

# Altitude et GPS

## 1. Introduction

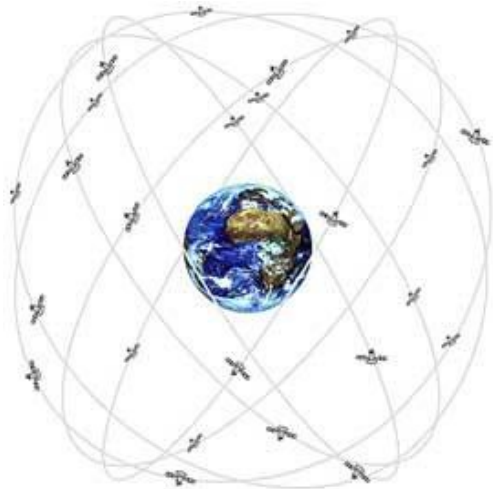
Sopot Bulgarie 2008. La troisième manche de la Coupe du monde de parapente est un désastre lorsque les commissaires découvrent que de nombreux pilotes ont enfreint l'espace aérien et marquent 0. Certains des pilotes pénalisés affirment catégoriquement qu'ils sont innocents et, dans certains cas, il s'est avéré par la suite qu'ils avaient raison. L'un des problèmes était une mauvaise interprétation des informations affichées sur les instruments de vol et une mauvaise compréhension de ce qui était enregistré dans leur fichier trace.

Cet article vise à mettre en évidence les écarts qui existent entre l'altitude barométrique et la hauteur géométrique (hauteur au-dessus du niveau moyen de la mer) et à expliquer les particularités de différents instruments de vol. Une fois ces points compris, les restrictions d'altitude pourront être définies clairement, sans ambiguïté et les pilotes pourront lire et interpréter correctement leurs instruments. L'article se termine par quelques suggestions aux organisateurs de compétition afin d'améliorer l'énoncé des limites verticales des épreuves qu'ils organisent.

Pour une introduction sur les GPS et leur utilisation en compétition, j'ai précédemment écrit un article sur le site <http://flylaragne.com/opens/gps.htm>

## 2. GPS et hauteur géométrique

En 1973, les États-Unis décident de développer ce que nous connaissons aujourd'hui sous le nom de système GPS. Cela nécessitait 24 satellites pour une fonctionnalité complète, le système fut officiellement pleinement opérationnel en 1995. Ci-dessous, le schéma à l'échelle illustre les orbites des satellites.



Chacun d'eux est positionné à 20 200 km au-dessus de la surface terrestre et tourne autour de la terre en 11 heures et 58 minutes (dans un autre domaine, les satellites géostationnaires pour la télévision orbitent à une distance double). Ils se déplacent chacun à 3900 m/s, si vite, que les théories de la relativité d'Einstein impactent l'heure des horloges de bord, par rapport aux horloges terrestres (sans importance pour ce qui nous intéresse).

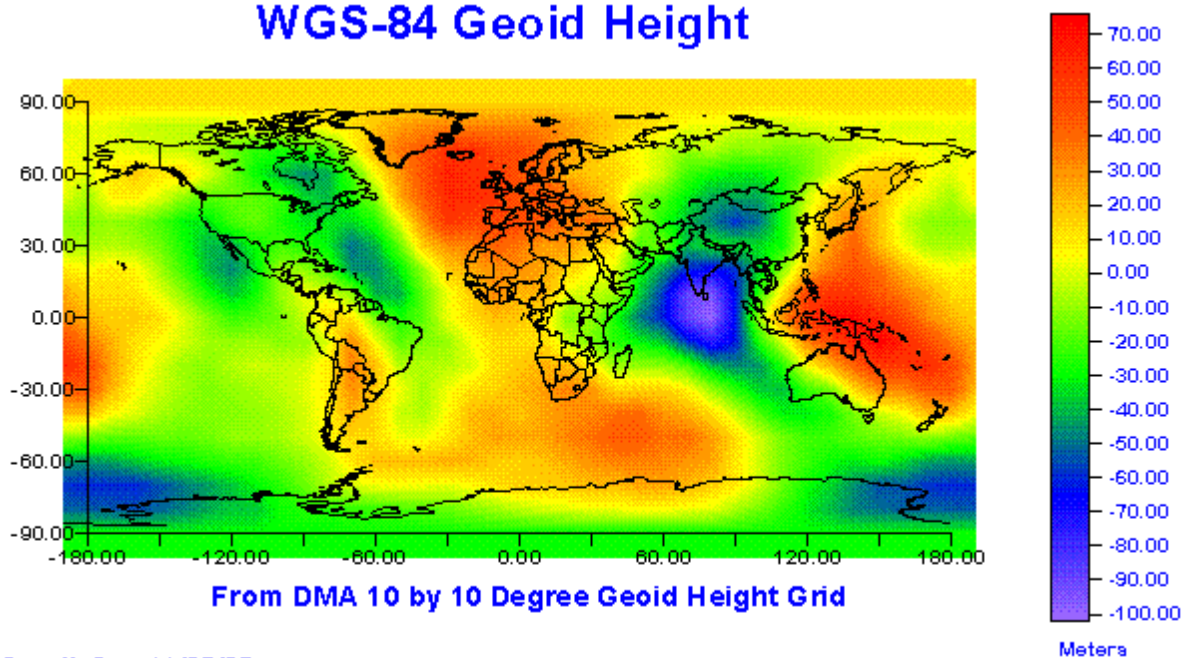
Un récepteur GPS doit recevoir le signal d'au moins 3 satellites pour déterminer sa position en 2 dimensions, ou d'au moins 4 satellites pour déterminer sa position en 3 dimensions. En vol, il est tout à fait normal de "capter" davantage de satellites, cela se traduit par une localisation plus précise. Chacun des satellites possède une horloge atomique embarquée et transmet sa position et son heure vers la Terre ; cette transmission du satellite vers la Terre prend environ 70 millisecondes. Le récepteur GPS saisit le temps de chaque satellite et triangule sa position dans l'espace en calculant la différence du temps de transmission entre les satellites.

Ainsi, un GPS connaît en permanence la position des satellites ; il en déduit où il se trouve lui-même (par triangulation) et vous localise par rapport à son modèle de la surface de la Terre (qui est sélectionnable).

Un GPS a plusieurs modèles (Datums) de la Terre dans sa mémoire. Le modèle mondial le plus communément reconnu est le système géodésique mondial (World Global System) établi en 1984 (WGS84). Il existe d'autres Datums qui peuvent être plus précis pour certains pays, mais dans le monde du parapente, nous avons tendance à utiliser le WGS84.

WGS84 définit la terre comme un ellipsoïde ; une balle ovalisée. Cet ellipsoïde est une assez bonne approximation du niveau moyen de la mer autour de la planète, mais il est reconnu erroné entre -100 m et +70 m par rapport au géoïde, selon l'endroit du globe.

## WGS-84 Geoid Height



Peter H. Dana 11/05/95

Le géoïde est la meilleure définition du niveau moyen de la mer (MSL Mean Sea Level). Le géoïde est défini comme « la surface équipotentielle particulière qui coïncide avec le niveau moyen de la mer et dont on peut imaginer qu'elle s'étend à travers les continents. Cette surface est partout perpendiculaire à la force de gravité. » ([www.nps.gov](http://www.nps.gov))  
Imaginez le géoïde semblable à l'ellipsoïde mais avec des bosses. La figure ci-dessus est une représentation graphique des écarts. En Europe, l'ellipsoïde est à environ 50 m au-dessus du géoïde. Dans le sud de l'Inde, il se trouve près de 100 m en dessous. De manière significative, même si nous sélectionnons le Datum WGS84 (ellipsoïde), certains GPS ajoutent la correction du géoïde pour donner la hauteur géométrique et d'autres

non. Un calculateur de la hauteur de l'ellipsoïde au géoïde pour n'importe quel point du globe est ici : <http://sps.unavco.org/geoid>

## 2.1 Erreurs GPS

Des erreurs supplémentaires apparaissent dans le calcul de la position GPS. Les erreurs indiquées dans le tableau ci-dessous, existent dans les axes X/Y (latitude et longitude) ; l'axe Z vertical multiplie par environ 3 fois ces erreurs, en raison du positionnement des satellites au-dessus du globe. La précision totale est horizontalement meilleure que  $\pm 15$  m et donc environ  $\pm 45$  m sur l'axe vertical. Si la réception satellite est mauvaise, ces erreurs augmentent, mais en vol, la réception est généralement bonne.

<b>Erreurs horizontales GPS</b>	
Effets ionosphériques	$\pm 5\text{m}$
Décalages d'orbites des satellites	$\pm 2.5\text{m}$
Erreurs d'horloges des satellites	$\pm 2\text{m}$
Effet Multitrace	$\pm 1\text{m}$
Effets troposphériques	$\pm 0.5\text{m}$
Erreurs de calcul d'arrondi	$\pm 1\text{m}$
Total	$\pm 15\text{m}$

Différents Datums et l'utilisation du géoïde ou de l'ellipsoïde conduisent à des localisations variables : il est donc essentiel que tous les compétiteurs d'une épreuve par exemple, utilisent le même Datum. En 2008, il y eut le cas d'un pilote pour lequel le logiciel de scoring utilisait les distances autour de l'ellipsoïde tandis que son instrument GPS utilisait la sphère FAI (une sphère de 6 371 km de rayon) ; le logiciel de scoring a considéré que le pilote était 3 m à l'extérieur du cylindre de 3 km, alors que son instrument le déclarait 4,5 m à l'intérieur

(<http://www.flytec.ch/download/Faq/Distancecalculs.pdf>). Il existe une recommandation de la Coupe du monde de parapente (PWC) et du programme de scoring CIVL FS, selon laquelle une tolérance de 0,5 % doit être appliquée dans les calculs de distance du logiciel de scoring pour éliminer ce problème.

Lorsque le GPS affiche les informations de hauteur, elles sont normalement moyennées sur quelques secondes. Cela conduit à une lecture précise à l'arrêt, mais introduit un retard dans la lecture en montée ou en descente.

Des Satellite-Based Augmentation System (Systèmes d'optimisation de la précision de la géolocalisation par satellite) sont en cours de développement et sont partiellement opérationnels pour être utilisés dans le secteur de l'aviation commerciale. WAAS, EGNOS et MSAS sont des systèmes GPS différentiels basés sur des satellites qui améliorent la précision du GPS. Les trois systèmes sont basés respectivement aux États-Unis, en Europe et en Asie et sont tous compatibles les uns avec les autres. Lorsque WAAS était activé sur mon Garmin 76S, il fonctionnait en Australie mais pas encore en Espagne.

Pour plus d'informations sur le système GPS : <http://www.kowoma.de/en/gps/index.htm>

## 3 Altitude barométrique

Depuis toujours, l'aéronautique utilise la pression barométrique pour mesurer l'altitude. Les altimètres mesurent la pression et sont calés pour indiquer cette pression sous forme d'altitude en pieds (ft) ou en mètres (m). Le calage de ces instruments suppose que la

pression diminue à un taux standard à mesure que l'on s'élève. Ici, on s'intéresse donc à l'altitude au-dessus du sol (AGL Above Ground Level) ou au-dessus du niveau moyen de la mer (AMSL Above Mean Sea Level) ou par rapport à la référence standard de 1013.25hPa (Pression Altitude, PA). Aucun signe ne suggère que l'aéronautique passera prochainement à l'altitude GPS.

Chaque jour, la pression au niveau moyen de la mer (MSL) varie en raison des phénomènes météorologiques et la pression diminue à mesure que l'on s'élève. La pression est mesurée en hectoPascals (hPa) ou en millibars (mb), qui sont essentiellement les mêmes unités. À partir du niveau de la mer, la pression diminue avec l'altitude : 27 pieds/hPa, atteignant 30 pieds/hPa à 4 000 pieds (1 220 m) et 40 pieds/hPa à 15 000 pieds (4 570 m) ; il est légitime de retenir 30 pieds/hPa là où nous volons.

L'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI) a défini une formule standard pour caractériser la hauteur, la pression et la température. Flytec a dérivé les équations de hauteur et de pression suivantes à partir de la formule de l'OACI. Documenté sur [http://www.flytec.ch/download/Faq/Hoehenkorrektur Englisch.pdf](http://www.flytec.ch/download/Faq/Hoehenkorrektur_Englisch.pdf)

3.1 Equation de hauteur	3.2 Equation de pression
$h = \frac{273.15 + T_0}{0.0065} \cdot \left( 1 - \left( \frac{P}{P_0} \right)^{\frac{1}{5.255}} \right)$	$P = P_0 \cdot \left( 1 - \frac{0.0065h}{273.15 + T_0} \right)^{5.255}$
<p>h = height (m) P = Actual pressure at height h (hPa)</p>	<p>P<sub>0</sub> = Reference Pressure (hPa) T<sub>0</sub> = Standard Temperature (15°C)</p>
<p>The ICAO gives the standard pressure to be 1013.25hPa and the standard temperature is 15°C at sea level.</p>	

Pour une pression donnée (P) on peut calculer la hauteur (h) au-dessus de la pression de référence (P<sub>0</sub>), ou vice versa avec une hauteur donnée (P<sub>0</sub> peut être la pression standard ou n'importe quel QNH). Les altimètres sont conçus et calibrés pour répondre à cette formule. Notons que l'altitude indiquée par un altimètre est compensée en température. Pour n'importe quelle pression donnée, l'altitude indiquée sera la même quelle que soit la température. Cela peut conduire à une différence significative entre la hauteur GPS et les altitudes barométriques affichées.

### 3.3 Espace aérien

Hors espace aérien contrôlé, pour assurer notre sécurité, celle des autres usagers et pour respecter la réglementation, nous volons selon les règles de vol à vue (VFR Visual Flight Rules). Normalement, pour une zone donnée, il existe une couche de transition, au-dessus de laquelle l'espace aérien sera défini par un niveau de vol, tandis qu'au-dessous de la couche de transition, l'espace aérien est défini par l'altitude AMSL.

Par exemple (selon un pilote de la compagnie Cathay Pacific) :

En Australie, la couche de transition commence à 10 000 ft AMSL et se termine à FL110.

En Nouvelle-Zélande et dans la majeure partie de l'Asie, la couche de transition commence à 11 000 ft AMSL et se termine à FL130.

Aux États-Unis et au Canada, la couche de transition commence à 18 000 ft AMSL et se termine à FL180.

En Europe, au Moyen-Orient, en Russie et en Chine, la couche de transition varie et peut commencer dès 3000 ft AGL.

Ainsi, lorsque vous volez sous la couche de transition, les altimètres doivent être calés sur le QNH local (Query Nautical Height) ; la pression MSL pour cette zone. L'altimètre indique l'altitude AMSL. L'espace aérien réglementé sous la couche de transition est exprimée en altitude AMSL.

Lorsque vous volez au-dessus de la couche de transition, les altimètres doivent être calés à la pression standard de 1013,25 hPa (ou QNE ; Query Nautical Elevation). L'altimètre indique l'altitude pression (PA Pressure Altitude). Pour éviter les confusions entre l'altitude-pression et l'altitude, PA a généralement les deux derniers zéros supprimés et est alors connu sous le nom de niveau de vol : PA 10 000 est plus communément appelé FL100. L'espace aérien réglementé au-dessus de la couche de transition sera exprimé en niveau de vol (FL).

Il est essentiel de connaître toutes les restrictions de l'espace aérien de la zone où vous volez car il est possible d'avoir une combinaison de restrictions de niveau de vol et d'altitude lors d'un même vol.

## 4 Différences entre la hauteur barométrique et la hauteur GPS

En supposant que le GPS affiche la hauteur géométrique au-dessus du géoïde et que la réception du signal soit bonne, le GPS affiche alors une hauteur AMSL  $\pm 45$ m. Pour une hauteur géométrique donnée, l'altitude indiquée de l'altimètre (celui qui définit l'espace aérien) varie en fonction des conditions du jour.

Le problème avec l'altitude indiquée par l'altimètre est qu'il est calibré en supposant un jour standard : l'augmentation d'altitude se traduit par une chute de pression standard. Cette hypothèse n'est pas très précise pour deux raisons principales.

1. Si la température au niveau de la mer est autre que 15°C, la décroissance n'est pas standard.
2. L'atmosphère comporte généralement des alternances de couches chaudes et froides, ainsi, le gradient de pression en fonction de l'altitude n'est pas linéaire.

Il est possible de prendre l'équation de hauteur ci-dessus et de remplacer  $T_0$  par la température du jour au niveau de la mer (le gradient de température utilisé pour calculer la température au niveau de la mer dans la formule est de -6,5 degrés par 1000 m).

Le diagramme ci-dessous illustre comment les niveaux de vol varient selon les conditions du jour. Le FL100 utilisé comme exemple est toujours à 697hPa.

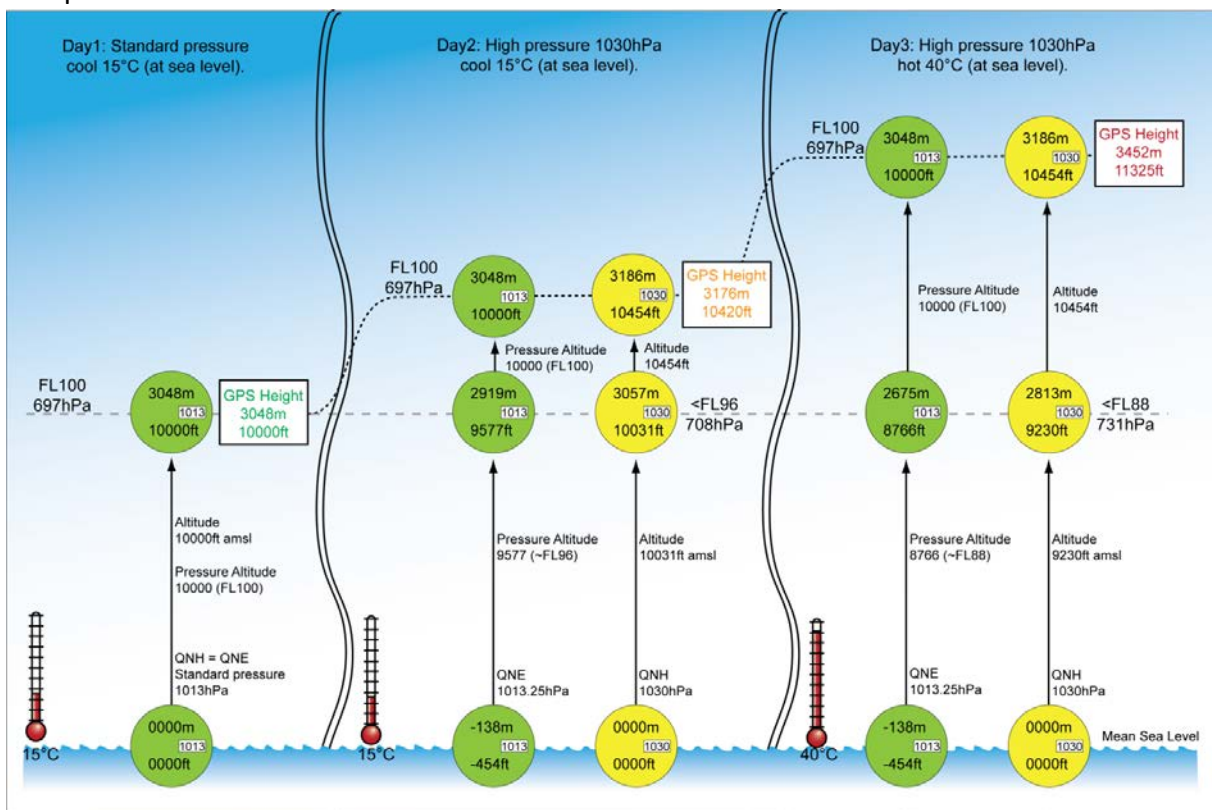
Jour 1 a un QNH=pression standard et la température est standard également à 15°C. Dans ce cas FL100 est à une altitude de 10 000 ft AMSL car  $QNH = QNE = 1013.25$  hPa. De plus, le GPS mesure une hauteur de 10 000 ft au-dessus du géoïde et tout le monde est content.

Jour 2, des conditions anticycloniques donnent un QNH de 1030 hPa mais il fait toujours 15°C au niveau de la mer. L'altimètre vert, calé au QNE, indique toujours FL100 à 10 000 ft.

En utilisant l'équation de hauteur, nous pouvons déterminer qu'à une pression de 1030 hPa,

l'altimètre jaune indique 454 ft plus haut que l'altimètre vert à n'importe quelle altitude. Par conséquent, l'altitude indiquée pour le FL100 est de 10 454 ft AMSL. La hauteur géométrique, telle qu'affichée par un GPS, est de 10 420 ft au FL100, qui peut également être calculée à l'aide de l'équation de hauteur. Cette hauteur géométrique est assez proche des 10 454 ft indiqués par l'altimètre calé au QNH. À des fins d'illustration, la hauteur géométrique de 10 000 ft, indiquée par l'altimètre jaune, équivaut à une altitude AMSL de 10 031 ft à une pression de 708 hPa.

Jour 3, des conditions anticycloniques donnent un QNH de 1030 hPa mais il fait maintenant 40°C au niveau de la mer. Les altimètres vert et jaune indiquent la même chose que le jour 2 car ils sont compensés en température. En utilisant l'équation de hauteur avec  $T_0 = 40^\circ\text{C}$ , 697 hPa (FL100) équivaut à une hauteur géométrique (GPS) de 11 325 ft. Elle a augmenté. Cette hauteur géométrique n'est PAS proche des 10 454 ft indiqués par l'altimètre calé au QNH, elle est supérieure de 871 ft (soit 8% de la mesure). À des fins d'illustration, la hauteur géométrique de 10 000 ft équivaut à 9 230 ft AMSL, comme indiqué par l'altimètre jaune à une pression de 731 hPa.



De cela, nous observons qu'un changement de pression QNH seul ne provoque pas une grande différence entre la hauteur GPS et l'altitude indiquée par l'altimètre.

Mais, un changement de la température MSL crée une différence importante entre la hauteur GPS et l'altitude indiquée par l'altimètre. L'erreur introduite par le changement de température est de 0,347 % par 1 °C au-dessus de 15 °C et de -0,347 % par 1 °C en dessous de 15 °C. La raison en est que la formule de l'OACI suppose que la densité de l'air à une altitude particulière est standard, alors qu'en réalité cette densité change avec la température.

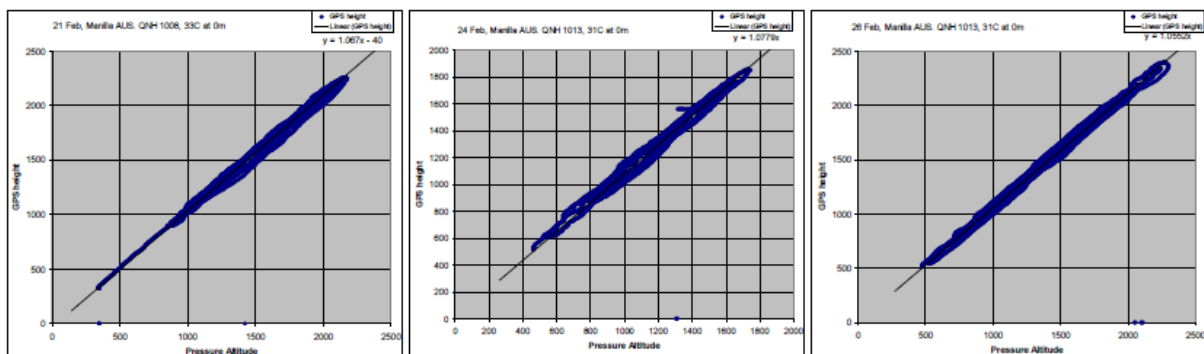
Mais cette théorie fonctionne-t-elle vraiment ? Ci-dessous, trois vols effectués en Australie

en 2009 avec un Flytec 6030 (et un parapente). Le premier était de 4 heures, le deuxième de 3 heures et le troisième de 6 heures. La température diurne était à peu près la même, de 31°C pour chacun. La hauteur GPS (axe y) est tracée par rapport à l'altitude de pression (axe x) pour chacun, et la ligne de tendance (ligne de meilleur ajustement) automatiquement insérée par le logiciel graphique Excel. La ligne de tendance est une droite avec une formule générale de forme  $y=mx+c$ , avec c le décalage constant en mètres de l'écart QNH – QNE du jour, avec m la pente de la hauteur GPS par rapport à la ligne d'altitude-pression. Si m vaut 1 alors, la hauteur GPS augmente autant que l'altitude-pression ; idéalement ce serait ainsi mais nous nous attendons à ce que m augmente comme la température, indiquant le pourcentage d'erreur.

Vol 1, c doit être forcé à une valeur de -40m pour tenir compte de la pression de 1008hPa alors que pour les vols 2 et 3 c est à zéro parce que la pression diurne est de 1013 hPa.

Mais intéressons-nous plutôt à la valeur m. Pour le vol 1, m vaut 1,067, ce qui signifie que l'altitude GPS est supérieure de 6,7 % à celle l'altitude-pression. Pour le vol 2, l'altitude GPS est supérieure de 7,8% à l'altitude pression et pour le vol 3, 5,5%. Selon la théorie ci-dessus, l'altitude GPS devrait être supérieure de 5,2 % à la PA pour une augmentation de 15 °C au-dessus de la température standard, donc dans ces exemples en fait, la réalité est pire que la prédiction. Une explication à cela est l'influence de la superposition de différentes couches d'atmosphère (raison 2 ci-dessus). Il est presque certain que l'atmosphère n'était pas standard.

Notez que les graphiques ont une distribution autour de la ligne de tendance. Cela pourrait être dû aux variations de température et de QNH tout au long du vol. De plus, en raison du retard dans le calcul de la hauteur GPS, les fortes montées tracent des points légèrement à droite et les fortes chutes s'inscrivent légèrement à gauche de la valeur correcte, donnant à la ligne une épaisseur marquée.



Ces vols montrent de manière probante qu'il existe une différence en pourcentage, entre la hauteur GPS et la pression barométrique, que cette différence peut varier selon le jour et se révéler pire que la prédiction théorique. Il serait bon de répéter cela en utilisant le même instrument un jour où il fait 15°C pour voir que la différence est plus proche de zéro.

Tous les calculs, informations et graphiques pour ce qui précède sont disponibles ici :

[http://flylaragne.com/opens/gps\\_spreadsheet.zip](http://flylaragne.com/opens/gps_spreadsheet.zip)

## 5 Affichages et enregistrement de l'instrument

Voici les affichages et enregistrements de quelques-uns des instruments que nous utilisons, et ce n'est pas toujours la même chose.

Instruments GPS seulement : certains Garmin sans capteurs de pression et MLR n'ont aucune capacité barométrique. Ces instruments enregistrent et affichent uniquement la hauteur GPS. Les Garmin font toujours référence à la hauteur au-dessus du géoïde (pas de l'ellipsoïde).

Les GPS Garmin avec capteur de pression sont parmi les instruments les plus couramment utilisés. Les 76S et 76CS(x) et le 60CS (x) sont des premiers instruments très répandus et qui conviennent au vol de distance, en particulier lorsqu'ils sont chargés avec les cartes locales. Ces instruments affichent « l'élévation GPS » qui se trouve uniquement sur la page des satellites, et « l'élévation » (barométrique) qui s'affiche sur la page d'élévation, celle-ci est aussi un champ sélectionnable sur n'importe quelle autre page. C'est cette « élévation » qui est enregistrée dans la trace. Il existe deux méthodes de calage de l'altimètre barométrique : auto et manuel.

- En mode calage automatique, l'altimètre est continuellement, mais lentement, mis à jour avec la hauteur GPS. Lorsqu'un Garmin 76S est réglé 200 m trop haut, il lui faut 90 minutes pour se calibrer automatiquement. En effet, l'"élévation" affichée est une combinaison de la hauteur GPS et de l'altitude barométrique. C'est la hauteur GPS avec les changements les plus sensibles de pression barométrique superposées. Cette combinaison du GPS et de la hauteur de l'altimètre rend l'information enregistrée ambiguë. Il est probablement préférable de désactiver le calage automatique et de caler l'altimètre manuellement.

- En mode calage manuel, le pilote doit régler la hauteur ou la pression (QNH ou QNE) du jour. Après cela, l'"élévation" affichée et enregistrée dans le fichier trace est purement basée sur l'altimètre. L'altimètre peut être calibré à tout moment. Il est étonnant que l'état de l'altimètre et son calage ne soient pas enregistrés dans le fichier trace.

Flytec (6030, 6020, 5030 et 5020) et Bräuniger (séries Compeo et Competino) sont des ordinateurs de vol complets combinant GPS et altimètres. Ils insèrent dans le fichier trace, à la fois la hauteur GPS référencée au géoïde et l'altitude barométrique référencée à la pression standard 1013,25 hPa. L'instrument dispose de 2 altimètres barométriques (alti1 et alti2) qui peuvent être calés indépendamment et les champs utilisateur peuvent être réglés pour afficher la hauteur GPS ou l'altitude barométrique. L'altitude barométrique affichée peut l'être par rapport au QNH ou QNE défini par l'utilisateur. Gardez à l'esprit que si l'instrument est réglé au QNH, le fichier trace contient toujours les informations relatives à 1013,25 hPa (QNE). Il est bon que tous les instruments enregistrent l'altitude par rapport à la même référence, mais qui n'est pas nécessairement l'AMSL réel du jour. L'altitude pression est en fait l'information nécessaire pour respecter les espaces aériens au-dessus de la couche de transition. Tandis que les calculs finaux de plané sont effectués à l'aide d'alti1, qu'il est donc préférable de régler au QNH.

L'Aircotec XC Trainer et le Top Navigator sont également des ordinateurs de vol qui affichent et enregistrent la pression barométrique par rapport au calibrage QNH. Dans les deux instruments, l'altimètre peut être calibré manuellement à une altitude ou au QNH. Une fois



que la trace commence à s'enregistrer, ils ne peuvent pas être recalibrés sans éteindre l'instrument. Le XC Trainer calibrera normalement automatiquement l'altimètre lors de sa première mise en marche après avoir acquis la position GPS. Il se calibrera à la hauteur GPS acquise au-dessus de l'ellipsoïde. Ce calibrage peut être annulé manuellement avant que la trace ne commence à s'enregistrer. La hauteur GPS n'est pas enregistrée dans le fichier trace.

Digifly fabrique l'ordinateur de vol Leonardo Pro. Il enregistre à la fois la hauteur GPS et l'altitude barométrique par rapport au réglage QNH. La hauteur GPS est référencée au géoïde.

Le C Pilot Pro a vu le jour en tant que logiciel pour les PDA Palm, mais maintenant le matériel est en cours de développement et sera bientôt lancé sur le marché. Il est similaire aux Flytec en ce sens qu'il enregistre à la fois la hauteur GPS et l'altitude-pression (référencée à 1013,25 hPa). La hauteur GPS est référencée à l'ellipsoïde.

L'ordinateur de vol Renschler CoMo OLC enregistre l'altitude barométrique en référence au calibrage QNH. En fait, alti2 est enregistré et également utilisé pour le calcul de plané final. La hauteur GPS est référencée à l'ellipsoïde.

Instrument	Référence WGS84	Trace GPS	Trace barométrique
Garmin sans capteur pression	Geoïde	Oui	Non
MLR	???	Oui	Non
Garmin avec capteur pression	Geoïde	Non	Oui, QNH <sup>1</sup>
Flytec 6030/ Brauniger Compeo+	Geoïde	Oui	Oui, QNE
Aircotec XCTrainer / Top Nav	Ellipsoïde	Non	Oui, QNH
Digifly Leonardo	Geoïde	Oui	Oui, QNH
CPilot pro	Ellipsoïde	Oui	Oui, QNE
Renschler CoMo	Ellipsoïde	Non	Oui, QNH

1: QNH si le calibrage auto est désactivé

## 6 Problèmes en compétition

Les restrictions d'altitude en vigueur lors d'une compétition font des nœuds au cerveau de toutes les personnes concernées. Des pilotes désireux de bien faire volent au plus près possible des limites et les dépassent parfois ; délibérément ou accidentellement.

L'organisation de la compétition doit s'assurer que les règles sont respectées et doit malheureusement infliger des pénalités pour faire comprendre que la violation de l'espace aérien est dangereuse et déloyale. La section 7b (2008) du code sportif de la FAI stipule : *La pénalité pour dépassement des limites d'altitude spécifiées lors du briefing de l'épreuve ou publiées dans les cartes de l'espace aérien sera un avertissement pour la première infraction de moins de 100 m par un pilote. Pour des infractions supérieures à celle-ci ou pour des infractions ultérieures, le pilote marquera zéro pour la journée.*

Le valideur de la compétition doit connaître les particularités de tous les instruments qui lui sont présentés. Un différend entre l'instrument et le logiciel de scoring est une situation vraiment difficile à résoudre.

Comment gérer les restrictions d'altitude ? Voici quelques suggestions :

## 6.1

Les jours où les restrictions sont l'altitude AMSL, tous les instruments doivent être réglés sur le QNH prévu le plus bas, du jour et du lieu de l'épreuve (les instruments Garmin doivent avoir le calibrage de l'altimètre réglé sur manuel), et cela doit être annoncé sur le tableau de briefing. Les MLR (et les Garmin sans capteurs de pression) n'enregistrent que la hauteur GPS et il incombe à ces pilotes de rester à l'écart de l'espace aérien, sachant que plus la journée est chaude, plus ils « sur-liront » l'altitude. Si l'un des instruments d'une épreuve enregistre une double piste GPS / PA, le valideur de la compétition peut en extraire la hauteur GPS de la limite de l'espace aérien afin de valider les traces des instruments GPS uniquement. Le valideur devra considérer les traces (Flytec/Bräuniger) rapportées à 1013.25hPa et ajouter le  $1013.25 - \text{QNH} * 27\text{ft/hPa}$  correspondant, pour obtenir l'altitude réelle de vol. Un logiciel de scoring pourrait être amené à corriger automatiquement ces traces en utilisant un QNH précédemment annoncé. Pour les instruments qui enregistrent la pression relative au QNH, il est nécessaire de vérifier que le fichier trace est ininterrompu tout au long du vol car il est possible d'éteindre en vol l'instrument pour recalibrer l'altimètre afin de tricher. Mais la raison qui pousserait quelqu'un à tricher me dépasse.

## 6.2

Lorsque la restriction d'altitude est FL, il y a deux options :

Option 1 : Tous les instruments doivent être réglés sur 1013,25 hPa, QNE. Les données barométriques enregistrées par tous les instruments ont une référence commune de 1013,25 hPa facilitant la vie du valideur. Les instruments avec un seul affichage d'altimètre (Aircotec par exemple) affichent l'altitude pression (bon pour éviter l'espace aérien) mais il y a un problème avec le calculateur de plané final car l'altitude zéro ft ne correspond pas nécessairement au niveau de la mer.

Option 2 : Tous les instruments doivent être réglés sur le QNH prévu le plus bas pour la journée comme pour le cas d'altitude AMSL ci-dessus. Dans ce cas, les Aircotec n'affichent pas l'altitude-pression et doivent voler en se souvenant de la différence de hauteur QNE à QNH pour la journée afin de calculer l'altitude FL. Les pilotes avec Alti2 ou un deuxième altimètre le calent sur QNE pour être sûrs de l'altitude FL. Les pilotes avec des instruments GPS seulement ont les mêmes problèmes qu'en 6.1 ci-dessus. Le valideur doit prendre les traces dérivées du QNH et soustraire la hauteur QNH - QNE du jour en cas de requêtes à propos d'infraction de l'espace aérien.

La deuxième option est probablement la plus acceptable. Cela signifie que les mêmes procédures sont suivies, que la restriction de hauteur soit AMSL ou FL et aussi dans les rares cas où il y a les deux. Ainsi, les calculateurs de plané final fonctionnent également correctement. Il est tout à fait normal de caler les instruments (alti1) au QNH plutôt qu'au QNE. Il est alors simple de caler alti2 au QNE.

## 6.3

La hauteur GPS peut être utilisée dans les deux cas ci-dessus. Les organisateurs de compétition devraient déclarer des restrictions de hauteur en intégrant une marge suffisante pour ne pas se tromper et éviter d'avoir une compétition pleine de pilotes enfrenant l'espace aérien (cela pourrait arriver). Les instruments problématiques sont donc ceux qui n'enregistrent pas la hauteur GPS : la majorité des Garmin avec capteurs de pression, Aircotec et Renschler.

## 7. Conclusions

- L'altitude barométrique est l'usage en aéronautique.
- Les GPS affichent l'altitude sous forme de distance tandis que les altimètres affichent l'altitude en fonction des mesures de pression. Les deux sont fondamentalement différents et on s'attend à ce qu'ils diffèrent. Pourtant, ils indiquent plus ou moins la même chose à 15°C, mais l'écart s'élargit à mesure que l'atmosphère devient non standard. Ils diffèrent d'autant plus que la température s'éloigne des 15°C standard.
- Les GPS donnent l'altitude par rapport soit au géoïde, soit à l'ellipsoïde ; ceux-ci peuvent différer jusqu'à 100 m. Il peut y avoir  $\pm 45$ m d'erreurs supplémentaires avec une bonne réception du signal, davantage encore avec une mauvaise réception.
- Les informations disponibles dans le fichier trace des instruments varient selon les fabricants.
- Non seulement le pilote doit savoir ce qui est enregistré dans son fichier trace, mais il doit être en mesure de voir ces valeurs en vol.
- Les validateurs de compétitions doivent savoir quelles informations sont enregistrées dans les fichiers trace.
- Les validateurs de compétitions doivent savoir laquelle, de la hauteur GPS ou de l'altitude barométrique, est requise pour l'épreuve.
- Tous les ordinateurs de vol sont pilotés par des logiciels. Il doit être possible de modifier le type de données enregistrées si nécessaire.
- Je pense que comme tous les autres aéronefs, nous devrions utiliser la pression barométrique dans les compétitions (et les vols de distance) pour éviter les espaces aériens contrôlés. Je n'aime pas l'idée d'utiliser la hauteur GPS pour respecter les restrictions d'altitude. Toutes les restrictions d'altitude sont basées sur la pression barométrique et il semble erroné d'utiliser quoi que ce soit d'autre. Nous essayons d'éviter les aéronefs qui utilisent tous des instruments barométriques, pouvons-nous garantir qu'en utilisant la hauteur GPS, nous resterons hors des espaces aériens et en sécurité ?
- Je pense que la marge de manœuvre de 100 m pour la première infraction à l'espace aérien dans une compétition devrait être bien inférieure. Il est de la responsabilité du pilote de savoir ce que son instrument affiche et enregistre. Si l'instrument indique au pilote qu'il se trouve dans un espace aérien, il doit être pénalisé. Le pilote doit anticiper les zones de forte ascendance et éviter complètement l'espace aérien.
- Les fichiers trace doivent être ininterrompus du décollage à l'atterrissage. Une rupture dans la trace peut indiquer que l'instrument a été éteint et recalé.

- Rien de tout cela ne constitue un problème s'il n'y a pas de restrictions d'altitude dans la zone de compétition.

Merci à Joerg Ewald, Garmin, Aircotec, Renschler, Digifly et C Pilot pour m'avoir aidé à compiler ces informations. Un merci spécial à Erich Lerch de Flytec pour son soutien enthousiaste.

Mark Graham, traduction Dominique Lestant