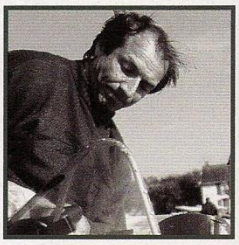
Sécurité

PAR **MICHEL BARRY**
Pilote professionnel, ingénieur aéronautique



Décrochage pendant l'arrondi

Maîtrisez vos paramètres (vitesse et trajectoire) à l'atterrissage

L'atterrissage « dur » est souvent la conséquence d'une courte finale mal contrôlée qui se termine par un décrochage involontaire à quelques mètres du sol. Selon la vitesse de chute au moment du toucher des roues (ou de l'impact) les résultats sont plus ou moins désastreux pour l'avion et même parfois pour l'équipage.

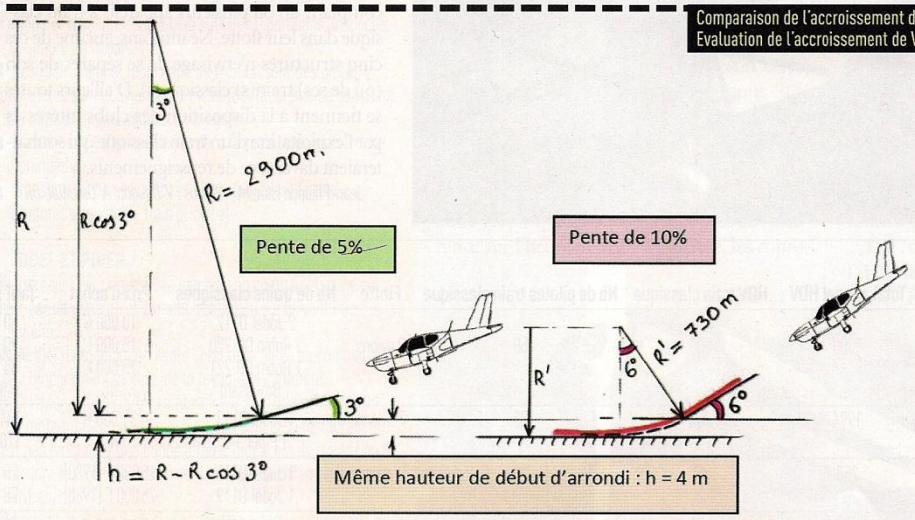
Le décrochage pendant l'arrondi résulte, la plupart du temps, d'une maladresse et/ou d'une faute de pilotage qui trouvent leur origine dans la préparation de l'atterrissage quelques minutes auparavant et même plus en amont. Une fois le décrochage aérodynamique engagé, il n'y a malheureusement plus beaucoup de recettes pour réduire l'intensité de l'impact. En effet, si l'aile est réellement décrochée, l'appareil n'est plus contrôlable longitudinalement (tangage) et parfois transversalement (roulis). Les seules recommandations susceptibles d'éviter un décrochage pendant l'arrondi portent sur la qualité du pilotage, notamment sur la stabilisation des paramètres, d'abord en finale puis en très courte finale. Tout pilote qui constate des difficultés personnelles dans cette phase du vol est un danger potentiel pour le train d'atterrissage et pour tout l'appareil. Même s'il réussit des atterrissages en douceur dans un pilotage brouillon, il doit être conscient que tôt ou tard la chance l'abandonnera… Nous invitons ainsi tous nos amis pilotes même confirmés à vérifier et à perfectionner le cas échéant leurs réelles aptitudes. Surtout s'ils constatent un jour, peut-être sur un nouvel appareil, qu'ils ne réussissent pas à 100 % à contrôler la trajectoire et la vitesse jusqu'au toucher des roues.

A - Les mécanismes les plus fréquents du décrochage près du sol ou pendant l'arrondi

• L'air est calme, la finale semble bien stabilisée, la trajectoire est rectiligne, le point de toucher des roues apparaît évident. Pourtant le pilote ne s'est pas aperçu que la vitesse diminuait très progressivement et il n'a pas détecté l'augmentation corrélative d'incidence. En effet, insensiblement, il relève le capot pour rester sur la bonne trajectoire. Faussement rassuré, il consulte moins l'anémomètre et se concentre sur les éléments extérieurs. Il ne s'aperçoit pas qu'il s'approche de Vs. S'il en est trop proche, la manœuvre de l'arrondi peut produire les 2 ou 3 degrés d'augmentation d'incidence qui conduisent au décrochage. Ensuite, plus l'appareil s'enfonce, plus le pilote tire le manche à lui mais sans le résultat escompté (*exemples BEA n°1 et n°3*).

• La vitesse en finale est correcte et bien stabilisée. Volontairement ou involontairement, le pilote « creuse le plan » en courte finale. Les raisons possibles sont multiples : gradient de vent, échappée de trajectoire, volonté de procéder à un ultime rattrapage de plan… Dans ce cas, la trajectoire devient plus pentue. La manœuvre d'arrondi, celle qui permet de passer de la pente de vol à la quasi-horizontalité de la piste, nécessite une rotation

Comparaison de l'accroissement du facteur de charge n entre deux pentes d'arrivée. Evaluation de l'accroissement de Vs correspondante :



$R = h/(1 - \cos 3°)$

$R = 4/(1 - 0{,}9986) = 2900$ m

$R' = h/(1 - \cos 6°)$

$R' = 4/(1 - 0{,}9945) = 730$

• Pente standard : 5 % ($\propto = 3°$).
• Pente plus forte : 10 % ($\propto = 6°$).

On suppose qu'un appareil se présente à 80 kt (40 m/s) et qu'il effectue sa rotation d'arrondi à une hauteur h de 4 mètres. On se propose de calculer n pendant l'arrondi dans les deux cas.

• L'accélération globale vaut : $a = g + V^2/R$ avec V vitesse en mètre/seconde et R rayon de courbure de la trajectoire d'arrondi supposée circulaire.
• Le rayon de courbure R vaut : $R = h/(1 - \cos \propto)$.
• On prend g, accélération de la pesanteur, égale à 9,81 m/s²

R et n valent respectivement :

• **à 5 %** : $R = 4/(1 - \cos 3°) = 4/(1 - 0{,}9986) = 2\,900$ m.
$a = 9{,}81 + 40^2/2900 = 10{,}36 m/s^2$.
D'où $n = 10{,}36/9{,}81 = 1{,}056$.
Soit une augmentation du facteur de charge de 0,056 et un accroissement de Vs de 0,056/2 = 0,028 soit 2,8 %. Le décrochage aurait lieu à 1,028 Vs

• **à 10 %** : $R' = 4/(1 - \cos 6°) = 4/(1 - 0{,}9945) = 730$ m.
$a' = 9{,}81 + 40^2/730 = 12 m/s^2$.
D'où $n' = 12/9{,}81 = 1{,}22$.
Soit une augmentation du facteur de charge de 0,22 et un accroissement de Vs de 0,22/2 = 0,11 soit 11 %. Le décrochage aurait lieu à 1,11 Vs.

plus ample et plus brutale (davantage de facteur de charge). D'habitude, la transition – du plan conventionnel d'approche à 5 % à la pente quasi nulle de la piste –, produit nominalement une certaine augmentation du facteur de charge. Elle est parfaitement prise en compte par la vitesse d'approche recommandée (en général 1,3 Vs). Mais passer, par exemple, d'une pente de 10 % à la pente zéro produit un facteur de charge n bien plus élevé (accroissement de n quatre fois plus élevé pour une pente seulement deux fois plus forte, *voir encadré*). La portance maximale peut alors s'avérer insuffisante. Il se produit un décrochage dynamique pendant la manœuvre d'arrondi. On notera dans l'exemple n°3 que l'appareil a décroché à 55 kt alors que dans sa configuration, on a V_{S0} = 48 kt.

• Le pilote arrondit trop haut. Alors que la finale se présentait bien, le pilote débute son arrondi à une hauteur qu'il a mal évaluée. Une fois le mécanisme de la rotation engagé, et la vitesse approchant Vs, l'appareil s'enfonce inéluctablement et ce quelle que soit l'action du pilote, qu'il tire ou qu'il pousse le manche. Seul un filet de gaz bien dosé peut amortir la dureté de l'impact. On rencontre cette erreur d'évaluation aussi bien chez les débutants qui n'ont pas encore fiabilisé mentalement leurs repères que chez des pilotes de ligne habitués à arrondir avec l'œil à dix ou quinze mètres au-dessus du sol (*exemples BEA n°2 et n°4*).

• En montagne, le pilote de plaine sera surpris d'avoir à effectuer une rotation d'arrondi plus longue (trajectoire, durée) que celle à laquelle il était habitué en plaine. Comme ci-dessus, elle peut engendrer un décrochage dynamique et un impact non contrôlé. En effet, raccorder la trajectoire d'approche classique à 5 % avec une piste dont la pente montante peut atteindre 15 % nécessite une rotation de trajectoire de 20 %. Elle prendra quatre fois plus de temps que pour un atterrissage sur une piste horizontale à vitesse de rotation identique ou générera un facteur de charge qui pourra conduire au décrochage dynamique. Ne pas oublier que l'arrondi sur une piste montante très pentue est une des difficultés de l'atterrissage en montagne (*exemple BEA n°5*).

• L'atmosphère turbulente. Elle peut provoquer soit des agitations verticales de la masse d'air (augmentation d'incidence au-delà de l'incidence de décrochage) soit le « déventement » soudain de l'aile (vitesse instantanée inférieure à Vs) et conduire ainsi à un décrochage pendant l'arrondi (*exemples BEA n°4 et n°6*). Majorer la vitesse d'approche, par exemple de la moitié de l'intensité des rafales, réduit les risques de vitesse trop basse et permet une meilleure manœuvrabilité (gouvernes plus efficaces).

B - Les situations propices au décrochage pendant l'arrondi

• Le faible entraînement du pilote et des difficultés connues pour stabiliser les paramètres en finale.

• Un appareil mal compensé nécessitant une attention trop soutenue pour le maintien des paramètres, notamment de la vitesse.

• La découverte d'un appareil radicalement différent de ceux auxquels on est davantage habitué : par exemple inertie d'un appareil plus lourd, arrondi trop haut pour les pilotes de ligne qui ne trouvent plus leurs repères sur un avion léger, une cabine nouvelle…

• Un aérodrome avec des repères différents. Par exemple :

- On ne se sent pas à la même hauteur sur une piste large ou sur une piste étroite.
- L'arrondi sur une piste montante (altisurface) est différent de l'arrondi sur une piste horizontale.

• Un vol difficile (navigation, visibilité, turbulence, fort trafic à l'arrivée). Le pilote peut être stressé et ne plus posséder les capacités pour stabiliser correctement sa finale. Une charge de travail élevée, notamment, peut ne pas lui laisser le temps de bien compenser l'appareil.

C - Conclusion, recommandations : rôle essentiel de l'encadrement, notamment en aéroclub

Après avoir recherché, dans les rapports récents du BEA, les cas les plus fréquents d'atterrissages durs après décrochage au cours de l'arrondi,

RAPPORTS DU BEA

Extrait du rapport BEA n°1

• **Evénement :** atterrissage dur et rupture du train d'atterrissage d'un NORD NC 858 lors d'un vol de familiarisation.

• **Conclusion :** l'accident est dû à une mauvaise appréciation de la vitesse et de la hauteur lors de l'arrondi. La faible expérience du pilote sur le type d'avion a contribué à l'accident. La décision de remise de gaz ainsi que la bonne préparation de l'atterrissage avec l'avion endommagé ont permis de limiter les conséquences de l'accident.

Extrait du rapport BEA n°2

• **Evénement :** atterrissage dur en instruction.

• **Aéronef :** avion Fournier RF-5.

• **Conséquences :** avion fortement endommagé.

• **Circonstances :** l'instructeur décolle de l'aérodrome privé de « La Tranclière » (01) avec un élève désirant être lâché sur le type d'avion. Après vingt minutes de vol, l'élève se présente à l'atterrissage sur la piste 02 non revêtue d'Ambérieu. Lors du contact avec le sol, le train monotrace de l'avion se rompt. L'élève indique qu'il a réalisé un arrondi un peu haut et qu'il a atterri durement.

L'instructeur est titulaire d'une licence PPL(A) et d'une qualification FI(A) en cours de validité. Il totalisait 1 400 heures de vol (avion) dont 300 sur type, 40 dans les trois mois précédents et une heure dans les dernières vingt-quatre heures.

L'élève est titulaire d'une licence ATPL et d'une qualification FI(A). Il totalisait 16 000 heures de vol dont 20 minutes sur type, 140 dans les trois mois précédents et aucune dans les dernières vingt-quatre heures. C'était son premier vol sur ce type d'avion.

Selon des témoins familiers du site, le revêtement en herbe de la piste présente des irrégularités.

Les conditions météorologiques étaient les suivantes : CAVOK, vent du 360° pour 15 kt, température 23 °C, QNH 1019 hPa.

• **Conclusion :** l'accident est dû à l'exécution d'un arrondi trop haut qui a généré un atterrissage dur. L'état irrégulier de la piste en herbe et l'absence de réaction de l'instructeur ont pu contribuer à la rupture du train d'atterrissage.

Extrait du rapport BEA n°3

• **Evénement :** approche non stabilisée, atterrissage dur, rupture du train avant et basculement en pylône.

• **Aéronef :** avion Cessna 172S.

• **Conclusion :** l'accident est dû à une prise de décision tardive de remettre les gaz lors d'une approche non stabilisée en vitesse et en trajectoire. Le premier atterrissage dur est dû à la décision de réduire les gaz prématurément. Le pilote a alors conduit son approche et son arrondi en faisant uniquement varier l'assiette de l'avion et a laissé la vitesse diminuer jusqu'au décrochage. L'endommagement du train avant est dû à une action à piquer inadéquate et précipitée du pilote sur le manche lorsqu'il a changé de plan d'action et décidé d'interrompre la remise de gaz. En raison de son absence de pratique récente sur le type, le pilote a probablement manqué de repères visuels pour estimer s'il pouvait ou non remettre les gaz après les premiers rebonds.

Extrait du rapport BEA n°4

• **Evénement :** déroutement par conditions météorologiques défavorables, décrochage lors de l'arrondi, sortie latérale de piste.

• **Aéronef :** avion Robin DR 400-180.

• **Conséquences :** avion fortement endommagé.

• **Circonstances :** le pilote décolle peu avant 8 h 00 de l'aérodrome de Sarre-Union (67) avec trois passagers pour un vol à destination de l'aérodrome de Nîmes Courbessac (30) pour rencontrer des amis. Il prévoit une escale à Dôle Tavaux (39) pour avitailler. Il explique qu'en croisière, il rencontre des conditions météorologiques dégradées. Il décide de se dérouter sur l'aérodrome de Vesoul, à 47 Nm au nord-est de Dôle, exploité en auto-information. Le plafond trop bas ne lui permet pas de réaliser un circuit d'aérodrome. Après des échanges radio avec une personne au sol, le pilote se présente en finale en piste 08. L'avion décroche lors de l'arrondi, heurte la piste puis sort de piste à droite.

Le message d'observations météorologiques de 8 h 30 de l'aérodrome de Luxeuil, à 11 Nm au nord-est de l'aérodrome de Vesoul, faisait état de peu de nuages à une altitude de 1 350 ft et d'un ciel couvert à 2 150 ft. Le vent était calme. Deux témoins sur l'aérodrome de Vesoul indiquent que le relief était accroché au sud et à l'ouest. L'aérodrome était « en train d'être pris dans les stratus ». La piste 08 est la piste préférentielle, sa pente est ascendante : le seuil se situe à une altitude de 1 181 ft et l'extrémité à 1 249 ft.

quelques recommandations se dégagent. Elles consistent à mettre en garde le pilote des difficultés qui peuvent surgir à l'arrivée et ce dès le moment où il envisage son vol. Surtout si l'atterrissage est susceptible de générer une des situations recensées et évoquées ci-dessus. En effet, elles font toutes apparaître une auto-évaluation préalable nettement optimiste car le pilote a pris conscience de la difficulté technique seulement au moment de l'atterrissage.

La lecture des six exemples montre aussi que, présent dans l'appareil ou non, l'instructeur est le seul à pouvoir jouer un grand rôle dans la prévention du décrochage pendant l'arrondi. Il semble que grâce à sa double fonction de formateur et de conseiller il soit le seul susceptible de contribuer à l'amélioration de cette phase délicate du vol qu'est l'atterrissage à la bonne vitesse et avec une trajectoire correcte.

• En vol, on peut toujours lui demander davantage de vigilance et la bonne réaction au bon moment mais malheureusement ce n'est pas toujours facile pour lui. L'exemple n°2 montre bien comment un instructeur pilote privé avec 1 400 h n'a pas eu l'autorité de réagir assez tôt face à son élève, pilote de ligne possédant 16 000 h. Ce cas de figure bien connu dans la composition de l'équipage et définissant l'autorité mutuelle de chacun des membres est encore une fois ici source de conflit. Il devrait donner lieu à un briefing préalable spécifique définissant bien les tâches de chacun. L'urgence des corrections à apporter lors de l'arrondi ne permet plus les politesses d'usage surtout si la situation se présente mal…

• Au sol, l'instructeur reste le référent pour évaluer rapidement l'aptitude d'un pilote qui projette un vol. Notamment en la comparant aux exigences du jour (météo, niveau d'entraînement du pilote, difficulté de l'avion…). Dans l'exemple n°6, l'élève « *… n'a pas osé déranger son instructeur afin de lui demander un conseil…* » avant d'entreprendre un vol par vent fort. Nul ne doute que l'instructeur aurait répondu en priorité au pilote qui partait en vol.

On constate encore une fois que les dés sont jetés bien avant le décollage même pour une faute de pilotage de quelques instants concernant l'atterrissage. D'où l'intérêt de notre mise en garde concernant une fois de plus les vols mal préparés.

Enfin, on peut remarquer que sans arrondir, tout appareil léger toucherait le sol avec son vario d'approche stabilisée. Soit avec une vitesse de chute comprise entre -300 et -500 pieds/minute (-1,5 et -2,5 m/s). Or les avions certifiés sont calculés pour pouvoir toucher sans dommage avec une vitesse verticale de -3 m/s. De plus, grâce à l'amortissement du train, l'accélération ne dépassera pas + 3 g. On en conclut qu'une approche bien stabilisée peut ramener au sol, sans arrondi, un appareil dont le pilote est dépassé par les événements. En cas d'urgence, mieux vaudra peut-être rester bien stabilisé plutôt que d'improviser un arrondi acrobatique ou décrocher à quelques mètres du sol. L'instinct qui consiste à relever un peu le nez au dernier moment pour éviter de toucher avec la roulette de nez fera le reste… ●

Extrait du rapport BEA n°5

• **Evénement :** décrochage à proximité du sol en approche sur une altisurface.

• **Aéronef :** Piper Aircraft PA 18-90, non équipé de volets, V stall 37 kt.

• **Conséquences :** train principal détruit, hélice endommagée.

• **Circonstances :** le pilote décolle de l'aérodrome de Bagnères-de-Luchon (65) à destination de l'altisurface de Pène de Soulit. Il indique qu'il effectue un premier atterrissage avec une vitesse de cinquante-deux nœuds en finale. Il analyse son atterrissage et considère que son point de touché est trop long et la longueur de roulement trop importante car il est obligé d'utiliser les freins sur la plateforme supérieure. Il redécolle pour un second circuit et choisit de minorer de sept nœuds sa vitesse en finale.

Lors de l'arrondi, l'avion subit une descendance, décroche et heurte la piste deux mètres environ après le point d'aboutissement. Le pilote estime que le vent avait une composante arrière comprise entre cinq et huit nœuds. Il totalisait environ 2 000 heures de vol dont 300 sur type. Il possédait une qualification montagne « roue » depuis 2008 et avait réalisé une trentaine d'atterrissages sur des altisurfaces dont trois ou quatre sur celle de Pène de Soulit.

La piste est courte avec une pente importante au seuil de piste aval et diminuant jusqu'à la plateforme supérieure. Celle-ci permet le demi-tour afin de décoller dans le sens opposé au sens d'atterrissage.

Un pilote-instructeur connaissant bien cette altisurface, indique que les conditions aérologiques généralement rencontrées l'après-midi, peuvent rendre les approches difficiles. C'est la raison pour laquelle les pilotes habitués évitent de s'y poser à ce moment de la journée.

Lors de l'atterrissage sur une altisurface

Le pilote disposait des messages TAF et METAR de 6 h 30 des aérodromes sur le trajet. Il n'existe pas de METAR sur l'aérodrome de Vesoul. Les METAR de certains aérodromes entre Sarre-Union et Dôle faisaient état de plafonds bas : l'aérodrome de Dôle n'était pas accessible. Les TAF de Nancy Essey (54) et Dôle Tavaux avaient été annulés. Le « guide d'utilisation des codes », disponible sur le site Aéroweb, explique qu'« *un TAF qui ne peut pas être tenu constamment à jour sera annulé* ». Seule la carte TEMSI EUROC 06UTC était disponible lors du départ du pilote. Elle indiquait, sur la première partie du trajet, des couches de nuages dont la base se situait entre 1 500 et 4 000 ft (référence 1013 hPa), des averses de pluie et des cumulonimbus isolés noyés dans la couche et d'orages. Le QNH sur le lieu de l'accident était de 1014 hPa. Le pilote ne disposait pas de cette carte.

Le pilote était titulaire du PPL(A) depuis juillet 2009 et totalisait environ 106 h de vol, toutes sur type, dont 39 comme pilote seul à bord et 10 dans les trois mois précédents.

L'un des deux témoins à Vesoul était dans son hélicoptère, dans l'attente d'une amélioration des conditions météorologiques pour décoller. Il explique avoir vu l'avion en difficulté près du seuil de la piste 08, et l'a alors contacté pour le convaincre d'atterrir à Vesoul. Au sol, deux témoins ont indiqué que le pilote paraissait stressé.

• **Conclusion :** la collision avec la piste est due au décrochage probablement lié à un arrondi effectué trop haut. Le pilote a décidé d'entreprendre le vol malgré des prévisions météorologiques défavorables. Les risques associés à ce type de conditions sont notamment la perte de contrôle en vol et la collision avec le relief sans perte de contrôle.

à forte pente, l'angle de redressement de l'avion à l'arrondi est beaucoup plus important qu'en plaine. Le facteur de charge et donc la vitesse de décrochage augmentent. La faible vitesse maintenue en finale ne garantit pas une marge suffisante vis-à-vis du décrochage. La majoration de vitesse nécessaire à la prise en compte d'une rafale de dix noeuds, en utilisant une technique d'atterrissage conventionnelle en montagne, compromet l'atterrissage sur une piste aussi courte. Des instructeurs qui pratiquent régulièrement cette altisurface utilisent une technique d'approche différente de celle enseignée par le seul organisme de formation des instructeurs montagne.

• **Conclusion :** l'accident est dû au décrochage de l'avion alors que le pilote conduisait une approche à faible vitesse sans avoir tenu compte des effets de l'aérologie particulière sur cette altisurface dans l'après-midi.

En présence d'un vent de face irrégulier sur une altisurface, un pilote peut être amené à majorer sa vitesse en finale ou adopter un plan plus fort afin d'éviter l'approche à trop faible énergie et ainsi lutter efficacement contre les effets aérologiques. Les valeurs de vent acceptables lors de l'atterrissage sur altisurface sont faibles. Si cette majoration compromet la possibilité d'atterrissage, celui-ci ne doit pas être entrepris.

Extrait du rapport BEA n°6

• **Evénement :** décrochage lors de l'arrondi, atterrissage dur et sortie latérale de piste par vent fort.

• **Cause identifiée :** décision d'entreprendre le vol par conditions météorologiques défavorables.

• **Aéronef :** avion Robin DR 400-120.

• **Conséquences :** aéronef fortement endommagé.

• **Titres et expérience :** pilote, 39 ans, PPL(A) d'avril 2009, 87 heures de vol, toutes sur type, 14 heures dans les trois mois précédents dont trois comme commandant de bord.

• **Conditions météo** : estimées sur le site de l'accident : vent 260° / 10 à 15 kt, rafales 25 à 30 kt, visibilité supérieure à 10 km, BKN Sc à 3 000 pieds, température 16 °C, QNH 1016 hPa.

• **Circonstances :** le pilote explique qu'il décolle en piste 22 afin d'effectuer un circuit d'aérodrome. A l'arrondi, l'avion décroche et heurte violemment le sol. Le train d'atterrissage se plie et l'avion sort de piste par la droite. Le pilote précise qu'il voulait effectuer un vol local d'environ 30 minutes. Au sol, il a observé une « ligne de grains » arrivant du secteur ouest. Il a hésité à plusieurs reprises à annuler le vol. Puis il a estimé avoir le temps de réaliser un circuit d'aérodrome. Après le décollage, il a subi de fortes turbulences pendant tout le circuit mais il a décidé d'atterrir sans attendre le passage du grain. Il indique qu'avant son départ, l'instructeur qui l'avait formé commentait un vol avec un élève (l'instructeur avait interrompu le vol en raison des conditions météorologiques peu favorables). Il n'a pas osé le déranger afin de lui demander conseil. Il ajoute que d'autres pilotes étaient présents dans les locaux de l'aéroclub, aucun d'eux n'a fait de remarque particulière sur les conditions météorologiques. Le pilote considérait qu'il devait renforcer son expérience dans certaines conditions de vol et notamment par vent fort.