



Accident survenu à l'autogire MAGNI - M16 Tandem Trainer
identifié **21AGP**
le 2 mars 2022
à Vaux-Saules (21)

Heure	Vers 10 h 05 ¹
Exploitant	Aéroclub de la Côte d'Or
Nature du vol	Vol local
Personne à bord	Pilote
Conséquences et dommages	Pilote décédé, autogire détruit

Rupture d'un élément de la chaîne de commandes du rotor, impact d'une pale de rotor avec le poste de pilotage

1 DÉROULEMENT DU VOL

Note : Les informations suivantes sont principalement issues des témoignages et des données radar.

Le pilote décolle de l'aérodrome de Dijon-Darois (21), peu avant 10 h, pour un vol local.

Il vole en ligne droite en direction du nord-est, à une altitude d'environ 2 750 ft.

Vers 10 h 05, un témoin, situé à proximité du hameau de Cheneroilles², entend passer l'ULM, puis entend un bruit qu'il identifie comme celui d'un accident et avertit les autorités. Après des recherches réalisées par hélicoptère et par deux aéronefs de l'aéroclub, l'épave de l'autogire est localisée vers 13 h dans une zone boisée sur la commune de Vaux-Saules.

2 RENSEIGNEMENTS COMPLÉMENTAIRES

2.1 Autogire

2.1.1 Généralités

Le Magni M16 Tandem Trainer est un autogire biplace. Selon Magni Gyro, environ 1 500 autogires Magni ont été produits.

Le 21AGP était équipé d'un moteur Rotax 914UL et d'une hélice tripale Arplast Ecoprop.

Le sens de rotation du rotor principal est tel que la pale à droite avance (rotation antihoraire).

Il avait été mis en service en 2011 par l'un des membres du club puis avait été vendu en décembre 2018 à l'aéroclub alors qu'il totalisait environ 250 heures de vol.

¹ Sauf précision contraire, les heures figurant dans ce rapport sont exprimées en heure locale.

² Le hameau de Cheneroilles est situé à près d'un kilomètre du site de l'épave.

Le jour de l'accident, le 21AGP totalisait 545 heures de vol.

Le 21AGP était modifié et équipé d'une verrière intégrale³. Magni Gyro a indiqué au BEA qu'il ne recommandait pas ce type de modification, car, après des essais en vue de la mise en place d'un équipement similaire, il avait été constaté que ce type de verrière a une influence sur la stabilité latérale de l'autogire. Il n'a pas été possible d'établir un lien entre la présence de la verrière intégrale et l'accident.

2.1.2 Examen du site et de l'épave

L'épave a été retrouvée dans une zone boisée.

Les recherches effectuées sur site autour de l'épave principale ont permis de retrouver plusieurs éléments, comme indiqué sur la **Figure 1**. Les éléments de la partie avant droite de la cabine ont été retrouvés à environ 50 m de l'épave principale.

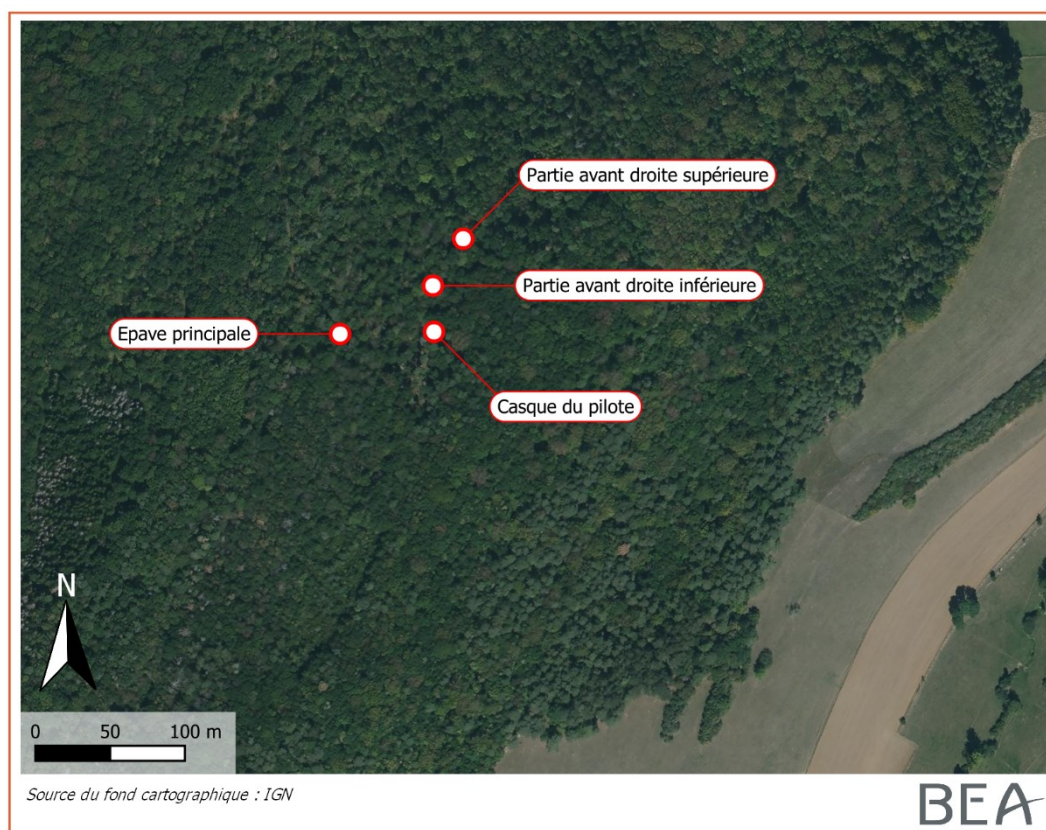


Figure 1 : répartition des débris

Sur l'épave principale, des traces caractéristiques d'impacts ont été observées sur le bord d'attaque de l'une des pales du rotor, encore solidaire de l'assemblage. L'étendue longitudinale de la zone d'impact sur la pale correspond, lorsque l'on positionne cette pale en regard de la cabine, à l'emplacement des éléments retrouvés à distance de l'épave principale. Ces observations ont permis de conclure à l'impact en vol de la pale du rotor avec la partie avant droite de l'autogire, ainsi qu'avec le corps du pilote.

³ En fonction des saisons, la verrière était installée ou enlevée. Sa dernière mise en place datait de novembre 2021.

L'examen de la chaîne de commande du rotor a mis en évidence plusieurs ruptures au niveau de la fourche de commande du rotor, ainsi que des endommagements au niveau de la liaison fixe entre la fourche de commande du rotor et le rotor. Ces endommagements permettaient probablement un mouvement relatif de l'axe de liaison entre le rotor et la fourche de commande, non prévu dans la cinématique de l'ensemble. L'ensemble du mécanisme incluant la tête rotor et la fourche de commande ont été transportés au BEA pour des examens complémentaires (voir § 2.1.3).

Le reste de l'examen de l'épave n'a pas mis en évidence un autre endommagement préalable à la collision de l'autogire avec le sol.

L'examen du groupe motopropulseur n'a pas conduit à des observations particulières. Le moteur était associé à deux calculateurs, un TCU (*Turbo Charger Unit*) et un Flydat. Les données présentes dans les mémoires internes de ces calculateurs ont été lues par le BEA et partagées avec Rotax et Magni Gyro. L'analyse de ces données montre que le moteur a fonctionné nominalement jusqu'à l'impact de la pale rotor avec la cellule.

2.1.3 Examens de la tête rotor et de la fourche de commande

2.1.3.1 Description des éléments examinés

Les examens ont porté sur les pièces suivantes (la liste mentionne leur référence sur la **Figure 2**) :

- fourche (élément de transmission des commandes de position du manche vers le rotor, référence n°13) ;
- roue dentée (couronne d'entraînement du rotor, référence n°37) ;
- goupille conique (référence n°14) et boulon (référence n°52) assurant la fixation entre la fourche et le pivot carré (référence n°32) ;
- pivot vertical (référence n°31).

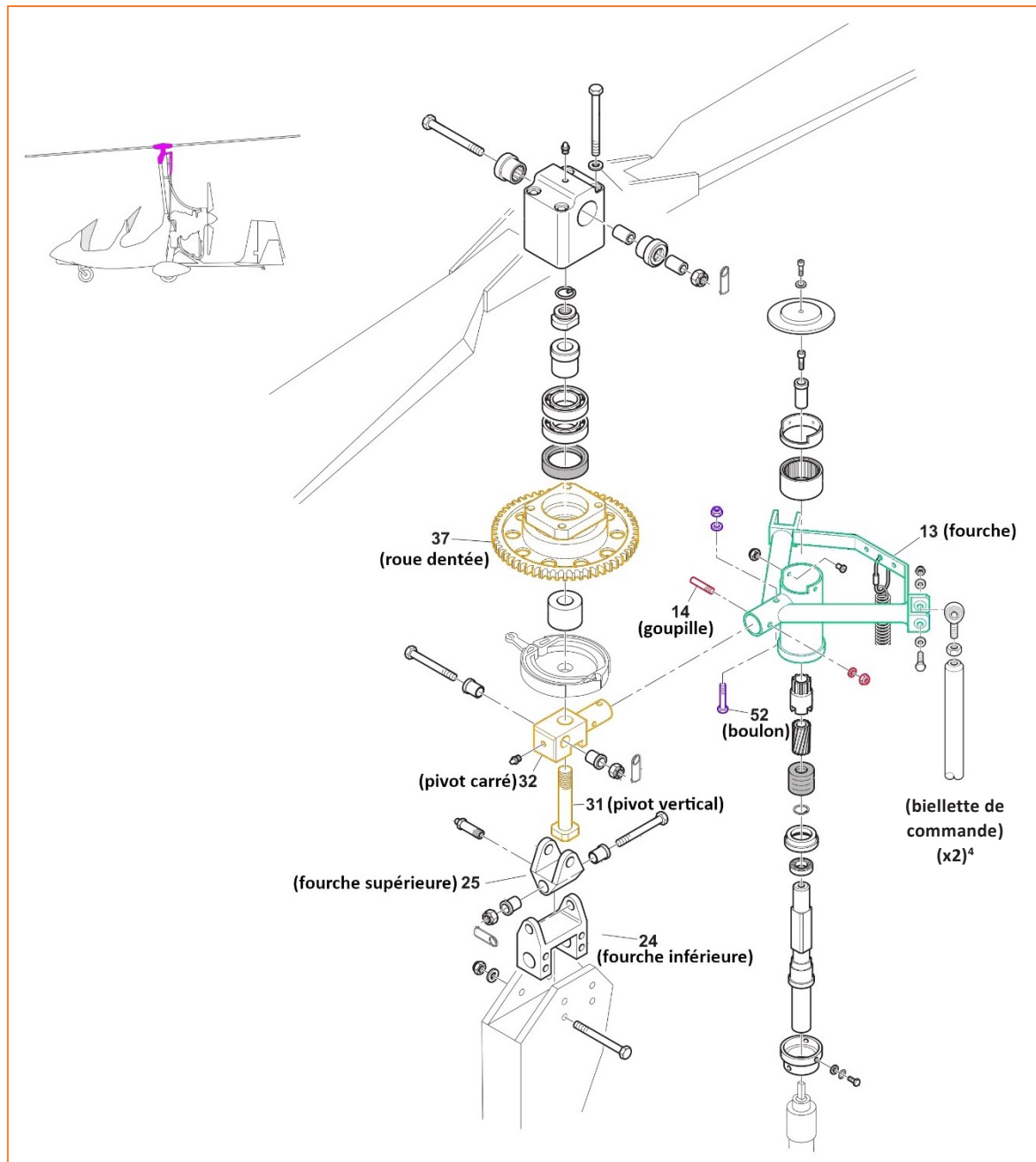


Figure 2 : schéma de montage du rotor (Source : Magni Gyro – annoté par le BEA)

Fonctionnellement, les mouvements du pilote sur le manche sont transmis à la fourche (13) par un ensemble de biellettes⁴. Les mouvements de cette fourche sont ensuite transmis au pivot carré (32) par une liaison fixe avec la fourche (13). Cette liaison fixe est assurée par la goupille (14) et le boulon (52). Le pivot carré est fixé au rotor. La mobilité du rotor par rapport au mât rotor est assurée par les fourches supérieures (25) et inférieures (24). La roue dentée (37), dont la fonction est de prélaner le rotor avant le décollage, est solidaire du rotor.

⁴ Une seule biellette est reportée sur la **Figure 2** – une biellette équivalente est connectée symétriquement, par l'intermédiaire d'une rotule, à l'autre extrémité de la fourche (13).

2.1.3.2 Observations réalisées

Lors du démontage, il est observé que la goupille conique (14) est toujours en place, mais l'une de ses extrémités a creusé une tranchée dans l'axe horizontal de la fourche (13) sur environ un quart de la circonférence de cette dernière (voir **Figure 3**). Son autre extrémité est cassée à l'intérieur de son logement : la surface rompue est située à l'interface entre le tube de fourche et le tube du pivot carré.⁵

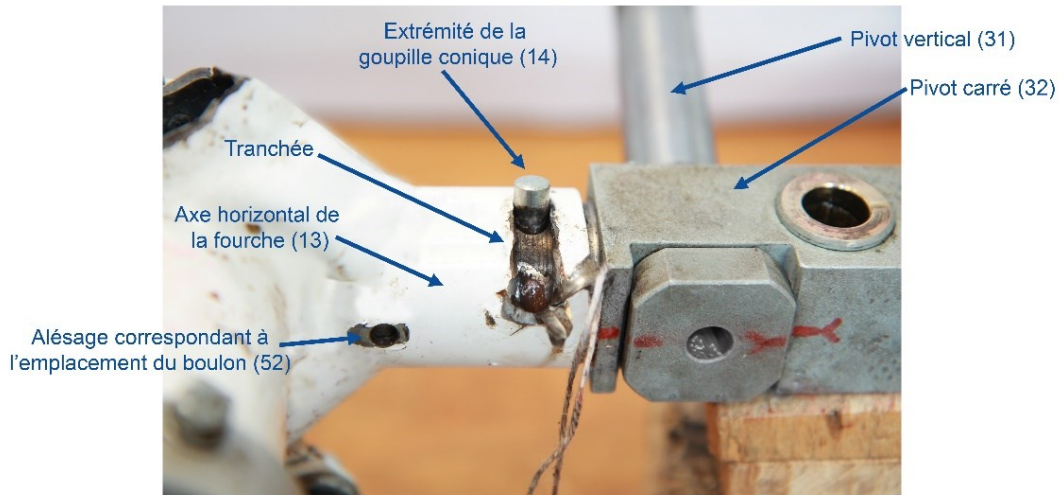


Figure 3 : tranchée creusée par la goupille (14) dans la fourche (13) (vue côté droit et en dessous)⁶

Le boulon (52) est présent à l'intérieur de son alésage, rompu à ses deux extrémités⁷. Après démontage et découpage, il est constaté que les surfaces rompues sont situées à l'interface entre le tube horizontal de la fourche et le tube du pivot carré.

Ces endommagements, ainsi que les traces constatées sur les différentes pièces (orientation des rayures sur les zones de contact entre pièces qui devraient être fixes, ovalisation des alésages), mettent en évidence des mouvements de rotation entre l'axe tubulaire du pivot carré (32) et le tube de la fourche (13). Il est ainsi possible de réaliser une rotation de la fourche (13) autour de la partie tubulaire du pivot carré (32) en laboratoire : lorsque, au moyen de cette rotation, la goupille conique (14) est positionnée en fin de la zone de la tranchée sur la fourche (13), la roue dentée (37) entre en contact avec le bras droit et avec le tube vertical de la fourche (ces zones de contact sont mises en évidence sur la **Figure 4**).

⁵ Une partie de la goupille est absente et n'a pas été retrouvée sur le site de l'accident.

⁶ Photographie traitée numériquement par le BEA pour faciliter l'observation de l'endommagement.

⁷ Ces extrémités n'ont pas été retrouvées sur le site de l'accident.



Figure 4 : rupture du bras droit et endommagement du tube vertical de la fourche (vue de dessus)

La roue dentée présente des marques sur les flancs et les sommets de toutes ses dents (voir **Figure 5**). Ces marques et les dépôts métalliques incrustés qui sont observés sont cohérents avec des contacts répétés entre les dents de la roue en rotation et la fourche.

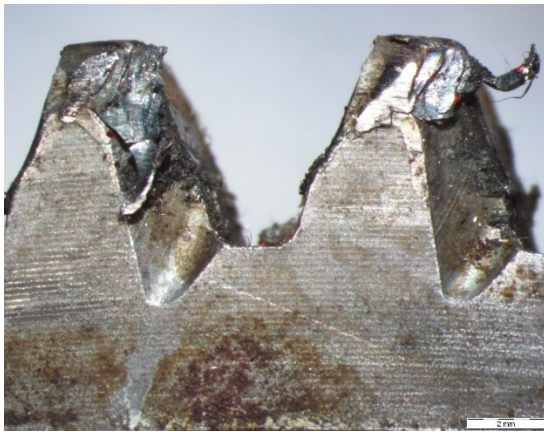


Figure 5 : vues détaillées des dommages sur les dents de la roue dentée

2.1.4 Programme d'entretien du Magni M16

L'entretien du Magni M16 est décrit dans le manuel d'entretien et dans le programme d'entretien⁸.

L'examen des différentes actions d'entretien décrites dans le manuel montre qu'aucune action de maintenance prévue par le constructeur ne nécessite d'intervention sur le boulon (52) ou la goupille (14).

En particulier, dans le cas de la révision complète de l'assemblage de la tête de rotor prévue à l'entretien des 500 heures, l'assemblage entre le pivot carré (31) et la fourche (13) n'est pas démonté et le boulon (52) ou la goupille (14) ne sont donc pas desserrés.

2.1.5 Vérifications prévol

Les vérifications avant vol décrites dans le manuel comprennent des vérifications visuelles au niveau du rotor et de la chaîne de commande. L'attention est attirée, pour la partie rotor, sur la fixation des écrous du rotor et des épingles de sécurité associées, sur l'ensemble tête de rotor et le moyeu d'assemblage pour y détecter des fissures, des dommages, de l'usure, de la corrosion et des

⁸ Le programme d'entretien décrit la liste des tâches d'entretien programmé et les intervalles d'inspection recommandés par le constructeur pour maintenir la navigabilité de l'autogire. Le manuel d'entretien fournit des procédures d'entretien détaillées pour des actions d'entretien programmées et non programmées.

frottements, sur l'état de la roue dentée, et pour la partie chaîne de commande, sur les tiges de commande, les tringleries, les roulements et les écrous. Aucune mention particulière n'est faite de la liaison entre le rotor et la chaîne de commandes.



Figure 6 : points de vérification prévus sur le rotor et la partie haute de la chaîne de commandes d'un Magni M16

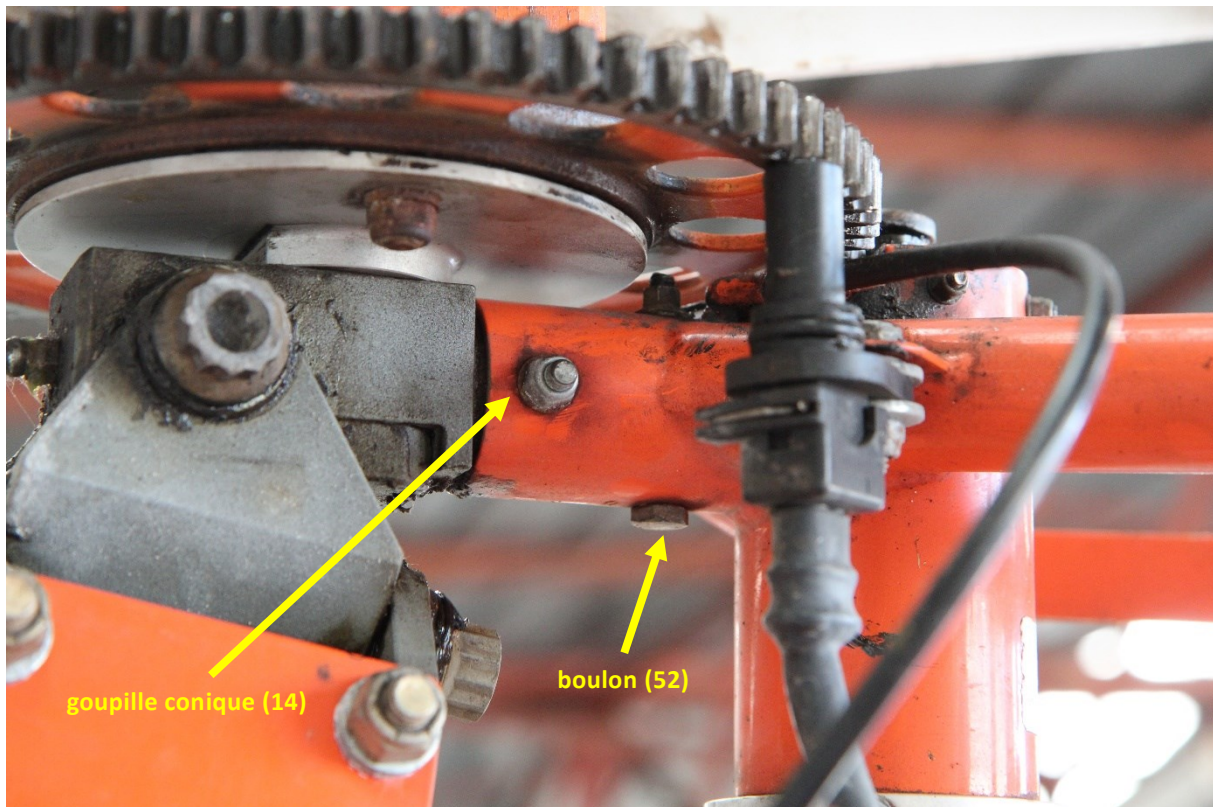


Figure 7 : vue rapprochée du boulon (52) et de la goupille (14) sur un Magni M16

Un examen réalisé par le BEA sur un autre Magni M16 a permis de constater que la vérification visuelle de la partie supérieure du boulon 52 et l'écrou-rondelle associé est rendue difficile en raison de la présence de la roue dentée à proximité. L'utilisation d'un escabeau, recommandé pour la visite prévol par Magni Gyro dans le manuel, est indispensable.

2.1.6 Entretien effectué sur le 21AGP

Depuis l'achat de l'aéronef, les mécaniciens de l'aéroclub effectuaient les actions d'entretien simples. Les actions complexes, et en particulier les interventions sur l'ensemble rotor et les liaisons avec la chaîne de commandes, étaient sous-traitées à un atelier agréé par Magni Gyro.

L'aéroclub a fourni l'historique de maintenance depuis l'achat du 21AGP. L'examen de cet historique montre que l'entretien était effectué de manière régulière.

La seule tâche de maintenance répertoriée concernant la tête rotor ou les liaisons de celui-ci avec la chaîne de commandes était la visite des 500 heures, réalisée à 420 h en janvier 2020.

La visite des 500 heures prévoit le remplacement des rotules de la chaîne de commandes de vol et la révision complète de l'assemblage de la tête de rotor. Cette révision n'inclut aucune intervention au niveau de la liaison entre le pivot carré et le tube de fourche.

Les mécaniciens qui ont réalisé la visite des 500 heures sur le 21AGP ont indiqué ne pas être intervenus sur les boulons incriminés.

2.2 Informations sur le pilote

Le pilote, âgé de 60 ans, était un pilote de ligne, commandant de bord, à la retraite. Il était titulaire d'une licence ATPL(A), avec les qualifications SEP(T) et instructeur de vol (avion) en cours de validité, et d'une licence de pilote d'ULM, avec les qualifications multiaxes et autogire.

Il avait obtenu la licence ULM avec la qualification multiaxes en 2005 et la qualification autogire en janvier 2019.

Son expérience totale sur autogire était de 74 heures, toutes effectuées sur le 21AGP. Dans les 30 derniers jours, il avait réalisé huit vols sur le 21AGP, totalisant près de trois heures de vol. L'examen de son carnet de vol montre qu'il volait régulièrement et qu'il réalisait au moins une fois par mois un vol avec un instructeur.

L'examen post-mortem du corps du pilote n'a pas permis de conclure quant à l'éventualité d'un facteur médical qui aurait pu contribuer à l'accident.

2.3 Renseignements météorologiques

Les conditions météorologiques sur la région étaient anticycloniques (QNH 1022 hPa), sans nuages bas et une visibilité proche de 10 km.

Les conditions de vent estimées sur la zone à l'heure de l'accident sont les suivantes :

Hauteur sol	Vent
200 à 250 m	sud à sud-ouest, 20 kt
300 m	sud-ouest, 15 kt

Météo-France a réalisé une étude portant sur la zone de l'accident, sur la base des conditions météorologiques et des reliefs, pour déterminer la probabilité de présence de turbulences en basse couche. Cette étude, basée sur une prévision modélisée de l'énergie cinétique turbulente, a conclu sur la possibilité d'une turbulence faible à modérée en surface, sur une couche allant du sol à maximum 50 mètres de hauteur. Au-delà de cette couche, les modèles estiment que la turbulence devient nulle.

2.4 Exploitation des enregistrements radar

L'enquête a exploité les enregistrements de tous les radars civils et militaires couvrant la zone de l'accident.

Les enregistrements montrent une trajectoire quasi rectiligne, orientée sur une route approximativement orientée au 310°, à une altitude moyenne de 2 750 ft au QNH du jour. Aucun changement de trajectoire n'a été enregistré, ce qui tend à démontrer que l'événement déclencheur de l'accident a été relativement soudain.

Sur la zone de l'accident, cette altitude correspond à une hauteur d'environ 1 000 ft, soit 300 m. Le pilote évoluait donc au-dessus de la couche où il y avait possibilité de turbulence selon les modèles de Météo-France.

Aucun autre aéronef n'a été détecté par les radars, y compris les radars primaires, sur la zone au moment de l'événement. Ceci permet d'écarter la possibilité d'une action brutale sur les commandes pour évitement d'un autre aéronef.

2.5 Témoignages

Des pilotes ayant participé aux recherches ont indiqué que les conditions aérologiques sur la zone de l'accident étaient calmes.

2.6 Observations de Magni Gyro

Le constructeur indique qu'il n'a pas connaissance de rupture similaire à celle mise en évidence dans le cas de cette enquête qui soit survenue en vol⁹.

De plus, il précise qu'il ne lui a jamais été rapporté de jeu sur la tête rotor au cours des inspections 500 heures. Il ajoute que depuis que le BEA l'a informé des constatations techniques réalisées sur l'épave du 21AGP, il réalise des inspections complémentaires sur les ensembles rotor qui passent dans son atelier pour les révisions 500 heures. Entre avril 2022 et mars 2023, une dizaine de têtes rotor ont été examinées : aucun jeu ni déformation n'ont été constatés. S'il a été constaté des changements de couleur de la goupille au niveau de la zone de contact entre celle-ci et l'alésage, ceux-ci sont considérés comme normaux compte tenu de la fonction en service de la pièce.

Note : Magni Gyro précise que ces inspections ne correspondent pas à un programme d'inspection ou à une tâche de maintenance publiée, mais à une vérification de leur propre initiative, réalisée en interne dans leur atelier d'entretien associé à l'usine de production. Il ajoute qu'il interdit que la goupille (14) ou le boulon (52) soient démontés pour être ensuite remontés en dehors de l'atelier de l'usine de production car aucune instruction de montage n'a été publiée pour ces pièces.

Selon Magni Gyro, les déformations constatées sur la tête du rotor du 21AGP montrent qu'il y a eu une charge très importante. Il considère que ce genre de charge peut survenir dans des cas de battement du rotor ou dans des situations inusuelles telles que des cas de g négatif.

Enfin, le constructeur ajoute qu'il n'a pas observé de déformation sur l'assemblage au cours des tests d'efforts statiques réalisés sur les commandes de vol dans le cadre de la certification du Magni M-16C par l'autorité de l'aviation civile britannique¹⁰.

2.7 Événements similaires

L'étude de rapports d'enquête publiés par des autorités d'enquête étrangères concernant des autogires Magni Gyro n'a pas mis en évidence de cas similaire à celui du 21AGP, avec une rupture en vol de la liaison entre le rotor et les commandes.

⁹ Il mentionne toutefois un cas atypique d'un élève-pilote qui a fait une manœuvre acrobatique avec renversement de la machine.

¹⁰ L'autorité de l'aviation civile britannique a mis en place des normes de certification applicables aux ULM de classe 4. Ces normes sont publiées dans le document CAP 463, section T. Le Magni M16C et le M24C, qui présentent la même architecture de liaison entre rotor et commandes que le M16, sont certifiés selon cette norme.

L'expérience du BEA sur des accidents d'autogire Magni Gyro¹¹ a montré, lors de l'examen de l'épave, que les pièces incriminées sont parfois rompues. Ces ruptures ont été expliquées par l'impact de l'autogire avec le sol, voire le contact du rotor avec le sol, lorsqu'il a été possible de l'établir.

3 CONCLUSIONS

Les conclusions sont uniquement établies à partir des informations dont le BEA a eu connaissance au cours de l'enquête.

Scénario

Au cours d'un vol local, la liaison fixe entre la chaîne de commande de positionnement du rotor et le rotor a été perdue en raison de la rupture de trois des quatre extrémités du boulon et de la goupille qui assurent cette liaison.

Il n'a pas été possible d'établir la raison ni la séquence de rupture de ces extrémités. Il n'est pas exclu qu'une des extrémités de ces pièces ait rompu avant le vol.

La quatrième extrémité est restée en place et a entaillé le tube dans lequel elle était logée. Cette entaille a permis une rotation entre la fourche de commandes et le rotor. Ce déplacement a engendré un contact entre la roue dentée et la fourche, qui a abouti à une rupture de celle-ci.

En raison de cette rupture, le plan du rotor avait une liberté de mouvement qui a entraîné un contact entre une pale du rotor et la partie avant droite du poste de pilotage. L'intégrité physique du pilote a également été affectée par cet impact.

Il n'a pas été possible de déterminer sur quelle durée s'est déroulée cette séquence de ruptures et si le pilote a pu avoir le temps de détecter un dysfonctionnement.

Il n'a pas été possible d'écarter la possibilité d'une rupture initiale sous charge en lien avec une manœuvre brusque, par exemple un cas de manœuvre d'évitement lié au risque aviaire ou en cas de malaise du pilote préalable.

Enseignements de sécurité

Vérifications avant vol

L'unicité du cas du 21AGP et le manque de certitudes sur la séquence des ruptures ne permettent pas au BEA de faire une recommandation de sécurité.

Toutefois, bien que le manuel de vol des autogires Magni Gyro n'inclue pas la liaison entre la chaîne de commande et l'ensemble rotor dans les points à vérifier par le pilote avant le vol, il paraît opportun au vu des constatations réalisées dans le cadre de cette enquête de suggérer aux pilotes d'autogire Magni Gyro de vérifier visuellement la liaison entre le tube de fourche et le pivot carré.

Les enquêtes du BEA ont pour unique objectif l'amélioration de la sécurité aérienne et ne visent nullement à la détermination de fautes ou responsabilités.

¹¹ En sus de l'accident du 21AGP, huit autres cas figurent dans la base de données du BEA.