

REPERE : 13.28
EDITION : 1
FFVV NP N° : 014/95.YP.GL

DATE : 30 AOUT 1995

13.28. REMORQUAGE

Nota préliminaire : Insérer la présente note après l'onglet 13
Inscrire ou modifier sur le sommaire 1.1. en face du repère.

Utilisation des remorqueurs à train "classique".

Vous trouverez, ci-joint, une note rédigée par Michel MIOCHE, chef pilote au SEFA de Saint-Auban, à la demande de la commission Formation-Sécurité de la F.F.V.V.

Je vous demande de la reproduire et de la diffuser auprès de **TOUS** les pilotes remorqueurs d'avions à train "classique" ou "tricycle".

Le Directeur


Yves POLLET

... DES PRECAUTIONS A PRENDRE LORS DE L'UTILISATION DES REMORQUEURS A TRAIN "CLASSIQUE"

De nombreux avions remorqueurs sont encore équipés d'atterrisseurs dits "classiques". Rusticité, gain de poids et moindre traînée sont les avantages de cette formule qu'il faut par ailleurs payer par un équilibre précaire de l'avion au sol et une certaine instabilité au roulage et à l'atterrissage qui exigent des pilotes une plus grande habileté et une vigilance constantes.

En vol, le comportement des avions est semblable qu'ils soient équipés d'un "train auxiliaire avant" (atterrisseur dit "tricycle") ou d'un train auxiliaire arrière (atterrisseur dit "classique"). C'est au sol, ou près du sol que les différences se révèlent. Deux raisons principales sont à l'origine de ces phénomènes :

- la répartition des masses par rapport à l'atterrisseur principal ;
- l'assiette de l'avion au sol.

I/ - OU IL FAUT BIEN PARLER UN PEU DE TECHNIQUE

On considère : qu'un train d'atterrissage comprend deux sous-ensembles :

- l'atterrisseur principal :

Il est destiné à supporter la quasi-totalité de la masse de l'avion, à l'arrêt, au roulage et bien sûr aussi d'absorber l'énergie de l'impact à l'atterrissage (le retour sur la planète avec une vitesse verticale de 3 m/s).

Les roues de l'atterrisseur principal sont équipées de freins destinés à résorber l'énergie cinétique du roulement à l'atterrissage et par utilisation dissymétrique à contrôler la trajectoire au sol.

- l'atterrisseur auxiliaire :

Il est conçu pour maintenir l'appareil en équilibre au sol avec une assiette convenable. Il est pourvu d'une roulette dont l'orientation peut être libre (Rallye) ou assujétie au palonnier (DR400, Pawnee, D140) pour faciliter la dirigeabilité au sol. L'atterrisseur auxiliaire ne peut supporter que des charges modérées et en aucun cas ne peut absorber seul l'énergie de l'atterrissage.

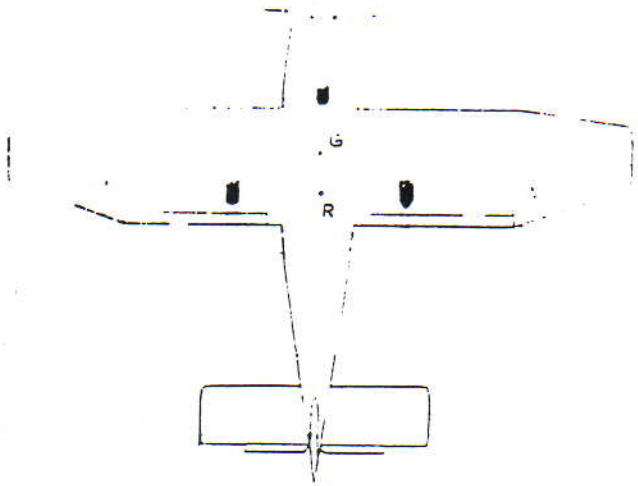


Figure 1A

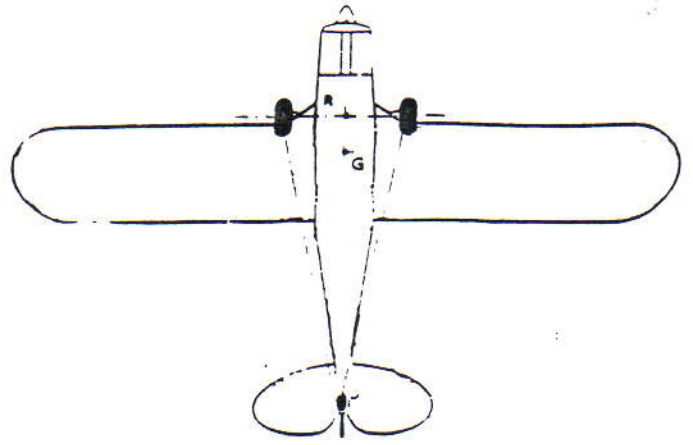


Figure 1B

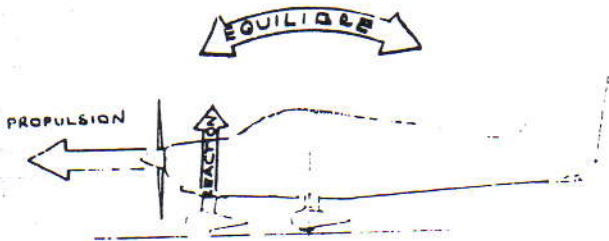


Figure 2A

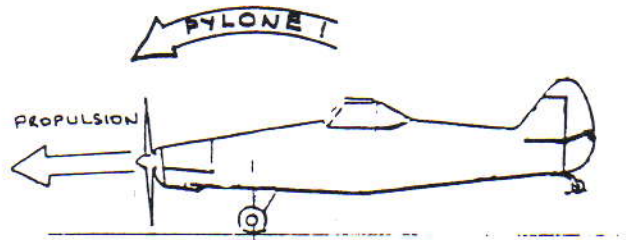


Figure 2B

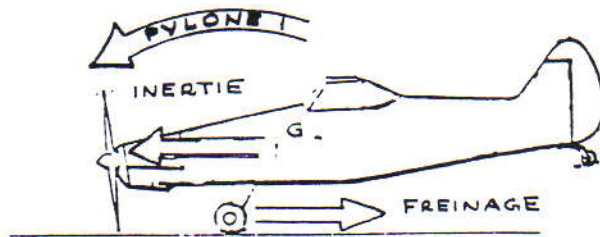


Figure 3

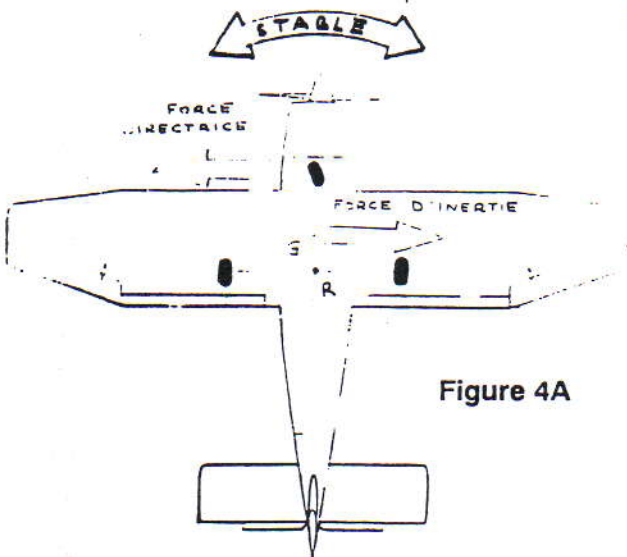


Figure 4A

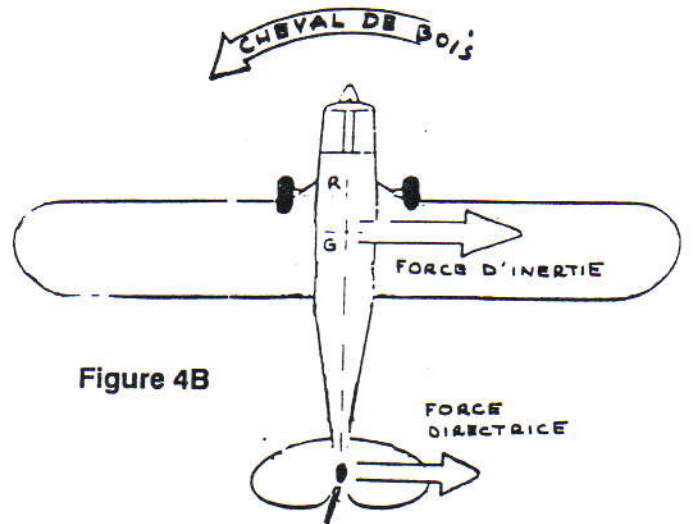


Figure 4B

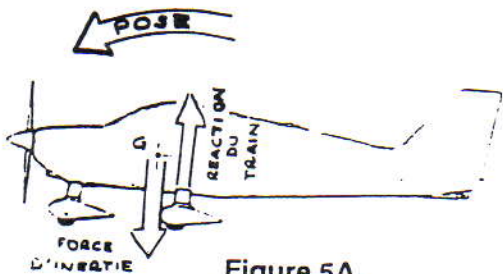


Figure 5A

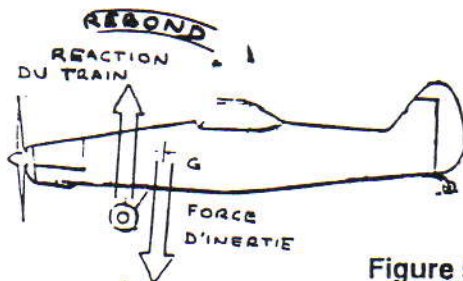


Figure 5B

II/ - OU L'ON TRAITE DE LA REPARTITION DES MASSES DE L'AVION PAR RAPPORT A L'ATTERRISSEUR

La géométrie de l'atterrisseur doit permettre un équilibre stable de l'avion au sol. Cette stabilité ne doit toutefois pas être absolue afin que restent possibles les rotations en tangage demandées par le pilote (mise en ligne de vol, prise de l'assiette de décollage, etc...).

Les points de contact de l'atterrisseur au sol définissent pour l'avion son "polygone de sustentation" (triangle). La condition d'équilibre est que ce triangle contienne la verticale du centre de gravité de l'avion.

La position du centre de gravité est définie par ailleurs pour prendre en compte les exigences du centrage en vol. La place retenue pour les atterrisseurs est étudiée de telle sorte que :

- sur un avion doté de "train auxiliaire avant", l'atterrisseur principal soit positionné en arrière de la verticale du centre de gravité (figure 1A) ;

- sur un avion doté de "train auxiliaire arrière", l'atterrisseur principal soit positionné en avant de la verticale du centre de gravité (figure 1B).

Afin que la charge sur l'atterrisseur auxiliaire reste modérée, la verticale du centre de gravité devra être très proche de l'atterrisseur principal.

En l'absence de toute force de propulsion, d'inertie ou d'origine aérodynamique, les avions au sol sont stables sur leurs atterrisseurs quelle que soit leur conception.

En revanche, en utilisation, l'application de la puissance, l'effet des accélérations ou du freinage et l'existence de forces de sustentation rendent le comportement des avions au sol très sensiblement différent selon le type d'atterrisseur dont ils sont dotés.

III/ - OU L'ON PARLE DES EFFETS DES FORCES DE PROPULSION

Les forces de propulsion provoquent un moment piqueur autour du point de contact sur le sol de l'atterrisseur principal.

Pour les avions à train auxiliaire avant, l'effet est visible (écrasement de l'amortisseur avant et du pneu), mais reste limité si le matériel est en bon état. La conception de l'appareil garantit une garde au sol suffisante de l'hélice. Il reste toutefois souhaitable de soulager l'atterrisseur avant par une action arrière sur la profondeur lors des applications de puissance (essais moteur, décollage, etc...) (figure 2A).

Pour les avions à train auxiliaire arrière, le même phénomène peut conduire à un basculement sur le nez, au bris de l'hélice ou à une mise en pylône (figure 2B). Le manche devra être maintenu à fond en arrière pour toutes les manœuvres suivantes :

- mise en route ;
- mise en vitesse pour le roulage ;
- point fixe ;
- mise de gaz pour le décollage, etc....

IV/ - OU L'ON ANALYSE L'EFFET DES FORCES D'INERTIE

a) - Forces d'inertie liées au freinage :

Elles sont appliquées au centre de gravité et provoquent un moment piqueur autour du point de contact du train principal au sol. Le phénomène constaté est semblable à celui qui apparaît lors d'une application de puissance.

Sur les avions à train auxiliaire avant, les risques sont limités, une action sur le manche vers l'arrière permet de limiter l'écrasement de l'atterrisseur.

Pour les avions à train auxiliaire arrière, toute action de freinage doit être accompagné par un braquage à fond du manche vers l'arrière. Le freinage s'effectuant avec une puissance réduite (of course !), l'efficacité de la profondeur sera limitée. Le pilote admettra que l'action sur les freins doit rester très modérée, les dispositifs de freinage devant plutôt être considérés comme des ralentisseurs (figure 3).

b) - Forces d'inertie liées au virage au sol :

Pendant les virages, des forces d'inertie appliquées au centre de gravité apparaissent (forces centrifuges). L'effet de ces forces caractérise une très grande différence de comportement entre les avions dotés d'atterrisseur auxiliaire avant ou arrière.

Pour les avions équipés de train auxiliaire avant, les forces d'inertie appliquées au centre de gravité placé en avant du train principal s'opposent au virage. Lorsque la sollicitation du pilote cesse, la trajectoire redevient toute seule rectiligne. On dit que l'avion est sous-vireur ou stable au roulage, ce qui facilite grandement les manoeuvres au sol (figure 4A).

Pour les avions équipés d'un train auxiliaire arrière, les forces d'inertie appliquées au centre de gravité placé en arrière du train principal augmentent la déviation de la trajectoire. L'avion est dit sur-vireur ou instable au roulage, il a tendance à resserrer les courbes, voire à partir en cheval de bois. Le roulage doit donc s'effectuer avec d'innombrables précautions et une vitesse toujours modérée (figure 4B).

V/ - OU L'ON EXAMINE LES FORCES AERODYNAMIQUES

Les forces aérodynamiques interviennent au roulage en raison des phénomènes suivants :

- le souffle de l'hélice ;
- le vent ;
- le vent relatif lié à la vitesse de déplacement.

1) - Souffle de l'hélice :

C'est l'effet du souffle sur les empennages horizontaux c'est-à-dire sur l'ensemble qui nous intéresse ici.

Pour les avions à train auxiliaire avant, tant que la commande de profondeur reste approximativement au neutre, l'incidence de l'ensemble est proche de zéro, ce qui rend très modérés les couples piqueurs ou cabreurs.

Par contre, pour les avions à train auxiliaire arrière, compte-tenu de l'assiette de l'avion au sol, le plan fixe horizontal présente une incidence telle que sous l'influence du souffle de l'hélice se manifeste un fort couple piqueur pouvant entraîner un rapide basculement de l'avion vers l'avant. Ce couple s'additionne aux forces de propulsion, ce qui exige une action du pilote sur le manche en arrière.

2) – Effet du vent :

2.1. – Vent de face :

L'effet est le même que celui du souffle de l'hélice auquel il se rajoute. Les réactions du pilote doivent être identiques et se limitent à un maintien du manche en arrière.

Le problème peut exister pendant le stationnement de l'avion. Cela nécessite que soit attachée la commande de profondeur à cabrer (à l'aide des harnais pilote exclusivement ou d'éclisses) ou que l'avion soit arrimé au sol si le stationnement est prolongé. Théoriquement, le seul effet du vent peut soulever la queue de l'avion sans toutefois entraîner un basculement complet sur le nez.

2.2. – Vent latéral :

a) – Effet de girouette :

Compte-tenu de leur stabilité au roulage, les avions équipés de train auxiliaire avant restent facilement contrôlables (jusqu'à une certaine force de vent).

En revanche, le contrôle des avions à train auxiliaire arrière (instable au roulage) devient très délicat. Une vitesse modérée s'impose. Afin de garder une bonne adhérence de la roulette arrière et de profiter au maximum de sa dirigeabilité, le pilote aura là aussi intérêt à garder sa profondeur à fond à cabrer. L'effet de girouette peut se cumuler au couple hélicoïdal de l'hélice, ce qui aggrave encore le phénomène. C'est le cas en particulier (avion équipé de moteur tournant dans le sens des aiguilles d'une montre) :

- au décollage par vent latéral gauche ;
- à l'atterrissage par vent latéral droit.

b) – Effet de sustentation :

Le vent latéral peut provoquer une sustentation importante de l'aile au vent et entraîner un chavirement.

Cet effet demeure limité pour les avions dotés de train auxiliaire avant car leur aile présente au sol une faible incidence, mais il reste néanmoins sensible s'il présente un dièdre important (Rallye).

Par contre, pour les avions dotés de train auxiliaire arrière, l'incidence de l'aile est très forte et le phénomène est réellement sensible. Pour palier ce phénomène, le pilote devra veiller à :

- rouler à vitesse modérée ;
- braquer systématiquement le gauchissement du côté du vent ;
- préférer les virages vers le vent plutôt que sous le vent.;
- s'abstenir lorsque le vent devient très fort.

2.3. – Vent arrière :

Au parking, l'effet le plus net d'un vent arrière est le risque de battement des gouvernes. C'est pour cette raison, que le stationnement est toujours préférable face au vent. Si cette disposition n'est pas réalisable, il convient d'attacher les gouvernes (harnais pilote ou éclisses) et d'arrimer l'avion au sol.

Pendant le roulage, le risque de battement des gouvernes demeure. Comme on ne peut évidemment pas attacher les commandes, le pilote devra les tenir fermement. Le risque principal d'un vent arrière au roulage est surtout lié à la vitesse de déplacement qui devient rapidement excessive même à puissance réduite. La solution pour contenir la vitesse à un niveau raisonnable reste dans le maintien de la puissance réduite et dans l'utilisation des freins. L'utilisation d'avion à train auxiliaire avant ne posera pas de problèmes insurmontables. Par contre, pour les avions à train auxiliaire arrière, la suppression du soufflage des gouvernes et la seule utilisation des freins fait que le contrôle de l'assiette peut devenir très aléatoire. Le freinage devra rester très modéré. En cas de vent vraiment très fort, il sera prudent de laisser l'avion au hangar.

Par vent arrière fort, la question peut se poser quant à l'utilisation de la profondeur en position piqué (manche avant). Le problème est de savoir si au niveau des empennages, qui du vent arrière ou du souffle de l'hélice reste prépondérant. La réponse à cette énigme est la solution ! Notons toutefois que l'inversion totale du vent relatif sur les empennages n'est pas franchement courante et d'ailleurs a-t-on déjà entendu un pilote rapporter qu'il avait dû pousser le palonnier droit pour tourner à gauche ? Si pour une raison quelconque, la puissance doit être ajustée, le positionnement du manche vers l'arrière reste prudent.

Pendant les séances de remorquages, il arrive que des atterrissages soient effectués avec une légère composante de vent arrière . Cette procédure n' est jamais vraiment recommandée. Si toutefois le pilote l' entreprend, il devra être extrêmement vigilant pour gérer l' instant "charnière" où le vent relatif s' annule puis s' inverse sur les surfaces et donc sur les gouvernes de l' avion. C' est en effet à cet instant que les commandes seront déplacées de la position "arrondi" à la position "roulage-vent-arrière".

VI/ – OU L'ON ETUDIE LE PROBLEME DU DECOLLAGE

Le décollage des avions à train auxiliaire avant est largement facilité parce que l'assiette au sol est très proche de la ligne de vol. On peut alors caricaturer le décollage en le comparant à un roulage accéléré jusqu'à la prise d'assiette nécessaire pour l'envol.

Selon le type d'avion utilisé, il peut être souhaitable de soulager la roulette de nez afin d'éviter l'apparition de phénomène de shimmy (manuel de vol).

Pour les avions équipés de train auxiliaire arrière, il est la plupart du temps nécessaire de laisser accélérer l'avion à une assiette proche de la ligne de vol avant de prendre l'assiette de décollage. Cette mesure permet d'éviter les décollages trop précoces. On retient donc généralement trois séquences :

– une phase d'accélération initiale pendant laquelle la puissance de décollage est appliquée. Elle exige que le manche soit positionné en arrière ;

– une phase de mise en vitesse pendant laquelle la ligne de vol est progressivement adoptée. Cette manoeuvre s'effectue par un retour du manche vers le secteur central voire légèrement avant. Sur certains avions (L19, Pawnee, etc...), cette phase n'existe quasiment pas, le décollage intervenant en position "trois points" ;

- la phase de décollage proprement dite pendant laquelle l'assiette de décollage est adoptée.

Remarque (superflue, mais ...) : puissance de décollage et freinage simultanés sont pour les avions à train classique un cocktail détonant. Alors, il est plus que conseillé de ne pas laisser traîner les pieds sur les freins et de n'assurer la tenue d'axe qu'avec les palonniers.

Pendant ces trois phases, les problèmes de tenue d'axe et de contrôle de l'assiette se posent. Ce sont les mêmes que ceux qui sont rencontrés lors du roulage, mais avec la différence que la vitesse est plus forte et qu'apparaissent des couples gyroscopiques qui affectent la trajectoire pendant les changements d'assiette. Notons toutefois l'existence d'un excellent soufflage des empennages qui aide bien au contrôle de l'avion.

Si par contre, le décollage doit être interrompu (arrêt volontaire ou panne), l'avion doit être maintenu sur une trajectoire rectiligne et ramené en position "trois points" pour la décélération. Cette manoeuvre est souvent délicate, la réduction de puissance provoquant des couples inverses à ceux rencontrés lors de la mise de gaz et le soufflage des gouvernes disparaissant.

VII/ - OU L'ON ESSAIE DE COMPRENDRE LE MECANISME DES REBONDS A L'ATTERRISSAGE

Lors de l'atterrissage, la vitesse verticale de la machine s'annule (presque !!!) au moment du toucher du train principal sur le sol. Toutefois, la vitesse horizontale demeure et les conditions pour un redécollage intempestif sont latentes.

Le contact avec le sol apparaît comme une décélération rapide de la vitesse verticale à laquelle s'associent des forces d'inertie appliquées au centre de gravité de l'avion.

Sur un avion équipé de train auxiliaire avant, le centre de gravité étant positionné en avant du train principal, les forces d'inertie créent lors de l'impact un couple piqueur. Ce couple peut provoquer un violent retour de l'atterrisseur avant sur le sol (plutôt facile à contrôler), mais présente surtout l'avantage de réduire immédiatement l'incidence de l'avion et de supprimer ainsi toute velléité pour un redécollage (figure 5A).

En revanche, pour un avion doté d'atterrisseur auxiliaire arrière, les forces d'inertie, appliquées à un centre de gravité placé derrière le train principal entraînent un couple cabreur et donc une rapide augmentation d'incidence qui, combinée à la vitesse horizontale résiduelle provoque une série de redécollages intempestifs plus ou moins faciles à maîtriser. Ce phénomène est souvent aggravé par des atterrisseurs dont la souplesse n'a d'égale que la défaillance de l'amortissement (figure 5B).

Deux techniques d'atterrissage sont utilisées :

a) - Atterrissage "trois points" :

Pendant l'arrondi, l'assiette est progressivement cabré de manière à rechercher un contact simultané des trains principaux et auxiliaires avec le sol. A la fin de cette manoeuvre, le manche est en principe à fond en arrière. Quand ce triple contact est réalisé, l'avion ne peut théoriquement plus augmenter son capré, ce qui empêche le déclenchement des rebonds.

Cette technique est toutefois délicate car toute maladresse se traduit par un contact précoce d'un des atterrisseurs sur le sol et provoque les rebonds tant redoutés.

Ses avantages résident dans des distances d'atterrissage assez courtes liées à une vitesse d'impact faible et à la possibilité d'intervenir rapidement sur les freins (le manche est à fond en arrière depuis la fin de l'arrondi).

b) – Atterrissage "deux points" :

L'atterrisseur principal est déposé en douceur avec une assiette proche de celle de la ligne de vol. La vitesse est suffisamment forte pour qu'un bon contrôle en tangage de l'avion soit possible. Quand elle diminue, la queue de l'avion descend jusqu'au contact de la roulette sur le sol. Le manche est alors progressivement amené vers l'arrière pour reprendre les conditions de roulement.

L'inconvénient de cette méthode est qu'elle demande une très bonne précision d'arrondi sans laquelle le mécanisme des rebonds devient redoutable et qu'elle se traduit par des distances d'atterrissage plus longues :

– la vitesse de contact avec le sol est plus forte que dans le cas de l'atterrissage "trois points" ;

– le freinage n'est pas possible tant que la roulette arrière n'est pas posée.

VIII/ – OU L'ON MELANGE TOUT CELA AVEC LE DECOLLAGE EN REMORQUE

D'une manière générale, le planeur remorqué agit comme un super empennage doté d'un super bras de levier. Du point de vue de la stabilité de l'avion, la présence du planeur est bénéfique du moins tant qu'il reste en bonne place.

Cet effet est globalement positif pour les courses de décollage des avions équipés des deux types d'atterrisseurs, mais on admettra que celui qui en bénéficie le plus est évidemment l'avion à atterrisseur auxiliaire arrière qui "de naissance" est le moins favorisé.

Pour la tenue d'axe, tant que le planeur reste bien aligné, le contrôle de trajectoire est facilité et se fait quasiment tout seul. Les effets moteur sont réduits et ceux du vent bien diminués.

D'autre part, la traction du câble contribue au déjaugage de l'avion et à son maintien à une assiette sensiblement égale à la ligne de vol sans presque d'intervention du pilote (l'effet piqueur du propulseur est compensé partiellement par la traction du câble). Le pilote n'a donc pas intérêt à agir d'une manière trop soutenue sur le manche vers l'avant.

Mais le retour aux "maladies congénitales" peut être brutal si pour une raison quelconque il y a rupture de l'attelage (détente du câble, largage intempestif ou volontaire, etc...).

Lors de la rupture, les effets stabilisateurs sont annihilés et l'avion est brutalement livré à ses problèmes de contrôle d'assiette et de trajectoire.

Pour les avions à train auxiliaire avant, l'incident reste banal et sans conséquences significatives.