



*Accident
survenu le 21 avril 1997
à Saint André Les Vergers (10)
au Socata TB20 «Trinidad»
immatriculé F-GEVN*

RAPPORT
f-vn970421

A V E R T I S S E M E N T

Ce rapport exprime les conclusions du BEA sur les circonstances et les causes de cet accident.

Conformément à l'Annexe 13 à la Convention relative à l'aviation civile internationale, à la Directive 94/56/CE et à la Loi n° 99-243 du 29 mars 1999, l'enquête technique n'est pas conduite de façon à établir des fautes ou à évaluer des responsabilités individuelles ou collectives. Son seul objectif est de tirer de l'événement des enseignements susceptibles de prévenir de futurs accidents.

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

Table des matières

AVERTISSEMENT	2
GLOSSAIRE	5
SYNOPSIS	6
1 - RENSEIGNEMENTS DE BASE	7
1.1 Déroulement du vol	7
1.2 Conséquences pour les personnes	7
1.3 Dommages à l'aéronef	8
1.4 Autres dommages	8
1.5 Renseignements sur le personnel	8
1.5.1 Le pilote	8
1.5.2 La passagère	8
1.6 Renseignements sur l'aéronef	8
1.6.1 Cellule	8
1.6.2 Moteur	9
1.6.3 Hélice	9
1.6.4 Masse et centrage	10
1.7 Conditions météorologiques	10
1.7.1 Situation générale	10
1.7.2 Conditions locales	10
1.8 Aides à la navigation	10
1.9 Télécommunications	11
1.9.1 Communication avec Saint-Dizier	11
1.9.2 Communication avec Troyes Barberey	12
1.10 Renseignements sur l'aérodrome	12
1.11 Enregistreurs de bord	12
1.12 Renseignements sur l'épave et sur les impacts	13
1.12.1 Situation	13
1.12.2 L'épave	13

1.13 Renseignements médicaux et pathologiques	16
1.14 Incendie	16
1.15 Questions relatives à la survie des occupants	16
1.16 Essais et recherches	16
1.16.1 Position des volets de courbure	16
1.16.2 Pilote automatique	16
1.16.3 Exploitation des enregistrements radio et radar	17
1.16.4 Examens toxicologiques et autopsies	19
1.16.5 Autres examens	19
1.17 Renseignements sur les organismes et la gestion	20
1.18 Renseignements supplémentaires	20
1.18.1 Témoignages	20
1.18.2 Système de conditionnement d'air du TB20	21
1.18.2.1 Système de climatisation	21
1.18.2.2 Système de ventilation	22
1.18.2.3 Commandes du système de conditionnement	22
1.18.3 Système de dégivrage d'hélice du TB20	22
1.18.4 Le monoxyde de carbone	23
1.18.5. Le liquide de dégivrage	24
1.18.6 Aspects réglementaires	25
1.18.7 Equipement des avions	25
2 - ANALYSE	27
2.1 Hypothèse de la perte de connaissance	27
2.1.1 Intoxication par le produit de dégivrage	27
2.1.2 Intoxication par le monoxyde de carbone	27
2.2 L'analyse du vol	28
3 - CONCLUSIONS	29
3.1 Faits établis par l'enquête	29
3.2 Cause probable	29
4 - RECOMMANDATION DE SECURITE	29

Glossaire

AFIS	Service d'information de vol d'aérodrome
DGAC	Direction Générale de l'Aviation Civile
FAR	Federal Aviation Regulations
ft	Pied(s)
hPa	Hectopascal
kt	Nœuds
METAR	Message régulier d'observation météorologique pour l'aéronautique
NDB	Radiophare non directionnel
ppm	Partie pour mille
QFE	Pression atmosphérique à l'altitude de l'aérodrome
QNH	Calage altimétrique requis pour lire l'altitude de l'aérodrome
SEFA	Service d'Exploitation de la Formation Aéronautique
TAF	Prévision d'atterrissement
TEMSI	Carte de prévision du temps significatif
UTC	Temps universel coordonné
VOR	Radiophare omnidirectionnel

SYNOPSIS

Date de l'accident

Le lundi 21 avril 1997 à 12 h 50¹

Aéronef

Socata TB20 Trinidad
Immatriculé F-GEVN

Lieu de l'accident

Commune de Saint André
les Vergers (10)
Altitude de l'impact : 130 m (426 ft)

Propriétaire

DGAC / SEFA
BP 80 Aérodrome
31607 Muret cedex

Nature du vol

Service aérien commandé

Exploitant

DGAC / SEFA Centre de Melun
Melun-Villaroche
77550 Moissy-Cramayel

Personnes à bord

Un pilote et une passagère

Résumé

En condition de vol à vue, l'avion percute le sol alors qu'il se présente en longue finale sur la piste 36 R de l'aérodrome de Troyes Barberey. Il rebondit en se disloquant partiellement et termine sa course en s'écrasant trente-cinq mètres après le premier impact à un cap pratiquement inverse à celui de l'approche finale.

Conséquences

	Personnes			Matériel	Tiers
	Tué(s)	Blessé(s)	Indemne(s)		
Equipage	1	-	-	détruit	Environ 1 000 m ² pollués d'un champ ensemencé
Passagers	1	-	-		

¹Sauf précision contraire, les heures figurant dans ce rapport sont exprimées en temps universel coordonné (UTC). Il convient d'y ajouter 2 heures pour obtenir l'heure en vigueur en France métropolitaine le jour de l'événement.

1 - RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1 Déroulement du vol

Le 21 avril 1997, le TB20 immatriculé F-GEVN entreprenait un vol de navigation sans plan de vol au départ de l'aérodrome de Melun Villaroche (77).

A son bord se trouvaient le pilote et une passagère, tous deux de la DGAC. Le vol était réalisé au profit du pilote, en service aérien commandé, dans le cadre de l'entraînement des pilotes des corps techniques de la navigation aérienne.

Le décollage de Melun Villaroche avait lieu à 11 h 24 en direction de l'est. A 12 h 19 min 38 s, le pilote entrait en contact avec l'approche militaire de Saint-Dizier pour obtenir l'autorisation d'effectuer le tour du lac du Der. L'autorisation lui était accordée à une altitude de 1 500 pieds QNH. A 12 h 30 min 54 s, arrivant en sortie des zones de Saint-Dizier, le pilote quittait la fréquence de l'approche, en route vers l'aérodrome de Troyes Barberey.

Le premier contact radio avec le service d'information de vol (AFIS) de cet aérodrome avait lieu à 12 h 33 min 26 s. Le pilote se signalait à dix minutes du terrain et demandait les conditions météorologiques locales. Les ayant obtenues et compte tenu du fait qu'il ne lui était signalé aucun autre trafic dans le circuit, il annonçait qu'il rappellerait en étape de base main droite pour ensuite se présenter en longue finale pour la piste 36 en service. A 12 h 38 min 55 s, un avion du Centre d'Essais en vol (indicatif opérationnel CEV 4711) établissait un premier contact avec l'AFIS de Troyes. A 12 h 41 min 36 s il s'annonçait à trente secondes de la verticale pour prendre un cap sud.

A 12 h 40 min 40 s, le F-GEVN rappelait pour se signaler en longue finale. L'agent AFIS lui transmettait un vent au sol du 040°/10 kt, rafales à 19 kt. Le pilote répondait qu'il rappellerait en courte finale pour le vent.

C'était son dernier message.

1.2 Conséquences pour les personnes

Blessures	Equipage	Passager	Tiers
Mortelles	1	1	-
Graves	-	-	-
Légères / Aucune	-	-	-

1.3 Dommages à l'aéronef

L'avion a été détruit.

1.4 Autres dommages

Environ mille mètres carrés d'un champ ensemencé ont été pollués.

1.5 Renseignements sur le personnel

1.5.1 Le pilote

Homme, âgé de 28 ans.

Le pilote était titulaire de la licence de pilote privé avion n° TT 0304018190 délivrée le 9 août 1990, qualifications A et B, et de la licence de pilote des corps techniques de la navigation aérienne n° 0587.96 délivrée le 18 novembre 1996 à l'issue d'un stage de formation au centre du SEFA de Biscarrosse. Ses deux licences étaient en état de validité. Il possédait également une licence de pilote privé hélicoptère.

Expérience:

- totale : 247 h
- sur type : 98 h 20
- dans les 90 derniers jours : 23 h 25
- dans les 30 derniers jours : 13 h
- dans les 24 dernières heures : pas de vol

Son aptitude médicale avait été accordée avec une restriction concernant le port de verres correcteurs.

1.5.2 La passagère

Femme, âgée de 35 ans, elle était titulaire du brevet de base de pilote privé avion.

1.6 Renseignements sur l'aéronef

1.6.1 Cellule

- Constructeur : SOCATA - France
- Type : TB20 Trinidad
- Numéro de série : 737
- Immatriculation : F-GEVN, en date du 5 mai 1987
- Certificat de navigabilité valide jusqu'au 29 octobre 1999

- Propriétaire : DGAC/SEFA
- Exploitant : DGAC/SEFA-Centre de Melun-Villaroche
- Nombre total d'heures de fonctionnement : 5 128 h 55
- Date de la dernière grande visite : 1^{er} décembre 1995
- Heures de vol depuis la dernière grande visite : 629 h 27
- Potentiel avant grande visite suivante : 1 670 h 37
- Dernière visite de 100 heures le 9 avril 1997. Aucune anomalie n'avait été relevée lors de cette visite. L'appareil avait été vérifié par les mécaniciens du SEFA conformément au plan de travail de ce type de visite
- Potentiel avant visite de 50 heures suivante : 20 h 37

1.6.2 Moteur

- Constructeur : Lycoming -USA
- Type : IO-540-C4D5D
- Carburant : 100 LL
- Numéro de série : 21991-48A
- Nombre total d'heures de fonctionnement : 4 923 h depuis construction en août 1982
- Dernière révision générale en date du 28 août 1994
- Fonctionnement depuis révision générale : 636 h
- Potentiel avant la révision générale suivante : 1 366 h

1.6.3 Hélice

- Constructeur : Hartzell
- Type : HC-C2YK-1BF bipale dégivrée à pas variable
- Numéro de série : CH30059
- Nombre total d'heures de fonctionnement : 2 533 h
- Dernière révision générale en date du 13 septembre 1995
- Fonctionnement depuis révision générale : 534 h

L'avion ne faisait l'objet d'aucune réserve technique pour le vol de l'accident. Il n'était pas autorisé au vol en conditions givantes mais était équipé d'un système de dégivrage de l'hélice. Ce système et son utilisation sont décrits au paragraphe 1.18.3.

1.6.4 Masse et centrage

Avec deux personnes à bord sans bagages et 250 litres de carburant, l'appareil était nettement à l'intérieur des limites de masse et de centrage autorisées par le constructeur.

1.7 Conditions météorologiques

1.7.1 Situation générale

La moitié nord de la France était soumise à un flux de nord-est modéré avec beau temps et ciel clair.

1.7.2 Conditions locales

Observation de Troyes le 21 avril 1997 à 13 h 00 :

- Vent : 050°/11 nœuds avec rafales à 21 nœuds
- Visibilité : 25 km
- Nuages : ciel clair
- Température : + 11,3 °C
- Point de rosée : - 6,1 °C
- Humidité : 29 %
- QFE : 998 hPa, QNH : 1012 hPa

L'analyse du radio sondage de Trappes à 12 h 00 montre une masse d'air fraîche, très sèche, très instable dans ses 1 500 premiers mètres avec une inversion de température à 1 600 m. Le réchauffement diurne à cette heure est insuffisant pour faire disparaître cette inversion. Celle-ci bloque toute la convection à ce niveau et entretient une turbulence importante dans les basses couches de l'atmosphère. Cette turbulence pouvait être encore amplifiée sous le vent de la ville de Troyes.

Avant le vol, le pilote s'était rendu à la station de Météo France implantée sur l'aérodrome de Melun pour s'enquérir de la situation météorologique sur la région. Il s'était renseigné auprès des météorologistes et avait retiré un dossier comprenant les documents nécessaires pour entreprendre le vol (TEMSI, METAR et TAF). Ces documents ont été retrouvés épars sur le lieu de l'accident.

1.8 Aides à la navigation

Dans l'épave de l'aéronef, des fréquences ont été trouvées sélectionnées sur les boîtiers de commande des instruments de radionavigation (voir paragraphe 1.12.2).

Sur le boîtier ADF, était affichée la fréquence 373 MHz du NDB « SDI ». Cette balise fait partie des moyens de radionavigation associés aux procédures d'approche de l'aérodrome de Saint-Dizier.

Sur le boîtier NAV 1, était affichée la fréquence 111,15 MHz du localizer « TY » de Troyes.

Sur le boîtier NAV 2, était affichée la fréquence 116,0 MHz du VOR « TRO ».

Tous ces moyens fonctionnaient le jour de l'accident.

1.9 Télécommunications

Durant son vol, après avoir quitté la fréquence de Melun, le F-GEVN a été successivement en contact avec l'approche de Saint-Dizier sur la fréquence 127,25 MHz et avec l'AFIS de Troyes Barberey sur la fréquence 125,35 MHz. Cette fréquence a été retrouvée affichée dans l'épave sur le boîtier de radiocommunication COM 1.

La fréquence 123,5 MHz affichée sur le boîtier COM 2 est la fréquence dite « fréquence commune » utilisée sur les aérodromes où aucune fréquence particulière n'est attribuée. C'est le cas de l'aérodrome de Brienne le Château que le F-GEVN avait survolé avant d'appeler l'AFIS de Troyes Barberey. Cette fréquence n'est pas enregistrée.

1.9.1 Communication avec Saint-Dizier

Le premier contact a lieu à 12 h 19 min 38 s. Le pilote demande si la zone R 27 B est active : « *Victor Novembre un TB vingt pour connaître l'activité de la zone R vingt-sept Bravo s'il vous plaît* », le contrôleur répond : « *Oui la R vingt-sept Bravo est active* ».

A 12 h 21 min 05 s, le contrôleur appelle le Victor Novembre pour demander : « *Vous arrivez pointe sud ouest du Der correct ?* ».

A 12 h 21 min 10 s, le pilote répond : « *Oui, oui, oui, on s'était trompé dans la lecture de la carte en fait. Vous confirmez qu'il n'y a pas d'activité, ce serait pour faire le tour du lac, ça serait possible ?* ».

Le contrôleur autorise le tour du lac et demande confirmation de la hauteur sol de l'avion : « *Pour l'instant vous pouvez faire le tour du lac vous confirmez votre hauteur au Fox Echo de neuf cent quatre-vingt-seize* ».

Le pilote répond : « *On est à mille cinq cents pieds au Novembre Hôtel ça doit faire à peu près mille pieds au Fox Echo* ». (L'avion est effectivement à une hauteur d'environ mille pieds.)

A 12 h 30 min 49 s, en sortie de zone, le pilote quitte la fréquence : « *Oui merci Monsieur merci beaucoup et excusez-nous de vous avoir contacté aussi tard* ».

1.9.2 Communication avec Troyes Barberey

La fréquence 125,35 MHz est enregistrée sur un magnétophone installé dans la vigie de l'aérodrome de Troyes Barberey. L'horloge interne est enregistrée sur une des pistes de la bande magnétique.

Le premier contact a lieu à 12 h 33 min 26 s. Le pilote se signale volant de Brienne vers Troyes en précisant son estimée puis il demande les conditions météorologiques : « *Fox Golf Echo Victor Novembre un TB vingt de Brienne vers vos installations estimées à quarante-trois pour la dernière* ».

Dans les contacts qui suivent le pilote ne signale rien d'anormal. Il se renseigne pour avoir connaissance du trafic dans le circuit en vue d'effectuer une approche directe.

A 12 h 40 min 40 s, il s'annonce « *en longue finale* ».

Sa dernière transmission a lieu à 12 h 40 min 49 s. Il signale à l'agent AFIS qu'il rappellera pour le vent : « *Rappellera en courte Victor Novembre pour le vent* ».

Une minute trente secondes plus tard, l'agent AFIS appelle le F-GEVN pour connaître sa position : « *Victor Novembre position* ».

Cet appel et les suivants resteront sans réponse.

1.10 Renseignements sur l'aérodrome

L'aérodrome de Troyes Barberey est un aérodrome civil ouvert à la circulation aérienne publique. Situé à deux kilomètres dans le nord-ouest de la ville de Troyes, il est équipé de trois pistes dont une piste en dur orientée 356°/176°, identifiée 36 R/18 L.

L'aérodrome n'est pas contrôlé ; les services d'alerte et d'information y sont rendus par un organisme AFIS sur la fréquence 125,35 MHz.

Le circuit de piste avions s'effectue à une hauteur de mille pieds, soit une altitude de mille quatre-cents pieds.

1.11 Enregistreurs de bord

La réglementation en vigueur n'exige pas l'emport d'enregistreur de bord sur les avions de ce type. Le F-GEVN n'en était pas équipé.

1.12 Renseignements sur l'épave et sur les impacts

1.12.1 Situation

Le site de l'accident se situe à 3 NM dans le 173° de la piste 36 de l'aérodrome de Troyes Barberey. La zone est dégagée. Elle est caractérisée par des champs plats constitués d'ensembles ensemencés de blé à l'état de jeunes pousses et de parcelles de terrain récemment hersé. L'obstacle le plus proche est le pavillon d'un lotissement se situant à quatre cents mètres dans le sud-est du point d'impact initial.

Les traces au sol montrent que l'avion a touché le sol en faisant un angle d'une vingtaine de degrés avec la verticale, avec une orientation au cap 195 et une inclinaison nulle (attitude symétrique).

Un cratère de l'ordre de vingt-cinq centimètres de profondeur indique clairement le point d'impact. L'épave disloquée se trouve trente-cinq mètres plus loin.

1.12.2 L'épave



Le plan horizontal mobile est détaché de la cellule. Il repose à quinze mètres du premier point d'impact en direction de la cellule. L'extrémité du bord d'attaque de la partie droite porte la marque semi-circulaire d'un impact pratiquement frontal. Il s'agit de la roue du train principal droit qui, après séparation de son axe lors de l'impact au sol, est venue frapper l'empennage.

La dérive porte des traces de terre, elle est couchée sur le flanc droit de la partie arrière de la cellule.

L'arrière du fuselage est très fortement déformé en flexion vers le bas. Le dessous du fuselage, fortement plissé et ayant perdu beaucoup de peinture et d'apprêt, est séparé de la structure.

La cabine a été découpée par les secours.

Les manettes de commande du moteur ne sont pas bloquées. Leur position n'est pas significative compte tenu de la violence de l'impact. Le volant de commande du compensateur est bloqué. Ce blocage est dû aux déformations importantes du logement dans lequel il se trouve, déformations consécutives à l'impact au sol. L'enroulement du câble montre qu'au moment où il a été bloqué le compensateur était réglé sensiblement à la position neutre.

Le tableau de bord est très fortement endommagé. La commande de mouvement de train d'atterrissement est bloquée en position *train sorti*. L'interrupteur de commande de dégivrage de l'hélice est sur *high*, il n'est pas bloqué et est encore manœuvrable.

Le bâti de la colonne des boîtiers de radio communication et radio navigation est désolidarisé du tableau de bord. Ces moyens sont tous sur *ON*.

Le clapet du diffuseur directionnel d'air côté pilote est en position fermée. Le système n'est pas détérioré et est manœuvrable. Le même système côté passager a été détérioré lors de l'impact. Le clapet est bloqué en position ouverte, le diffuseur est dirigé vers le haut.

Les tirettes des commandes d'aération et de climatisation et la tirette coupe-feu sont en position fermée. Elles ne sont pas manœuvrables du fait des déformations consécutives à l'impact au sol.

Le boîtier d'admission d'air chaud est écrasé. Le volet d'admission est partiellement ouvert.

Les câbles de commande d'ouverture des volets d'aération (air frais) sont marqués en plusieurs endroits.

Le piston de la jambe du train avant est replié de plus de 90° vers l'arrière. La longueur de jambe de train extérieure au piston est importante, confirmant que le train était sorti à l'impact. Lors de l'impact, la fusée de la roue du train principal droit s'est rompue, projetant la roue vers l'arrière.

Le dessous du compartiment moteur est fortement déformé. Le groupe motopropulseur est pratiquement séparé du bâti. Extérieurement il ne présente pas de dommage majeur. On ne remarque pas de trace pouvant indiquer une fuite d'huile.

Les accessoires reliés au moteur, tels que magnétos, pompe à essence et pompe à vide, sont détruits.

Il n'y a pas de liquide de dégivrage dans la conduite qui a été rompue à l'impact. Le réservoir de liquide de dégivrage est vide et n'est pas fracturé.

Le plateau porte-hélice et le bout du viseur sont fortement fléchis. La déviation est de l'ordre de 15 à 20 degrés. Une pale de l'hélice est recourbée vers l'arrière, épousant la forme du carter moteur ; elle porte un impact sur son bord d'attaque et est fortement rayée dans le sens de rotation de l'hélice. L'autre pale est légèrement recourbée vers l'avant et ne comporte pas de trace d'impact sur le bord d'attaque ni de trace de rotation. Les endommagements de l'hélice montrent que le moteur tournait à l'impact.



Les ailes sont toujours reliées au fuselage et fortement comprimées de l'avant vers l'arrière.

Les fixations sont fortement endommagées, certaines sont cassées. Les volets sont en position premier cran (10°).

Les destructions et déformations des ailes et du train principal dues à l'impact initial sont quasiment symétriques.

Les ruptures des tôles des ailes sont principalement caractérisées par des débouillonnages le long des lignes de rivets. On remarque les mêmes dépôts de terre sur les ailes que sur la dérive ; il est vraisemblable que le carburant éjecté au moment de l'accident s'est nébulisé et mélangé avec la poussière soulevée avant de se déposer partiellement sur les surfaces horizontales de l'aéronef.

L'examen des commandes de vol montre que les ruptures constatées sont purement statiques et sont la conséquence de l'impact au sol.

1.13 Renseignements médicaux et pathologiques

Le pilote était porteur de lentilles oculaires. Pendant l'enquête, il a été rapporté par des personnes ayant volé avec lui qu'il était arrivé qu'une de ses lentilles se déplace et entraîne brusquement une très vive douleur. Ayant analysé ce problème comme étant consécutif à l'utilisation du diffuseur d'air frais, la veine d'air étant dirigée sur son visage, le pilote s'interdisait depuis l'utilisation de ce système de ventilation en vol.

Il n'a pas été trouvé chez le pilote ou la passagère d'antécédents pathologiques ni de signes d'intolérance médicamenteuse susceptibles d'avoir influé sur le déroulement du vol.

1.14 Incendie

Aucun incendie ne s'est déclaré avant ou après l'impact.

1.15 Questions relatives à la survie des occupants

La violence du premier impact ne laissait aucune chance de survie aux occupants.

1.16 Essais et recherches

1.16.1 Position des volets de courbure

La tige filetée du vérin de commande des volets du F-GEVN a été comparée avec le même élément sur cinq autres TB20 de série proche. Les vérins ont été mesurés aux trois positions, volets rentrés, volets 10° et volets 40°. Cet examen a confirmé que les volets du F-GEVN étaient sortis symétriquement en position 10°.

1.16.2 Pilote automatique

Le F-GEVN était équipé d'un pilote automatique KAP 100. Ce pilote automatique certifié pour le contrôle de l'axe de roulis est constitué :

- d'un calculateur,
- d'un servomoteur,
- d'un système d'embrayage électrique.

Pour les informations d'attitude, le pilote automatique est associé à l'horizon pneumatique installé en partie droite du tableau de bord. En cas de dysfonctionnement de l'horizon ou du circuit d'alimentation pneumatique, le fonctionnement du pilote automatique est affecté. Le pilote doit alors le désactiver et reprendre le contrôle de l'appareil en pilotage manuel.

Le boîtier et les ampoules témoins de commandes du pilote automatique ont été examinés. Cet examen n'a pas permis de déterminer si le pilote automatique était en marche au moment de l'impact.

La pompe à vide a été détruite. Il n'a pas été possible de savoir si elle était en état de fonctionnement avant l'impact.

Le moteur et la cinématique liés au système ne présentent pas d'anomalie pouvant laisser penser à une défaillance avant l'accident.

1.16.3 Exploitation des enregistrements radio et radar

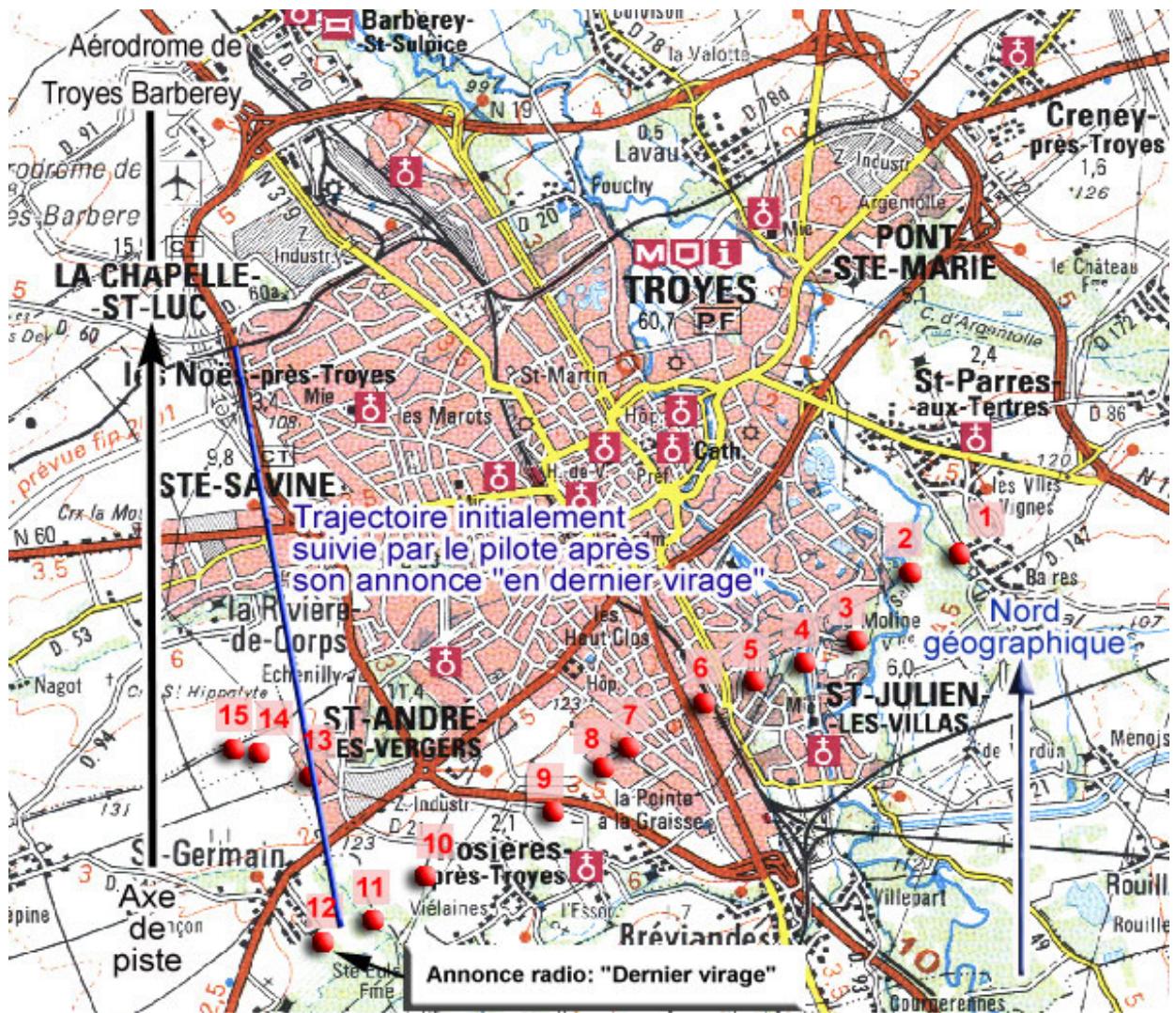
1.16.3.1 Trajectoire horizontale

La trajectoire de l'aéronef a été déterminée à partir des données d'un radar militaire implanté à Rumilly (10) et d'un radar civil implanté à Chaumont (52).

Les quinze derniers plots du radar de Chaumont ont été représentés sur un fond de carte au 1/100 000^e de la région de Troyes. Ils sont numérotés de 1 à 15. Les relevés du calculateur entre chaque plot varient de huit à dix secondes conformément aux performances du radar. Les espacements entre les plots 9 et 10 et entre les plots 12 et 13 sont de seize secondes, ils montrent que deux plots intermédiaires n'ont pas été enregistrés ou traités, du fait de la basse hauteur de l'avion et de la position géographique du radar (environ cent kilomètres).

Le tracé montre une trajectoire globalement orientée au cap 240° et dont les altérations sont représentatives de manœuvres effectuées par le pilote, vraisemblablement sans pilote automatique. L'échantillonnage des plots ne permet pas de restituer la trajectoire avec précision. On peut néanmoins faire deux observations :

- la prise de terrain est effectuée en deux temps, une route magnétique nord (plots 12 à 13) puis une route magnétique 280° (plots 13, 14 et 15),
- les plots 12 et 13 sont sensiblement alignés avec une portion de voie rapide.



1.16.3.2 Trajectoire verticale

Les plots radar n° 1 à 6, 8 et 9, sont accompagnés d'une information de l'alticodeur du F-GEVN, à la référence altimétrique 1013,2 hPa.

En phase de rapprochement de l'axe de piste, le niveau restitué situe l'avion à une altitude de 1 200 pieds. Compte tenu du QNH de 1012 hPa et de l'altitude du terrain qui varie de 403 à 426 pieds (altitude du point d'impact) l'aéronef survolait donc le sud de l'agglomération troyenne à une hauteur d'environ 800 pieds.

1.16.3.3 Corrélation avec les messages radio

L'avant-dernier message radio «arrive en longue finale» correspond au plot 12. Le dernier message «Rappellera en courte Victor Novembre pour le vent» est émis cinq secondes après ce plot.

1.16.4 Examens toxicologiques et autopsies

Les analyses toxicologiques ont montré un taux de carboxyhémoglobine de 16,3 % dans le sang du pilote, ce qui signifie que 16,3 % d'hémoglobine (Hb) étaient bloqués sous forme de carboxyhémoglobine (HbCO). Ce taux est compatible avec une exposition au monoxyde de carbone. Il n'a pas été mis en évidence par ailleurs de substance absorbée de nature à perturber la conduite du vol.

Les analyses ont également montré dans le sang de la passagère un taux de carboxyhémoglobine de 7 %.

Les constatations faites lors des autopsies laissent penser que les victimes étaient conscientes au moment du choc avec le sol.

Remarque : à l'exception du tabac, l'enquête n'a pas fait apparaître de source potentielle d'intoxication par le monoxyde de carbone antérieure au vol.

1.16.5 Autres examens

1.16.5.1 Groupe motopropulseur

L'examen réalisé après démontage du moteur et de l'hélice n'a fait apparaître aucune anomalie. Leurs différents composants étaient en état de fonctionnement au moment de l'impact. L'hélice était calée proche du petit pas.

1.16.5.2 Recherches sur une éventuelle fuite de gaz d'échappement

L'ensemble du système d'échappement a été examiné².

Le pot d'échappement et l'échangeur avaient été écrasés à l'impact. Leur examen n'a fait apparaître aucune déchirure ni trace de fuite sur l'enveloppe du pot dans la zone de l'échangeur. Des déchirures observées sur le flanc droit du pot étaient consécutives à l'impact.

Les examens des conduites de conditionnement d'air et des prélèvements effectués sur le tissus des sièges et la moquette de sol de l'avion n'ont pas montré de traces de produits de combustion de carburant ou de produits dérivés.

Les examens spectrographiques des bruits transmis lors des communications radio du F-GEVN avec l'AFIS de Troyes ne révèlent aucun bruit anormal. Le bruit produit par le moteur est parfaitement régulier et l'on perçoit le son caractéristique produit par l'alternateur.

² L'examen a été conduit au Centre d'essais des propulseurs (Ministère de la défense). Ultérieurement, un incendie accidentel a détruit la salle d'examen où se trouvaient stockés, entre autres objets, le moteur du F-GEVN et ses accessoires.

1.16.5.3 Mesures de monoxyde de carbone (CO) sur TB20 en vol

Lors des vols techniques de contrôle, une mesure de CO est effectuée de manière systématique sur tous les avions. Le F-GEVN avait subi cette opération avec des résultats négatifs à l'issue de sa dernière grande visite.

1.17 Renseignements sur les organismes et la gestion

Sans objet.

1.18 Renseignements supplémentaires

1.18.1 Témoignages

1.18.1.1 Sur le site

Plusieurs personnes ont vu et entendu le TB20 au cours des évolutions qui ont précédé son impact avec le sol.

Une première personne l'a vu à une distance de quatre ou cinq cents mètres, sur le dos, à basse hauteur, en direction de l'aérodrome. Elle l'a vu nettement continuer à virer en piquant sous un angle d'environ 30°. Il lui a semblé que le pilote tentait de redresser l'avion.

Une seconde personne a aperçu l'avion battre des ailes à deux ou trois reprises puis piquer vers le sol.

Une troisième personne a vu l'avion partir brutalement à la verticale, a cru entendre son moteur pétarader et caler au point haut de son évolution, et l'a vu terminer une boucle vers le bas.

Une quatrième personne a vu l'avion partir en virage par la droite, poursuivre sa rotation en roulis et s'arrêter à la verticale. Elle l'a ensuite perdu de vue.

Une cinquième personne a entendu un bruit semblable à celui d'un moteur qui redémarre, a vu l'avion à la verticale, nez bas, et a pensé que le pilote était en train de redresser sa trajectoire

Une sixième personne a eu son attention attirée par un avion venant de Troyes et qui était « en train de tomber ».

Une septième personne a entendu le bruit du moteur de l'avion, l'a vu se cabrer subitement, partir en virage à droite, passer sur la tranche puis piquer vers le sol. Ce témoin a eu l'impression « que l'avion était poussé par le vent ».

Ces témoignages, corrélés en fonction de la position géographique de chaque témoin et de l'instant où l'avion a été vu, précisent l'attitude de celui-ci pendant la perte de contrôle.

1.18.1.2 En vol

Des pilotes ayant volé dans le secteur le jour de l'accident ont été interrogés sur les conditions météorologiques du jour. Ils s'accordent pour dire que l'air était turbulent ou très turbulent dans la région champenoise et au-dessus de l'Auxerrois. Toujours d'après eux, la visibilité était excellente. Ces indications confirment les données du paragraphe 1.7.

1.18.1.3 Les instructeurs du pilote

Selon deux instructeurs du SEFA de Biscarrosse qui avaient participé à la formation du pilote lors du stage suivi cinq mois avant l'accident, cette formation s'est déroulée sans problème. Le stagiaire était un élève plaisant, moyen mais très motivé, calme et jamais excité. Pendant les séances de voltige sur CAP 10, il était à l'aise dans les situations marginales.

1.18.2 Système de conditionnement d'air du TB20

N.B. : les examens toxicologiques ayant fait apparaître la présence de carboxyhémoglobine, des recherches dans cette voie ont été entreprises. Elle font l'objet de ce paragraphe et des paragraphes suivants.

Le TB20 est muni d'un système de climatisation et d'un système de ventilation de la cabine.

1.18.2.1 Système de climatisation

Le système de climatisation d'air utilise un mélange d'air provenant de l'extérieur ; une partie de cet air est réchauffée et est ensuite répartie dans la cabine :

- l'air extérieur est capté par un orifice placé à l'avant de l'avion dans la partie inférieure gauche du capot moteur non loin du cône d'hélice ; cet air est conduit dans le collecteur échangeur où il passe dans une chicane autour du pot d'échappement ;
- l'air ainsi réchauffé sur des parties métalliques pouvant atteindre près de 500 °C est conduit vers le distributeur / mélangeur où il est refroidi par de l'air frais. Cet air frais est capté par une prise d'air munie d'un volet située à droite de la cellule de l'avion, entre le capot moteur et la base avant de la verrière ;
- l'air ainsi climatisé est envoyé du mélangeur vers la cabine. Il y pénètre par un conduit spécifique dirigé sur les pieds du pilote en place gauche et par des orifices dirigés sur les pieds du passager avant droit et des passagers à l'arrière.

1.18.2.2 Système de ventilation

Le système de ventilation utilise de l'air à température extérieure. Il permet la ventilation de la cabine et des équipements radio.

La ventilation des équipements s'effectue par l'intermédiaire de la prise d'air frais utilisée par le système de climatisation. La ventilation de la partie avant de la cabine s'effectue par l'intermédiaire d'une seconde prise d'air, similaire à la première mais située à gauche de la cellule.

L'air capté par cette prise d'air est conduit vers deux aérateurs situés aux deux extrémités du bandeau de la planche de bord et réglables en orientation et en débit.

La partie arrière de l'habitacle peut être ventilée par un système indépendant. L'air est capté par une entrée d'air située à la base de la dérive.

1.18.2.3 Commandes du système de conditionnement

Le système de conditionnement d'air est commandé à l'aide de quatre manettes regroupées sur la partie droite du bandeau de la planche de bord.

De haut en bas :

- la première manette agit sur la prise d'air latérale gauche pour régler la ventilation ;
- la seconde agit sur un volet pour régler le débit d'air mélangé à la sortie du distributeur / mélangeur vers la cabine pour la climatisation ;
- la troisième agit sur un volet régulant le débit d'air chaud pour le désembuage du pare-brise ;
- la quatrième agit sur le volet coupe-feu du distributeur / mélangeur pour réguler le débit d'air chaud arrivant dans le mélangeur.

1.18.3 Système de dégivrage d'hélice du TB20

Comme tous les TB20 de la flotte du SEFA, le F-GEVN était équipé d'un système de dégivrage d'hélice, le système TKS.

1.18.3.1 Conditions d'utilisation

Les conditions d'utilisation du système sont décrites dans le manuel d'exploitation du TB20, partie *Utilisation*, section 7, paragraphe 3.2, «*Vol en conditions givrantes*».

1.18.3.2 Description

Le dégivrage fonctionne par distribution d'éthylène glycol sur le bord d'attaque des pales par deux tubes situés en pied de pale.

Pour la mise en œuvre du dégivrage, le pilote dispose d'un boîtier de commande agissant sur une pompe située dans le compartiment moteur sous le réservoir contenant le liquide de dégivrage. Ce boîtier est situé sur le bandeau inférieur du tableau de bord, sous le volant droit. Il est composé :

- d'un inverseur à trois positions :
 - en haut, LO, débit faible, autonomie de cent trente minutes ;
 - au milieu, OFF, non en service ;
 - en bas, HI, débit fort, autonomie de quatre-vingt-quinze minutes.
- d'un voyant (diode) jaune qui clignote lorsque le système est en fonction HI ou LO.

Remarque : lors de l'action sur la commande de dégivrage en position HI, il se produit systématiquement une nébulisation du produit dont une partie est projetée sur le pare-brise de l'avion. Cette projection ne peut pas passer inaperçue du pilote car elle diminue sensiblement la visibilité vers l'avant et laisse la verrière frontale marquée par ces gouttelettes grasses.

1.18.3.3 Liquide de dégivrage

Le liquide de dégivrage est répertorié S-745 par la Direction Centrale du Service des Essences des Armées. Il est constitué d'un mélange de 85 % d'éthylène glycol, de 5 % d'alcool éthylique et de 10 % d'eau.

Le réservoir de liquide de dégivrage contient deux litres de produit, soit cent millilitres d'alcool pur.

1.18.3.4 Mise en marche involontaire du dégivrage sur TB20

Le positionnement de l'interrupteur de commande sur les TB20 entraîne parfois des mises en marche involontaires, par exemple par le genou du passager.

1.18.4 Le monoxyde de carbone

1.18.4.1 Caractéristiques

Le monoxyde de carbone (CO) est un gaz毒ique, même à faibles doses. Lorsqu'il entre dans les poumons, il se fixe sur l'hémoglobine, ce qui entraîne une diminution de la respiration cellulaire. Cette carence cellulaire en oxygène est particulièrement nocive au niveau du système nerveux central ; elle réduit la capacité à raisonner et à prendre des décisions.

1.18.4.2 Effets du monoxyde de carbone (CO)

1.18.4.2.1 Principaux facteurs intervenant dans l'intoxication

Le degré d'intoxication au CO dépend de nombreux facteurs. On retiendra les principaux :

- concentration en CO
- teneur en CO₂ de l'atmosphère
- ventilation pulmonaire
- durée d'exposition

1.18.4.2.2 Effets cliniques du CO

Il a été démontré qu'il existait une corrélation étroite entre le taux de carboxyhémoglobine et les manifestations cliniques, comme indiqué dans le tableau ci-après.

Remarque : les symptômes décrits sont d'ordre statistique et peuvent varier d'un individu à l'autre.

TAUX	SYMPTOMES
0 à 10 %	Néant.
10 à 20 %	Raideur frontale, légères céphalées, vasodilatation cutanée.
20 à 30 %	Céphalées, battements des tempes.
30 à 40 %	Céphalées constrictives intenses, faiblesse, vertiges, troubles visuels et auditifs, nausées, vomissements, tendance au collapsus.
40 à 50 %	Mêmes symptômes, possibilité de syncope, accélération du pouls et de la respiration.
60 à 70 %	Coma, ralentissement du pouls et de la respiration puis décès.

1.18.5. Le liquide de dégivrage

On a vu que le liquide de dégivrage contient un mélange d'éthanol et d'éthylène glycol.

En ce qui concerne l'éthanol, il est peu probable qu'une concentration aussi faible (5 %) ait pu entraîner une quelconque gène. Une étude expérimentale (Cambell et Wilson, 1986) a montré que l'exposition pendant trois heures à des vapeurs d'éthanol à la concentration de 1 900 mg/m³ n'entraînait pas d'éthanolémie détectable.

En ce qui concerne l'ingestion d'éthylène glycol vaporisé à froid, il est connu que les premiers signes d'intoxication aiguë se manifestent après quelques heures de latence sans symptômes apparents. Ces signes sont constitués par des troubles digestifs (nausées, vomissements, douleurs abdominales) et une dépression du système nerveux central (ébriété puis somnolence et coma). Le diagnostic repose sur le dosage sanguin de l'éthylène glycol, les concentrations sanguines et urinaires des glycolates et des oxalates résultant du métabolisme du glycol pouvant également être mesurées.

Enfin, il n'existe pas d'exemple d'intoxication au CO résultant de l'inhalation de vapeurs d'éthylène glycol ou de produits de la décomposition chimique de l'éthylène glycol.

Les précisions suivantes ont été fournies par le constructeur de l'aéronef :

Lors de la certification du système TKS, une étude sur les liquides de dégivrage utilisés a montré qu'ils étaient constitués en proportions variables de glycol, alcool éthylique et eau et ne présentaient aucun danger. En effet il a été constaté : qu'un séjour prolongé dans une atmosphère chargée de vapeurs de glycol à moins de 50 ppm n'a aucune influence sur les êtres humains et n'est pas détectable, qu'au-delà de 50 ppm, le vapeurs de glycol sont détectables par le goût et une irritation de la gorge. Il suffit alors de couper le chauffage.

Cette étude repose sur des essais effectués par la NASA lors du programme Apollo (AMRL-TR-696130 - Inhalation toxicity of ethylene glycol).

1.18.6 Aspects réglementaires

Le taux de CO réglementairement admissible en cabine est donné au paragraphe 23.831 Ventilation de la FAR 23, règlement appliqué au moment de la certification du TB20.

Pour les avions non pressurisés : « *Chacun des compartiments passagers et membres d'équipage doit être convenablement ventilé. La concentration en monoxyde de carbone ne doit pas excéder une part pour 20 000 parts d'air (soit 0,005 %)* ».

1.18.7 Equipement des avions

Les précisions suivantes ont été fournies par le constructeur de l'aéronef, la SOCATA, à propos de l'équipement de certains TB20 et TB21 avec un déflecteur au niveau de l'entrée d'air du circuit de conditionnement d'air cabine :

Ce déflecteur fait partie de l'option C687 « Protection contre le givrage - Système TKS ». Cette option concerne le dégivrage hélice, pare-brise, voilure, empennage horizontal et empennage vertical. Elle a été certifiée en 1990 sur TB20 et TB21 et autorise le vol en conditions givrantes connues.

Ce déflecteur a été mis au point pour deux raisons. La première est d'éviter l'accrétion de glace sur l'entrée d'air (ce qui se produit en conditions givantes). Sa forme a été optimisée à cet effet. La seconde est d'éviter que les projections de glycol qui résultent d'une utilisation intensive du dégivrage (comme c'est le cas en conditions givantes sévères) ne pénètrent dans l'entrée d'air après avoir ruisselé sur le capot.

Ce déflecteur permet ainsi une utilisation simultanée et prolongée du dégivrage hélice en même temps que du chauffage cabine, utilisation usuelle en atmosphère givante connue.

En revanche, l'option dégivrage hélice seule (option 522 certifiée en 1982 en 14 volts ou C522 certifiée en 1989 en 28 volts) ne comporte pas de tube déflecteur. En effet, cette option n'autorise pas le vol en conditions givantes, ce qui rend l'utilisation du dégivrage sporadique.

Des détecteurs de CO peuvent être installés afin d'alerter l'équipage sur d'éventuelles émanations de monoxyde de carbone. Ils sont obligatoires sur certains types d'avion pour lesquels le défaut de fonctionnement de certains équipements est susceptible de générer du CO. L'emport de tels détecteurs n'est pas obligatoire sur le TB20.

2 - ANALYSE

2.1 Hypothèse de la perte de connaissance

On peut noter que les messages radio que passe le pilote pendant son approche vers l'aérodrome de Troyes ne laissent apparaître aucun trouble physique ou psychique. Le ton est posé et le contenu des messages est clair et concis. Ceci, ainsi que les éléments des paragraphes 1.16.4, 1.18.4 et 1.18.5, permet d'exclure l'hypothèse d'une intoxication incapacitante ou d'une perte de connaissance à l'origine de la perte de contrôle.

2.1.1 Intoxication par le produit de dégivrage

Il a été vu au paragraphe 1.18.3.4 que le système de dégivrage hélice pouvait être mis en route par inadvertance par le genou du passager. Une partie du liquide peut alors être projetée sur la face avant du capot moteur où se trouve la prise d'air utilisée pour le conditionnement d'air, et pénétrer ainsi dans le circuit de conditionnement. Cependant, la majeure partie du produit étant pulvérisée sur les pales et dispersée, seule une très faible quantité est susceptible de pénétrer dans la cabine par le circuit de conditionnement d'air. De plus, le pilote n'aurait pu manquer de remarquer les gouttes de liquide qui se seraient déposées sur le pare-brise.

Le passage de traces de produit dans la cabine aurait suffi à provoquer des réactions très vives, du fait de son âpreté et de l'irritation de la gorge qu'il provoque. La qualité des messages radio ne fait pas apparaître de tels symptômes. En outre, les faibles quantités considérées ne sont pas de nature à provoquer une altération du comportement et il n'a été trouvé aucune trace d'éthanol d'origine exogène dans le sang des occupants.

2.1.2 Intoxication par le monoxyde de carbone

Du liquide de dégivrage pénétrant par l'ouïe d'alimentation d'air sur la face avant du capot moteur aurait aussi pu se consumer au contact de l'échangeur d'air du circuit de climatisation et se dégrader, dégageant du monoxyde de carbone. Cependant, la quantité de monoxyde de carbone qui est susceptible d'être ainsi produite et dirigée vers la cabine, est nettement trop faible pour altérer le comportement des personnes à bord.

Par ailleurs, il n'a pas été mis en évidence de crise du système d'échappement par où des gaz d'échappement auraient pu s'infiltrer en cabine.

Quoi qu'il en soit, les taux de monoxyde de carbone relevés dans le sang des victimes n'étaient pas de nature à provoquer un trouble significatif. Le taux maximum relevé, 16,3 %, est au plus de nature à provoquer de légers maux de tête. Les premiers troubles du comportement n'apparaissent qu'à des taux supérieurs à 30 % et les éventuelles pertes de conscience au delà de 40 %.

2.2 L'analyse du vol

L'ensemble du vol s'est déroulé selon le programme prévu. La première partie a amené l'avion à effectuer le trajet Melun Saint-Dizier. Le pilote a ensuite fait le tour du lac du Der puis pris la direction de Brienne le Château. Il a alors contacté l'aérodrome de Troyes en vue de s'y poser.

La trajectographie et la transcription des radiocommunications montrent que le message indiquant l'arrivée en longue finale est émis au point sol qui se situe sensiblement entre les plots 11 et 12. A ce moment, l'avion ne se trouve pas aligné sur l'axe de piste 36, mais face à une route à quatre voies située à l'est et légèrement convergente avec les installations de l'aérodrome. Il n'est pas impossible que le pilote se soit aligné par erreur sur cette route (la possibilité de cette confusion a été vérifiée par les enquêteurs). Pendant au moins quinze secondes, il suit cet axe, avant de virer pour rejoindre l'axe de la piste 36. Le dernier plot enregistré se situe sensiblement au point théorique d'inflexion de cette trajectoire, à équidistance des deux axes. C'est à la verticale de ce point et au cap inverse que le TB20 touche le sol.

Des témoins voient effectivement l'avion venir de l'est lorsqu'il commence à avoir une attitude désordonnée. Certains le voient alors prendre brutalement un cabré et une inclinaison qui ne cessent d'augmenter jusqu'à se stabiliser à la verticale, le nez vers le sol. Les témoins de la phase finale ont, quant à eux, l'impression que le pilote tente une ressource. Ceci est cohérent avec les observations faites sur le site, qui montrent que l'avion avait à l'impact un piqué de vingt degrés environ et les ailes horizontales.

L'avion est déjà en configuration d'atterrissage au moment de l'accident : train sorti et volets à 10°, avec une vitesse constatée compatible avec cette configuration. Les espacements entre les plots radar sont réguliers. La trajectoire est représentative des caps suivis et des manœuvres de changement de direction. L'intention d'atterrir est établie.

Le scénario qui ressort de ce qui précède est le suivant :

Le pilote s'aligne d'abord sur la route à quatre voies. Lorsqu'il s'aperçoit de son erreur, il manœuvre pour revenir sur l'axe de la piste. C'est lorsqu'il débute un dernier virage pour s'aligner sur la piste qu'il perd le contrôle de l'avion. Dans ce secteur, un fort vent de nord-est est établi. Ce vent a tendance à lui faire dépasser l'axe et l'incite à serrer davantage son virage. De plus, ces manœuvres sont effectuées en configuration d'atterrissage et dans une atmosphère turbulente rendant le pilotage délicat. La perte de contrôle est ainsi vraisemblablement due à un décrochage en virage. L'avion passe sur le dos puis en piqué. Le pilote, qui avait subi une initiation à la voltige, amorce une tentative de récupération mais il n'y parvient pas à cause de la faible hauteur au moment de la perte de contrôle. L'avion percute le sol, les ailes horizontales et sous un angle qui confirme que la manœuvre de récupération était en cours d'exécution.

3 - CONCLUSIONS

3.1 Faits établis par l'enquête

- L'avion possédait un certificat de navigabilité en état de validité et était entretenu conformément à la réglementation.
- Le pilote détenait les brevets et licences compatibles avec le vol entrepris.
- Le pilote, accompagné d'une passagère, exécutait un vol d'entraînement à la navigation.
- Des taux de 0,163 et 0,070 de monoxyde de carbone ont été relevés dans le sang des occupants.
- Les conditions météorologiques permettaient d'entreprendre ce vol.
- Le pilote se préparait à intercepter l'axe de piste 36 afin de se poser à Troyes.
- La configuration de l'avion était celle d'un aéronef se préparant à l'atterrissement.
- L'avion a percuté le sol sous un angle de piqué d'environ 20°, ailes horizontales.
- Le moteur était en état de fonctionnement et tournait à l'impact.

3.2 Cause probable

L'accident résulte d'une perte de contrôle au cours d'une évolution en finale alors que l'avion était soumis à un vent fort et turbulent. La présence d'une faible quantité de monoxyde de carbone n'a pu être expliquée. Son influence, bien que n'ayant pas été retenue, ne peut être totalement écartée.

4 - RECOMMANDATION DE SECURITE

L'hypothèse d'une perte de contrôle de l'avion due à l'absorption de monoxyde de carbone a été écartée, étant donné les taux mesurés dans le sang des occupants. Toutefois, l'infiltration accidentelle de monoxyde de carbone dans une cabine d'avion n'est pas techniquement impossible.

Aussi, compte tenu du faible prix des détecteurs de CO, le BEA recommande que :

- **la DGAC impose la présence d'un détecteur de monoxyde de carbone à bord des aéronefs d'aviation générale.**