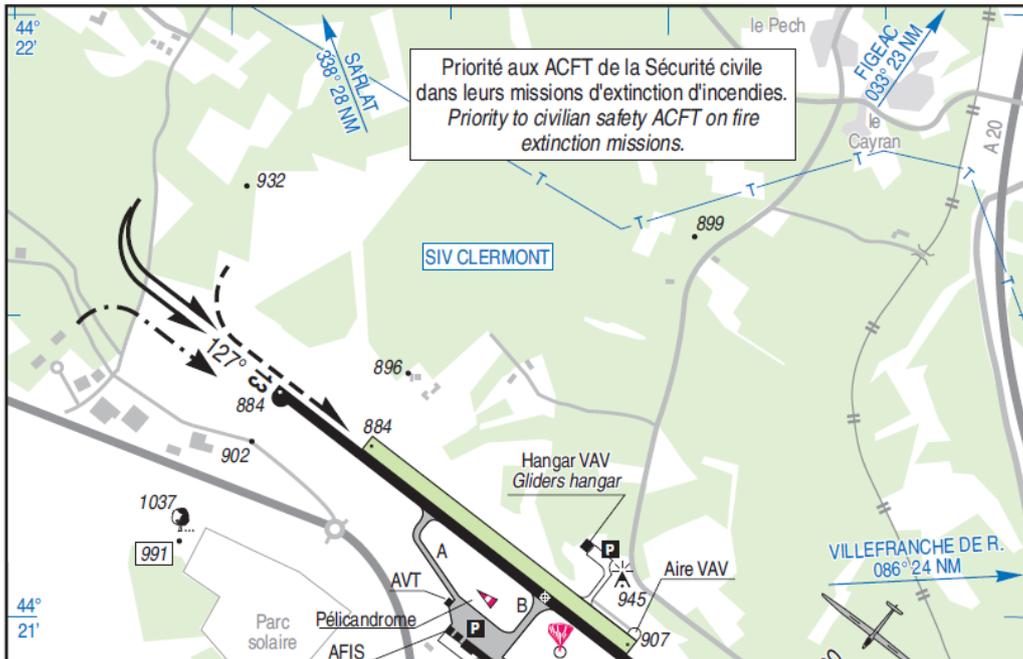
ATTERRISSAGE A VUE
Visual landing

Ouvert à la CAP
Public air traffic
03 OCT 24

CAHORS LALBENQUE
AD 2 LFCC ATT 01

	ALT AD : 912 (33 hPa) LAT : 44 21 02 N LONG : 001 28 43 E	LFCC VAR : 1° E (2020)
---	--	----------------------------------

APP : CLERMONT Approche / Approach 133.725
TWR : NIL
AFIS : 119.230

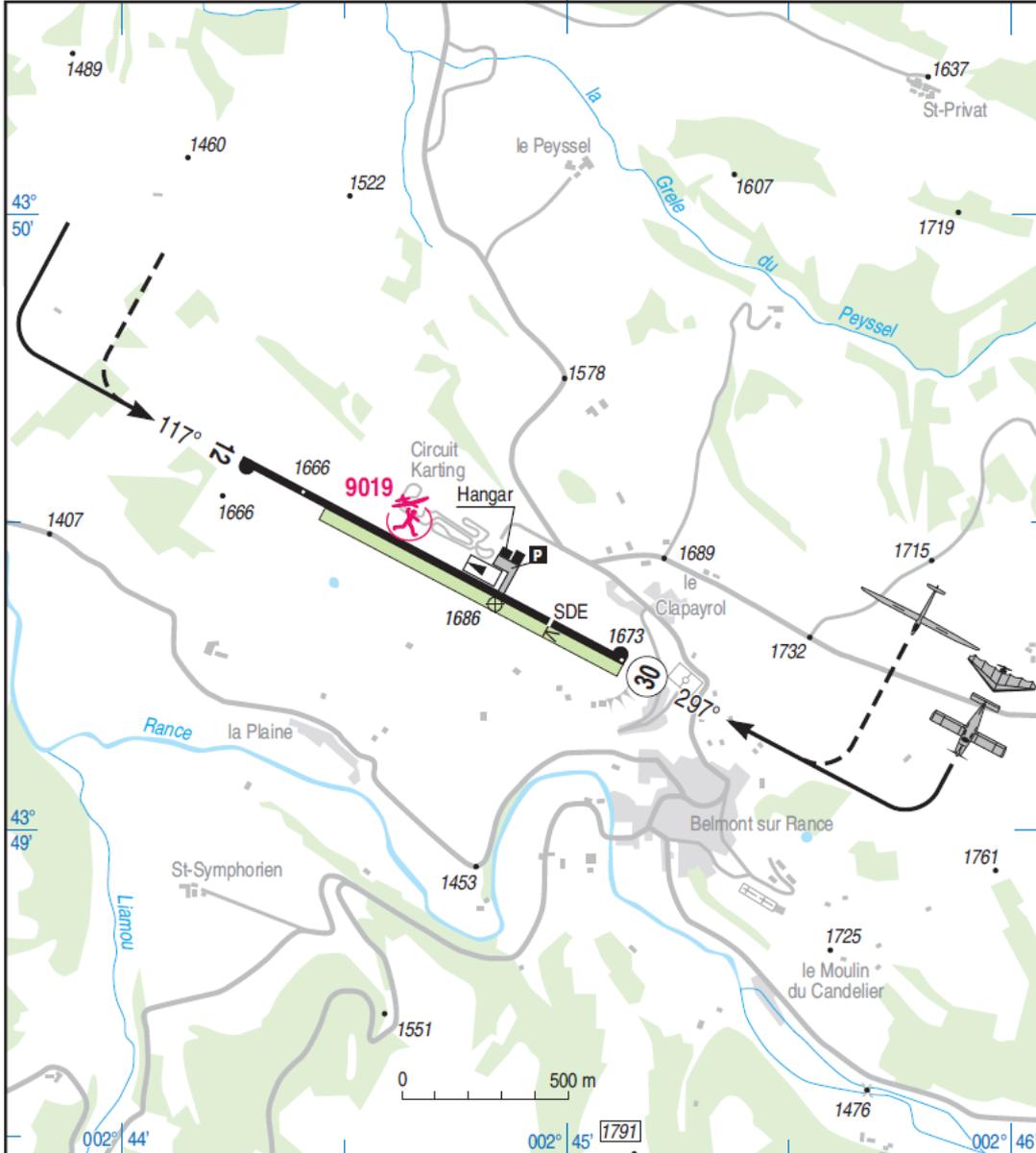


APPROCHE A VUE
Visual approach

Usage restreint
Restricted use
28 NOV 24

SAINT AFFRIQUE BELMONT
AD 2 LFIF APP 01

				ALT AD : 1686 (61 hPa) LAT : 43 49 22 N LONG : 002 44 50 E	LFIF VAR : 1°E (2020)
---	---	---	---	---	---------------------------------



RWY	QFU	Dimensions Dimension	Nature Surface	Résistance Strength	TODA	ASDA	LDA
12 30	117 297	1300 x 20	Revêtue Paved	5.7 t	1300 1300	1300 1300	1300 1050
12R 30L	117 297	1000 x 80	Non revêtue Unpaved	-	1000 1000	1000 1000	1000 750

Annexe F : Hauteurs minimales de survol et portions de l'espace aérien non contrôlé où la navigation est restreinte ou hasardeuse

Le domaine d'application des hauteurs minimales de survol est défini dans les **Règles de l'air SERA.3105 et FRA.3105**. (Cf. DA7)

La règle **SERA.5005, point f)** spécifie ces hauteurs pour les vols VFR.

Elles sont résumées ci-dessous (Source DA5) :

	Symboles sur les cartes	Remarques	Hauteurs AGL minimales de survol (ft)	
			Hélicoptères et Aéronefs monomoteurs à piston	Autres aéronefs motopropulsés
Petites agglomérations constituant des repères de navigation		(1) (2)	1 000	
Parcs ou réserves naturelles			1 000 (sauf indication contraire sur la carte)	
Usines isolées		(2)	1 000	3 300
Toutes autres installations à caractère industriel		(3)		
Hôpitaux portant une marque distincte				
Centres de repos portant une marque distincte				
Tout autre établissement ou exploitation portant une marque distincte				
Vols suivant une direction parallèle à une autoroute et à proximité de celle-ci		(3)		
Agglomérations de largeur moyenne inférieure à 1200 m		(1)	1 700	
Tout rassemblement de personnes ou d'animaux : plages, stades, réunions publiques, hippodromes, parcs à bestiaux, etc. (inférieur à 10 000)		(3)		
Agglomérations de largeur moyenne comprise entre 1200 m et 3600 m		(1)	3 300	
Rassemblement de personnes ou d'animaux compris entre 10 000 et 100 000		(3)		
Agglomérations de largeur moyenne supérieure à 3600 m		(1)	5 000	
Rassemblement de personnes ou d'animaux supérieur à 100 000		(3)		

(1) : représentation uniquement sur la carte 1/500 000

(2) : représentation non exhaustive

(3) : pas de représentation sur les cartes

Les portions de l'espace aérien non contrôlé où la navigation est restreinte ou hasardeuse sont définies dans l'**eAIP France ENR 5 AVERTISSEMENTS A LA NAVIGATION** :

- Zones P, R, D [ENR 5.1] ;
- Autres activités de nature dangereuse et dangers potentiels [ENR 5.3.1.2 Ballons captifs, ENR 5.3.1.3 Secteurs militaires] ;
- Obstacles à la navigation aérienne [ENR 5.4] ;
- Activités aériennes sportives et récréatives [ENR 5.5]
- Zones de Sensibilité majeure ZSM [ENR 5.6] ;
- Restrictions de survol [ENR 5.7], qui incluent les parcs nationaux et réserves naturelles.

A ces éléments de l'eAIP peuvent venir s'ajouter ceux figurant dans les suppléments (Sup AIP) ou les NOTAMS (ZRT, ZIT et autres restrictions).

Nota : Les vols VFR n'étant pas autorisés au-delà du FL195, les Zones de manœuvres et d'entraînement militaires définies au chapitre [ENR 5.2] ne les concernent pas.