



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle SUST
Service suisse d'enquête de sécurité SESE
Servizio d'inchiesta svizzero sulla sicurezza SISI
Swiss Transportation Safety Investigation Board STSB

Rapport final n° 2310 du Service suisse d'enquête de sécurité SESE

concernant l'accident de l'avion
Bücker Bü 133 C Jungmeister, HB-MIP,

survenu le 5 octobre 2014

sur l'aérodrome de
Lausanne-Blécherette (VD)

Ursachen

Der Unfall ist auf eine harte Landung infolge eines Kontrollverlustes zurückzuführen, was zum Bruch des Fahrwerks und zum Überschlagen des Flugzeuges führte.

Als direkte Ursachen wurden folgende Faktoren ermittelt:

- zu geringe Anfluggeschwindigkeit;
- zu spätes Ausleiten des Seitengleitfluges.

Remarques générales sur le présent rapport

Le présent rapport relate les conclusions du Service suisse d'enquête de sécurité (SESE) relatives aux circonstances et aux causes de cet accident.

Conformément à l'article 3.1 de la 12^e édition de l'annexe 13, applicable dès le 5 novembre 2020, de la Convention relative à l'aviation civile internationale (OACI) du 7 décembre 1944, ainsi que selon l'article 24 de la loi fédérale sur la navigation aérienne, l'enquête sur un accident ou un incident grave a pour seul objectif la prévention d'accidents ou d'incidents graves. L'enquête n'a pas pour objectif d'apprécier juridiquement les causes et les circonstances d'un accident ou d'un incident grave. Le présent rapport ne vise donc nullement à établir les responsabilités ni à élucider des questions de responsabilité civile.

En conséquence, l'utilisation de ce rapport à d'autres fins que la prévention pourrait conduire à des interprétations erronées.

La version de référence de ce rapport est rédigée en langue allemande.

Toutes les informations contenues dans ce rapport, sauf indication contraire, se réfèrent au moment où s'est produit l'accident.

Sauf indication contraire, toutes les heures indiquées dans ce rapport le sont en heure normale valable pour le territoire suisse (*local time* – LT) qui au moment où s'est produit l'accident correspondait à l'heure d'été de l'Europe centrale (*central european summer time* – CEST). La relation entre LT, CEST et l'heure universelle coordonnée (*coordinated universal time* – UTC) est : LT = CEST = UTC + 2 h.

Rapport final

Type d'aéronef	Bü 133 C	HB-MIP
Exploitant	privé	
Propriétaire	privé	

Pilote	Citoyen suisse, né en 1958			
Licence	Licence de pilote privé d'avions (<i>Private Pilot Licence Aeroplane – PPL(A)</i>) selon l'Agence européenne de la sécurité aérienne (<i>European Aviation Safety Agency – EASA</i>), établie par l'Office fédéral de l'aviation civile (OFAC).			
Heures de vol	total	876:11 h	au cours des 90 derniers jours	19:41 h
	sur le type en cause	49:38 h	au cours des 90 derniers jours	2:46 h

Lieu	Aérodrome de Lausanne-Blécherette (LSGL)		
Coordonnées	---	Altitude	---
Date et heure	5 octobre 2014, 13 h 21 min		

Type de vol	Règles de vol à vue (<i>Visual flight Rules – VFR</i>), privé
Phase de vol	Atterrissage
Nature de l'accident	Perte de contrôle

Personnes blessées

Blessures	Membres d'équipage	Passagers	Nombre total de personnes à bord	Autres personnes
Mortelles	0	0	0	0
Graves	0	0	0	0
Légères	0	0	0	0
Aucune	1	0	1	Sans objet
Total	1	0	1	0

Dommages à l'aéronef Gravement endommagé

Autres dommages Aucun

1 Renseignements de base

1.1 Déroutement du vol

1.1.1 Généralités

La description des faits antécédents et du déroulement du vol se base sur les déclarations du pilote, les enregistrements de la webcam de l'aérodrome de Lausanne-La Blécherette (LSGL) ainsi que sur leurs analyses à l'aide d'une reconstitution en trois dimensions.

1.1.2 Faits antécédents

Au printemps 2009, le train d'atterrissage de l'avion HB-MIP a été modifié et équipé d'un système de freinage hydraulique.

Le 20 juin 2009, le pilote a effectué un atterrissage brutal sur l'aérodrome de Lausanne-Blécherette, endommageant ainsi fortement le train d'atterrissage, l'hélice et l'aéronef. L'avion a été réparé dans les ateliers d'une entreprise d'entretien en Suisse. Le premier vol après les réparations a eu lieu le 7 octobre 2010.

Par la suite et jusqu'à l'accident, le pilote a volé régulièrement avec le Bücker 133 Jungmeister, mais également avec un Bücker 131 Jungmann.

1.1.3 Préparation du vol

Le pilote arrive le 5 octobre 2014 vers 11 h 15 min à l'aérodrome de Lausanne-Blécherette et prépare un avis de vol. La préparation de l'avion se fait devant le hangar. Le pilote vérifie alors également le bon fonctionnement des amortisseurs du train d'atterrissage.

1.1.4 Déroutement du vol

À 12 h 52 min, l'avion Bü 133 C, immatriculé HB-MIP, décolle de la piste 36 de l'aérodrome de Lausanne-Blécherette, afin d'effectuer quelques figures de vol acrobatique dans la région de Villeneuve-Montreux. Puis le pilote retourne à l'aérodrome de départ où la piste 18 est en service. Les conditions météorologiques sont bonnes. Selon le pilote, le vent souffle du sud avec une vitesse de 5 kt environ. Le pilote vole à 3500 ft AMSL¹ vers le secteur Novembre et entreprend l'approche finale sur la piste 18. Le pilote effectue une glissade vers la gauche, lors de laquelle le nez de l'avion pointe à droite. Le pilote indique que la vitesse de vol durant cette phase était de 110 km/h environ.

L'avion termine sa glissade à une hauteur de 5 m environ alors qu'il présente un taux de descente élevé, accroissant du même coup l'angle d'incidence (cf. chapitre 1.7.3). Il touche le sol une première fois environ 10 m avant le seuil de la piste 18 avec le train d'atterrissage droit sur le revêtement dur, puis une seconde fois après 75 m environ.

Le pilote a l'impression qu'il a réalisé un atterrissage trois points tout en douceur vers le seuil de la piste et que l'avion est resté au sol après le premier contact. Dans un premier temps, après que l'avion s'est posé, le pilote ne constate rien de particulier. Avec la vitesse décroissante, l'aile s'incline toujours plus du côté droite. Simultanément, le pilote perçoit un sifflement. Puis l'aile droite touche la piste et le HB-MIP dévie sur la gauche contre le bord de la piste, où il se retourne avant de s'immobiliser sur le dos. Le pilote réussit à quitter l'avion sans être blessé. Aucun incendie ne se déclare.

¹ AMSL : *Above Mean Sea Level*, altitude au-dessus du niveau moyen de la mer

1.2 Conditions météorologiques

1.2.1 Situation générale

La Suisse se trouve entre un pont anticyclonique installé au-dessus de la France et une dépression thermique alpine. Une ancienne zone frontale séjourne juste à l'ouest de la frontière au-dessus du Jura français, des orages se développant à sa lisière.

1.2.2 Conditions météorologiques au moment où s'est déroulé l'accident

Le ciel est légèrement couvert. Des cellules orageuses s'étirent le long du Jura en direction du nord. Le vent au sol est faible, marqué par une circulation thermique locale et régionale.

Nuages	2/8 CB 3400 ft AAL ² 4/8 4400 ft AAL 4/8 21000 ft AAL
Météo	Temps sec
Visibilité	10 km ou plus
Vent	Variable, faible
Température / Point de rosée	19 °C / 13 °C
Pression atmosphérique	1015 hPa, pression réduite au niveau de la mer, calculée selon l'atmosphère standard de l'aviation civile internationale (OACI)
Dangers	Aucun

1.2.3 Données astronomiques

Position du soleil	Azimut : 180 °	Hauteur : 39 °
Conditions d'éclairage naturel	Jour	

1.3 Renseignements sur le pilote

Au moment de l'accident, le pilote avait totalisé plus de 200 h de vol sur des avions de type Bücker, qui se répartissent comme suit :

	Temps de vol total	dont au cours des 90 derniers jours	dernier vol effectué le
Bü 133 C	49:38 h	2:46 h	5 octobre 2014
Bü 131	> 150 h	5:41 h	21 août 2014

Entre 2011 et 2014, le pilote effectue avec les deux modèles de Bücker les vols suivants :

Année	Bücker 133 C Jungmeister		Bücker 131 Jungmann	
	Heures de vol	Atterrissages	Heures de vol	Atterrissages
2011	6:58 h	12 (2)	22:24 h	34
2012	4:34 h	6 (3)	14:32 h	20
2013	4:15 h	9 (3)	22:13 h	30
2014	4:21 h	8 (2)	17:21 h	23

Les chiffres entre parenthèses concernent le nombre d'atterrissages effectués avec le Bücker 133 C sur un revêtement dur.

² AAL : Above Aerodrome Level, au-dessus du niveau de l'aérodrome

1.4 Renseignements sur l'aéronef

1.4.1 Renseignements généraux

Caractéristiques	Biplan historique monoplace, de construction mixte bois et métal, entoilé, avec train d'atterrissage fixe et roulette de queue, équipé d'un moteur 7 cylindres en étoile, refroidi par air.
Constructeur	Dornier-Flugzeugwerke Altenrhein
Année de construction	1938
Numéro de série	11
Heures d'exploitation	Cellule : 2570:57 h (TSN ³) Moteur : 1077:43 h (TSN)
Masse maximale admise	Masse maximale au décollage autorisée : 615 kg
Masse et centre de gravité	Aussi bien lors du décollage qu'au moment de l'atterrissage, la masse et le centre de gravité étaient dans les limites prescrites selon le manuel de vol de l'aéronef (<i>aircraft flight manual – AFM</i>).
Vitesse minimale	110 km/h (marque rouge sur l'instrument)
Vitesse de plané	130 km/h (marque jaune sur l'instrument)
Entretien	Les derniers travaux d'entretien planifiés, soit un contrôle de 100 h et une inspection annuelle, ont été attestés le 1 ^{er} avril 2014 avec 2565:52 h.
Restrictions techniques	Aucune
Certificat d'examen de navigabilité	Échéance de la validité : 2 octobre 2016
Champ d'utilisation	VFR de jour Vol de virtuosité selon AFM

1.4.2 Train d'atterrissage du Bücker 133 C

1.4.2.1 Généralités

Le train d'atterrissage principal du Bücker 133 C est constitué de deux jambes de train à suspension (figure 1, pos. 3). Un amortisseur et un ressort de compression sont incorporés dans chaque jambe. Les deux jambes sont stabilisées par des tirants (pos. 7) et par des barres de train (pos. 4). Lors de la compression du train d'atterrissage, l'axe de fusée sur lequel est fixée la roue du train principal (pos. 1) s'insère dans le tube de protection de l'amortisseur. Cet axe de fusée est relié à son support (pos. 6) placé sous le fuselage par une articulation munie d'un boulon graisseur (pos. 5) et des barres de train (pos. 4).

Les barres du support sont vissées sur une ferrure d'attache (pos. 2) soudée sur le longeron avant de l'aile inférieure. Lorsque le train d'atterrissage est sous charge, le ressort de compression se comprime à l'intérieur du tube de protection de l'amortisseur de chaque jambe (pos. 8) et l'action du ressort est amortie par un système hydraulique à huile. La jambe de suspension et le tirant du train forment un tout, revêtu d'une enveloppe entoilée. Le train d'atterrissage est identique à celui du Bücker 131.

³ TSN: *time since new*, heures d'exploitation depuis la construction

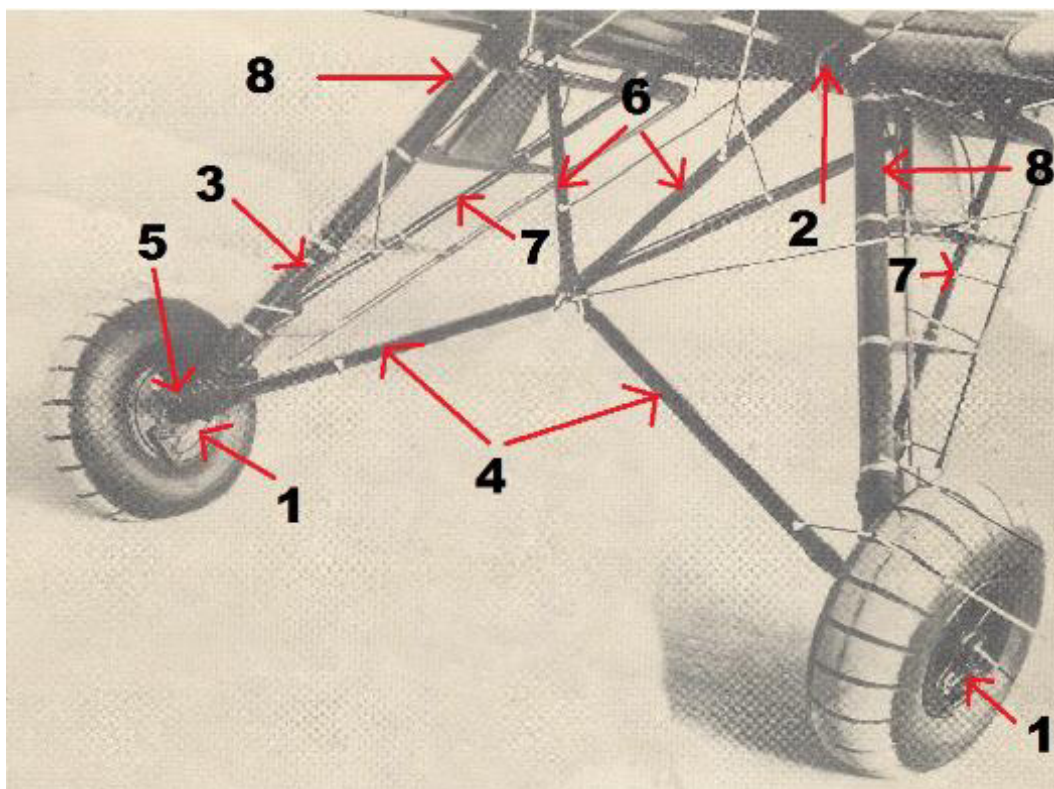


Figure 1: vue d'ensemble du train d'atterrissage

1.4.2.2 Comportement du train d'atterrissage du Bücker 133 sur des pistes en herbe ou en dur

Lorsque l'avion Bücker se pose sur la piste d'atterrissage, l'écartement du train d'atterrissage est faible au début du processus de compression et les roues sont fortement inclinées vers l'intérieur. On parle alors de carrossage. Lorsqu'il y a compression, l'écartement augmente, réduisant l'inclinaison des roues.

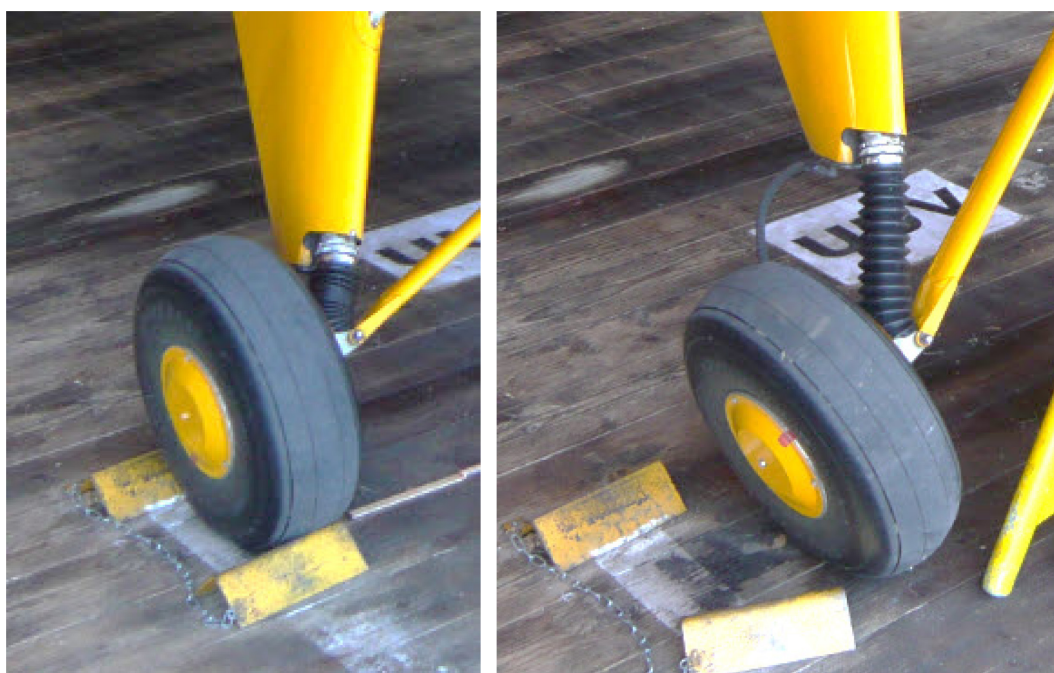


Figure 2: les photos ont été prises sur un avion comparable. À gauche, le train d'atterrissage est comprimé. À droite, position du train d'atterrissage non comprimé, sans charge.

Lorsque l'avion est au sol, l'écartement du train d'atterrissage est supérieur de presque 400 mm à l'écartement lorsque celui-ci est en vol. L'inclinaison des roues du train d'atterrissage totalement comprimé est de 6° par rapport à la verticale.

Les premiers 6 cm de la compression du train d'atterrissage sont amortis hydrauliquement, la force du ressort de compression ne déployant son effet qu'ultérieurement. L'amortissement hydraulique agit comme premier frein de la compression et atténue les oscillations. Il dépend de la vitesse de compression. Le taux de compression est élevé si cette vitesse est grande. En cas de choc, p. ex. lors d'un impact avec la piste, la force résultant de l'amortissement est extrêmement élevée, bloquant ainsi quasi totalement la compression (*hydraulic lock*). Le choc se transmet par les composants du train d'atterrissage et les points de fixation à la partie inférieure du fuselage.

La géométrie de la compression, qui dépend de la variation du carrossage et de l'écartement, est problématique lors d'atterrissages sur des pistes en dur. L'adhérence des pneus est élevée sur un revêtement en dur, ce qui empêche l'écartement de se modifier lorsque le train d'atterrissage se comprime. De plus, les pneus utilisés actuellement sont dotés d'un profil rainuré sur toute leur circonférence, ce qui constitue un obstacle supplémentaire à l'augmentation de l'écartement. À l'origine, les pneus étaient dotés de rainures croisées ou étaient sans profil.

À l'origine, les Bücker atterrirent principalement sur des pistes en herbe. Ces champs d'aviation ont disparu ces dernières années si bien que les Bücker sont toujours plus souvent utilisés également sur des pistes en dur. L'atterrissage sur des pistes en herbe sollicite nettement moins le train d'atterrissage, notamment lorsque l'avion n'est pas exactement dans l'axe de la piste au moment de se poser. C'est pourquoi, les Bücker sont le plus souvent exploités sur des pistes en herbe.

1.5 Renseignements sur l'épave, l'impact et le lieu de l'accident

1.5.1 Lieu où s'est produit l'accident et impact

Le train d'atterrissage droit s'est brisé à l'atterrissage sur la piste 18. Par la suite, l'avion s'est retourné avant de s'immobiliser sur le dos, sur le bord gauche de la piste.

1.5.2 Épave



Figure 3: position finale de l'avion gravement endommagé

1.5.3 Dommages constatés au train d'atterrissage

Les éléments suivants du train d'atterrissage présentait d'importants dégâts (cf. figure 1) :

- des traces de frottement étaient visible sur le bord extérieur de la jante de la roue droite (figure 1, pos. 1). Ce bord était fortement déformé à deux endroits;
- la ferrure d'attache (pos. 2) de la barre avant gauche du support s'était arrachée du longeron principal ;
- le tube de protection de l'amortisseur (8) de la jambe droite du train d'atterrissage était plié vers l'intérieur, arraché sur l'un des côtés et comprimé sur l'autre. Le tube était plié à environ 12 cm de sa base ;
- la fourche d'articulation de la barre de train (4) montée sur la jambe droite était très déformée ;
- le boulon de graissage de cette articulation (5) était brisé en trois parties. Il a été impossible de retrouver sur les lieux de l'accident la tête à six pans du boulon.

1.6 Examens portant sur le train d'atterrissage

1.6.1 Jante de la roue droite

La roue droite présentait deux fortes déformations sur la jante.



Figure 4: déformations aux positions 1 et 2 avec de fortes traces de frottement sur le bord extérieur de la jante de la roue droite.



Figure 5 : Déformations clairement visibles sur la jante de la roue droite.

Les deux déformations de la jante droite étaient des enfoncements dans le sens de l'axe de la roue et d'une profondeur d'environ 6 mm. Les fortes déformations indiquent que deux coups ont été donnés avec une grande force sur le bord de la jante.

1.6.2 Ferrure d'attache du longeron principal de l'aile inférieure

La ferrure d'attache était arrachée du longeron. La nature de cette cassure s'apparente à une rupture soudaine suite à une surcharge.

Ce genre de rupture indique que la barre avant gauche du support a subi une contrainte élevée telle que la ferrure d'attache s'est arrachée, processus explicable en raison des chocs violents subis par le train d'atterrissage droit.

1.6.3 Tube de protection de l'amortisseur de la jambe droite du train d'atterrissage

Le matériau du tube est un acier à haute résistance. L'analyse du point de rupture montre qu'il s'agit d'une rupture ductile.

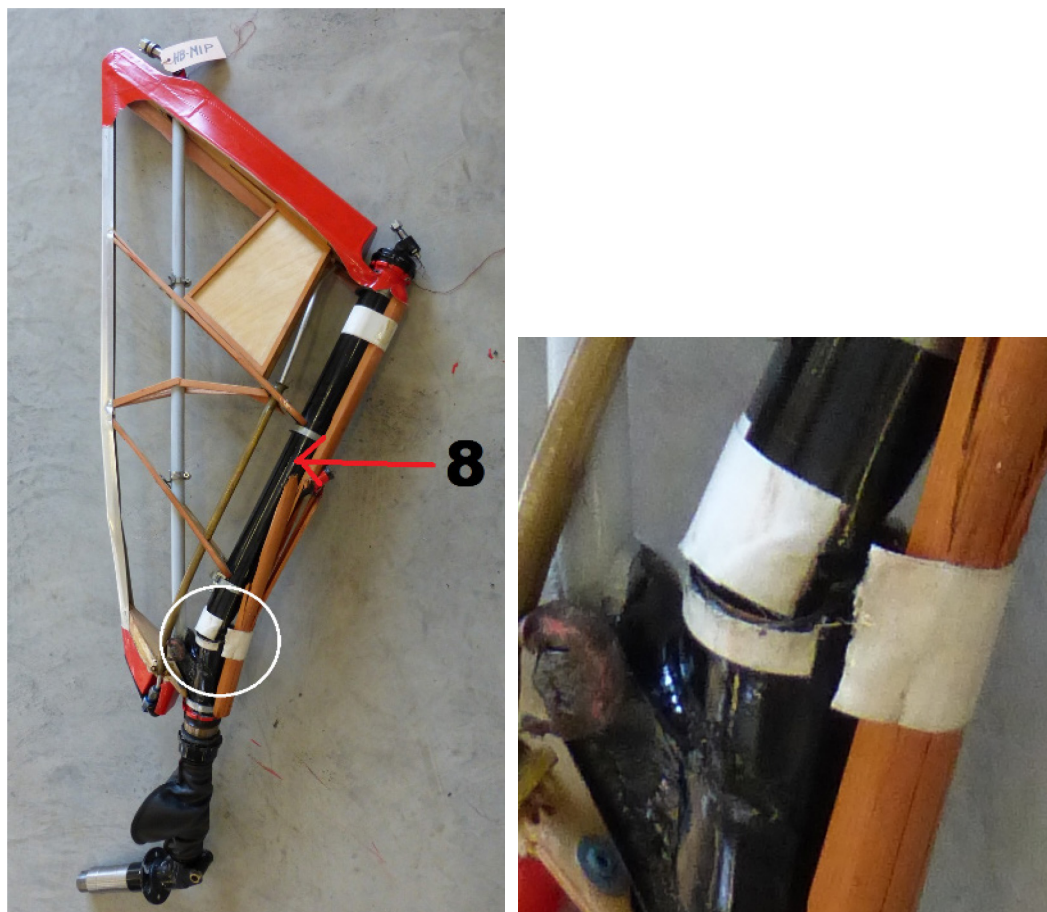


Figure 5: l'image de gauche montre le point de rupture (cercle blanc) sur le tube de protection de l'amortisseur (8) de la jambe de train droite. L'image de droite montre des détails de la rupture.

Le tube de protection de l'amortisseur de la jambe de train droite n'a pas supporté les fortes charges lors du choc et s'est brisé. Le pliage puis la rupture du tube qui s'en est suivie sont intervenus alors que le train d'atterrissage n'était pas comprimé. L'extrémité du piston de l'amortisseur hydraulique, logé dans le tube de protection de l'amortisseur, a alors été déformée.

1.6.4 Fourche d'articulation de la barre droite du train d'atterrissage

La fourche d'articulation de la barre droite du train d'atterrissage a subi une forte déformation plastique.

La nature de la déformation permet d'envisager qu'il y a eu une sollicitation en compression excessive et d'une torsion, après que la jambe de suspension droite se soit pliée.

Les déformations plastiques au niveau du point de fixation du support le confirment.

1.6.5 Boulon de graissage

Le boulon de graissage cassé est en fait une reproduction de la pièce originale.

Ce boulon était rompu au milieu, au niveau de l'orifice de graissage perpendiculaire à l'axe du boulon. Il a été impossible de retrouver sur les lieux de l'accident sa tête à six pans.



Figure 6: boulon de graissage rompu de la jambe de suspension droite ainsi que le boulon de graissage déformé de la jambe de suspension gauche.

Les surfaces de rupture ont été examinées à l'aide d'un microscope électronique à balayage (MEB).

La cassure au niveau de l'orifice de graissage perpendiculaire à l'axe du boulon peut être qualifiée de rupture ductile. Une petite fissure due à la fatigue du matériau a été constatée au niveau de cette cassure, n'ayant cependant aucune incidence sur la cassure soudaine. Les orifices et le filetage prévu pour le montage du graisseur présentaient en revanche des surfaces travaillées très grossièrement. Il faut dès lors s'attendre à un effet d'entaille élevé.

La surface de rupture au niveau de la tête à six pans arrachée présente aussi bien une zone de rupture par traction qu'une zone de rupture par cisaillement. La cassure a dû se produire en deux temps. Dans les deux zones, il s'agit d'une rupture ductile. Aucune fatigue n'a pu être décelée.

Les dimensions du boulon graisseur reproduit correspondent à celles mentionnées sur les plans de 1936. Selon le fournisseur de ce boulon, il a été produit en acier trempé de qualité 42CrMoS4⁴ qui a été examiné. La teneur en carbone et la résistance à la rupture correspondent tout juste aux valeurs de référence du 42CrMoS4. La teneur en soufre se monte à 0.023 % et se situe dans les valeurs limites autorisées de 0.020 % à 0.040 %.

Lorsque la teneur en soufre est supérieure à 0.015 %, cet acier est très sensible aux chocs.

Le matériau aéronautique (*Flieg-Werkstoff*) désigné en 1936 par le constructeur de l'avion n'est plus disponible. La composition chimique de ce matériau s'écarte de celle du 42CrMoS4. La résistance à la rupture est cependant comparable. La teneur en soufre maximale autorisée dans le matériau d'origine ne devait pas être supérieure à 0,015 %.

La forme originale du boulon graisseur définie en 1936 était sensible aux chocs.

⁴ L'acier trempé 42CrMoS4 est un alliage d'acier au chrome-molybdène.

1.7 Reconstitution en trois dimensions du déroulement de l'accident

1.7.1 Documentation de base

La documentation de base pour la reconstitution en trois dimensions (3D) comprend les éléments suivants :

- les images (*frames*) enregistrées par le système de webcam de l'aérodrome de Lausanne-Blécherette lors de l'approche et de l'accident subséquent ;
- des images laser en 3D de l'avion Bücker 133 C ;
- des images laser en 3D du train d'atterrissage du Bücker, avec ou sans charge ;
- un scanner en 3D de l'aire de l'aérodrome ;
- un plan de situation de la piste avec marquages de la zone de l'accident.

1.7.2 Déroulement de la reconstitution en 3D

La webcam fixe installée sur l'aérodrome a livré une séquence vidéo de la dernière partie de l'approche, de l'atterrissage et de l'accident de l'avion qui s'en est suivi. 84 images tirées de cette séquence ont pu être analysées. En raison d'une résolution insuffisante, il n'a été possible de reconstituer l'approche qu'à partir de l'image 41, soit sept secondes avant que l'avion touche pour la première fois le sol.

Un plan en 3D a été élaboré pour chacune des 17 images restantes, laissant apparaître en 3D à chaque fois la position de l'avion, ainsi que sa hauteur et sa distance par rapport au seuil de la piste 18. À l'aide de l'heure indiquée sur chaque image et de la distance parcourue obtenue image par image, il a été possible d'estimer une vitesse sol moyenne pour la dernière partie de l'approche.

L'annexe 1 renseigne sur le premier contact avec le sol. L'annexe 2 montre le déroulement subséquent de l'atterrissage.

1.7.3 Résultats fournis par la reconstitution en 3D

La reconstitution en 3D a fourni en substance les résultats suivants :

- la vitesse par rapport au sol lors de la phase finale d'approche se situait entre 100 à 105 km/h ;
- lors de la phase finale de l'approche, l'avion se trouvait dans une glissade gauche avec le nez de l'appareil à droite ;
- l'avion a achevé sa glissade à 5 m du sol avec un taux de descente élevé, à 4 sec et 115 m de distance du seuil de la piste avant le premier contact avec le sol ;
- l'angle d'incidence a alors augmenté lors du rétablissement ;
- l'avion a touché le sol une première fois avec le train d'atterrissage droit, à environ 10 m avant le seuil de la piste sur le revêtement dur ;
- il a touché le sol une seconde fois après 75 m environ.

1.8 Renseignements supplémentaires

1.8.1 Comparaison entre le Bücker 133 Jungmeister et le Bücker 131 Jungmann

	Bücker 133 Jungmeister (type accidenté)	Bücker 131 Jungmann
Vitesse minimale	110 km/h	95 km/h
Vitesse d'approche	125-130 km/h	110-120 km/h
Vitesse maximale horizontale	210 km/h	185 km/h
Envergure	6.60 m	7.40 m
Longueur	6.00 m	6.60 m
Surface alaire	12.00 m ²	13.50 m ²
Poids à vide (dépend de l'équipement)	450 kg environ	450 kg environ
Équipage	1	2
Train d'atterrissage	La construction du train d'atterrissage est identique sur les deux types d'avion	

1.8.2 La glissade

Lors de l'approche finale, la glissade (en anglais *slip*, en allemand *Seitengleitflug*) est utilisée pour augmenter la vitesse de descente sans accroître celle de vol, p. ex. lors d'un vol d'approche avec une composante de vent latéral très marquée, mais aussi sans vent latéral pour perdre rapidement de l'altitude. Il s'agit d'une position de vol stable et entièrement contrôlable avec tous les avions que l'on peut piloter de manière aérodynamique selon trois axes (donc avec gouvernes). Ce faisant, on utilise sciemment le vol glissé, normalement pas souhaité. L'avion n'évolue plus le long de son axe longitudinal, mais volontairement « de travers », étant ainsi freiné par la résistance à l'air nettement plus élevée.

Souvent, en raison des mauvaises conditions de visibilité vers l'avant, l'approche avec le Bücker s'effectue en glissade afin de mieux observer la piste.

La théorie aéronautique nous apprend que l'empennage horizontal perd une partie de son efficacité lors d'une glissade en raison de l'écoulement latéral de l'air sur la gouverne de direction et du fait du débattement important de la gouverne de direction. Cela induit que, une fois la glissade entamée, l'assiette de l'avion devient à piquer. C'est pourquoi il faut tirer sur la gouverne de profondeur. Terminer la glissade implique donc de pousser d'abord sur la gouverne de profondeur. Si l'on achève la glissade sans réduire l'angle d'incidence, l'assiette de vol devient trop cabrée, permettant un éventuel décrochage subséquent. Il est recommandé d'achever la glissade en approche finale à environ 30 m au-dessus du point d'atterrissage et à environ 300 m avant le seuil de piste.

2 Analyse

2.1 Aspects techniques

2.1.1 Généralités

Rien n'indique l'existence de défaillances techniques préalables susceptibles d'avoir été à l'origine de l'accident ou d'en avoir influencé le déroulement.

2.1.2 Analyse des dommages constatés au train d'atterrissage

2.1.2.1 Résumé des résultats des ruptures

Les analyses techniques effectuées sur les matériaux ne fournissent aucun élément permettant de conclure à des ruptures préexistantes liées à la fatigue, qui auraient entraîné la rupture du boulon graisseur, plus spécifiquement du tube de protection de l'amortisseur. Concernant toutes les cassures constatées, il s'agit de ruptures ductiles liées à une sollicitation excessive.

La forme choisie du boulon graisseur, le choix du matériau et la finition négligée de la surface des orifices et du filetage sont considérés comme critiques du point de vue de la mécanique de la rupture.

2.1.2.2 Déformations sur le bord extérieur de la jante de la roue droite

Les fortes déformations de la jante de la roue droite laissent supposer deux chocs violents sur la bord de la jante, qui ont entraîné des charges élevées sur le train d'atterrissage droit lors de l'atterrissage (cf. chapitre 1.6).

En raison des déformations de la jante et de la pièce arrachée de fixation du support, on peut supposer que le tube de protection de l'amortisseur et le dispositif d'amortissement du train d'atterrissage droit, non comprimé au moment du contact avec le sol, ont été tellement endommagés que le tout s'est déformé vers l'intérieur.

Le choc violent lors de l'impact a répercuté une sollicitation similaire sur le dispositif d'amortissement. Ainsi, la compression a été presque totalement bloquée (*hydraulic lock*). Le choc s'est alors transmis sur les composants du train d'atterrissage et sur les ferrures d'attache à la partie inférieure du fuselage. Les dommages observés confirment ce constat.

2.2 Aspects opérationnels et humains

2.2.1 Analyse des résultats fournis par la reconstitution en 3D

La vitesse par rapport au sol lors de la phase finale d'approche se situait entre 100 à 105 km/h, étant donc dans les limites de la vitesse minimale de 110 km/h. Le pilote a indiqué que cette valeur correspondait à sa vitesse d'approche. Le choix de cette vitesse était trop bas.

L'avion a achevé sa glissade à 5 m du sol, à 4 sec avant le premier contact avec le sol et à 115 m de distance du seuil de la piste, présentant un taux de descente élevé. L'angle d'incidence s'est alors ouvert.

L'instruction aéronautique recommande d'achever la glissade en approche finale à 30 m environ au-dessus du point d'atterrissage et à 300 m environ avant le seuil de piste. Il faut donc toujours commencer par pousser sur la gouverne de profondeur. Achever la glissade sans réduire l'angle d'incidence peut induire une assiette de vol trop cabrée qui peut entraîner un décrochage. Du fait d'une hauteur de vol trop faible, il n'était dans le cas présent plus possible de réduire l'angle d'incidence.

Ce facteur combiné à une vitesse d'approche trop basse a vraisemblablement provoqué un décrochage. Suite à cette perte de contrôle, l'avion s'est posé durement avant le seuil de piste, ce qui a induit une surcharge du train d'atterrissage.

2.2.2 Vitesse d'approche et vitesse minimale des Bücker 133 et Bücker 131

Le pilote volait régulièrement avec les deux types d'avion Bücker 133 Jungmeister et Bücker 131 Jungmann. La composition du nombre d'heures de vol annuelles laisse apparaître qu'il volait le plus souvent avec le Bücker 131.

Les deux types de Bücker se différencient énormément concernant les vitesses d'approche et minimale :

	Bücker 133 Jungmeister	Bücker 131 Jungmann
Vitesse d'approche	125-130 km/h	110-120 km/h
Vitesse minimale	110 km/h	95 km/h

Il se peut que le pilote ait confondu les vitesses.

3 Conclusions

3.1 Faits établis

3.1.1 Aspects techniques

- L'avion était admis au trafic VFR de jour, y compris pour l'acrobatie aérienne.
- Aussi bien la masse que le centre de gravité étaient dans les limites prescrites selon le manuel de vol de l'aéronef.
- Rien n'indique l'existence de défaillances techniques préalables susceptibles d'avoir été à l'origine de l'accident ou d'en avoir influencé le déroulement.
- Les dégâts au train d'atterrissage sont dus à l'atterrissage dur.
- Le boulon de graissage qui reliait l'extrémité de la barre du train d'atterrissage droit avec l'axe de fusée de la roue droite s'est brisé en trois parties.
- La forme choisie du boulon de graissage, le choix du matériau et la finition négligée de la surface des orifices et du filetage sont critiques du point de vue de la mécanique de la rupture.

3.1.2 Equipage

- Le pilote était en possession des licences nécessaires pour le vol.
- Jusqu'à l'accident, le pilote a volé régulièrement le Bücker 133 Jungmeister, mais davantage le Bücker 131 Jungmann.
- Le pilote a effectué le 20 juin 2009 un atterrissage dur avec le Bücker 133 à l'aérodrome de Lausanne-Blécherette, endommageant de la sorte fortement le train d'atterrissage, l'hélice et l'avion.

3.1.3 Déroulement du vol

- Le pilote a procédé à une approche sur la piste 18 avec une glissade, lors de laquelle le nez de l'avion pointait vers la droite.
- Le pilote a indiqué que la vitesse de vol durant l'approche était de 110 km/h environ.
- L'avion a achevé sa glissade à 5 m au-dessus du sol, à 4 sec avant le premier contact avec le sol et à 115 m de distance du seuil de la piste.
- Le taux de descente au moment d'achever la glissade était élevé.
- L'angle d'incidence a alors augmenté lors du rétablissement.
- L'avion a touché le sol une première fois 10 m avant le seuil de la piste 18 avec le train d'atterrissage droit sur le revêtement dur, puis une seconde fois après 75 m environ.
- Le train d'atterrissage droit s'est brisé lors de l'atterrissage. Puis, l'avion s'est retourné avant de s'immobiliser sur le dos vers le bord gauche de la piste.

3.1.4 Conditions cadres

- Le vent au sol était faible, marqué par une circulation thermique locale et régionale.
- Au printemps 2009, le train d'atterrissage de l'avion HB-MIP a été modifié et équipé d'un système de freinage hydraulique.
- Les deux types de Bücker se différencient énormément concernant les vitesses d'approche et minimale.

3.2 Causes

Dans le but d'accomplir sa mission de prévention, tout service d'enquête de sécurité doit se prononcer sur les risques et les dangers qui ont impacté l'incident examiné et doivent être évités à l'avenir. Les termes et formules utilisés ci-après s'entendent donc exclusivement dans une perspective préventive. La désignation des causes et facteurs ayant contribué à un accident n'implique aucune attribution de faute ni détermination de la responsabilité administrative, civile ou pénale.

L'accident est dû à un atterrissage dur suite à une perte de contrôle, provoquant la rupture du train d'atterrissage et le retournement de l'avion.

Les facteurs suivants ont directement contribué à l'accident :

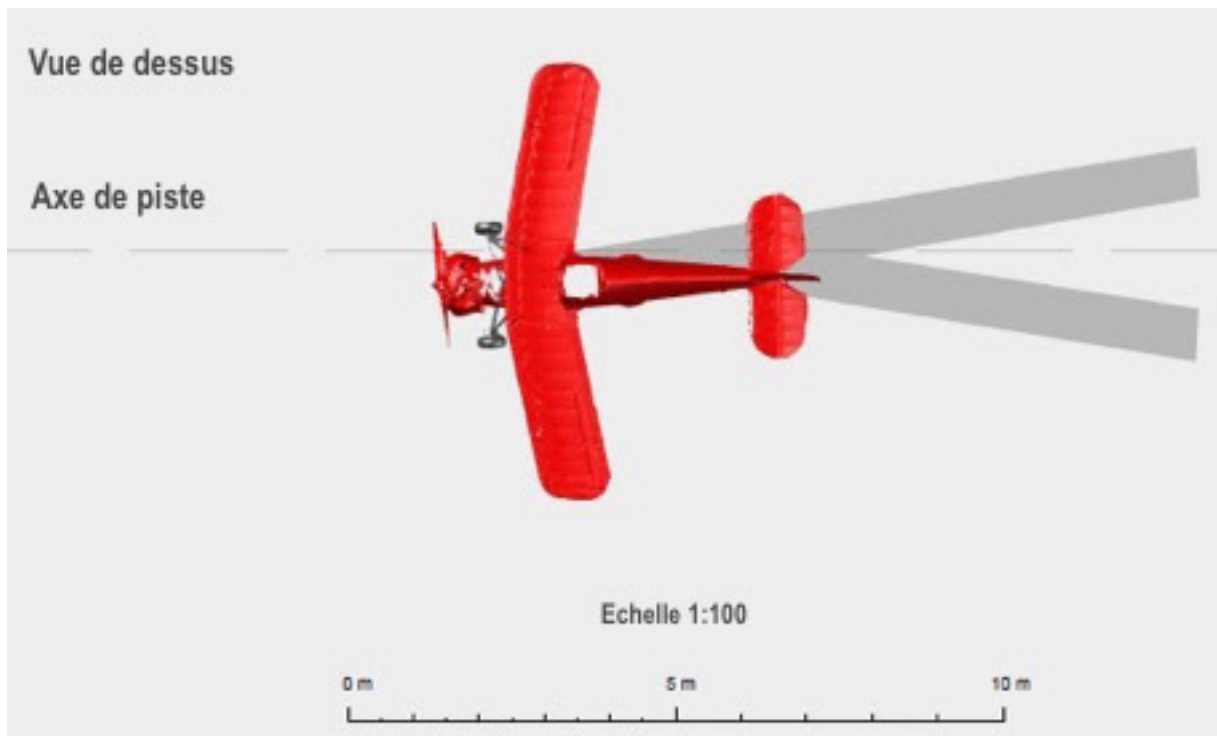
- vitesse d'approche trop faible ;
- glissade achevée trop tardivement.

- 4 Recommandations de sécurité, avis concernant la sécurité et mesures prises après l'accident**
- 4.1 Recommandations de sécurité**
Aucune
- 4.2 Avis concernant la sécurité**
Aucun
- 4.3 Mesures prises après l'accident**
Aucune

Ce rapport final a été approuvé par la commission du Service suisse d'enquête de sécurité SESE (art. 10 lit. h de l'Ordonnance sur les enquêtes de sécurité en cas d'incident dans le domaine des transports du 17 décembre 2014).

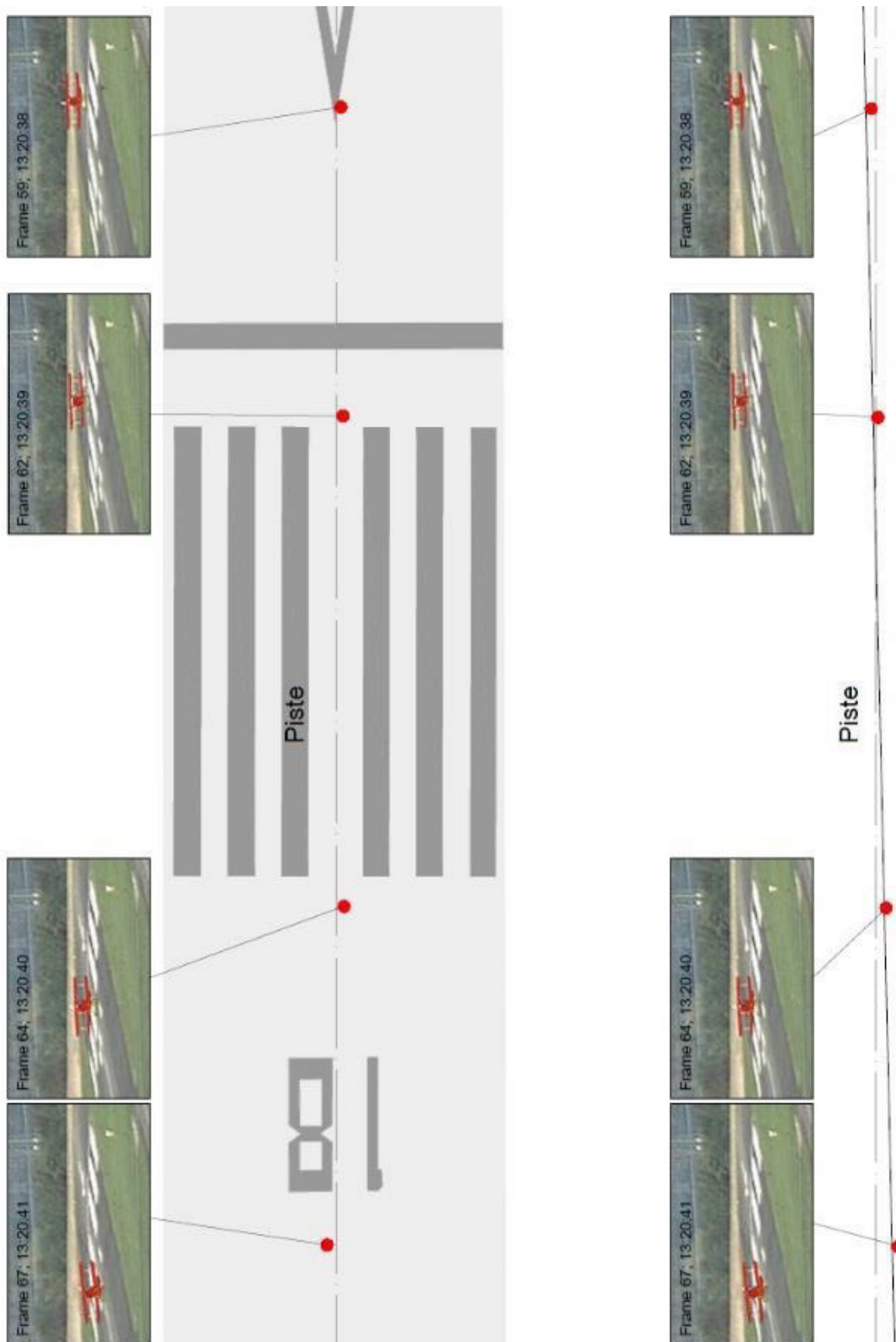
Berne, 2 mai 2023

Service suisse d'enquête de sécurité

Annexe 1 : Illustration tirée de la reconstitution en 3D - image 59, premier contact avec le sol**Vue de profil****Vue de face**

Le train d'atterrissage dessiné en jaune est non comprimé, donc sans charge. Le train d'atterrissage dessiné en noir est comprimé. La sphère rouge est un point de référence relative à l'avion dans le cadre de la reconstruction en 3D.

Annexe 2 : Illustration tirée de la reconstitution en 3D - extraits du plan et la coupe longitudinale



Sur la coupe longitudinale, on peut voir la ligne étirée de la pente effective de la piste par rapport à l'horizontale représentée en pointillés.