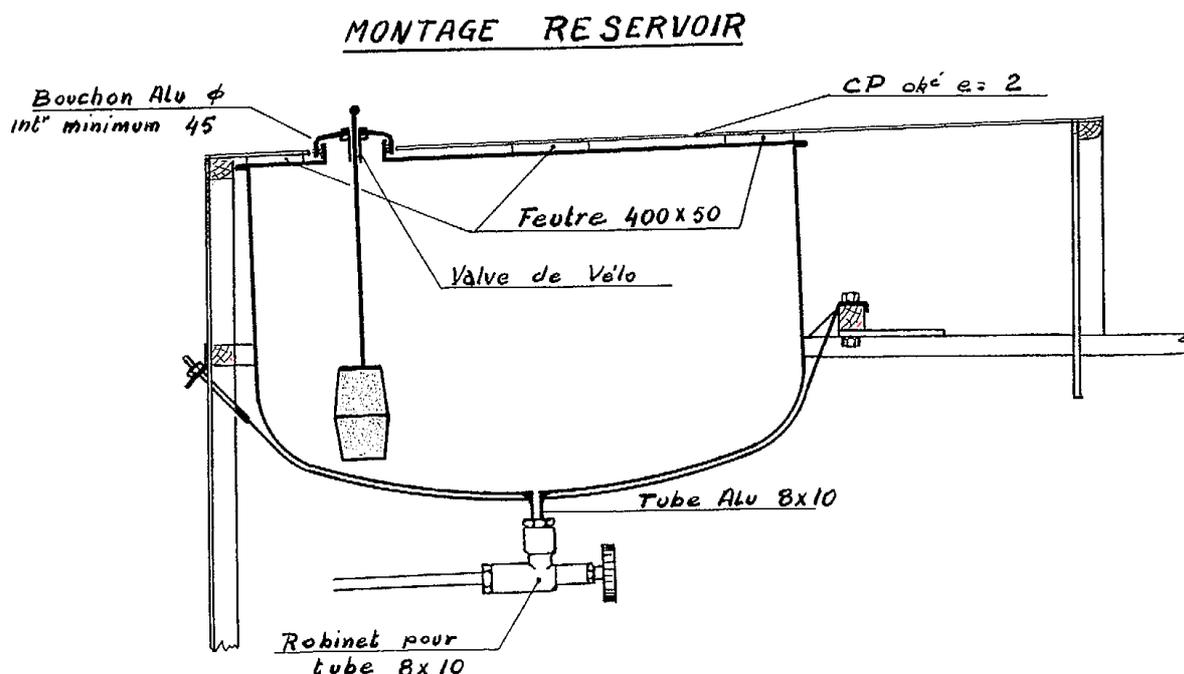


Jaugeurs de carburant pour avions légers

Premier chapitre (JA1)

Le plus simple des jaugeurs de carburant pour avions légers est incontestablement celui qu'on trouve sur le CP20, et quelques appareils de la même époque, dont le réservoir est placé de manière similaire.



Extrait de la liasse du CP210, plan N°700 « Réservoir » dessiné par Claude PIEL le 01/04/1952

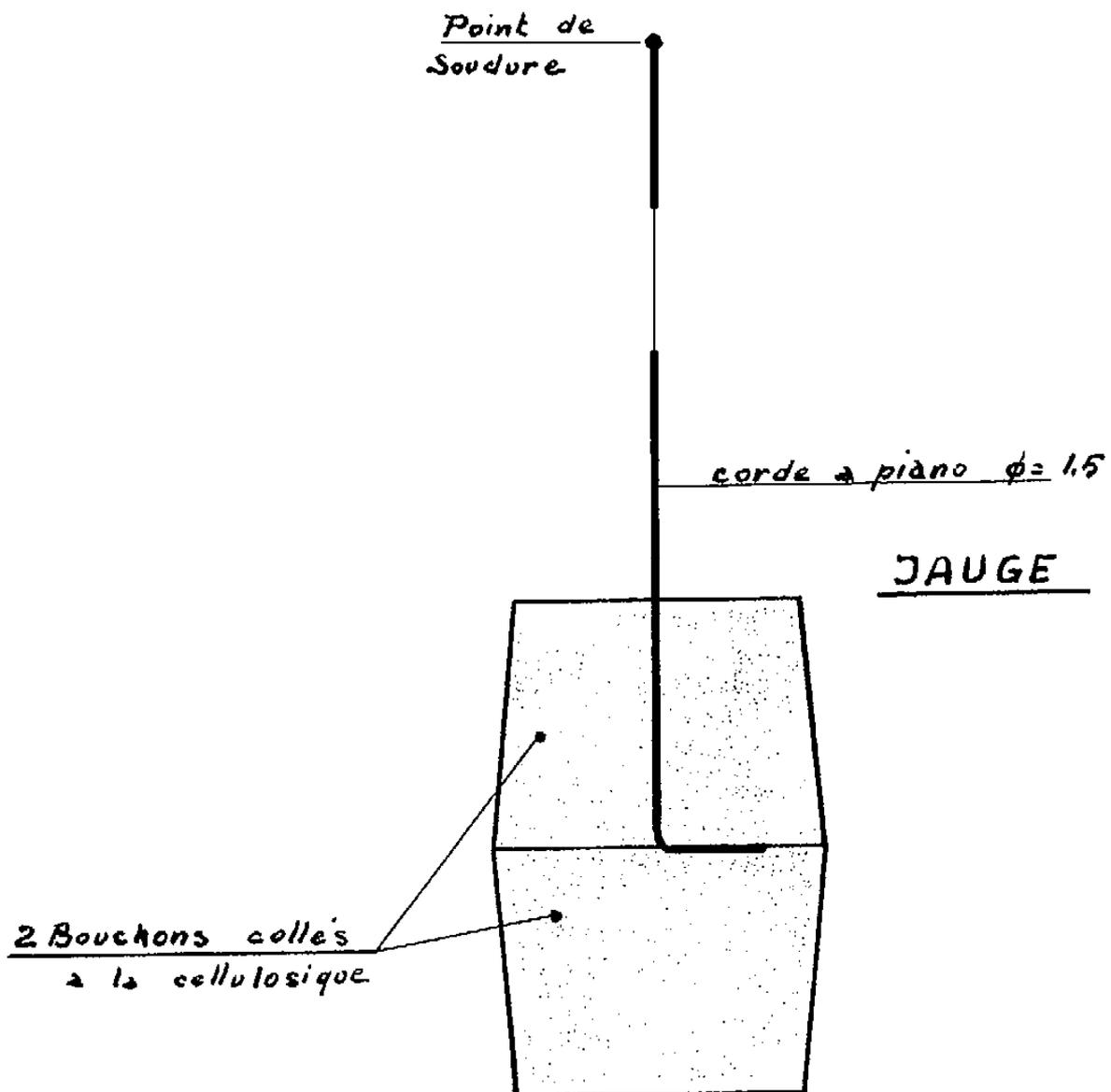
Le réservoir d'essence de ce monoplace est placé entre la cloison pare-feu et le tableau de bord, c'est-à-dire, pratiquement au centre de gravité de l'avion et suffisamment haut pour alimenter le moteur par gravité (ce qui est très bien...) et au-dessus des jambes du pilote (ce qui est nettement moins bien en cas de fuites ou de crash...).

Le bouchon du réservoir, placé sur le dessus, est percé et muni d'un bout de tube (une valve de vélo) qui sert à la fois de mise à l'air libre du réservoir et de passage de la tige du jaugeur. Claude Piel a utilisé de la corde à piano de 1,5 mm terminée par une boule de soudure (d'autres ont utilisé un rayon de vélo...) et un flotteur en liège composé de 2 bouchons collés dos à dos. (Voir figure page suivante).

La boule de soudure (ou le bout recourbé du rayon de vélo) est constamment devant les yeux du pilote, et sa hauteur au-dessus du bouchon indique le niveau de l'essence restant dans le réservoir.

Pour peu que le bouchon soit placé proche du centre du réservoir vu de dessus, la précision de la mesure est également aussi bonne que souhaitable compte tenu de la précision de lecture que peut en faire le pilote.

A moins que la corde à piano, ou le rayon de vélo ne se coince dans le trou du bouchon, ce qui n'est qu'un problème de jeu fonctionnel, ou bien que le collage du flotteur ne résiste pas à l'éthanol contenu dans l'essence auto, ce système de jauge à la fois simple, léger et très bon-marché, est d'une fiabilité à toute épreuve.



Extrait de la liasse du CP210, plan N°700 « Réservoir » dessiné par Claude PIEL le 01/04/1952

Pourtant quelles que soient les qualités de ce type de jauge, il ne convient pas aux avions plus modernes à réservoirs multiples, placés dans les ailes ou dans le fuselage, mais derrière le pilote.

Les constructeurs se sont donc tournés vers les techniques de jauges ayant fait leurs preuves dans l'automobile, à savoir le flotteur articulé commandant un potentiomètre rotatif, relié à un afficheur analogique électrique à cadran gradué.

Pour que cette technique donne de bons résultats, il faut que le flotteur puisse se déplacer librement du haut au bas du réservoir, et que la hauteur du réservoir soit du même ordre de grandeur que la plus grande de ses dimensions horizontales. Ces conditions peuvent être remplies pour un réservoir placé dans le fuselage, mais ce n'est généralement pas le cas pour les réservoirs situés dans les ailes, qui sont trop plats. Le dièdre de la voilure pose également problème, dans la mesure où la plage de niveau lue par le flotteur ne recouvre pas toute la plage de niveau possible (voir figure suivante)



La plage de mesure de la jauge à flotteur médian (bleu) est centrée et la mesure est peu sensible à l'inclinaison de l'avion (vol dérapé). Pourtant, on lui préfère généralement la jauge à flotteur près du fuselage (rouge) car :

- la plage de mesure couvre le bas de la plage, ce qui est plus intéressant en fin de vol.
- la jauge est plus facile à installer et à maintenir,
- la mesure est faussée par l'inclinaison de l'avion, mais toujours en minimisant la valeur lue.

Dans tous les cas, une seule jauge à flotteur ne permet pas de couvrir la totalité de la plage de mesure.

Une solution consiste à multiplier les points de mesure. Dans l'exemple ci-dessus, la moyenne des mesures des jauges à flotteur rouge et flotteur vert couvre la quasi-totalité de la plage de niveau du réservoir, et est également assez peu sensible à l'inclinaison de l'avion (vol dérapé).

On peut tout de même noter que cette moyenne ne varie pas de manière linéaire avec le niveau : Quand le niveau est au-dessus de la plage du flotteur rouge, les variations ne sont vues que par le flotteur vert. De même, quand le niveau est au-dessous de la plage du flotteur vert, les variations ne sont vues que par le flotteur rouge. Mais quand le niveau est dans la plage de mesure des deux flotteurs, les variations sont vues par les deux flotteurs, et donc comptées deux fois, c'est-à-dire que la pente de la courbe est double.

Cela pose-t-il problème ?

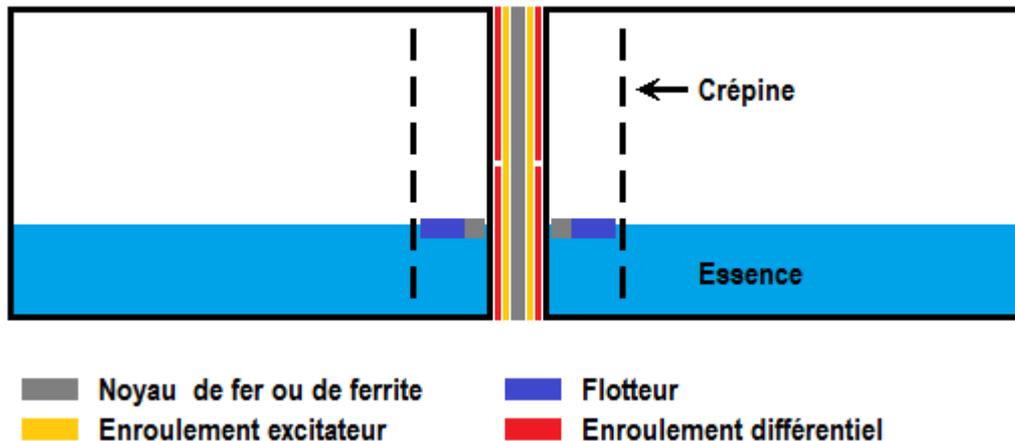
Non, parce qu'un flotteur ne permet pas de mesurer directement une quantité de liquide dans un réservoir (volumétrie), mais juste le niveau du liquide (niveaumétrie).

Le passage d'une mesure de niveau au volume de liquide ne serait directe que si la section horizontale du réservoir était constante, ce qui est rarement le cas pour un réservoir de carburant d'avion, surtout si ce dernier est structurel. C'est par étalonnage de l'instrument de visualisation qu'on prend en compte la non-proportionnalité du passage du niveau au volume de carburant. Cet étalonnage peut être une simple graduation pour un instrument à aiguille, ou une tableau de valeurs d'étalonnage dans un instrument numérique. Dans le cas à deux flotteurs présenté ci-dessus, cet étalonnage suffirait à résoudre le problème de pente variable.

Autres techniques de niveaumétrie

La mesure de niveaux de liquides ou de solides pulvérulents est très courante dans l'industrie, et de nombreuses techniques sont employées (flotteurs, radar, fils résistifs, pression en bas de cuve, etc...).

Les flotteurs sont souvent utilisés avec des détecteurs LVDT. Le flotteur est un anneau contenant une armature ferromagnétique couissant autour d'un tube contenant un transformateur différentiel linéaire. (Voir figure suivante). Cette technique assez couteuse, mais beaucoup plus robuste que celles utilisant un potentiomètre, permet une mesure précise du niveau dans le réservoir.



Le radar (et le sonar) sont surtout utilisés pour les très grands volumes où les temps de retour des ondes sont suffisants pour une précision intéressante.

Les fils résistifs tendus verticalement sont utilisés de plusieurs manières :

- Les liquides conducteurs court-circuitent la partie immergée du fil et la résistance mesurée est donc proportionnelle à la hauteur du fil émergée.
- Les liquides isolants maintiennent constante la température de la partie immergée du fil traversé par un courant variable (créneaux de courants entre une intensité faible et une intensité plus élevée) la mesure précise de la tension permet de mesurer les variations de résistance dues à l'échauffement du fil et donc la longueur de fil dont la température varie avec le courant qui le traverse.

Le carburant des avions (essence ou kérosène) est isolant, l'utilisation d'un fil résistif serait possible, mais c'est une technique difficile à mettre en œuvre de manière sûre dans un milieu hautement inflammable.

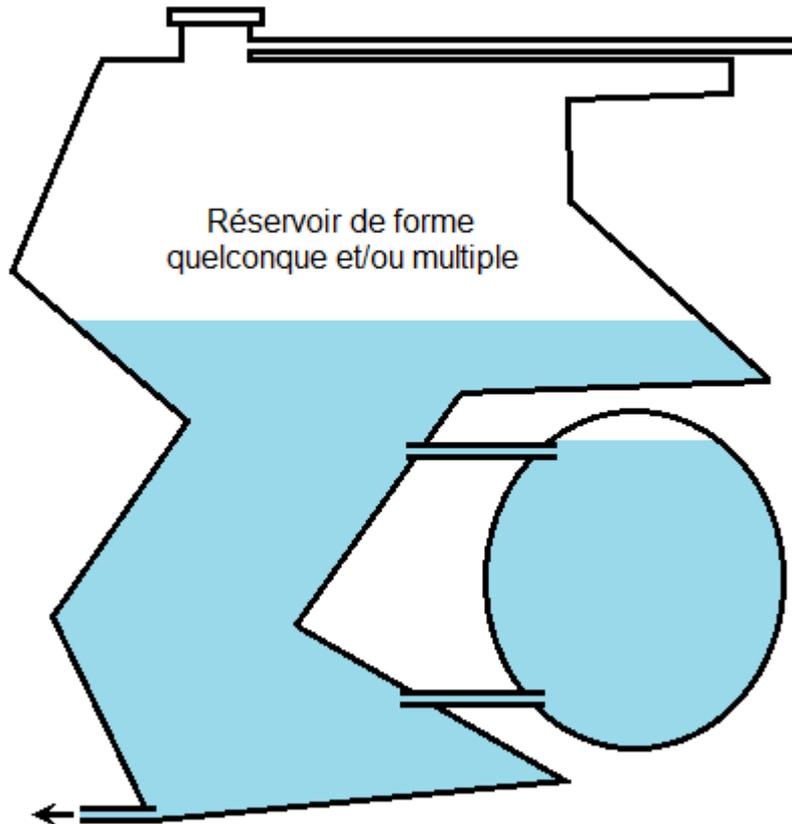
La pression en bas de cuve donne d'excellents résultats pour les réservoirs statiques suffisamment hauts (de un à plusieurs mètres).

Dans un avion où la hauteur de certains réservoirs ne dépasse pas 20 cm, il faudrait des capteurs de pression différentielle résistant chimiquement au carburant dont la gamme de pression soit de 0 à 5 kPa, voire moins. Il faudrait également un accéléromètre pour compenser les effets des évolutions de l'avion.

Cette technique est possible mais reste assez difficile à mettre en œuvre pour un avion léger.

Conclusion sur la niveaumétrie

Dans tous les cas, la mesure du niveau de carburant n'est qu'une étape pour la mesure du volume de carburant. Certes la correction de la non-linéarité de la conversion est possible par étalonnage, mais elle reste difficile pour les réservoirs multiples et/ou de formes complexes, notamment en cas de zones où de l'air peut rester ou non piégé. (Voir figure suivante).



Dans ces cas, il est possible d'utiliser plusieurs sondes de niveau et un système de calcul faisant les corrections nécessaires par réservoir, puis calculant la somme du carburant disponible. On commence à trouver ce genre d'appareils dans le commerce.

Outre leur prix, l'inconvénient principal de ces systèmes complexes, c'est qu'ils sont généralement incapables de détecter un capteur en défaut et qu'il est alors très difficile pour le pilote de savoir si la quantité de carburant affichée est pertinente ou non.

Pour améliorer la précision, certains de ces systèmes prennent également en compte les débitmètres pour améliorer la précision de la valeur affichée.

AUTRES TECHNIQUES INDIRECTES DE MESURES DE LA QUANTITE DE CARBURANT.

Intégration d'une mesure directe du débit volumique.

On trouve dans le commerce des débitmètres de carburant parfaitement adaptés aux avions légers. Ils sont très utiles pour la gestion des moteurs à injection mécanique.

Il est tentant d'intégrer dans le temps d'une mesure de débit, pour calculer le volume consommé. En effet, le volume de carburant restant est égal au carburant initial moins le carburant consommé.

Malheureusement, les incertitudes de mesure se cumulent au cours du temps. Si, par exemple, la mesure de débit est fautive de 2% (ce qui peut sembler négligeable), à moins de recalibrer régulièrement la valeur intégrée à l'aide d'une jauge ou en faisant le plein, l'erreur sur le volume continue à se cumuler. Au bout de 50 heures de vol, l'erreur représente 1 heure de consommation, ce qui n'est plus du tout négligeable.

L'intégration du débit de carburant ne dispense pas d'un autre système de mesure de la quantité de carburant.

Détermination indirecte du débit massique de carburant.

Plus que le volume, c'est la masse du carburant, et donc la quantité d'énergie qu'il représente, qui intéresse le pilote. Mesurer directement la masse de carburant présent dans le réservoir est impossible, mais on peut la mesurer indirectement.

Connaissant la vitesse indiquée de l'avion, l'accélération instantanée et la dépression en un point déterminé de la voilure, il est possible de déterminer la portance totale de l'avion. En divisant cette portance par l'accélération instantanée mesurée à l'aide d'un accéléromètre, on calcule la masse totale de l'avion. La masse à vide de l'avion et la charge marchande embarquée est supposée constante (en absence d'épandage de produits agricoles ou de givrage). La variation dans le temps de la masse de l'avion correspond donc à son allègement par consommation de carburant (et d'huile). Par lissage d'un très grand nombre de mesures répétées plusieurs fois par seconde, il est possible de déterminer le débit massique de carburant.

Mais contrairement à un débitmètre, les erreurs ne se cumulent pas dans le temps. En effet, le débit massique n'est pas mesuré directement, mais calculé par différence entre mesures successives de la masse de l'avion. A condition de retrancher la masse à vide de l'avion (fiche de pesée) et de la charge marchande (qu'il faut peser précisément au départ), c'est système bien la masse du carburant qui est calculée.

Cependant, il n'est pas évident qu'avec les moyens disponibles pour les constructeurs amateurs, il soit possible de déterminer ainsi la quantité de carburant disponible avec une précision suffisante.

Dans le chapitre suivant (JA2), je présenterai un système de mesure du volume de carburant présent dans un ou plusieurs réservoirs sur un principe totalement différent