

Bureau enquêtes accidents Défense

RAPPORT PUBLIC D'ENQUETE TECHNIQUE

BEAD-A-2004-004-A



Date de l'événement : 29 janvier 2004

**Lieu de l'événement : Plateau du Grand Arbois,
Commune d'Aix en Provence (13)**

Appareil : Hélicoptère
- Type : Fennec n° 5428
- Immatriculation : F-RAVK
- Indicatif radio : Murène 38

Organisme : Armée de l'air
Commandement : CFAP
Unité : EH 05.067 « Alpilles »

AVERTISSEMENT

COMPOSITION DU RAPPORT

Les faits, utiles à la compréhension de l'événement, sont exposés dans le premier chapitre du rapport. L'analyse des causes possibles de l'événement fait l'objet du deuxième chapitre. Le troisième chapitre tire les conclusions de cette analyse et présente les causes certaines ou possibles. Enfin, dans le dernier chapitre, des propositions en matière de prévention sont présentées.

UTILISATION DU RAPPORT

L'objectif du rapport d'enquête technique est d'identifier les causes de l'événement et de formuler des recommandations de sécurité. En conséquence, l'utilisation exclusive de la deuxième partie de ce rapport et des suivantes à d'autres fins que la prévention pourrait conduire à des interprétations erronées.

TABLE DES MATIERES

<i>Avertissement</i>	1
<i>Table des matières</i>	2
<i>Glossaire</i>	5
<i>Synopsis</i>	7
1. Renseignements de base	9
1.1. Déroulement du vol	9
1.1.1. Mission	9
1.1.2. Déroulement	9
1.1.2.1. Préparation du vol.....	9
1.1.2.2. Description du vol et des éléments qui ont conduit à l'événement	10
1.1.2.3. Reconstitution de la partie significative de la trajectoire du vol	11
1.1.3. Localisation	13
1.2. Tués et blessés	14
1.3. Dommages à l'aéronef	14
1.4. Autres dommages	14
1.5. Renseignements sur le personnel	15
1.5.1. Membres d'équipage de conduite.....	15
1.5.1.1. Commandant de bord.....	15
1.5.1.2. Copilote	16
1.5.2. Autre membre d'équipage (pilote en place arrière).....	17
1.6. Renseignements sur l'aéronef	18
1.6.1. Maintenance	19
1.6.2. Masse et centrage	19
1.6.3. Carburant.....	20
1.7. Conditions météorologiques	20
1.7.1. Prévisions	20
1.7.1.1. Prévisions communiquées par le centre météorologique d'Istres pour un trajet Istres Chambéry (éléments retirés par l'équipage à 08h00).....	20
1.7.1.2. Prévisions communiquées par le centre météorologique d'Istres et de Marseille au moment de l'événement	20
1.7.2. Observations.....	20
1.7.2.1. Situation générale	20
1.7.2.2. Conditions estimées sur le site vers 15h20	21
1.7.2.3. Relevés de la station de Marseille Provence.....	21
1.7.2.4. Conditions relevées sur le site par l'équipage du Super Puma	22
1.7.2.5. Estimation fournie par un témoin auditif situé au hameau de la Mérindole à 800 mètres de la zone de l'accident.....	22
1.8. Aides à la navigation	22
1.9. Télécommunications	22
1.10. Renseignements sur l'aérodrome	22
1.11. Enregistreurs de bord	22
1.12. Renseignements sur l'épave et sur l'impact	23
1.12.1. Description de la zone	23
1.12.2. Examen de l'épave	24
1.13. Renseignements médicaux et pathologiques	29
1.13.1. Membres d'équipage de conduite.....	29
1.13.1.1. Commandant de bord.....	29
1.13.1.2. Copilote	29
1.13.2. Autre membre d'équipage (Pilote en place arrière).....	29
1.14. Incendie	30
1.15. Survie des occupants	30

1.15.1. Organisation des secours	30
1.15.1.1. Alerte	30
1.15.1.2. Secours.....	30
1.16. Essais et recherches	31
1.16.1. Expertises réalisées au centre d'essais des propulseurs (CEPr) de SACLAY	31
1.16.2. Météo France	32
1.17. Renseignements sur les organismes	32
1.18. Renseignements supplémentaires	32
1.19. Techniques spécifiques d'enquête	33
2. Analyse	34
2.1. Analyse des faits	34
2.1.1. Contexte de la mission.....	34
2.1.2. Résultats des expertises menées sur les deux turbomoteurs, sur les ensembles de transmission de puissance, sur les rotors et sur les éléments de la planche de bord.....	35
2.1.2.1. Synthèse et commentaires.....	35
2.1.2.2. Scénario d'endommagement des moteurs.....	38
2.1.3. Expérience professionnelle de l'équipage	39
2.1.3.1. Commandant de bord.....	39
2.1.3.2. Copilote (pilote en instruction)	40
2.1.3.3. Pilote en place arrière	40
2.1.4. Contexte organisationnel	41
2.1.4.1. Composition de l'équipage (aspects interactifs et synergiques)	41
2.1.4.2. La réalisation de cette mission d'entraînement basse altitude au regard de l'objectif recherché et des conditions météorologiques.....	43
2.1.4.3. Processus de changement de sous-spécialité	43
2.1.5. Contexte environnemental.....	45
2.1.5.1. S'agissant des conditions météorologiques.....	45
2.1.5.2. S'agissant de l'influence de la topographie sur l'aérologie	46
2.1.6. Étude des phases de vol pouvant conduire à l'évènement	48
2.1.6.1. Travail en tour de piste basse altitude	48
2.1.6.2. Travail en reconnaissance d'aire de poser	52
2.1.6.3. Décollage de l'aire de poser dite « porte avions » située en fond de vallée.....	54
2.2. Énoncé et vérification des hypothèses relatives aux causes de l'évènement	55
2.2.1. Hypothèses liées à une cause d'origine technique.....	56
2.2.2. Hypothèses liées à des causes d'origine environnementale.....	56
2.2.2.1. Conditions météorologiques	56
2.2.2.2. Configuration du terrain	57
2.2.2.3. Phénomènes aérologiques déduits de l'étude des phases de vol pouvant conduire à l'évènement	57
2.2.3. Hypothèses liées à des causes d'origine humaine	61
2.2.3.1. Charge de travail de l'équipage	61
2.2.3.2. Évaluation erronée par le pilote commandant de bord de son niveau d'expertise pour cette mission réalisée dans des conditions spécifiques	62
2.2.3.3. La décision de réaliser cette mission tenue machine TM-A en basse altitude	62
2.2.3.4. Les différences d'investissement des membres d'équipage dans la mission	63
2.2.3.5. La sous-évaluation des difficultés environnementales.....	65
2.2.3.6. La faible expertise de l'équipage face à des conditions environnementales délicates	65
2.2.3.7. La formation concomitante du moniteur sur Super Puma	66
2.2.3.8. Composition de l'équipage	67
2.3. Arborescence causale et chronologique	68
3. Conclusion	69
3.1. Faits établis, utiles à la compréhension de l'évènement	69
3.2. Causes de cet évènement	70
4. Recommandations de sécurité	72
4.1. Mesures de prévention ayant trait directement à l'évènement	72
4.2. Mesures de prévention n'ayant pas trait directement à l'évènement	74
4.2.1. La sélection pilote hélicoptères lors d'un changement de sous-spécialité.....	74
4.2.2. Mise en place d'enregistreurs de vol ou de paramètres	74

Annexes	76
1. Croquis des lieux	77
2. Etat de vortex	80
3. Trajectographie	81
4. Météorologie	84
4.1. Prévisions communiquées par le centre météorologique d'Istres pour un trajet Istres – Chambéry – Istres	84
4.2. Prévisions communiquées par le centre météorologique d'Istres et de Marseille au moment de l'évènement	86

GLOSSAIRE

BEA	bureau enquêtes et analyses pour la sécurité de l'aviation civile
BEAD	bureau enquêtes accidents défense
BTA	boite de transmission arrière
BTP	boite de transmission principale
CEV	centre d'essais en vol
CFAP	commandement de la force aérienne de projection
CGTM	compagnie générale des turbomachines
CIEH	centre d'instruction des équipages d'hélicoptères
CMIRSE	centre météorologique interrégional Sud Est
CERPAIR	centre d'études et de recherches en psychologie-air
CDB	commandant de bord
CEPr	centre d'essais des propulseurs de Saclay
CPC	cycle de perfectionnement au commandement
DPMAA	direction du personnel militaire de l'armée de l'air
EH	escadron d'hélicoptères
EOPN	élève officier du personnel navigant
EAALAT	école d'application de l'aviation légère de l'armée de terre
EMA	état-major des armées
EA	école de l'air
GV	grande visite
GPS	<i>global positioning system</i> (système de positionnement mondial par satellite)
GTM	groupe turbomoteur
hPa	hectopascal, unité de mesure de pression
kt	<i>knots</i> (nœuds : unité de vitesse 1kt = 1 852 km/h)
Mhz	Mégahertz
MO	moniteur
METAR	message d'observation météorologique d'aérodrome
Nm	<i>nautical miles</i> (mile nautique : unité de longueur 1 Nm = 1852 mètres)
NAV-A	navigation à vue

NAI	navigation aux instruments
PMD	puissance maximale disponible
PDD	point clé de décision de décollage
PCB	pilote commandant de bord
QFE	pression atmosphérique à l'altitude de l'aérodrome
QNH	pression atmosphérique ramenée par calcul au niveau de la mer dans les conditions de l'atmosphère standard
RAC	rotor anticouple
RG	révision générale
RCC	<i>rescue coordination center</i> (centre de coordination des recherches)
SPECI	message spécial, transmis lorsque les conditions se dégradent ou s'améliorent très significativement entre deux observations d'aérodrome
SAR	<i>search and rescue</i> (mission de recherche et sauvetage)
SC	scellés conservatoires
TAF	message météorologique de prévision d'aérodrome
TMA	entraînement tenue machine
Td	température du point de rosée, température à laquelle il faut refroidir, à pression constante, une particule d'air pour qu'elle soit juste saturée en vapeur d'eau
UTC	temps universel coordonné
VP	visite prévisionnelle
VY	vitesse optimum de montée
ZP	zone de poser

SYNOPSIS

- Date de l'événement : 29 janvier 2004 vers 15h20¹.
- Lieu de l'événement : plateau du Grand Arbois, commune d'Aix en Provence (13).
- Armée : armée de l'air.
- Grand commandement : commandement de la force aérienne de projection (CFAP).
- Aéronef : hélicoptère type Fennec n° 5428, F-RAVK.
- Nature du vol : mission d'entraînement tenue machine (TM-A).
- Nombre de personnes à bord : 3 personnes.

Résumé de l'événement

Le 29 janvier 2004, à 14h36, un hélicoptère Fennec AS 555 AN de l'Escadron d'Hélicoptères (EH) 05.067 « Alpilles » décolle pour une mission d'entraînement tenue machine (TM-A) en basse altitude dans le secteur de Roquefavour sur le plateau du Grand Arbois (13).

À 15h27, un Super Puma en retour de mission identifie l'appareil en feu au sol. L'appareil est entièrement détruit et les trois occupants sont décédés.



Vue d'ensemble point d'impact

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

Déclenchement de l'enquête

Le jeudi 29 janvier 2004 à 15h40, le bureau enquêtes accidents défense (BEA Défense) est avisé de l'événement par le bureau d'enquêtes et d'analyses pour la sécurité de l'aviation civile (BEA).

L'état major de l'armée de l'air est alerté par la permanence du BEA défense à 15h45.

La notification formelle de l'événement aérien est effectuée à 18h16. L'enquête est déclenchée à 18h42. Un enquêteur de première information, mandaté par le BEA Défense, est présent sur site dès la fin de l'après midi. L'enquêteur désigné du BEA Défense rejoint le lieu de l'événement le 30 janvier 2004. L'ensemble du groupe d'enquête technique est présent sur zone le 30 janvier 2004 dès 10h00.

Un message de première information d'enquête technique ² est transmis le 30 janvier 2004 dans la soirée.

Composition du groupe d'enquête technique

- Un officier du BEA Défense, enquêteur désigné,
- un EPI, de l'aviation légère de l'armée de terre (ALAT),
- un officier pilote, du centre d'instruction des équipages d'hélicoptères (CIEH), qualifié moniteur,
- un sous-officier mécanicien, du CIEH,
- un médecin du personnel navigant.

Enquête judiciaire

- Le Parquet de Marseille s'est saisi de l'affaire.
- Un officier de police judiciaire de la Section judiciaire (SJ) de la gendarmerie de l'air de Balard a été commis.

² Message n°111/DEF/BEAD/CDT du 30 janvier 2004.

1. RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1. DEROULEMENT DU VOL

1.1.1. Mission

Indicatif mission	MURENE 38
Type de vol	COM V
Type de mission	Entraînement tenue machine TM-A
Dernier point de départ	BA 125 Istres
Heure de départ	14h31 translation / 14h36 décollage.
Point d'atterrissage prévu	BA 125 Istres

1.1.2. Déroulement

1.1.2.1. Préparation du vol

➤ Ordres de vol

La mission initialement prévue par les ordres de vol est une séance de navigation à vue (NAV-A) et aux instruments (NAI) sur le trajet Istres – Chambéry (73). Le décollage est programmé le jeudi 29 janvier 2004 à 10h00. Après étude des dernières observations et prévisions communiquées par le centre météorologique d'Istres pour ce trajet la mission est annulée en début de matinée. Un vol d'entraînement TM-A est programmé en remplacement pour 14h00. Le plan de vol est déposé par l'équipage.

Les ordres de vol sont rédigés conformément à la réglementation en vigueur.

➤ Préparation du vol

Le briefing de cette nouvelle mission est réalisé en fin de matinée par le commandant de bord, qualifié moniteur, en salle opérations de l'unité³.

³ Le contenu de la séance TM-A est présenté au paragraphe 2.1.1. de la note n° 2566/CFAP/EMP/SV du 18 juin 1997 relative aux missions d'entraînement sur les hélicoptères du CFAP, modifiée par la note n° 2911/CFAP/EMP/SV du 3 août 2000.

À l'issue du déjeuner, le commandant de bord (CDB) est averti qu'une vérification technique portant sur les mesures de vibrations génératrice démarreur doit être réalisée avant d'effectuer la mission. Le décollage est donc reporté après un point fixe de contrôle exécuté par un pilote contrôleur de l'unité.

Un avitaillement de 150 litres du Fennec est réalisé à 13h30.

1.1.2.2. Description du vol et des éléments qui ont conduit à l'événement

Conformément aux ordres de vol et au briefing cité supra, le CDB du Fennec prend en compte l'appareil en piste et effectue les vérifications extérieures et intérieures au parking EH avant de procéder à la mise en route de l'hélicoptère.

À 14h23, Murène 38 demande la mise en route sur la fréquence sol 121.85 Mhz. Le CDB précise le nombre de personnes à bord et son numéro de plan de vol (MI 13). Le contrôle autorise alors la mise en route.

À 14h31, Murène 38 annonce qu'il est prêt pour le déplacement.

Le contrôle autorise la translation jusqu'au taxiway principal, communique les pressions et demande à l'équipage de confirmer le point de sortie. Le QFE est de 1010 hPa et le QNH de 1013. Murène 38 débute alors sa translation et précise le point de sortie NE (MIRAMAS) à 500 ft.

À 14h33, Murène 38 annonce au contrôle qu'il est prêt pour l'alignement sur le taxiway 33.

À 14h34, l'équipage renouvelle son appel. Le contrôle demande alors à Murène 38 de contacter la tour sur la fréquence 123.6 Mhz.

Istres tour autorise l'alignement sur le taxiway 33, notifie un vent du 340° pour 27 kt avec des rafales à 32 kt et demande au CDB de rappeler prêt pour le décollage. L'appareil s'aligne alors en 33.

À 14h35, l'équipage signale la présence d'un véhicule au bout du taxiway 33 et demande la confirmation du décollage. Le contrôle répond aussitôt par la négative et précise qu'il avait demandé de rappeler prêt pour le décollage. Murène 38 remercie le contrôle et déclare qu'il n'avait pas l'intention de décoller car le véhicule sur le taxiway pose un problème.

À 14h36, la tour autorise le décollage, après avoir fait dégager le véhicule, et annonce un vent du 340° pour 25 kt avec des rafales à 32 kt. Le Fennec s'annonce alors au décollage.

À 14h38, la tour informe Murène 38 de la présence de deux appareils, en compte avec le CEV, dans son secteur dix heures en basse altitude. Le CDB précise « *qu'il ouvre l'œil* » et qu'il transitera au sud de l'autodrome de MIRAMAS point NE.

À 14h39, le contrôle autorise Murène 38 à quitter la fréquence et annonce un QNH de 1013. L'équipage collationne le QNH et s'annonce passant le point NE. Entre 14h39 et 14h47, seule la trajectoire radar établie par le contrôle d'Istres permet de définir l'itinéraire de l'appareil (annexe 3 – *Trajectographie* – page 81). La dernière position de l'appareil relevée par le contrôle d'Istres est N 43°30'10'' / E 005°19'04'' dans le 94° pour 17 Nm de la base d'Istres. Le transpondeur de l'appareil n'a pas été détecté.

1.1.2.3. Reconstitution de la partie significative de la trajectoire du vol



Transit entre BA 125 et zone de Roquefavour

Le transit dans les zones R 77A et R 77B de Salon de Provence est effectué sans contact radio avec Salon approche.

Le premier contact radio de Murène 38 avec le contrôleur d'Aix les Milles est estimé à 14h45.

À 14h50, l'équipage donne les informations habituelles à l'organisme pour lui annoncer qu'il va effectuer une séance d'une heure de tenue machine vers Roquefavour avec trois personnes à bord.

Le contrôle demande alors à Murène 38 de rappeler en début de travail sur zone et transmet le QNH de 1011 hPa. L'équipage le collationne et se signale au Nord Est de La Fare les Oliviers.

À 14h51, Murène 38 s'annonce en entrée de zone de Roquefavour. Le contrôle confirme la bonne réception de l'appel et précise qu'il garde l'écoute.

Selon la représentation de la trajectoire radar donnée par le contrôle d'Istres le dernier point de contact, à 14h47, est situé dans la zone proche de l'accident. Parallèlement, selon la chronologie fournie par le contrôle d'Aix les Milles, l'appareil s'annonce à 14h50 vers la Fare des Oliviers. Ce décalage peut s'expliquer par la non synchronisation des horloges temps des contrôles d'Istres et d'Aix les Milles et dans l'approximation lors du positionnement du Fennec lors de son contact radio avec le contrôle d'Aix.

À 14h52, le CDB précise qu'il veille la fréquence et confirme son intention de travail entre 0 et 300 pieds. Le contrôle accuse réception.

À 15h22, Murène 33, un Super Puma de la même unité s'annonce en retour d'une mission d'entraînement dans le secteur du massif de La Sainte Baume. Murène 33 se situe à Gardanne et demande un transit Luynes Roquefavour avec une verticale terrain à 1000 pieds. Le contrôle autorise le transit, demande au Super Puma de rappeler à la verticale et transmet un QNH de 1011 hPa. Murène 33 collationne les éléments. Au même instant, le contrôle tente d'entrer en contact avec Murène 38. Le Super Puma répond au contrôle. Le contrôleur lui signale la présence d'un Fennec sur Roquefavour.

À 15h23, le contrôle tente une nouvelle fois de rentrer en contact avec Murène 38 pour l'informer de la présence d'un feu dans le secteur de Roquefavour. Murène 33 annonce qu'il a visuel sur le feu. Le contrôle lui demande de rappeler à la verticale du terrain.

À 15h24, Murène 33 s'annonce passant Luynes vers la verticale et propose au contrôle de se rendre sur le lieu de l'incendie. Le contrôleur accepte et demande à l'équipage de préciser s'il y a du monde sur zone, avant de téléphoner aux pompiers. Murène 33 s'annonce verticale 1000 pieds et le contrôleur lui demande de rappeler sur la zone de l'incendie.

À 15h25, la tour de contrôle d'Aix les Milles informe Murène 33 de la présence d'un Fennec entre 0 et 300 pieds et qu'il ne répond pas. Le Super Puma reçoit correctement la communication, précise qu'il n'a pas visuel sur l'appareil et annonce qu'il arrive sur l'incendie dans 30 secondes.

À 15h27, la tour effectue une information de trafic pour signaler à Murène 33 la présence d'un hélicoptère type Dauphin dans le secteur. Le Super Puma annonce le visuel sur le trafic et quelques secondes après découvre un hélicoptère en flammes au sol. Murène 33 se pose aussitôt à proximité de l'appareil accidenté et débarque deux sauveteurs plongeurs équipés de moyens radio. Le Super Puma redécollé immédiatement pour survoler le secteur. A cet instant les sauveteurs confirment par radio qu'il s'agit d'un Fennec. Murène 33 informe aussitôt le contrôle d'Aix les Milles et tente de joindre les opérations de l'escadron sans succès. Le pilote contacte alors le contrôle d'Istres pour demander si Murène 38 est rentré de mission et communique les coordonnées GPS du lieu de l'accident.

1.1.3. Localisation

➤ Lieu :

⇒ pays : France.

⇒ département : Bouches du Rhône (13).

⇒ commune : Aix en Provence, Hameau « la Mérindole » Lieu dit « Jas des vaches ».

⇒ coordonnées géographiques :

▪ N 43° 30' 06'' / E 005° 18' 18''

⇒ altitude du lieu de l'événement : 220 mètres.

➤ Moment : début après-midi

➤ Aérodrome le plus proche au moment de l'événement : Aix les Milles à 3 Nm dans le 089° du lieu de l'événement.



Vue générale de la zone d'accident

1.2. TUES ET BLESSES

Blessures	Membres d'équipage	Passagers	Autres personnes
Mortelles	3	/	/
Graves	/	/	/
Légères	/	/	/
Aucune	/	/	/

1.3. DOMMAGES A L'AERONEF

L'aéronef est détruit. La quasi-totalité de l'hélicoptère a été ravagée par un incendie.

1.4. AUTRES DOMMAGES

Trois hectares ont été détruits par l'incendie consécutif à l'événement. Les parcelles incendiées appartiennent à un particulier et au conseil régional.

1.5. RENSEIGNEMENTS SUR LE PERSONNEL

1.5.1. Membres d'équipage de conduite

1.5.1.1. Commandant de bord

- Age : 30 ans.
- Sexe : masculin.
- Unité d'affectation : EH 05.067 « Alpilles ».
 - ⇒ fonction dans l'unité : chef bureau instruction.
- Spécialité : pilote hélicoptère.
 - ⇒ Qualification : pilote moniteur sur AS 555N (28 mai 2003).
 - ⇒ Formation :
 - pilotage de base : Salon de Provence,
 - spécialisation chasse : Tours,
 - transformation opérationnelle : Cazaux,
 - pilotage de base hélicoptères (terre) : EA.ALAT Dax,
 - école de pilotage hélicoptères (air) : CIEH Toulouse.
 - ⇒ Date de sortie d'école : CIEH Toulouse 13 novembre 2000.
- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	Sur tous types (Hélicoptère*)	Sur Fennec	Sur tous types	Sur Fennec	Sur tous types	Sur Fennec
Total	1359 (745*)	120	116	36	22	14
Dont nuit	120	10	4	4	2	2

- Date du dernier vol comme pilote :
 - ⇒ sur l'aéronef :
 - de jour : 16 janvier 2004,
 - de nuit : 13 janvier 2004.

⇒ sur tous types :

- de jour : 28 janvier 2004,
- de nuit : 27 janvier 2004.

➤ Carte de circulation aérienne :

⇒ type : carte verte,

⇒ date d'expiration : 21 septembre 2004.

➤ Transformation sur Super Puma en cours.

1.5.1.2. Copilote

➤ Age : 25 ans.

➤ Sexe : masculin.

➤ Unité d'affectation : EH 05.067 « Alpilles ».

⇒ Fonction dans l'unité : bureau instruction.

➤ Spécialité : pilote hélicoptère.

⇒ Qualification : pilote à l'instruction.

⇒ Formation :

- pilotage de base : Salon de Provence,
- pilotage de base hélicoptères (terre) : EA.ALAT Dax,
- école de pilotage hélicoptères (air) : CIEH Toulouse.

⇒ Date de sortie d'école : 20 décembre 2002.

➤ Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	Sur tous types (Hélicoptère*)	Sur Fennec	Sur tous types	Sur Fennec	Sur tous types	Sur Fennec
Total	542 (390*)	280	82	82	21	21
Dont nuit	60	20	4	4	2	2

➤ Date du dernier vol comme pilote :

⇒ sur l'aéronef :

- de jour : 28 janvier 2004,
- de nuit : 23 décembre 2003.

➤ Carte de circulation aérienne :

⇒ type : carte verte,

⇒ date d'expiration : 25 janvier 2005.

1.5.2. Autre membre d'équipage (pilote en place arrière)

➤ Age : 26 ans.

➤ Sexe : masculin.

➤ Unité d'affectation : EH 05.067 « Alpilles ».

⇒ Fonction dans l'unité : OSSIU⁴.

➤ Spécialité : pilote hélicoptère.

⇒ Qualification : copilote confirmé

⇒ Formation :

- pilotage de base : Salon de Provence,
- pilotage de base hélicoptères (terre) : EA.ALAT Dax,
- école de pilotage hélicoptères (air) : CIEH Toulouse.

⇒ Date de sortie d'école : 6 septembre 2001.

Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	Sur tous types (Hélicoptère*)	Sur Fennec	Sur tous types	Sur Fennec	Sur tous types	Sur Fennec
Total	851 (617*)	510	140	140	29	29
Dont nuit	66	30	9	9	2	2

⁴ OSSIU : officier de sécurité des systèmes d'information de l'unité.

- Date du dernier vol comme pilote :
 - ⇒ sur l'aéronef :
 - de jour : 22 janvier 2004.
 - de nuit : 15 janvier 2004.
- Carte de circulation aérienne :
 - ⇒ type : carte verte,
 - ⇒ date d'expiration : 23 novembre 2004.
- Contrôle chef de bord programmé la semaine suivant l'accident au CIEH de Toulouse.

1.6. RENSEIGNEMENTS SUR L'AERONEF

- Organisme : armée de l'air.
- Commandement organique d'appartenance : CFAP.
- Base aérienne de stationnement : BA 125 Istres.
- Unité d'affectation : EH 05.067 « *Alpilles* ».
- Type d'aéronef : hélicoptère Fennec AS 555 AN.
 - ⇒ Configuration : équipé treuil.
 - ⇒ Armement : néant.

	Type - Série	Numéro	Heures de vol totales	Heures de vol depuis
Cellule	AS 555	5428	3192h20	213h05 (GV3 ⁵)
Moteur	Arrius 1M	1091	1769h55	/
Moteur	Arrius 1M	1033	410h05	410h05 (RG ⁶)

⁵ GV3 : troisième grande visite.

⁶ RG : révision générale.

1.6.1. Maintenance

Le Fennec est sorti d'une visite d'entretien majeur de la CGTM⁷ à Pau le 3 juillet 2003 à 2979 heures cellule. Diverses pièces ont été changées, notamment les éléments internes à la BTP (le réducteur épicycloïdal, le réducteur conique et la pompe à huile).

Le boîtier de conjugaison n'a pas été remplacé et n'est donc pas concerné par le téléx Alert d'Eurocopter concernant un éventuel glissement de roue libre dans les dix heures de fonctionnement, après pose d'un élément neuf ou révisé chez l'industriel.

Depuis la réception en unité, l'EH a procédé à deux visites d'entretien qui ont été réalisées conformément aux programmes de maintenance en vigueur.

Plus spécifiquement, il a été procédé à trois échanges d'éléments :

- échange plateau de commande du rotor anticouple pour limite de fonctionnement à 3166 heures 05 minutes (dernière modification S184 roulement regraissable plateau de commande RAC. L'appareil a effectué 36 heures 15 minutes de fonctionnement depuis cet échange).
- lors du vol de contrôle de sortie visite T1⁸ sur les deux GTM le 09 janvier 2004, le GTM n°1051 est hors tolérances en performances. Après accord de l'industriel, échange et pose du GTM n°1091 (GTM sorti de chez Turboméca avec un échange de roue de turbine libre). Ce GTM a effectué 12 heures de fonctionnement depuis sa pose jusqu'au moment de l'accident.

- le jour même de l'accident, avant le départ en mission, il a été procédé à un échange de batterie de bord (pour VP trois mois) ainsi qu'à un point fixe pour un relevé vibratoire des génératrices démarreurs (vérification préconisée par la documentation en vigueur).

1.6.2. Masse et centrage

- Le centrage et le devis de masse sont dans les normes.

⇒ Centrage : 3,49

⇒ Masse à vide : 1718,3 kg (+35 kg avec treuil)

⁷ CGTM : Compagnie générale des turbo-machines.

⁸ T1 : Visite technique toutes les 100 heures.

- Le devis de masse au départ d'Istres s'établit à 2465 kg pour une masse maximale au décollage autorisée de 2600 kg.
- La masse estimée au moment de l'accident est de 2353 kg.

1.6.3. Carburant

- Type de carburant utilisé : TR0 F 34.
- Quantité de carburant au décollage : 590 l.
- Quantité de carburant restant au moment de l'événement : estimée à 450 l.

1.7. CONDITIONS METEOROLOGIQUES

1.7.1. Prévisions

1.7.1.1. Prévisions communiquées par le centre météorologique d'Istres pour un trajet Istres Chambéry (éléments retirés par l'équipage à 08h00)

L'ensemble des messages est présenté en annexe et met en évidence des conditions délicates sur un trajet Istres – Chambéry (plafond bas, conditions givrantes et neige).

1.7.1.2. Prévisions communiquées par le centre météorologique d'Istres et de Marseille au moment de l'événement

Ces messages sont également présentés en annexe et soulignent la présence d'un mistral de 25 kt.

1.7.2. Observations

Situation météorologique, du 29 janvier 2004 vers 15h20 à proximité du hameau de « la Mérindole » (13), transmise par le Centre Météorologique Interrégional Sud Est (CMIRSE), par l'équipage du Super Puma Murène 33 et par une personne se situant à la Mérindole à 800 mètres de l'événement.

1.7.2.1. Situation générale

- En surface à 13h00

Une perturbation peu active a traversé rapidement la région en fin de matinée, donnant un ciel très nuageux et de rares et faibles précipitations à la limite entre la pluie et la neige. Aidé par un fort mistral, le ciel se dégage rapidement en début d'après-midi.

La visibilité redevient excellente, le vent en basses couches atteint 18 à 20 m/s (soit 65 à 72 km/h ou 36 à 40 kt) dès les 200 à 300 mètres d'altitude, provoquant une turbulence modérée à forte près du sol, en particulier sur la zone de l'accident, légèrement vallonnée et en altitude.

1.7.2.2. Conditions estimées sur le site vers 15h20

- Nuages (réf. sol) : 1/8^{ème} cumulus vers 800 m.
- Phénomènes : néant.
- Visibilité : 80 km.
- ISO 0° : vers 600 m.
- ISO -10° : vers 2100 m.
- Givrage : néant.
- Turbulence : forte.
- QNH régional : 1012 hPa.
- Vents et températures au sol :
 - ⇒ vent : 350° de 15 à 25 m/s (soit 54 à 90 km/h ou 30 à 50 kt).
 - ⇒ très rafaleux.
 - ⇒ température : 5° C.

1.7.2.3. Relevés de la station de Marseille Provence

- À 15h00 :
 - ⇒ vent : 350° 14 m/s (soit 50 km/h ou 27 kt), rafales à 17 m/s (soit 61 km/h ou 33 kt),
 - ⇒ visibilité : 80 km,
 - ⇒ nuages (réf sol) : 1/8^{ème} cumulus à 900 m,
 - ⇒ température : 5,3 °C,
 - ⇒ température du point de rosée (Td) : -6,9° C,
 - ⇒ humidité relative : 41 %,
 - ⇒ QNH : 1012 hPa.

➤ À 16h00 :

- ⇒ vent : 350° 14 m/s (soit 50 km/h ou 27 kt), rafales à 18 m/s (soit 65 km/h ou 36 kt),
- ⇒ rafale la plus forte dans l'heure précédente : 22 m/s (soit 79 km/h ou 43 kt),
- ⇒ visibilité : 80 km,
- ⇒ nuages (réf sol) : 1/8^{ème} cumulus à 1000 m,
- ⇒ température : 5,1° C,
- ⇒ température du point de rosée (Td) : -7,0° C,
- ⇒ humidité relative : 41 %,
- ⇒ QNH : 1012 hPa.

1.7.2.4. Conditions relevées sur le site par l'équipage du Super Puma

- Vent relevé au « TRIMBLE » (GPS) lors de la finale sur le chemin situé à proximité de l'accident pour débarquer les sauveteurs plongeurs :
 - ⇒ 330° / 340° pour 50 kt.

1.7.2.5. Estimation fournie par un témoin auditif situé au hameau de la Mérindole à 800 mètres de la zone de l'accident

- Vent violent. Mistral important qu'il estime à 100 km/h.

1.8. AIDES A LA NAVIGATION

Au départ de la mission, les instruments d'aide à la navigation disponibles à bord de l'appareil étaient opérationnels.

1.9. TELECOMMUNICATIONS

Les moyens de radiocommunications étaient tous opérationnels. L'équipage était en liaison avec la tour de contrôle d'Aix les Milles sur 118,750 Mhz.

1.10. RENSEIGNEMENTS SUR L'AERODROME

Sans objet.

1.11. ENREGISTREURS DE BORD

L'appareil n'est pas équipé d'enregistreur de bord.

1.12. RENSEIGNEMENTS SUR L'ÉPAVE ET SUR L'IMPACT

1.12.1. Description de la zone



Vue générale de la zone

L'accident s'est produit sur le territoire de la commune d'Aix en Provence, sur le plateau du Grand Arbois, à 1800 mètres du hameau de la Mérindole au lieu dit « Le Jas des Vaches ».

Le relief à cet endroit est marqué par une succession de collines d'une altitude maximale de 250 mètres.

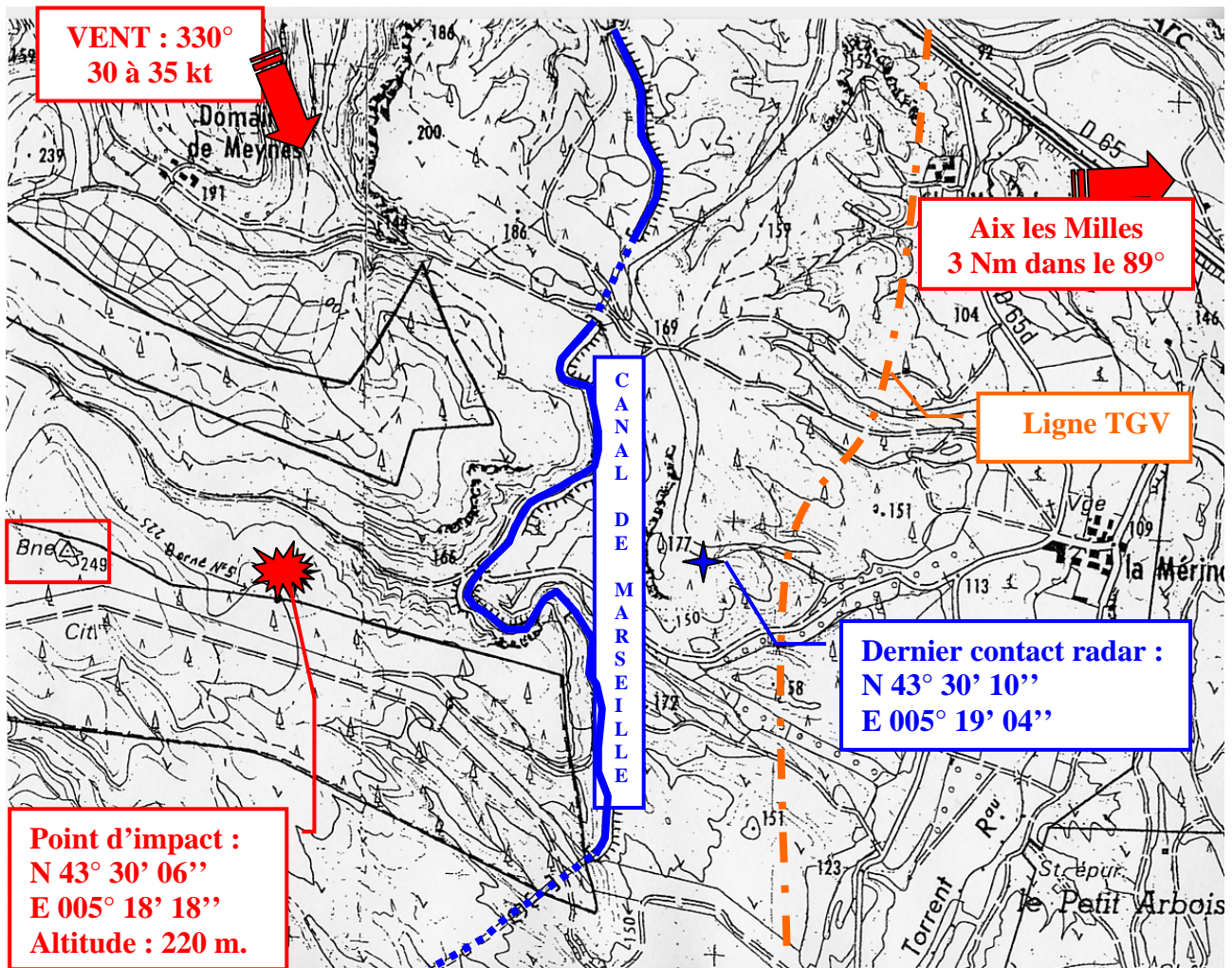
La zone de travail de Roquefavour est matérialisée à l'Est par le canal de Marseille et la ligne TGV (situés à 800 mètres de l'épave).

Une ligne électrique haute tension, orientée Nord-Ouest vers Sud-Est, se situe à 1200 mètres dans l'Est du point d'impact.

La zone de l'événement est recouverte de garrigue.

L'appareil s'est écrasé sur le flanc sud d'un talweg orienté 120° / 300°, à mi-hauteur de celui-ci sur une partie en espalier.

À 500 mètres environ à l'Ouest de l'épave se trouve la borne géodésique n° 249.



Cartographie de la zone

1.12.2. Examen de l'épave

L'appareil, lors de la collision avec le sol, n'a pas laissé de trace flagrante d'impact.

L'hélicoptère est entièrement calciné. Seuls quelques sous-ensembles et armatures principales sont identifiables.

Le croquis des lieux est présenté en annexe 1 – *Croquis des lieux* – page 77.

L'appareil est incliné sur le flanc droit. Les éléments projetés lors de l'impact sont contenus dans deux diamètres rotor (environ 20 mètres).

Le mât rotor, le moyeu rotor principal et les pales sont toujours liés et couchés sur le côté droit.



Vue épave face Est

Le frein rotor ainsi que les moteurs sont encore attachés à l'ensemble boîte de transmission principale (BTP).

Le GTM gauche a perdu sa roue de turbine ainsi que son distributeur.

Les parties essentielles, telles que le plancher cabine, la structure centrale et la structure arrière ont été détruites en grande partie par l'incendie.



Vue épave face Nord

L'habitacle est entièrement détruit.

La planche de bord ainsi que tous les instruments, se situent devant l'épave et sont complètement détruits par le feu.

La poutre et l'arbre de transmission arrière ont fondu.

L'ensemble se trouve à 180° par rapport à la cabine (du côté gauche).

Cette position a pu être déterminée par la découverte des paliers, des roulements de transmission (voir photo suivante) et par l'emplacement du compensateur de lacet et de la servocommande arrière.



Vue épave face Est (ruban matérialisant l'arbre de transmission arrière)

La rupture de la transmission arrière s'est produite au devant de la boîte de transmission arrière.

L'ensemble dérive supérieure, dérive inférieure et rotor anticouple sont solidaires.



Ensemble dérives verticales et mécanique rotor arrière

L'atterrisseur droit s'est brisé en plusieurs morceaux, la partie avant du patin ainsi que son marchepied ont été retrouvés plantés dans le sol à environ 4 mètres de l'épave.



Partie avant patin droit et marchepied

Le patin gauche s'est cassé en deux.

Un bout de pale principale, portant des traces d'impacts, a été trouvé à 63 mètres en arrière de l'épave.



Bout de pale principale retrouvé à 63 mètres

L'ensemble ventilateur prévu pour le refroidissement de l'huile GTM et BTP se trouve juste derrière l'épave.



Début transmission arrière et ventilateur

1.13. RENSEIGNEMENTS MEDICAUX ET PATHOLOGIQUES

1.13.1. Membres d'équipage de conduite

1.13.1.1. Commandant de bord

- Dernier examen médical :
 - ⇒ type : visite d'aptitude au Centre d'expertise médicale du personnel navigant de Toulon,
 - ⇒ date : 20 octobre 2003,
 - ⇒ résultat : aptitude de pilote hélicoptère maintenue sans restriction,
 - ⇒ validité : 19 octobre 2004.
- Examens biologiques : non réalisable.
- Blessures : mortelles par polytraumatisme et carbonisation.

1.13.1.2. Copilote

- Dernier examen médical :
 - ⇒ type : visite d'aptitude au Centre d'expertise médicale du personnel navigant de Toulon,
 - ⇒ date : 5 septembre 2003,
 - ⇒ résultat : aptitude de pilote hélicoptère maintenue sans restriction,
 - ⇒ validité : 4 septembre 2004.
- Examens biologiques : non réalisable.
- Blessures : mortelles par polytraumatisme et carbonisation.

1.13.2. Autre membre d'équipage (Pilote en place arrière)

- Dernier examen médical :
 - ⇒ type : visite systématique à l'unité,
 - ⇒ date : 12 décembre 2003,
 - ⇒ résultat : aptitude de pilote hélicoptère maintenue sans restriction,
 - ⇒ validité : 12 décembre 2004.
- Examens biologiques : non réalisable.
- Blessures : mortelles par polytraumatisme et carbonisation.

1.14. INCENDIE

L'aéronef a entièrement brûlé et déclenché un début de feu de garrigue.

1.15. SURVIE DES OCCUPANTS

1.15.1. Organisation des secours

1.15.1.1. Alerte

Aucun signal de la balise de détresse du Fennec n'a été perçu.

L'alerte a été multifocale, basée à chaque fois sur la constatation d'une colonne de fumées noires provenant de la zone de Roquefavour, sur le plateau du Grand Arbois.

- À 15h17, le centre de secours principal (CSP) des sapeurs pompiers d'Aix en Provence, géographiquement situé en hauteur, déclenche l'alerte feu et envoie deux camions « feux de forêt » sur zone.
- À 15h24, la tour de contrôle d'Aix les Milles demande à un Super Puma, transitant dans la zone, de rallier l'incendie pour en identifier l'origine. L'équipage de cet appareil découvre au départ de l'incendie une épave d'aéronef au sol rapidement identifiée comme un hélicoptère militaire de type Fennec.
- À 15h27, un garde à cheval du château de la tour d'Arbois, du Conseil Général des Bouches-du-Rhône signale le départ d'incendie.

1.15.1.2. Secours

La mission SAR est déclenchée, à 15h27, par le commandant de bord du Super Puma dérouté sur la zone de l'accident. Elle est coordonnée par le RCC de Lyon.

Dans le même temps, deux sauveteurs plongeurs sont débarqués à proximité de l'aéronef accidenté afin de rechercher d'éventuels blessés éjectés lors de l'impact. Les trois membres d'équipage sont identifiés au sein de la cellule du Fennec détruite et carbonisée, sans pouvoir les approcher en raison des hautes températures dégagées par l'incendie.

À 15h40, l'hélicoptère Dragon 131 de la Sécurité Civile, basé à Marignane est mis en alerte, avec un médecin urgentiste du SAMU 13.

L'appareil d'alerte SAR décolle à 15h45 de la Base Aérienne 125 d'Istres avec un médecin du Service Médical à bord.

L'hélicoptère Dragon 131 décolle à 15h48 de Marignane.

À 16h00, la mission SAR arrive sur les lieux de l'accident. L'équipe médicalisée militaire, renforcée de deux autres équipes médicales civiles (médecin de Dragon 131 et médecin du VRM des Sapeurs Pompiers d'Aix en Provence), est mise en attente le temps de circonscrire l'incendie.

À 16h09, le décès des trois membres d'équipage est constaté.

1.16. ESSAIS ET RECHERCHES

1.16.1. Expertises réalisées au centre d'essais des propulseurs (CEPr) de SACLAY

Une expertise des GTM et de diverses pièces a été demandée par le BEA Défense, le 19 février 2004, au CEPr.

L'ensemble des matériels a été livré au CEPr le 2 mars 2004.

Un inventaire complet des scellés a été réalisé en présence de la section judiciaire de la gendarmerie de l'air le 3 mars 2004.

Les matériels placés sous scellés conservatoires (SC) référencés et dénommés ci-dessous ont été expertisés :

- 1/SC rotor anti-couple et BTA,
- 2/SC ventilateur refroidissement huile et arbre de transmission,
- 3/SC boîte de transmission principale, moyeu rotor principal et pignons du boîtier de conjugaison,
- 4/SC deux moteurs Arrius n°1091 et n°1033, avec tuyère et distributeur turbine libre,
- 5/SC pale rouge (avec scellés 1E et 1F),
- 6/SC pale jaune,
- 7/SC pale bleue,
- 8/SC instrumentation de bord : conduite moteur et tableau d'alarme (4 alpha),
- 9/SC indicateur tour rotor,
- 10/SC et 11/SC Horizons artificiels,
- 12/SC indicateur tour rotor,

- 13/SC radio altimètre,
- 14/SC altimètre,
- 15/SC variomètre.

Une réunion pour définir le plan d'expertise en présence des experts judiciaires, d'experts d'Eurocopter, d'un expert de Turboméca, de la section judiciaire de la gendarmerie de l'air et de l'enquêteur du BEA Défense s'est tenue au CEPr le 11 mars 2004.

Le démontage et examen général des deux moteurs Arrius ont été réalisés le 9 juin 2004 au CEPr en présence de spécialistes de Turboméca, des experts judiciaires, de la section judiciaire de la gendarmerie de l'air et du groupe d'enquête technique.

Les premiers résultats d'expertises ont été communiqués au BEA Défense et aux experts judiciaires le 10 juin 2004.

L'ensemble des expertises réalisées sur les éléments de l'hélicoptère Fennec a fait l'objet du rapport d'investigations n° 26-DAI-04 OT n° 4715 en date du 12 août 2004.

1.16.2. Météo France

Une étude sur la situation météorologique du jeudi 29 janvier 2004 vers 15h20 dans le secteur du hameau de « la Mérindole » sur la commune d'Aix en Provence (13) a été demandée à la Direction Interrégionale Sud Est (DIRSE) de météo France le 02 février 2004.

Cette étude a fait l'objet de deux comptes rendus n° 114 et n°198 DIRSE/ETO les 11 février et 17 mars 2004.

1.17. RENSEIGNEMENTS SUR LES ORGANISMES

Sans objet.

1.18. RENSEIGNEMENTS SUPPLEMENTAIRES

- Constatations concernant les équipements :

⇒ Tous les équipements de vol ont été carbonisés. Le mécanicien de piste a cependant pu constater le port des tenues réglementaires lors de la mise en œuvre de l'appareil.

1.19. TECHNIQUES SPECIFIQUES D'ENQUETE

Le 18 février 2004, à la demande de l'enquêteur désigné du BEA Défense et après accord de la justice, deux experts d'Eurocopter ont participé aux constatations sur les différents sous ensembles de l'épave du Fennec entreposés sur la base aérienne d'Istres. Lors de cette intervention, la rupture des deux brides d'entrée du boîtier de conjugaison a été constatée. La rupture des brides d'entrée est le signe évident que lors de l'impact les GTM délivraient la puissance normalement demandée par les conditions de vol.

La réunion de début d'expertise du 11 mars 2004 a permis d'établir un plan général d'investigations. À cette occasion, il a été décidé que :

- pour les éléments Eurocopter, le CEPr effectuerait un examen complet des composants et une présentation des résultats acquis pour décider ensuite de l'opportunité de poursuivre ou non ces investigations chez le constructeur, notamment pour ce qui concerne les pales du rotor principal,
- pour les turbomoteurs Arrius, l'ouverture des moteurs nécessitant un outillage spécifique, cette opération serait effectuée en présence des représentants Turboméca.

L'ouverture des deux moteurs, dépendant de la disponibilité des outillages et des représentants Turboméca, a été réalisée le 9 juin 2004.

L'ensemble des résultats des différentes investigations, avec les hypothèses et les conclusions déduites par le CEPr, a été présenté le 10 juin 2004 aux experts judiciaires, à la section judiciaire de la Gendarmerie de l'air, aux représentants des constructeurs et à l'enquêteur du BEA Défense.

2. ANALYSE

Elle s'articule en trois parties :

- la première analyse les faits exposés dans le chapitre premier relatif aux renseignements de base,
- la seconde énonce et vérifie les hypothèses relatives aux causes de l'événement,
- la dernière propose une arborescence des causes possibles ou certaines à l'origine de cet accident.

2.1. ANALYSE DES FAITS

Cette partie s'appuie sur l'étude :

- du contexte de la mission,
- des résultats d'expertises menées sur les deux turbomoteurs Arrius 1M, sur les ensembles de transmission de puissance et sur les rotors,
- de l'expérience professionnelle de l'équipage,
- du contexte organisationnel,
- du contexte environnemental,
- de la phase de vol de la survenue de l'événement.

2.1.1. Contexte de la mission

La mission, ordonnée le 28 janvier 2004, a été modifiée le 29 janvier en début de matinée en raison des conditions de givrage et des plafonds insuffisants.

Le but de la mission de remplacement était de faire travailler l'esprit de décision du copilote en phase d'instruction, de « le pousser dans son raisonnement » et de perfectionner la tenue machine suite à une remarque lors d'un vol précédent.

Parallèlement, le pilote en place arrière avait demandé l'autorisation de participer au vol. Il escomptait ainsi bénéficier, en observateur, d'une révision pratique en vue de son examen de qualification commandant de bord qu'il devait réaliser la semaine suivante.

Ce vol d'entraînement ne comportant pas de procédures d'urgence l'accès à bord lui a été accordé.

Le contenu de cette séance TM-A est le suivant :

- actions vitales, calcul des performances,
- mise en route, translation, décollage,
- travail dans l'effet de sol,
- zone de poser entourée d'obstacles : reconnaissance, décollage, atterrissage, tour de piste,
- approche de sécurité sur terrain dégagé,
- tour de piste standard,
- tour de piste basse altitude,
- appuis et posé asymétriques,
- exercices de pannes d'instruments et d'équipements,
- retour terrain et parking.

L'ensemble des missions d'entraînement sur hélicoptères du CFAP est répertorié dans une note n° 2566/CFAP/EMP/SV du 18 juin 1997 modifiée par la note n° 2911/CFAP/EMP/SV du 3 août 2000.

Le canevas de cette mission s'inscrit donc dans le cadre habituel de l'entraînement des équipages hélicoptères du CFAP.

2.1.2. Résultats des expertises menées sur les deux turbomoteurs, sur les ensembles de transmission de puissance, sur les rotors et sur les éléments de la planche de bord

2.1.2.1. Synthèse et commentaires

Cette partie synthétise les résultats des différentes vérifications techniques réalisées au CEPr.

Les observations et résultats des examens sur l'ensemble des matériels issus de l'épave de l'hélicoptère permettent d'établir les constats suivants :

- **le moteur gauche n° 1091** s'est séparé de sa section de puissance, consécutivement à la survitesse non stoppée de la turbine de puissance. Cet événement, avec l'endommagement du palier arrière du générateur de gaz et le léger usinage du dépôt du couvercle centrifuge par le rouet en rotation, témoigne du fonctionnement normal du générateur lors de l'impact.

Hormis les endommagements causés par cette survitesse, puis par l'incendie au sol, le moteur gauche était en état de fonctionnement.

➤ **le moteur droit n° 1033 était en état de fonctionnement.**

Cet ensemble n'a été que faiblement endommagé au cours de l'accident. Les seuls indices de rotation du moteur au moment de l'impact sont fournis par des traces de frottement du disque de la turbine de puissance sur le cône d'éjection des gaz.

➤ **les arbres de liaisons des deux moteurs se sont rompus symétriquement en torsion statique. Ces ruptures instantanées résultent de la surcharge violente imposée au récepteur** (ensemble rotor et boîte de transmission principale) **lors d'un premier contact des pales avec le sol.** Ceci confirme que les moteurs étaient en rotation.

➤ **la boîte de conjugaison et les roues libres** bien que très endommagées par l'incendie au sol **ont montré que l'ensemble était correctement lié.**

Les traces d'indentation des galets de chacune des deux roues libres, dans l'alésage des pignons d'entrée, confirment un surcouple très important de l'ensemble récepteur au moment de l'impact.

➤ **bien que la boîte de transmission principale soit** en grande partie détruite par l'incendie **ses engrenages de réduction sont intacts.**

La suspension de la BTP n'a souffert que de l'impact. Trois barres de suspension sont intactes et non déformées, la quatrième est rompue en flexion.

Les commandes de vol sont demeurées liées et intactes, à l'exception de la biellette de commande de pas de la pale rouge rompue en flexion statique lors de l'accident.

Les servocommandes sont brûlées mais entières et correctement raccordées à leurs tuyauteries d'hydraulique.

➤ **le moyeu du rotor principal a été diversement endommagé lors de l'impact, puis par le feu au sol.**

Deux des bras de l'étoile starflex se sont rompus sous l'effet d'un effort de traînée excessif sur les pales rouge et jaune.

Le manchon de la pale rouge est le plus endommagé, en partie par le renversement final de l'appareil sur son flanc. L'examen détaillé de ses composants a permis d'attester que tous étaient en place et correctement installés.

La disparition de sa butée sphérique n'est due qu'à la fusion des empilements d'élastomère dans le brasier, comme le prouvent les lamelles intermédiaires de titane identifiées dans les décombres récupérés sur le site.

- **les pales du rotor principal** présentent des endommagements dégressifs, de la pale rouge à la jaune puis à la bleue.

Sur les deux premières les arrachements et impacts en extrémité de pales, sont plus marqués, avec un fragment d'extrémité de la rouge et une masse d'équilibrage de la jaune retrouvés à 60 mètres environ du site de l'épave.

Ces impacts, ces fragments éjectés loin de l'épave et la déformation sensible de leur longeron en traînée, soulignent bien la collision de ces deux premières pales avec le sol.

La pale bleue présente les mêmes sites impactés, avec une intensité beaucoup plus faible. Ces caractéristiques attestent l'énergie fournie au rotor à cet instant.

En dépit de ces endommagements, les pales **étaient correctement constituées avant l'accident** : présence des toucheaux et des masses d'équilibrage, à l'exception d'une sur la pale jaune visiblement arrachée par l'impact en bord de fuite.

- **les restes de l'arbre de transmission arrière** ne présentent aucune particularité.

Le frein et les restes du ventilateur ont été détruits par le feu au sol. Les accouplements souples des arbres intermédiaires en acier sont intacts.

- **la boîte de transmission arrière et le rotor anti-couple** sont restés relativement préservés du feu, à l'exception du longeron continu des deux pales du rotor, calciné, mais non rompu.

La BTA est libre en rotation. La commande de pas du RAC est toujours manoeuvrable.

Les pales du RAC ne présentent pas d'impact sur le bord d'attaque. **L'ensemble n'a donc pas touché le sol lors de l'événement** ; ceci étant confirmé par ailleurs par la béquille de protection dépourvue de toute trace de choc avec le sol.

➤ **les éléments de la planche de bord** ont été détruits par l'incendie au sol.

Les indicateurs ont été brûlés, leurs façades et aiguilles extrêmement fragilisées **n'ont révélé aucun indice de leur affichage à l'impact**.

Les ampoules des voyants du panneau d'alarmes sont toutes brûlées. Leur verre a pratiquement fondu, emprisonnant le filament à examiner. Ce filament a été partiellement observé à travers le verre déformé de treize voyants, lesquels peuvent être considérés non allumés lors de l'accident.

2.1.2.2. Scénario d'endommagement des moteurs

Le fonctionnement des deux turbomoteurs au moment de l'impact a pu être attesté :

- d'une part, par la destruction de la turbine de puissance en survitesse du moteur gauche et par les traces de rotation à l'intérieur du moteur droit,
- d'autre part, par les ruptures statiques en torsion, parfaitement symétriques, de leur arbre de liaison respectif.

Ces ruptures des liaisons entre moteurs et boîte de transmission principale sont la conséquence de l'apparition d'un couple résistant excessif et anormal sur le récepteur. Ce surcouple a ensuite été transmis à la BTP comme l'attestent les ancrages prononcés des galets des deux roues libres.

La destruction de la seule turbine de puissance du moteur gauche n'est que la conséquence logique du principe adopté sur les appareils bimoteurs Eurocopter.

Le premier des deux moteurs atteignant le seuil de détection de survitesse est immédiatement arrêté, la détection de survitesse du second moteur est inhibée afin d'assurer une certaine marge de « *survivabilité* » à l'aéronef.

L'impact du rotor principal avec le sol est bien l'événement initiateur dans la séquence des endommagements et des ruptures constatés sur la chaîne de puissance, conduisant finalement à la survitesse des deux moteurs.

En conclusion, les investigations réalisées au CEPr n'ont montré aucun indice de dysfonctionnement sur les deux turbomoteurs, ni le moindre indice de défaillance sur les ensembles de transmission de puissance et sur les rotors.

2.1.3. Expérience professionnelle de l'équipage

L'équipage détient toutes les qualifications requises pour mener cette mission d'entraînement TM-A.

2.1.3.1. Commandant de bord

Le PCB détient une bonne expérience aéronautique. Il totalise 1359 heures de vol, dont 745 heures sur hélicoptère.

Le PCB a intégré l'École de l'Air à Salon de Provence en 1994. Après la formation théorique, sa formation technique au pilotage débute en 1996 sur Epsilon à Cognac. Il choisit le tronc chasse et poursuit cette formation à Salon de Provence sur Tucano puis à Tours sur Alphajet (1997/1998) où il est breveté « *chasse* ». Il part ensuite à Cazaux pour effectuer le stage de transition opérationnelle en 1998.

Le 18 janvier 1999, il est affecté à l'Escadron de chasse (EC) 01.007 « *Provence* » et détaché à l'EC 02.007 « *Argonne* » pour y suivre sa transformation Jaguar.

Des insuffisances répétées au cours de sa transformation sur avion d'armes Jaguar conduisent le commandement à arrêter sa progression chasse en juin 1999 et à le reconverter sur hélicoptère.

Cette reconversion est réalisée à l'école d'application de l'aviation légère de l'armée de terre de Dax (formation pour le brevet de pilote d'hélicoptère du 3 janvier 2000 au 24 mars 2000 et stage JVN⁹ du 27 mars 2000 au 7 avril 2000). Il effectue le stage de formation « *air* » du 10 avril au 13 novembre 2000 à Toulouse. Il réalise également une qualification sur TBM 700 le 14 septembre 2001. Le pilote effectue ensuite le stage copilote sur Fennec avec équivalence Écureuil du 29 au 31 août 2001. Il est qualifié Commandant de bord sur Fennec en 2002 et obtient la qualification moniteur hélicoptère le 28 mai 2003 (stage du 8 au 27 mai 2003).

⁹ JVN : Jumelles de vision nocturne.

Après une progression initiale insuffisante sur avion de combat, l'intéressé est réorienté vers la spécialité hélicoptère où il obtient toutes ses qualifications en moins de trois ans.

2.1.3.2. Copilote (pilote en instruction)

Le pilote en instruction a intégré l'École de l'Air à Salon de Provence en 1998. Après la formation théorique, sa formation pratique débute sur Epsilon à Cognac en 2001. Durant cette formation, il a fait l'objet de bonnes appréciations.

A l'issue, il choisit la voie « hélicoptériste » et part à Dax pour le stage de pilote de base hélicoptère, où il obtient également d'excellents résultats (premier de sa promotion). Il est breveté en mars 2002.

A Toulouse, au CIEH, il valide sa qualification pilotage hélicoptère second degré en janvier 2003. Qualifié SAR jour et nuit sur Fennec en septembre, il effectue une OPEX¹⁰ au Gabon de novembre à décembre 2003.

L'ensemble de ce parcours professionnel est donc le reflet d'un pilote aux qualités reconnues en pleine phase de progression au moment de l'accident.

2.1.3.3. Pilote en place arrière

Le pilote en place arrière a intégré l'École de l'Air à Salon de Provence en 1997. Après la formation théorique, la formation pratique débute à Cognac sur Epsilon en 2000, où la notation technique est bonne.

L'élève choisit la voie « hélicoptériste » et part à Dax où il valide le stage pilotage hélicoptère de base en septembre 2001, avec une bonne appréciation.

À Toulouse, il obtient la qualification pilotage hélicoptère second degré, avec également une bonne appréciation.

Sur le plan professionnel, il est qualifié copilote confirmé en novembre 2003 avec là encore une excellente appréciation.

¹⁰ OPEX : Opération extérieure.

L'ensemble de ce parcours professionnel témoigne donc d'un pilote aux qualités reconnues. Si le vol d'entraînement était programmé au profit du copilote en formation, ce vol était aussi particulièrement important dans le contexte professionnel du pilote en place arrière puisqu'il bénéficiait de ce vol à titre de révision pratique d'un examen concernant la qualification Commandant de bord. Cet examen devait avoir lieu la semaine suivant celle de l'accident. Ce vol d'entraînement lui permettait de revoir concrètement ses procédures de « *standardisation* ».

2.1.4. Contexte organisationnel

L'analyse du contexte organisationnel repose essentiellement sur l'étude :

- de la composition de l'équipage,
- de la réalisation de cette mission d'entraînement basse altitude au regard de l'objectif recherché et des conditions météorologiques annoncées,
- du processus de changement de sous-spécialité.

2.1.4.1. Composition de l'équipage (aspects interactifs et synergiques)

- Commandant de bord et copilote.

Le CDB est dans un contexte psychologique pouvant altérer son investissement (sources de préoccupation professionnelles annexes et confiance en son élève) pour effectuer une mission au profit d'un pilote en instruction motivé qui n'a jamais rencontré de difficulté pour le pilotage.

Le possible désinvestissement du moniteur associé au surinvestissement du pilote en instruction, a pu le conduire à un excès de confiance dans les capacités de son élève. Ceci peut avoir plusieurs effets :

- ⇒ il peut diminuer la capacité d'anticipation d'un moniteur déjà peu expérimenté dans cette fonction,
- ⇒ il peut réduire les capacités de décision du pilote en fonction.

L'excès de confiance du moniteur pour son élève a pu être un facteur déterminant conduisant à l'accident, aggravé par la faible expérience des deux pilotes et par des conditions de vol délicates en raison du vent et du relief.

➤ Copilote et pilote en place arrière.

Le copilote et le pilote en place arrière ont des parcours professionnels similaires à une année de décalage près. Les différents témoignages soulignent la qualité de leurs relations dans leur vie professionnelle.

Cette proximité professionnelle et affective au sein du cockpit a pu avoir au sein de l'équipage plusieurs répercussions possibles :

⇒ la présence du pilote en place arrière rassure et hypermotive le copilote pour démontrer ses propres capacités techniques.

⇒ la perception de la confiance que lui accordent les deux autres membres de l'équipage amènent le copilote à sous-estimer les risques réels et les difficultés de pilotage liées aux conditions météorologiques délicates.

La présence du pilote en place arrière a vraisemblablement amplifié les phénomènes de décalage d'investissement et d'excès de confiance entre le copilote et le commandant de bord.

➤ Commandant de bord et pilote en place arrière.

Le chef de bord instruit le pilote en instruction et également, de façon implicite, le pilote en place arrière. Cependant, ce dernier a une plus grande expérience sur Fennec et de la région que le CDB.

Devant le possible sous-investissement du CDB dans la mission, il est probable qu'il existe un transfert de responsabilité du commandant de bord vers celui qui est en phase finale d'instruction.

En conclusion, ce cockpit est composé d'un équipage, au gradient d'âges faible, tous pilotes, avec un décalage d'investissement possible entre le pilote commandant de bord et le pilote en formation. De plus, la présence du pilote en place arrière a pu accentuer cette situation.

2.1.4.2. La réalisation de cette mission d'entraînement basse altitude au regard de l'objectif recherché et des conditions météorologiques

Même si au départ d'Istres les conditions de vent transmises par le contrôle permettaient d'envisager ce vol, travailler l'esprit de décision et la tenue des paramètres dans ces conditions est délicat pour un jeune pilote. De même, une révision des procédures de « standardisation » dans cette situation semble peu judicieuse. Le pilote ne pouvait être que confronté à des difficultés de tenue des paramètres, de visualisation et de restitution des canevas prévus dans la séance type TM-A.

Au regard de l'objectif recherché dans cette mission (voir paragraphe 2.1.1 – *Contexte de la mission* – page 34 et paragraphe 2.1.3 – *Expérience professionnelle de l'équipage* – page 39), **des conditions météorologiques annoncées et du contexte environnemental, l'exécution de cet entraînement TM-A en basse altitude apparaît délicate.**

2.1.4.3. Processus de changement de sous-spécialité

➤ Procédure ab-initio

Il existe une sélection pilotes d'hélicoptères ab-initio pour les élèves officiers du personnel navigant (EOPN) et pour les officiers du recrutement école de l'air (EA) ou école militaire de l'air (EMA).

⇒ Procédure EOPN

A l'issue de la sélection en vol, les volontaires sont convoqués au centre d'études et de recherches en psychologie-air (CERPAIR) pour des épreuves spécifiques :

- psychomotrice,
- prise de décision,
- analyse rapide de situation,
- entretien.

Les candidats retenus rejoignent l'école d'application de l'ALAT (EAALAT) à DAX, les autres poursuivent le cursus pilote avion.

⇒ Procédure pour les officiers du recrutement école de l'air (EA) ou école militaire de l'air (EMA)

A la fin de la deuxième année d'école, les volontaires subissent les mêmes épreuves que pour les EOPN au CERPAIR.

➤ Procédure de changement de sous-spécialité

La procédure de changement de sous-spécialité d'un personnel navigant pour inaptitude professionnelle est explicitée dans l'instruction n° 8500/DEF/EMAA/3 du 26 novembre 1982.

Après une proposition d'arrêt des vols prononcée par le conseil d'examen de progression, le pilote concerné établit une demande de changement de sous spécialité. La décision finale (agrément ou refus) est prise par la DPMAA/BDCM¹¹, après étude des différents avis hiérarchiques.

Le personnel ne passe pas d'épreuves spécifiques.

L'analyse du parcours professionnel du commandant de bord exposée supra (paragraphe 2.1.3.1 – *Commandant de bord* – page 39) montre que ce dernier a fait l'objet d'une décision d'arrêt de sa progression pilote de chasse en juin 1999, au cours de sa transformation sur avion d'armes jaguar. L'intéressé a alors établi une demande de changement de sous-spécialité et été réorienté vers la spécialité hélicoptère. L'intéressé n'a pas subi les épreuves spécifiques de sélection pilote hélicoptères, la procédure ne le prévoyant pas.

Les difficultés évoquées par le Conseil d'examen de progression (CEP), lors de la décision d'arrêt de sa progression chasse, et les différents avis du commandement montrent :

- une gestion inefficace du stress pouvant conduire à des altérations du jugement et à des difficultés de prise de décision,
- une vigilance parfois en défaut, liée à des capacités de division de l'attention insuffisantes au regard de la complexité croissante des missions.

Néanmoins l'expérience acquise lors de sa formation pilote avion lui a permis d'obtenir très rapidement et dans des conditions satisfaisantes ses différentes qualifications hélicoptère.

¹¹ DPMAA/BDCM : direction du personnel militaire de l'armée de l'air, bureau des conseillers militaires.

Les difficultés de progression initialement identifiées comme manque d'aisance et comme mauvais discernement dans le jugement et la prise d'initiatives ont pu masquer une difficulté sous jacente plus réelle de division de l'attention ne se révélant que face à une situation complexe ou devant une situation de stress.

La procédure de changement de sous-spécialité d'un personnel navigant ne prévoit pas d'épreuves spécifiques de sélection pilote hélicoptère.

2.1.5. Contexte environnemental

L'analyse du contexte environnemental repose essentiellement sur l'étude des conditions météorologiques et de la configuration du terrain.

2.1.5.1. S'agissant des conditions météorologiques

L'équipage consulte la météorologie sur le système « SIMONE¹² » disponible à l'unité.

Après le passage d'une perturbation dans la matinée, le ciel se dégage rapidement en début d'après-midi, aidé par un fort mistral.

Le message d'observation météorologique de l'aérodrome d'Istres donne un vent du 340° pour 21 à 33 kt.

À 14h36, le contrôle d'Istres autorise le décollage de l'appareil et annonce un vent du 340° pour 25 nœuds avec des rafales à 32 nœuds.

Le manuel de vol AS 555 AN stipule que la mise en route ou l'arrêt des rotors est démontré pour un vent de 40 kt à tous les caps et 50 kt vent de face.

De même, le vol stationnaire à tous les caps de vent a été démontré dans tous les domaines du vol jusqu'à des vents de 17 kt. Le manuel de vol précise que ceci ne doit pas être considéré comme une valeur limite.

L'Armée de l'air ne retient comme seule limitation que le domaine de vent démontré pour la mise en route et l'arrêt des rotors, sans qu'aucune limitation ne soit définie pour le vol en stationnaire. Il n'existe pas d'autre limitation réglementaire.

Au départ d'Istres, les conditions de vent transmises par le contrôle permettaient donc d'envisager réglementairement la mission.

¹² SIMONE : Système d'Information Météo, OPS, Notam, Escadrons.

L'étude de la situation météorologique du jeudi 29 janvier 2004, vers 15h20 dans le secteur du hameau de « *la Mérindole* », réalisée par le Centre Météorologique Interrégional Sud Est (CMIRSE) confirme la présence de vent en basse couche (65 à 72 km/h, soit 36 à 40 kt, dès les 200 à 300 mètres d'altitude) provoquant une turbulence modérée à forte près du sol.

Cette situation est attestée par l'équipage du Super Puma lors de la finale sur le chemin situé à proximité de l'accident afin de débarquer les sauveteurs plongeurs (Vent relevé au « TRIMBLE » : 330° / 350° pour 50 kt).

Les conditions de vent signalées supra ont engendré une aérologie délicate.

2.1.5.2. S'agissant de l'influence de la topographie sur l'aérologie

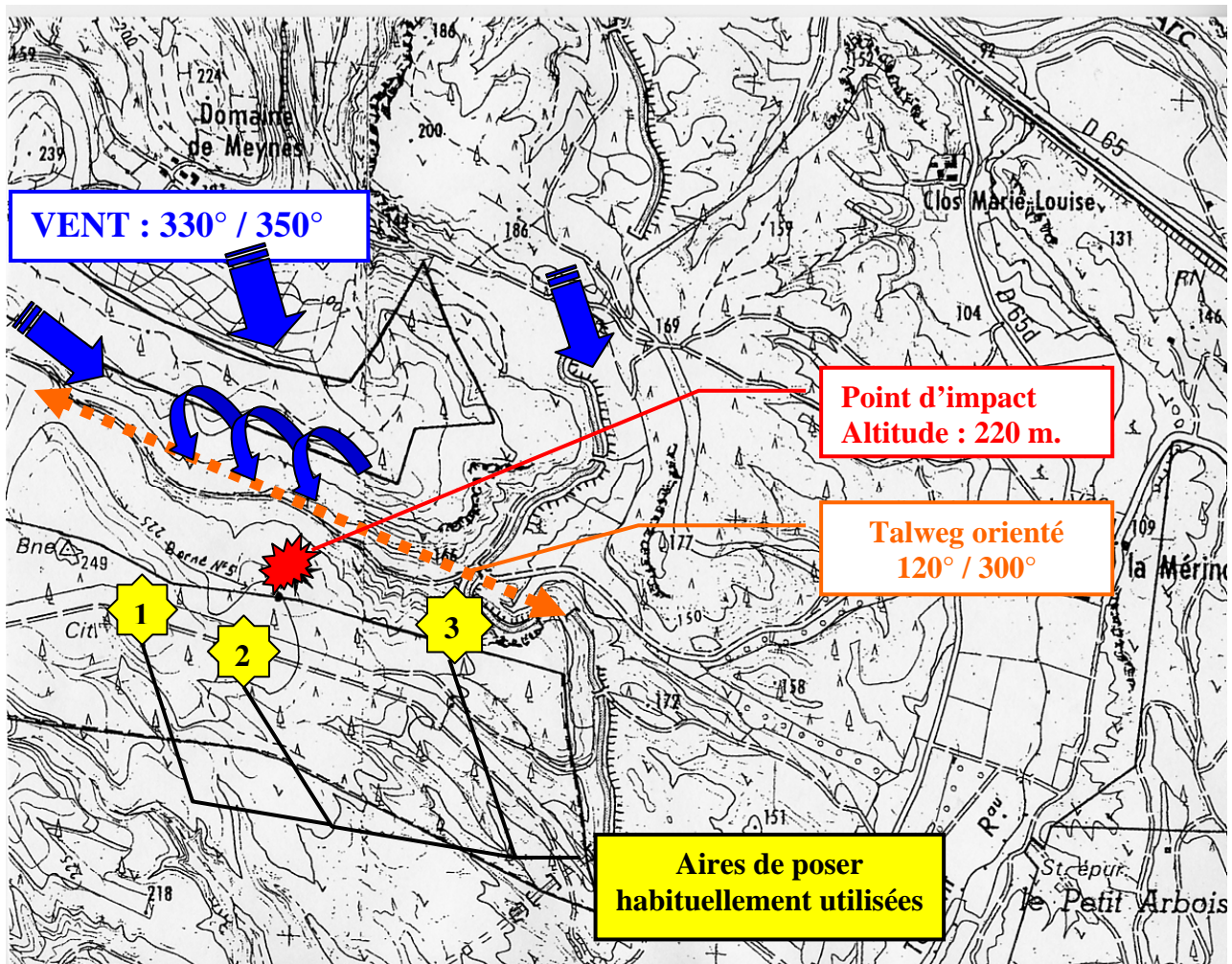
L'accident s'est produit sur le territoire de la commune d'Aix en Provence, sur le plateau du Grand Arbois, à 1800 mètres du hameau de la Mérindole au lieu dit « Le Jas des Vaches ». Le relief à cet endroit est marqué par une succession de collines d'une altitude maximale de 250 mètres.



Vue d'ensemble de la succession de collines

Perturbé par le relief, l'écoulement de l'air n'est plus laminaire mais suit plus ou moins ses formes. En fonction de sa direction et de sa force, le vent peut donner naissance à des zones de turbulences plus ou moins fortes. Cette influence est maximale lorsque le vent est orienté perpendiculairement au relief (talweg du lieu de l'accident orienté $120^\circ / 300^\circ$ pour un vent du $330^\circ / 350^\circ$), au sommet duquel on observe une augmentation de la vitesse d'écoulement (effet de venturi). Près du sol, la direction du vent est différente de son orientation générale en altitude car il est dévié par le relief.

La topographie de la zone de l'événement, légèrement accidentée et en altitude, combinée aux conditions météorologiques signalées supra ont probablement provoqué des turbulences modérées à fortes près du sol.



Représentation de la situation aérologique en surface

2.1.6. Étude des phases de vol pouvant conduire à l'événement

La faible dispersion des débris de l'épave indique que l'appareil n'avait pas de vitesse longitudinale au moment de la collision avec le sol.

L'absence d'enregistreur de vol et de témoignages ne permet pas d'identifier dans quelle phase de vol (décollage, atterrissage, reconnaissance de ZP, tour de piste, etc.) l'hélicoptère se trouvait au moment de son enfoncement, jusqu'au heurt du rotor principal avec le sol.

Cependant, le pilote avait annoncé qu'il débutait le travail entre 0 et 300 pieds.

La connaissance des aires de poser habituelles dans la zone considérée permet, au vu de l'ordre de vol et des conditions météorologiques exposées supra, d'envisager que l'effondrement de l'appareil a pu se produire pendant les phases de travail en vol suivantes :

- tour de piste basse altitude,
- reconnaissance d'aire de poser,
- après le décollage d'une aire de poser dite «*porte avions*».

2.1.6.1. Travail en tour de piste basse altitude

Cet exercice de coordination et de dosage aux commandes a pour but d'effectuer un posé en réalisant à basse altitude une réduction de vitesse au cours d'un virage de 180°.

La zone de travail supposée est une ligne de crête (aire de poser n°1, carte *Représentation de la situation aérologique en surface* – page 47). Le point d'atterrissage peut se situer en plusieurs endroits du chemin.

Les paramètres usuels pour réaliser ce type d'exercice sont une hauteur d'évolution de 150 pieds au-dessus du point de poser et un écartement de 150 mètres environ.

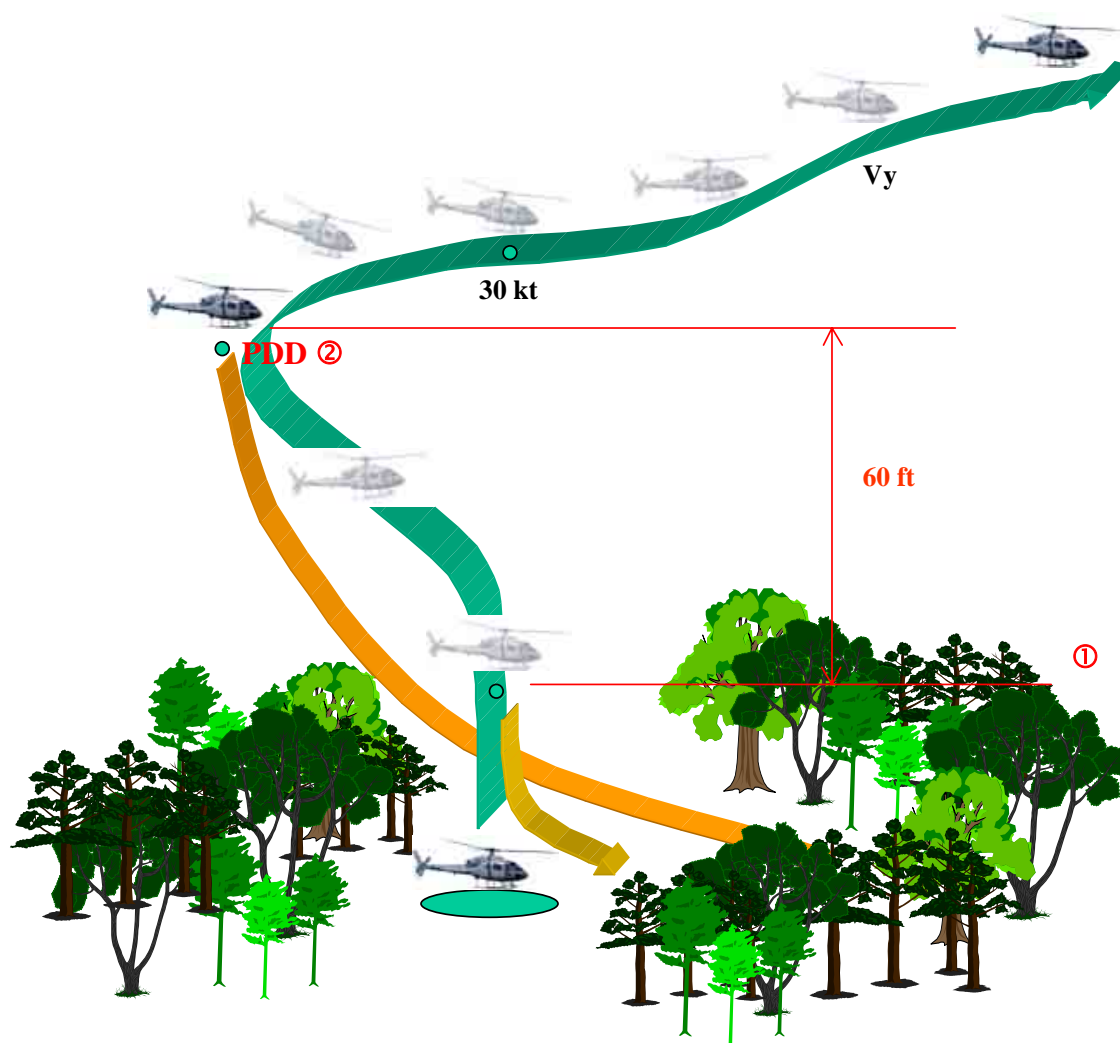


Schéma type du décollage type autre ZP

L'exercice débute par un décollage de type "autre ZP". Ce type de décollage doit permettre l'atterrissage en cas de panne d'un moteur.

L'appareil monte verticalement à partir du sol jusqu'à la hauteur de l'obstacle repère ou de la hauteur des obstacles de l'entrée de zone (①).

Lorsque le repère choisi est atteint ou que l'obstacle le plus haut est dépassé, l'appareil recule de façon à maintenir en visuel l'aire d'atterrissage.

Au point clé de décision au décollage (PDD②) le pilote affiche simultanément la puissance maximale disponible (PMD) et 10° d'assiette à piquer.

Lorsque la vitesse atteint 30 kt, le pilote réduit l'assiette à piquer et recherche la vitesse optimum de montée (Vy).

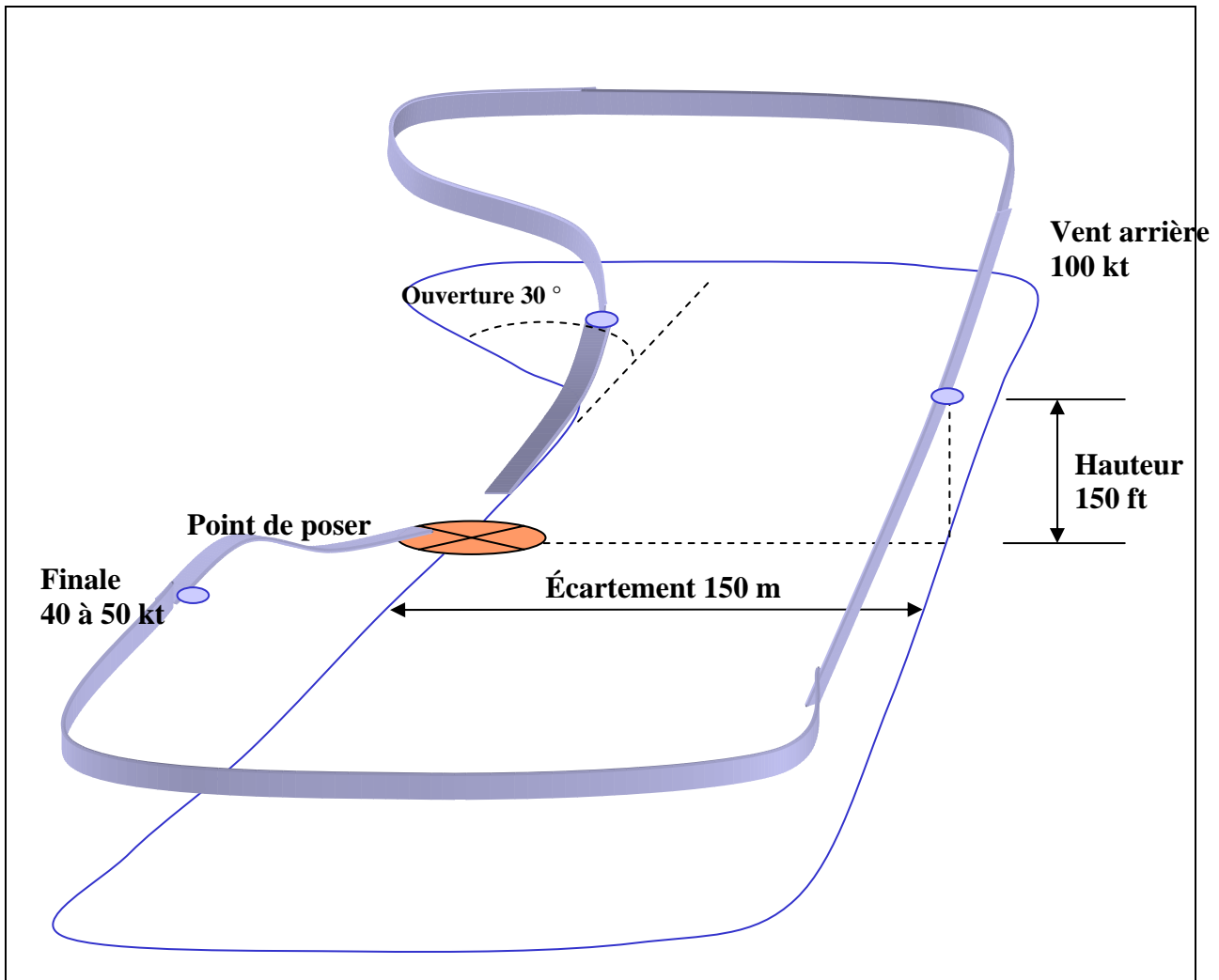


Schéma type de l'exercice

Après le décollage (voir schéma ci-dessus) et avec une vitesse indiquée minimale de 40 kt, le pilote effectue une ouverture de 30 degrés par rapport à l'axe de décollage à l'opposé du sens de virage choisi pour effectuer l'exercice (cette ouverture peut être effectuée en changeant l'axe de décollage en stationnaire en fonction de l'environnement).

Lorsque l'éloignement est jugé suffisant, le pilote réalise un virage afin de rechercher l'écartement nécessaire en vent arrière (cet écartement est visualisé au sol avant le décollage par repérage visuel). Quand l'appareil est établi sur sa trajectoire, le pilote doit stabiliser ses paramètres de vol pour se retrouver en palier à une hauteur de 150 pieds, une vitesse indiquée de 100 kt et avec un écartement de 150 mètres. Ces paramètres de vol permettent de débiter l'exercice dans de bonnes conditions. Le pilote non aux commandes accomplit les actions vitales dès le début de la vent arrière. Lors du passage travers de la zone de poser, une transition (réduction) de vitesse en ligne droite est engagée.

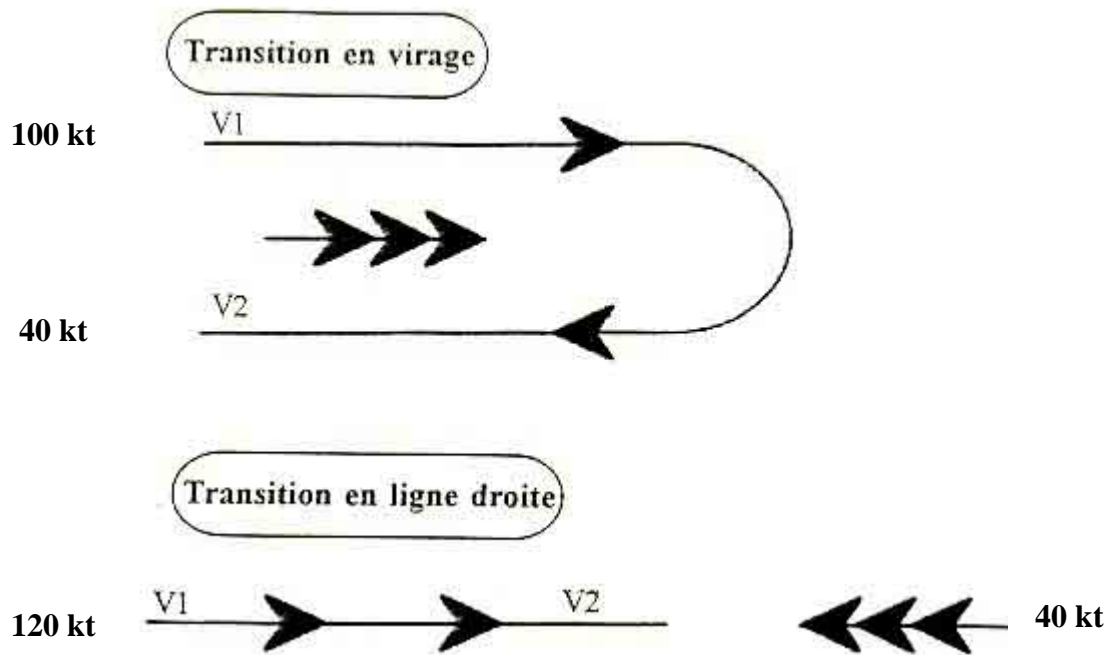


Schéma d'une transition de vitesse

Cette transition est réalisée avant le passage travers de la zone lorsque le vent arrière est important pour éviter d'être trop éloigné en finale. Cette manœuvre entraîne une réduction de puissance au Pas collectif ainsi qu'une augmentation de l'assiette. Environ trois à quatre secondes après le début de la transition en ligne droite, le pilote poursuit sa réduction de vitesse indiquée en engageant un virage de 180° lui permettant de se présenter face à la zone d'atterrissage définie.

Au cours de cette évolution en virage, une remise en puissance peut s'avérer nécessaire pour contrer l'enfoncement de l'appareil et maintenir la hauteur prévue. Une fois stabilisé sur l'axe face à la zone de poser à 150 pieds/ZP et à une vitesse comprise entre 40 et 50 kt, le pilote débute la descente.

Il réalise alors une approche de précaution à pente et à assiette constante (APPAC) jusqu'au posé final.

L'étude de la méthodologie du tour de piste basse altitude dans les conditions aérologiques soulignées ci-dessus permet de supposer que l'équipage ait pu rencontrer une situation de vortex¹³ (voir annexe 2 – Etat de vortex – page 80) lors de la réduction de vitesse en vent arrière.

¹³ Vortex : tourbillon creux qui prend naissance, sous certaines conditions, dans un fluide en écoulement.

2.1.6.2. Travail en reconnaissance d'aire de poser

La zone de poser est située sur une ligne de crête balayée par de forts vents (aire de poser n°2, carte *Représentation de la situation aérologique en surface* – page 47). Une reconnaissance d'aire de poser doit être effectuée afin de déterminer les paramètres de vol dimensionnants pour poser (puissance nécessaire, axes d'atterrissage et de décollage, point de poser précis, état de surface, conditions aérologiques sur le site, etc.). Cette manœuvre de reconnaissance permet au pilote d'analyser en temps réel la faisabilité du poser dans de bonnes conditions de sécurité.

Dans le contexte de la mission d'entraînement, le travail d'analyse du pilote à l'instruction pour définir la possibilité de l'utilisation d'une aire d'atterrissage peut amener le moniteur à faire exécuter une reconnaissance sur n'importe quel site de la zone de travail.

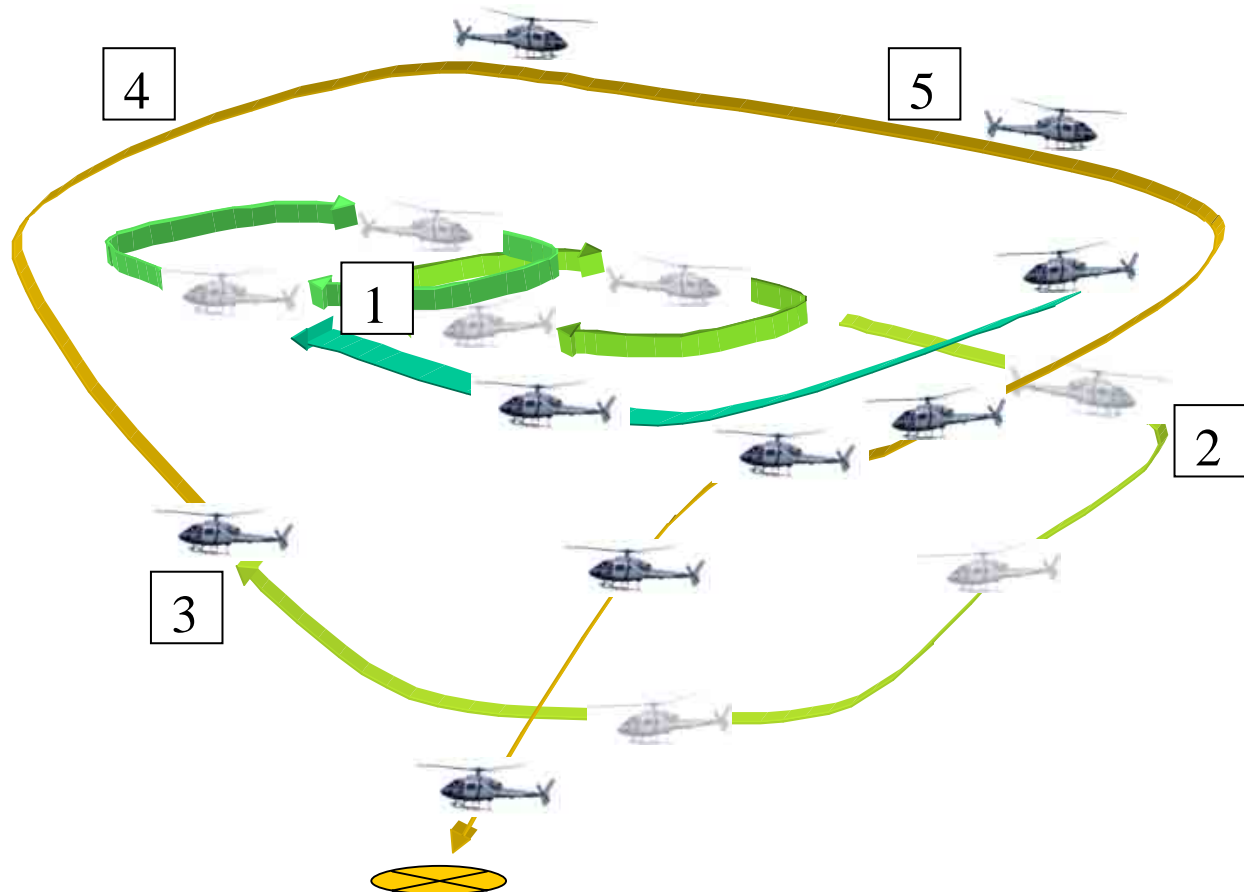


Schéma de la reconnaissance d'aire de poser

La reconnaissance d'une aire de poser en campagne se décompose en deux phases :

- une reconnaissance de zone,
- un ou plusieurs passages stabilisés.

1^{ère} phase (1) : arrivée sur la zone d'atterrissage, le pilote effectue des cercles au dessus de l'aire de poser à une hauteur d'environ 300 pieds et une vitesse indiquée de 60 nœuds. Le but de cette manoeuvre est de déterminer les obstacles éventuels dans le secteur d'évolution.

2^{ème} phase (2) : le pilote quitte les cercles d'observation pour rejoindre l'axe le plus approprié pour effectuer son approche face au vent.

Établi sur cet axe, il descend alors vers une hauteur minimale voisine de 50 pieds (ou supérieure en fonction des obstacles environnants) à une vitesse indiquée de 40 nœuds.

Ce passage permet d'estimer le vent (orientation et force) et l'altitude du point, de confirmer l'axe d'atterrissage et de décollage et de s'assurer du bon état de l'aire de poser.

A l'issue de cette observation une remise des gaz est réalisée pour rejoindre l'altitude de circuit fixée en fonction des éléments du passage (3).

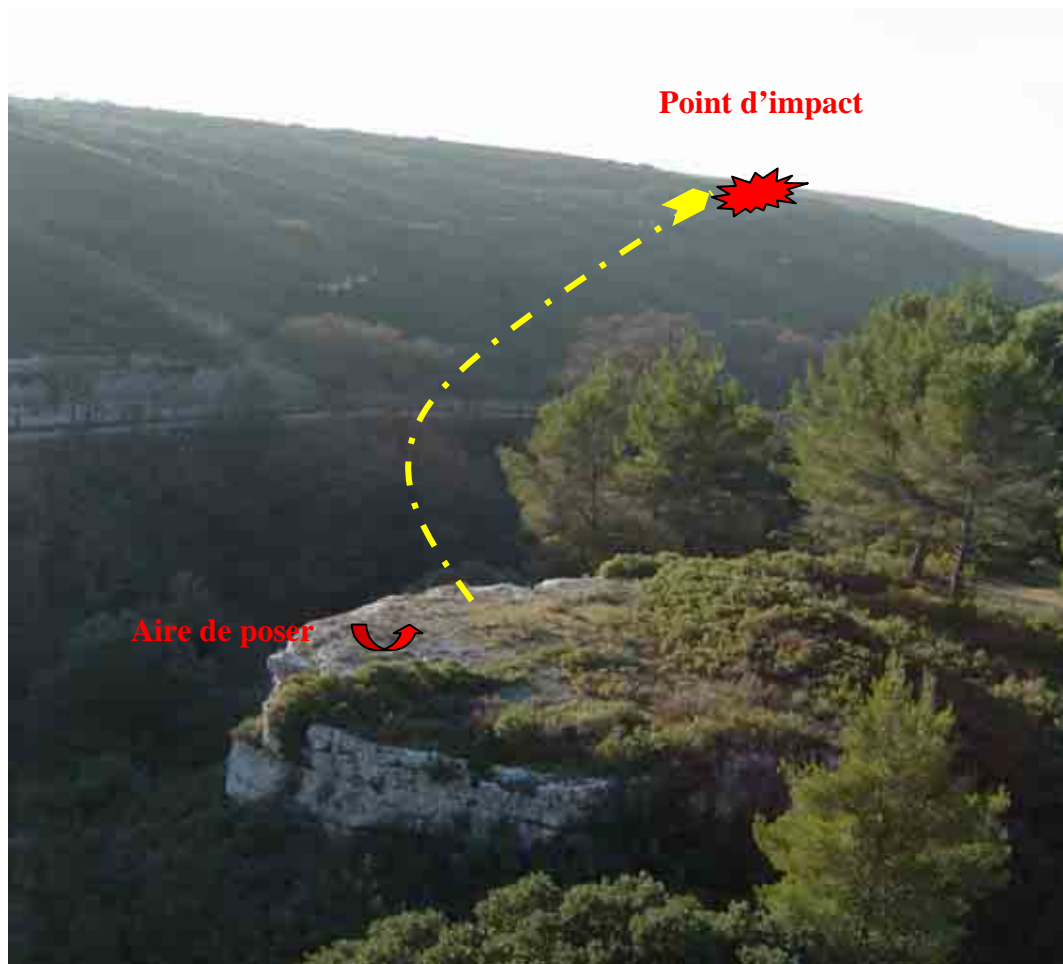
La décision de poser résulte de l'analyse de ces deux phases.

Dès que l'altitude de circuit est atteinte, le pilote engage un virage pour rejoindre la branche vent arrière (4).

Après avoir stabilisé les éléments de vol et réalisé les actions vitales, le pilote se présente sur l'axe déterminé lors du passage et conduit son approche sur le point d'atterrissage retenu (5).

L'étude de la méthodologie de la reconnaissance d'aire de poser dans les conditions aérologiques soulignées ci-dessus (paragraphe 2.1.5.1 – *S'agissant des conditions météorologiques* – page 45) permet de supposer que l'équipage ait pu rencontrer une situation de *vortex*, dans la phase d'observation à 300 pieds.

2.1.6.3. Décollage de l'aire de poser dite « porte avions » située en fond de vallée



Aire de poser « porte avions »

Le décollage de l'aire de poser dite « porte avions » (aire de poser n°3 – carte Représentation de la situation aérologique en surface – page 47) se décompose suivant le canevas de description suivant :

(La représentation Schéma type du décollage type autre ZP est exposée page 49)

- Sur l'aire de décollage, l'appareil est stabilisé en vol stationnaire. Le pilote prépare l'équipage et l'hélicoptère pour réaliser la procédure.
- Lorsque le décollage débute, le pilote augmente la puissance pour amorcer une montée contrôlée vers le point de décision fixé lors du « briefing décollage » et actualisé si nécessaire au cours de la procédure (estimation des obstacles environnants parfois erronée).

Une trajectoire de recul peut être entreprise pour faciliter un atterrissage dans l'éventualité d'une panne annoncée par l'équipage (allumage de voyant d'alarme ou perte subite d'un moteur).

- A l'annonce « décision », le pilote aux commandes affiche simultanément la puissance maximale disponible en recherchant une assiette d'environ 10° à piquer.
- Dans la dernière phase de la procédure, le pilote poursuit sa recherche de vitesse vers Vy 55 nœuds qui est la vitesse optimale de montée en maintenant la puissance maximale continue.

Les conditions aérologiques soulignées ci-dessus (paragraphe 2.1.5.1 – *S'agissant des conditions météorologiques* – page 45) **et l'étude de la trajectoire après le décollage de l'aire de poser dite « porte avions » permettent de supposer que l'appareil ait pu rencontrer une aérologie spécifique (rabbattants) pouvant conduire à l'événement.**

L'étude des phases de vol exposée supra permet de supposer que l'équipage ait pu rencontrer une situation de *vortex*, lors d'un travail en tour de piste basse altitude ou en reconnaissance d'aire de poser, ou bien une aérologie spécifique (rabbattants) après le décollage de l'aire de poser dite « porte avions ».

2.2. ENONCE ET VERIFICATION DES HYPOTHESE RELATIVES AUX CAUSES DE L'EVENEMENT

L'analyse des faits et des résultats relatifs aux vérifications techniques menées sur le Fennec permet d'avancer plusieurs hypothèses sur les causes de cet événement.

Elles sont exposées en trois parties en fonction de leur origine :

- technique,
- environnementale,
- humaine.

2.2.1. Hypothèses liées à une cause d'origine technique

Les hypothèses relatives à des causes d'origine technique sont essentiellement liées aux observations et résultats des examens des pièces issues de l'épave de l'hélicoptère.

Les investigations réalisées au CEPr sur les éléments de l'hélicoptère Fennec n'ont montré aucune trace de dysfonctionnement sur les deux turbomoteurs Arrius 1 M, ni le moindre indice de défaillance sur les ensembles de transmission de puissance et sur les rotors.

Aucune cause technique endogène à l'appareil n'est à l'origine de l'événement.

En conséquence, s'agissant des causes d'origine technique,

Un impact du rotor principal avec le sol est l'événement initiateur dans la séquence des endommagements et des ruptures constatés sur la chaîne de puissance, conduisant finalement à la survitesse et la perte des deux moteurs.

L'HYPOTHÈSE QUE CET ÉVÉNEMENT SOIT LIÉ À DES CAUSES D'ORIGINE TECHNIQUE EST REJETEE.

2.2.2. Hypothèses liées à des causes d'origine environnementale

Les hypothèses relatives à des causes environnementales sont essentiellement liées à l'étude des conditions météorologiques du moment, à la configuration du terrain et aux phénomènes aérologiques déduits de l'étude des phases de vol pouvant conduire à l'événement.

2.2.2.1. Conditions météorologiques

L'étude de la situation météorologique du jeudi 29 janvier 2004, vers 15h20 dans le secteur du hameau de « la Mérindole », réalisée par le CMIRSE confirme la présence de vent en basse couche (65 à 72 km/h, soit 36 à 40 kt, dès les 200 à 300 mètres d'altitude) provoquant une turbulence modérée à forte près du sol.

Cette situation est attestée par l'équipage du Super Puma lors de la finale sur la piste située à proximité de l'accident afin de débarquer les sauveteurs plongeurs (Vent relevé au « TRIMBLE » : 330° / 350° pour 50 kt).

Les conditions de vent signalées supra ont pu engendrer une aérologie délicate.

Les conditions météorologiques particulièrement délicates constituent une cause probable de l'événement

2.2.2.2. Configuration du terrain

L'accident s'est produit sur le territoire de la commune d'Aix en Provence, sur le plateau du Grand Arbois, à 1800 mètres du hameau de la Mérindole au lieu dit « Le Jas des Vaches ». Le relief à cet endroit est marqué par une succession de collines d'une altitude maximale de 250 mètres.

Les conditions météorologiques signalées supra ont probablement provoqué une turbulence modérée à forte près du sol, en particulier sur la zone de l'accident légèrement accidenté et en altitude.

La configuration du terrain entraînant une aérologie particulière concourt aux causes possibles de l'événement.

2.2.2.3. Phénomènes aérologiques déduits de l'étude des phases de vol pouvant conduire à l'événement

L'étude des phases de vol pouvant conduire à l'événement a mis en exergue trois situations pouvant être à l'origine de l'événement.

➤ **Situation de *vortex* lors de la réduction de vitesse dans la branche vent arrière en tour de piste basse altitude.**

Il est possible que le pilote, perturbé par un défilement sol inhabituel et une aérologie délicate entraînant un pilotage imprécis ou surcontrôlé, laisse s'installer une vitesse verticale (V_z) négative, faible dans l'indication de bord (variomètre) mais importante en valeur absolue instantanée.

Dans cette phase de vol, une augmentation de la puissance au Pas Général peut entraîner une amplification du phénomène, du fait que la vitesse de l'appareil dans la masse d'air devient nulle au même moment (réduction de vitesse importante pour contrer un fort vent effectif arrière).

Compte tenu de la faible hauteur d'évolution, le pilote, voyant que l'appareil tend à poursuivre sa descente, amplifie sa demande de puissance. Cette action, s'effectuant en virage, a pour effet d'engendrer une vitesse verticale instantanée très forte.

Dans ces conditions, une mise en situation de *vortex* n'est pas récupérable. Le rotor principal vient heurter le sol.

L'évolution rapide des paramètres et la très faible hauteur de travail laissent supposer que l'équipage n'a pas eu suffisamment de temps pour effectuer les actions nécessaires pour récupérer l'appareil et émettre un message de détresse.

Une situation de *vortex* lors de la réduction de vitesse dans la branche vent arrière en tour de piste basse altitude est une cause possible de l'événement.

➤ **Situation de *vortex* dans la phase d'observation à 300 pieds lors d'une reconnaissance d'aire de poser.**

(Phénomène semblable au travail en tour de piste, objet d'un développement ci-dessus).

Compte tenu de l'installation lente des paramètres en début de *vortex*, peu perceptible au regard de l'aérologie (turbulences entraînant un pilotage imprécis ou surcontrôlé), l'équipage ne s'est rendu compte du phénomène que lorsque celui-ci s'est installé franchement.

On peut supposer que l'équipage a tenté de sortir de cette situation en effectuant un virage de manière à se repositionner face au vent mais sans réaction immédiate de l'appareil.

La faible hauteur de travail n'a pas permis de sortir de la situation de *vortex*.

Le rotor principal vient heurter violemment le sol.

Une situation de *vortex* dans la phase d'observation à 300 pieds lors d'une reconnaissance d'aire de poser est une cause possible de l'événement.

➤ **Phénomène de rabattants après un décollage de l'aire de poser dite « porte avions ».**

Cette aire de poser est régulièrement pratiquée par les équipages de l'EH 05.067 « Alpillès ». Elle est située à une distance d'environ 500 mètres, en contre bas, de la zone de l'accident.

En considérant l'axe de décollage vers l'ouest avec un vent de travers du nord / nord-ouest, la trajectoire de décollage et de montée initiale coïncide avec le flanc sud de la vallée orientée vers l'ouest et conduit à la zone de l'événement (cf. photo aire de poser « porte avion »). Cet axe permet de bénéficier des ascendances présentes grâce à l'effet du vent sur le relief.

Dans les conditions de travail présentes, si l'appareil s'est conformé aux procédures normales de décollage d'une zone de ce type, il devait se situer vers une hauteur de 900 pieds (environ 270 mètres) au dessus de l'aire de départ pour une distance de 500 mètres parcourus.

Il se pourrait que lors de la manœuvre de décollage, l'appareil ait rencontré des turbulences, ou une combinaison de phénomènes d'une rare intensité provoquées par un vent de travers très fort perturbé par le relief (rabattants, effet de venturi).

Déstabilisé par ces conditions « extrêmement délicates », l'appareil n'a pas alors le temps de rejoindre une hauteur suffisante pour se dégager du secteur.

Il a pu se faire plaquer violemment au sol par ces effets aérologiques.

Toutefois, les constatations réalisées sur zone, la méthodologie de l'exercice et la chronologie habituelle d'une séance d'instruction permettent d'écarter cette hypothèse.

En effet, la position de la transmission arrière se trouve à 180° par rapport à l'axe de décollage envisagé dans ce cas. L'arrachement du bout de pale principale, retrouvé à 63 mètres en aval du point d'impact, n'est pas en adéquation avec la position finale de l'appareil. La faible dispersion des débris indique bien que l'appareil n'avait pas de vitesse au moment de la collision avec le sol.

De même, la méthodologie de l'exercice impose au regard des conditions environnementales, la réalisation d'une reconnaissance de zone avant de prendre la décision de travailler sur ce point. L'omission de cet aspect capital paraît improbable pour un moniteur dans une mission d'instruction.

Enfin, l'heure de l'événement étant estimée 15 minutes après le dernier contact radio précisant la position de l'appareil sur la zone de travail, il paraît invraisemblable que le moniteur débute la séance par cette aire de poser délicate, préférant une progression dans la difficulté du travail.

L'hypothèse que l'appareil ait pu se faire plaquer violemment au sol par des rabattants après le décollage de l'aire de poser dite « porte avions » est rejetée.

En conséquence, s'agissant des causes d'origine environnementale :

- **Les conditions météorologiques particulièrement délicates, constituent une cause probable de l'événement.**
 - **La configuration du terrain entraînant une aérologie particulière,**
 - **Une situation de *vortex* lors de la réduction de vitesse dans la branche vent arrière en tour de piste basse altitude,**
 - **Une situation de *vortex* lors de la phase d'observation à 300 pieds en reconnaissance d'aire de poser,**
- constituent des causes possibles de l'événement.**

L'HYPOTHÈSE QUE CET ÉVÉNEMENT SOIT LIÉ À DES CAUSES D'ORIGINE ENVIRONNEMENTALES EST RETENUE.

2.2.3. Hypothèses liées à des causes d'origine humaine

Les hypothèses relatives à des causes d'origine humaine sont essentiellement liées à :

- la charge de travail de l'équipage,
- une évaluation erronée par le pilote commandant de bord de son niveau d'expertise pour cette mission réalisée dans des conditions spécifiques,
- la décision de réaliser ce vol d'entraînement TM-A en basse altitude,
- les différences d'investissement des membres d'équipage dans la mission,
- la sous-évaluation des difficultés environnementales,
- la faible expertise de l'équipage face aux conditions environnementales délicates,
- la formation concomitante du moniteur sur super puma,
- la composition de l'équipage,

2.2.3.1. Charge de travail de l'équipage

Le pilote commandant de bord avait une source de préoccupation professionnelle majeure, sa réussite à l'examen du cycle de perfectionnement au commandement (CPC).

Parallèlement, le pilote Commandant de bord était lui-même en apprentissage sur un appareil plus lourd et plus puissant (transformation Super Puma) dans la période précédant l'accident. Il assurait les fonctions de chef bureau instruction à l'unité. Il avait accompli 22 heures de vol dans les 30 derniers jours, dont 14 heures sur Fennec.

Les autres membres d'équipage avaient une activité normale. Le pilote à l'instruction totalisait 21 heures de vol dans les 30 derniers jours sur Fennec. Le pilote en place arrière, avait réalisé 29 heures de vol dans les 30 derniers jours sur Fennec.

Seul le commandant de bord pilote, cumulant les CPC et sa transformation sur Super Puma, pouvait être l'objet d'une certaine perturbation.

L'activité globale des membres d'équipage n'a pas été suffisamment élevée et contraignante pour occasionner une surcharge de travail ou un état de fatigue susceptible d'être mis en cause dans l'événement.

2.2.3.2. Évaluation erronée par le pilote commandant de bord de son niveau d'expertise pour cette mission réalisée dans des conditions spécifiques

- Le PCB possédait une connaissance limitée de la zone d'évolution (affectation récente en été 2003 avec un nombre limité d'heures de vol sur le dernier quadrimestre de l'année) ainsi qu'une faible expertise du vol hélicoptère dans le relief par condition venteuse (affectation précédente sur la région bordelaise, présentant un relief moins accidenté et des conditions de vents moins turbulentes qu'en Provence),
- Le PCB, bien que moniteur depuis huit mois, n'avait qu'une expérience pratique limitée pour le monitorat (qualification datant de moins d'un an, accordée sous n° 146 à compter du 28 mai 2003).

Ces éléments ont pu être sous évalués par le PCB l'amenant à une surestimation de ces capacités pour réaliser cette mission dans un environnement qui lui était peu familier.

L'évaluation erronée par le pilote CDB de son niveau d'expertise pour cette mission réalisée dans des conditions spécifiques est une cause possible de l'évènement.

2.2.3.3. La décision de réaliser cette mission tenue machine TM-A en basse altitude

Compte tenu des conditions météorologiques, les objectifs fixés dans le cadre de cette séance semblent difficiles à atteindre.

En effet, même si au départ d'Istres les conditions de vent transmises par le contrôle permettaient de décoller, travailler l'esprit de décision et la tenue des paramètres dans ces conditions semble délicat techniquement pour un jeune pilote.

De même, une révision des procédures de « standardisation », pour le pilote en place arrière, dans cette situation, apparaît irréalisable. Le pilote aux commandes ne pouvait être que confronté à des difficultés de tenue des paramètres, de visualisation et de restitution des canevas prévus dans la séance type TM-A.

De plus, l'étude des phases de vol pouvant conduire à l'évènement a mis en exergue qu'une situation de *vortex* pouvait être à l'origine de l'évènement.

La réalisation de cette mission en basse altitude (faible hauteur de travail 0 à 300 pieds) ne permet pas de sortir d'une situation de *vortex*.

Au regard des conditions techniques de réalisation du vol (vol basse altitude entre 0 et 300 pieds), de la situation météorologique (fort vent engendrant une aérologie délicate), de l'expérience globale de l'équipage (faible expérience globale face aux conditions météorologiques) et des objectifs de cette mission, la réalisation de ce vol d'entraînement en basse altitude témoigne d'une appréciation erronée de la situation.

La décision de réaliser ce vol d'entraînement en basse altitude fait suite à une appréciation erronée de la situation et concourt aux causes possibles de l'événement.

2.2.3.4. Les différences d'investissement des membres d'équipage dans la mission

Chacun des membres d'équipage avait des préoccupations professionnelles à des degrés divers susceptibles d'interférer sur l'investissement (sous ou surinvestissement) dans la mission.

➤ S'agissant du pilote commandant de bord,

Le PCB avait une source de préoccupation professionnelle majeure, clairement exprimée au sein de son escadron, concernant le passage d'un examen sans relation directe avec le pilotage : le cycle de perfectionnement au commandement (CPC).

Cet examen, déterminant dans l'évolution de la carrière des officiers, ne peut être présenté que trois fois. Or, il s'agissait de la troisième et dernière tentative pour ce pilote, pour lequel une semaine de congés et de révisions avait été programmée la semaine suivant l'accident. L'expression de ses doutes et de ses craintes et sa demande de permissions pour travailler l'examen sont des signes montrant l'importance de la réussite aux CPC pour ce pilote.

Parallèlement, il suivait un stage de transformation sur Super Puma. Cette formation concomitante a pu amener au même phénomène.

Dans ce contexte particulier, le déclenchement d'une mission d'entraînement sur Fennec au profit d'un pilote à l'instruction aux compétences professionnelles reconnues a pu entraîner à l'insu du chef de bord un désinvestissement relatif dans la mission.

➤ S'agissant du pilote en instruction,

Le pilote en instruction était en pleine phase de progression. Le cadre de travail défini pour cette mission était de faire travailler son esprit de décision, de « le pousser dans son raisonnement » et de travailler la tenue machine suite à une remarque lors d'un vol précédent.

Cette mission a donc été montée à son profit en vue de sa préparation à la qualification copilote programmée semaine 11 (mars) engendrant un investissement probablement très important de ce jeune pilote dans son vol.

➤ S'agissant du pilote en place arrière,

Ce vol était aussi particulièrement important dans le contexte professionnel du pilote en place arrière.

En effet, il bénéficiait de ce vol à titre de révision pratique en vue de son examen pour l'obtention de sa qualification commandant de bord la semaine suivant l'accident.

Nota : Le pilote à l'instruction et le pilote en place arrière ont personnellement sollicité ce vol auprès du chef pilote de l'unité en avançant leurs échéances respectives proches (qualifications copilote et CDB).

Ainsi, ces sur ou sous-investissements ont-ils pu conduire l'ensemble de l'équipage à mésestimer l'inadéquation existante entre conditions délicates de vol et expérience toute relative de chacun dans son poste.

Les différences d'investissement des membres d'équipage dans la mission, liées aux préoccupations connexes de chacun, ont pu concourir aux causes possibles de l'événement

2.2.3.5. La sous-évaluation des difficultés environnementales

L'équipage a consulté la météorologie sur le système « SIMONE » disponible à l'unité.

Au départ de la base d'Istres, les conditions de vent transmises par le contrôle permettaient d'effectuer la mise en route de l'appareil, de décoller et d'envisager la mission.

Toutefois les conditions météorologiques signalées supra (paragraphe 2.2.2.1 – *Conditions météorologiques* – page 56) ont probablement engendré une aérologie délicate sur la zone de l'accident.

L'équipage a semble-t-il sous-estimé les difficultés environnementales.

La sous-évaluation des difficultés environnementales a pu concourir aux causes possibles de l'événement.

2.2.3.6. La faible expertise de l'équipage face à des conditions environnementales délicates

Un facteur important semble se dégager dans la genèse de l'accident :

- la faible expertise de l'équipage face à des conditions météorologiques délicates.

Le pilote Commandant de bord possédait une connaissance limitée de la zone d'évolution (mutation récente en été 2003 avec un nombre limité d'heures de vol sur le dernier quadrimestre de l'année). Il détenait également une faible expertise du vol hélicoptère dans le relief et en conditions venteuses (affectation précédente sur la région bordelaise).

Enfin, il s'agit d'un jeune moniteur (qualification datant de moins d'un an, accordée sous n° 146 à compter du 28 mai 2003) avec peu d'expérience dans cette fonction.

Le commandant de bord totalise 745 heures de vol sur hélicoptères dont 120 heures sur Fenec.

Le copilote à l'instruction a effectué 390 heures sur hélicoptères dont 280 heures sur Fenec.

Le pilote en place arrière a accompli 617 heures sur hélicoptères dont 510 heures sur Fennec.

Au total, ce cockpit est composé d'un équipage particulier, au gradient d'âges faible, avec peu d'heures de vol et une faible expérience dans sa fonction pour le moniteur.

NOTA : L'expérience réelle d'un personnel qualifié moniteur est difficilement quantifiable. En effet, les heures de vol apparaissent en gestion sous la fonction pilote commandant de bord (PCB). Une mise en évidence des heures réalisées en qualité de moniteur (MO) permettrait une meilleure gestion de ces personnels et une aide au commandement pour la désignation des équipages.

La faible expertise de l'équipage face à des conditions environnementales délicates (relief et météorologie) a pu concourir aux causes possibles de l'événement.

2.2.3.7. La formation concomitante du moniteur sur Super Puma

Le pilote commandant de bord était lui-même en apprentissage sur un appareil plus lourd et plus puissant (transformation Super Puma) dans la période précédant l'accident.

Cette formation concomitante a pu être la source d'une altération des sensations de vol conduisant à sous-estimer la difficulté des conditions météorologiques pour une machine comme le Fennec plus légère et donc plus sensible au vent.

La formation concomitante du moniteur sur Super Puma a pu avoir une incidence sur son appréciation de situation.

2.2.3.8. Composition de l'équipage

Même si l'équipage du Fennec détenait toutes les qualifications requises pour mener cette mission TM-A, les éléments exposés supra (paragraphe 2.1.3 – *Expérience professionnelle de l'équipage* – page 39) démontrent que la composition de l'équipage était perfectible.

Le volume et la disponibilité des moniteurs de l'unité offraient des alternatives plus judicieuses dans la désignation de l'équipage.

La composition de l'équipage concourt aux causes possibles de l'événement.

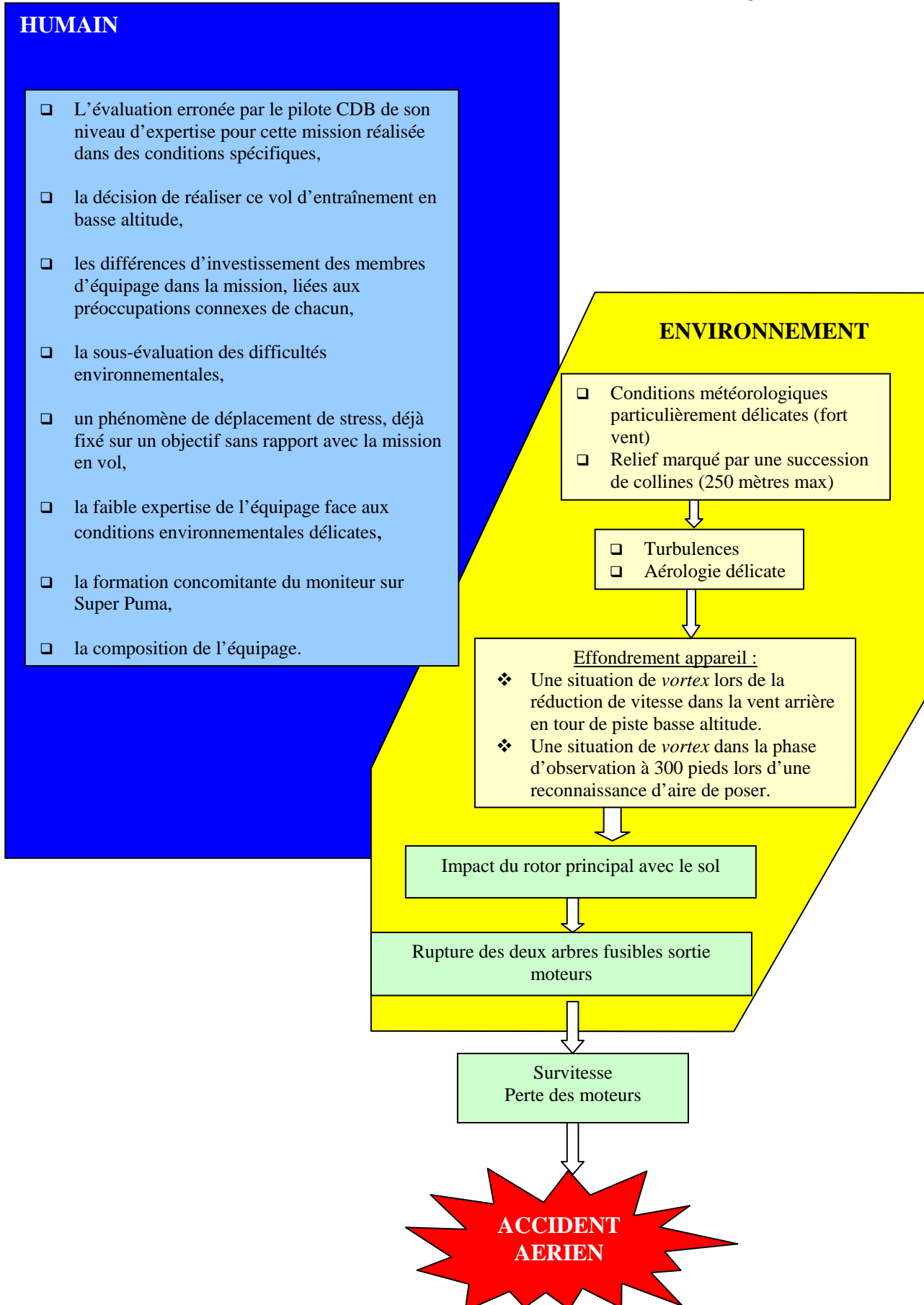
En conséquence, s'agissant des causes d'origine humaine,

- **L'évaluation erronée par le pilote CDB de son niveau d'expertise pour cette mission réalisée dans des conditions spécifiques,**
- **la décision de réaliser ce vol d'entraînement en basse altitude,**
- **Les différences d'investissement des membres d'équipage dans la mission, liées aux préoccupations connexes de chacun,**
- **la sous-évaluation des difficultés environnementales,**
- **la faible expertise de l'équipage face à des conditions environnementales délicates (relief et météorologie),**
- **la formation concomitante du moniteur sur Super Puma,**
- **la composition de l'équipage,**

concourent aux causes possibles de l'événement.

**L'HYPOTHÈSE QUE CET ÉVÉNEMENT SOIT LIÉ À DES CAUSES
D'ORIGINE HUMAINE EST RETENUE.**

2.3. ARBORESCENCE CAUSALE ET CHRONOLOGIQUE



3. CONCLUSION

3.1. FAITS ETABLIS, UTILES A LA COMPREHENSION DE L'EVENEMENT

- L'équipage du Fennec devait initialement réaliser une séance de navigation à vue (NAV-A) et aux instruments (NAI).
- Après étude des dernières observations et prévisions communiquées par le centre météorologique d'Istres pour un trajet entre la BA 125 et CHAMBERY (73), la mission est annulée.
- Un vol d'entraînement type tenue machine (TM-A) est programmé en remplacement pour 13h00.
- Les ordres de vol ont été rédigés conformément à la réglementation en vigueur.
- L'équipage du Fennec détient toutes les qualifications requises pour mener cette mission d'entraînement tenue machine.
- Les conditions météorologiques signalées ont probablement provoqué une turbulence modérée à forte près du sol, en particulier sur la zone de l'accident légèrement accidentée et en altitude.
- Le pilote Commandant de bord avait une source de préoccupation professionnelle majeure : l'obtention de l'examen militaire du cycle de perfectionnement au commandement (CPC).
- Le pilote Commandant de bord possédait une connaissance limitée de la zone d'évolution (mutation récente en été 2003 avec un nombre limité d'heures de vol sur le dernier quadrimestre de l'année) ainsi qu'une faible expertise du vol hélicoptère dans le relief et du vol en conditions venteuses (affectation précédente sur la région bordelaise).
- Le pilote Commandant de bord avait peu d'expérience dans sa fonction de moniteur (qualification datant de moins d'un an, accordée sous n° 146 à compter du 28 mai 2003)

- Le pilote Commandant de bord était lui-même en apprentissage sur un appareil plus lourd et plus puissant (transformation Super Puma) dans la période précédant l'accident. Cette formation concomitante a pu être la source d'une altération des sensations de vol conduisant à sous-estimer la difficulté des conditions météorologiques pour une machine comme le Fennec plus légère et donc plus sensible au vent.
- Chacun des membres d'équipage avait des préoccupations professionnelles à des degrés divers susceptibles d'interagir avec l'investissement (sous ou surinvestissement) dans la mission.
- L'équipage avait une faible expertise du vol en conditions météorologiques délicates.
- Les investigations réalisées au CEPr sur les éléments de l'hélicoptère Fennec n'ont montré aucune trace de dysfonctionnement sur les deux turbomoteurs Arrius 1 M, ni le moindre indice de défaillance sur les ensembles de transmission de puissance et sur les rotors.

3.2. CAUSES DE CET EVENEMENT

L'enquête relative à cet accident n'a pu s'appuyer sur aucune donnée de restitution, qu'il s'agisse de l'enregistrement des paramètres de vol dont cet appareil n'est pas équipé, ou de témoignages proches et précis.

Il ressort des hypothèses qui ont été dégagées suite à une analyse systémique du cadre de cette mission que l'accident est lié essentiellement à deux facteurs :

- ⇒ des conditions aérologiques très délicates,
- ⇒ une appréciation insuffisamment lucide de ces conditions à divers échelons des acteurs du vol.

Aucune cause technique endogène à l'appareil n'est à l'origine de l'événement.

➤ S'agissant des causes d'origine technique :

- ⇒ l'impact du rotor principal avec le sol est bien l'événement initiateur dans la séquence des endommagements et des ruptures constatés sur la chaîne de puissance, conduisant finalement à la survitesse et la perte des deux moteurs.

➤ **S'agissant des causes d'origine environnementale :**

⇒ les conditions météorologiques particulièrement délicates,

constituent une cause probable de l'événement,

⇒ la configuration du terrain entraînant une aérologie particulière,

⇒ une situation de *vortex* lors de la réduction de vitesse dans la branche vent arrière en tour de piste basse altitude,

⇒ une situation de *vortex* lors de la phase d'observation à 300 pieds en reconnaissance d'aire de poser,

constituent des causes possibles de l'événement.

➤ **S'agissant des causes d'origine humaine :**

⇒ l'évaluation erronée par le pilote CDB de son niveau d'expertise pour cette mission réalisée dans des conditions spécifiques,

⇒ la décision de réaliser ce vol d'entraînement en basse altitude,

⇒ les différences d'investissement des membres d'équipage dans la mission, liées aux préoccupations connexes de chacun,

⇒ la sous-évaluation des difficultés environnementales,

⇒ la faible expertise de l'équipage face à des conditions environnementales délicates (relief et météorologie),

⇒ la formation concomitante du moniteur sur Super Puma,

⇒ la composition de l'équipage,

concourent aux causes possibles de l'événement.

4. RECOMMANDATIONS DE SECURITE

4.1. MESURES DE PREVENTION AYANT TRAIT DIRECTEMENT A L'EVENEMENT

Suite à cet événement, l'EMAA a décidé à titre conservatoire l'arrêt de vol de la flotte Fennec et Écureuil dès le 29 janvier 2004.

Devant les premiers éléments d'enquête technique, l'EMAA a autorisé la reprise des vols le 02 février 2004. Le commandement de la FAP a donc autorisé le jour même la reprise de l'activité aérienne sur Fennec et Écureuil en suspendant jusqu'à nouvel ordre pour tous types d'hélicoptères :

- les tours de piste en basse altitude (BA),
- les approches et finales en vent arrière.

Parallèlement, un rappel sur les dangers liés aux vols en basse altitude (effets de rabattants, effet de cisaillement, effet de *vortex*, effet du vent de travers sur le rotor anticouple, etc.) a été effectué par les OSV des unités de la FAP.

Par ailleurs, une réflexion globale sur les vols BA en hélicoptère doit être conduite au sein de la FAP. Ce point doit faire l'objet d'une réunion sécurité des vols au niveau de l'armée de l'air en décembre 2004.

Dans ce cadre, le BEA défend recommande :

- de maintenir les mesures de suspension dans l'attente des conclusions de la réflexion globale sur les vols BA.
- qu'une action d'information soit régulièrement menée en insistant sur :
 - ⇒ les dangers que peuvent générer les vols basse altitude (BA), dans des conditions environnementales délicates (aérologie et relief) : effet de rabattant, effet de cisaillement, phénomène *vortex*, la perte d'efficacité du rotor anti-couple par vent de travers.
 - ⇒ les procédures de sauvegarde associées.
- de rappeler les difficultés de désignation des membres d'équipages (corrélation entre l'expérience, les qualifications, les conditions environnementales, l'objectif de la mission et les préoccupations des personnels).

Par ailleurs, le BEA défend et recommande :

- d'éviter que les moniteurs (notamment les plus jeunes) ne cumulent la fonction d'instructeur tout en étant en apprentissage sur un autre type d'appareil,
- d'identifier les heures de vol effectuées en qualité de moniteur afin de permettre une meilleure gestion de ces personnels et une aide au commandement pour la désignation des équipages.
- qu'une réflexion globale soit menée sur :
 - ⇒ la pertinence d'embarquer en place arrière un personnel lors des séances d'instruction ou d'entraînement,
 - ⇒ l'expérience nécessaire pour obtenir la qualification de moniteur en unité.

4.2. MESURES DE PREVENTION N'AYANT PAS TRAIT DIRECTEMENT A L'EVENEMENT

4.2.1. La sélection pilote hélicoptères lors d'un changement de sous-spécialité

Bien que le pilotage hélicoptère requière des aptitudes spécifiques, notamment de division de l'attention et de discernement, la procédure de changement de sous-spécialité d'un personnel navigant ne prévoit pas d'épreuve spécifique, contrairement à la sélection ab-initio (voir paragraphe 2.1.4.3 – *Processus de changement de sous-spécialité* – page 43).

Le BEA défense recommande d'inclure, dans la procédure de changement de sous spécialité d'un personnel navigant, les épreuves spécifiques de sélection pilote d'hélicoptères que subissent ab-initio les élèves officiers du personnel navigant (EOPN) et les officiers du recrutement école de l'air (EA) ou école militaire de l'air (EMA).

4.2.2. Mise en place d'enregistreurs de vol ou de paramètres

Le BEA défense recommande d'étudier la mise en place d'enregistreurs de vol ou à défaut de paramètres. Outre la valeur ajoutée qu'un tel équipement peut apporter pour la compréhension d'un événement, il constitue aussi un précieux outil d'aide à la maintenance technique et contribue ainsi très globalement à la sécurité des vols.

Bureau enquêtes accidents Défense

RAPPORT PUBLIC D'ENQUETE TECHNIQUE

BEAD-A-2004-004-A

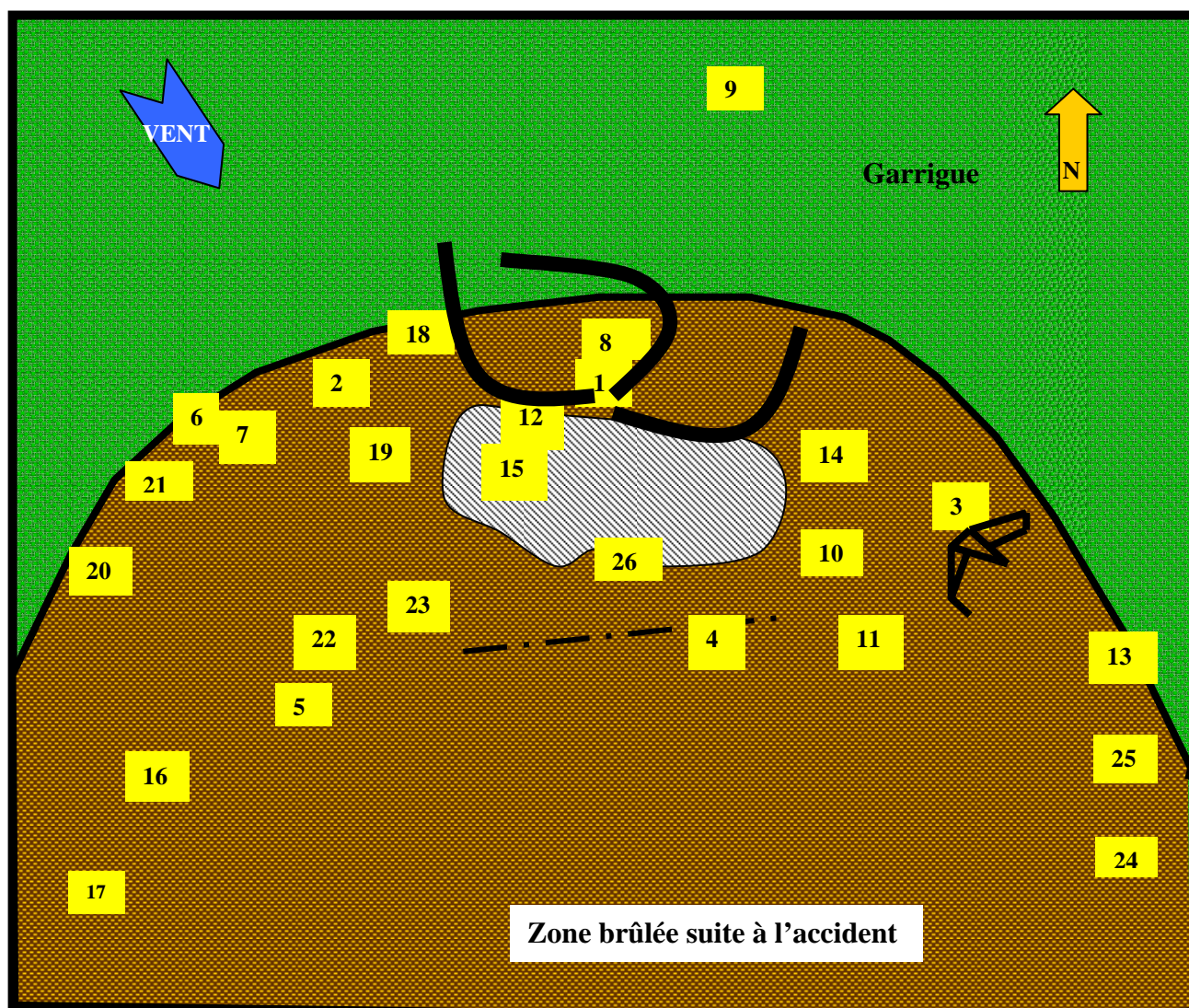


ANNEXES

ANNEXES

1.	Croquis des lieux	page 77
2.	Etat de <i>vortex</i>	page 80
3.	Trajectographie	page 81
4.	Météorologie	page 84

1. CROQUIS DES LIEUX



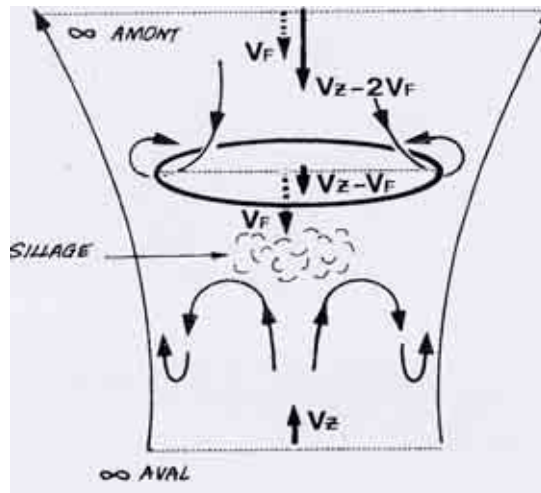
Échelle 1/100^{ème}

Pièce	Repère croquis	Distance / numéro	
		numéro	distance
Rotor principal	1	2	5.10
		4	5.30
Porte arrière droite	2	1	5.10
		4	8.10
RAC et dérive	3	1	9.00
		4	6.70
Longeron plan fixe horizontal et capot phare	4	1	5.30
		3	6.70
Capot sous cellule avant (antenne Tacan)	5	1	8.40
		4	7.40
Partie avant cellule (0.90m × 0.60 m) et éclat hublot	6	1	7.90
		4	6.80
Partie avant patin droit (0.60m × 0.80 m)	7	1	7.05
		4	9.65
Centrale verticale (appareil de navigation) (0.15 m × 0.20 m)	8	1	2.00
		4	7.20
Pièce interne du moteur (diamètre 0.20 m)	9	1	18.10
		4	21.10
Début transmission arrière et ventilateur (L 0.55 m diamètre 0.25 m)	10	1	4.50
		4	3.00
Morceau de patin droit	11	1	7.80
		4	3.50
Poste pilotage, manche, palonniers et porte gauche. Ensemble des débris (3 m × 2 m)	12	1	2.30
		4	5.45
Douille fusée éclairante	13	1	39.40
		4	37.50
Impact (diamètre de 0.40 m, profondeur 0.15)	14	1	3.30
		4	4.20
Deux douilles fusées éclairantes	15	1	3.80
		4	4.50
Morceau composite (pale)	16	1	16.60
		4	14.35
Morceau plan fixe extrémité gauche	17	1	21.80
		4	19.10
Hublot supérieur porte avant droite (0.75 m × 0.60)	18	1	5.25
		4	9.60
Capot inférieur	19	1	5.50
		4	7.20
Morceau plan fixe	20	1	14.40
		4	14.55
Feu stroboscopique et morceau cellule	21	1	10.60
		4	11.60
Livret notes personnelles en partie calciné	22	1	7.20
		4	7.30

Moteur essuie glace	23	1 4	5.75 5.60
Morceau de composite extrémité de pale principale	24	1 25	63.00 20.00
Morceau de bord d'attaque métallique pale principale	25	24 13	20.00 16.00
Emplacement de l'arbre de transmission arrière et de la poutre de queue fondue, entre les points 23 et 10	26		

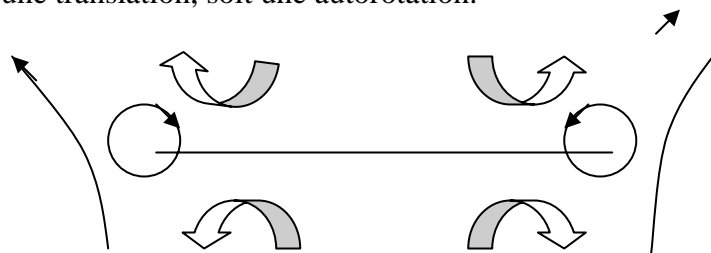
2. ETAT DE VORTEX

Le régime *vortex* est dangereux. Il survient en général lors de descentes verticales à faible vitesse ou lors d'approches vent arrière.



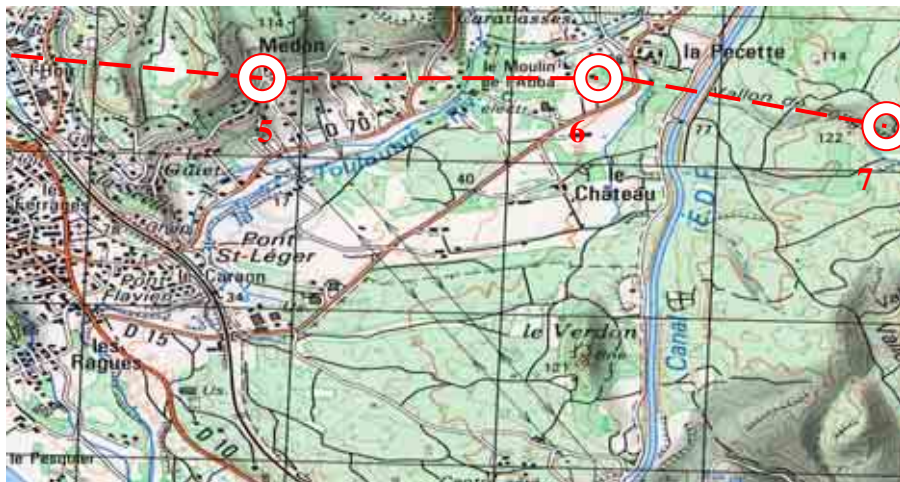
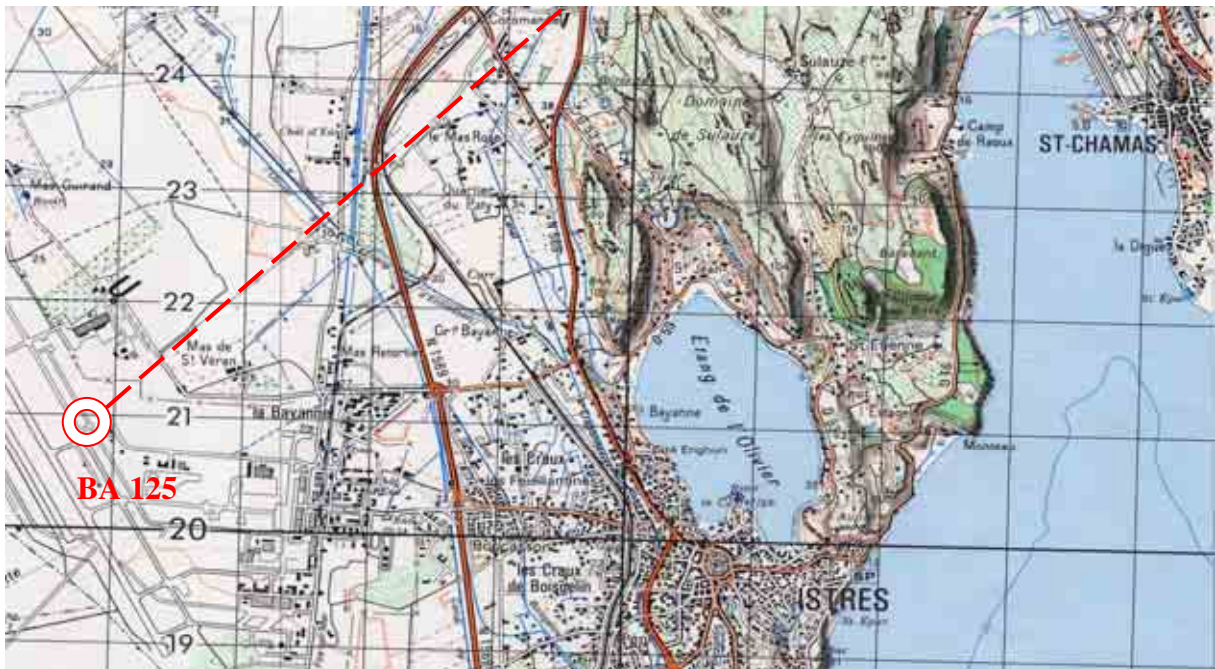
Alors que les descentes rapides et modérées sont des régimes non motorisés, la descente lente de l'hélicoptère est provoquée et contrôlée par une action au pas collectif par le pilote.

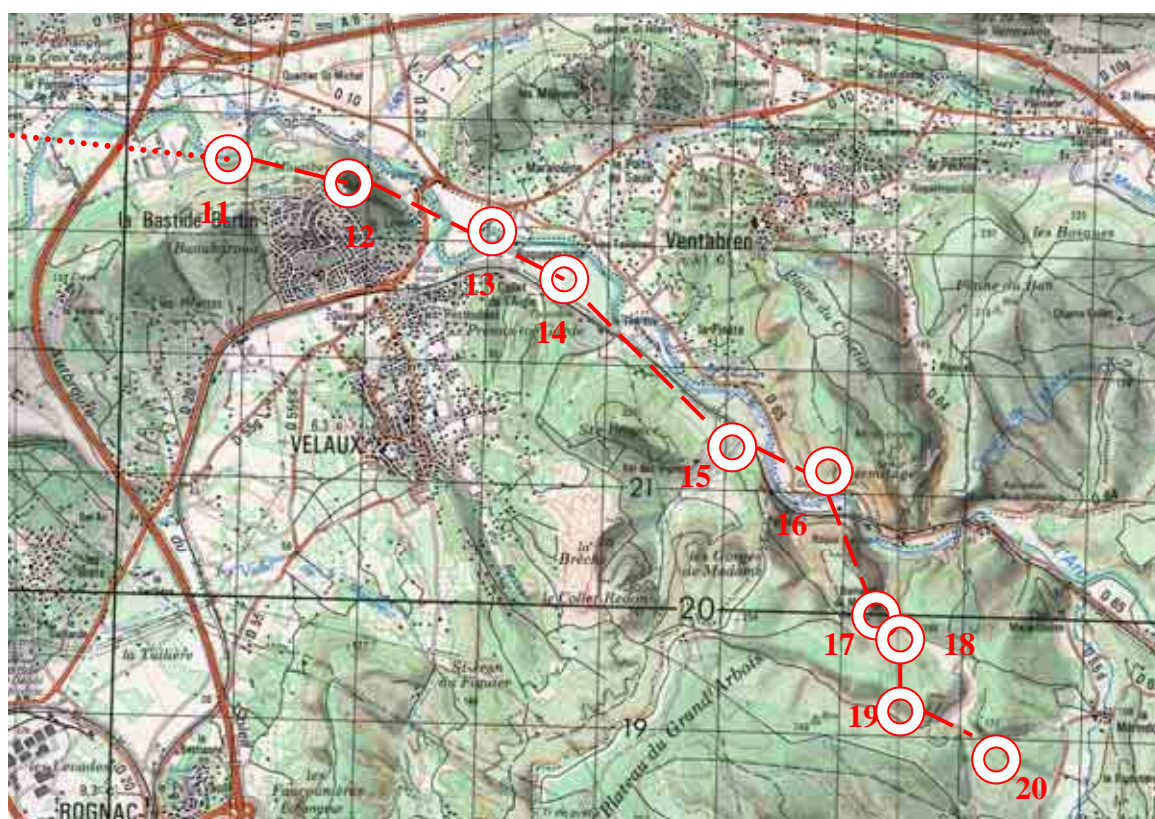
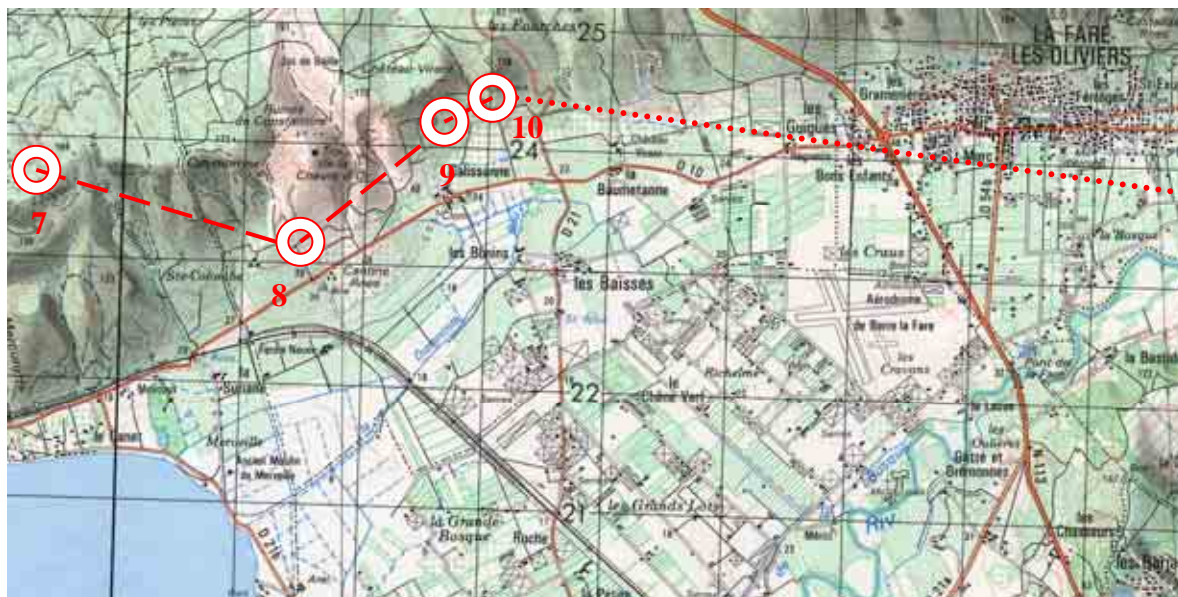
La vitesse verticale des filets d'air à l'infini aval (V_z) étant inférieure à la vitesse induite (V_f) l'inversion de vitesse du flux d'air se produit sous le rotor. Un sillage apparaît sous le rotor et les filets d'air sont rabattus vers le bas. Les filets d'air supérieurs créent une zone tourbillonnaire vers l'extrémité des pales. **Pour une vitesse de descente de l'ordre de 2 m/s les flux d'air montant et descendant se rencontrent sur le disque rotor. Les pales tournent dans leur propre remous et l'air forme un anneau tourbillonnaire isolant le rotor qui n'est plus traversé par le flux d'air. Cette situation est dangereuse car le rotor, en zone de décrochage, n'est plus contrôlable.** Le pilote peut facilement abandonner cette situation en amorçant soit une translation, soit une autorotation.



État de vortex : les filets d'air ne traversent plus le rotor qui est isolé par l'anneau tourbillonnaire.

3. TRAJECTOGRAPHIE





POINT	HEURE	COORDONNEES	COORDONNEES	POSITION/ITR
	<i>HH MM SS</i>	<i>DEG MIN SEC</i>	<i>DEG MIN SEC</i>	<i>RADIAL/DISTANCE</i>
DEC	14h35'00''			
1	14h39'37''	N 43°33'37''	E 004°59'02''	048° / 3 NM
2	14h39'54''	N 43°33'39''	E 005°59'42''	054° / 3 NM
3	14h40'14''	N 43°33'53''	E 005°00'36''	056° / 4 NM
4	14h40'43''	N 43°34'08''	E 005°01'52''	059° / 5 NM
5	14h41'14''	N 43°33'49''	E 005°03'13''	067° / 6 NM
6	14h41'45''	N 43°33'33''	E 005°04'38''	072° / 6 NM
7	14h42'10''	N 43°33'05''	E 005°05'23''	077° / 7 NM
8	14h42'40''	N 43°32'56''	E 005°07'29''	080° / 8 NM
9	14h43'00''	N 43°33'07''	E 005°08'16''	080° / 9 NM
10	14h43'20''	N 43°33'23''	E 005°08'58''	079° / 9 NM
Perte de contact radar				
11	14h45'27''	N 43°32'59''	E 005°04'40''	083° / 13 NM
12	14h45'45''	N 43°32'44''	E 005°05'23''	085° / 14 NM
13	14h46'00''	N 43°32'25''	E 005°06'01''	086° / 14 NM
14	14h46'15''	N 43°32'01''	E 005°06'42''	088° / 15 NM
15	14h46'31''	N 43°31'29''	E 005°17'36''	090° / 16 NM
16	14h46'45''	N 43°31'10''	E 005°18'03''	091° / 16 NM
17	14h47'00''	N 43°30'44''	E 005°18'37''	092° / 16 NM
18	14h47'05''	N 43°30'33''	E 005°18'49''	093° / 16 NM
19	14h47'10''	N 43°30'19''	E 005°18'54''	094° / 17 NM
20	14h47'15''	N 43°30'10''	E 005°19'04''	094° / 17 NM
	14h47'17''	Perte de contact radar		

4. METEOROLOGIE

4.1. PREVISIONS COMMUNIQUEES PAR LE CENTRE METEOROLOGIQUE D'ISTRES POUR UN TRAJET ISTRES – CHAMBERY – ISTRES

METAR LFMI 29 0600Z 040 01KT 9999 FEW036 SCT043 BKN110 M01/M03
Q1007

METAR LFMI 29 0700Z 060 03KT 9999 FEW020 SCT036 BKN110 M01/M03
Q1006

TAF LFMI, non disponible.

SALON :

METAR LFMY 29 0630Z 060 03KT 9999 FEW050 BKN100 M02/M03 Q1006

METAR LFMY 29 0700Z 040 01KT 9999 FEW030 BKN090 M02/M03 Q1006

TAF LFMY, non disponible en raison de problèmes techniques.

ORANGE :

METAR LFMO 29 0600Z 100 04KT 9999 FEW040 BKN100 M01/M03 Q1006

SPECI LFMO 29 0647Z 350 14G31KT 8000 –SN FEW015 BKN033 BKN100
00/M02 Q1006 RMK M4

TAF LFMO 29 0500Z 29 0615 120 05KT 9999 BKN036 BKN100 TEMPO 0608
3000 –SN BCMG 0810 340 18G30KT 9999 FEW030 TEMPO 1015
350 25G40KT CAVOK

MONTELMAR :

METAR LFLQ 29 0600Z 350 05KT 270v020 9999 BKN033 OVC100 01/M01
Q1008

SPECI LFLQ 29 0605Z 350 10KT 310v020 0400 SN OVC026 01/M01 Q1009
RMK M4

METAR LFLQ 29 0700Z 060 03KT 9999 FEW001 BKN100 00/M01 Q1008

TAF LFLQ non disponible

LYON (ST EXUPERY):

METAR LFLL 29 0630Z 330 09KT 9999 SCT030 M01/M06 Q1009 NOSIG
68290291 18290291

METAR LFLL 29 0700Z 330 07KT 9999 FEW025 BKN031 M01/M05 Q1009
NOSIG 68290291

TAF LFLL 29 0500Z 29 0615 240 11KT 8000 –SN FEW015 BKN015 BCMG
0608 310 15KT 9999 NSW SCT015 BCMG 0810 340 08KT SCT020
BKN035 BCMG 1214 VRB03KT SCT025 SCT050

GRENOBLE:

METAR LFLL 29 0600Z 290 08KT 260v330 8000 BKN005 BKN040 M01/M02
Q1006 NOSIG

SPECI LFLL 29 0634Z 270 11KT 9999 FEW005 BKN020 M01/M03 Q1007
RMK B4B3B2

METAR LFLL 29 0700Z 340 08KT 300v020 9999 BKN020 M01/M04 Q1008
NOSIG

TAF AMD LFLL 29 0500Z 29 0615 250 08KT 1000 –SN BR BKN005 BKN030
BCMG 0608 340 10KT 9999 NSW FEW016 BKN040

CHAMBERY:

METAR LFLB 29 0600Z 140 10G21KT 080v220 1200 –SN SCT001 BKN020
00/M01 Q1005 NOSIG

METAR LFLB 29 0700Z 010 10G33KT 280v060 3000 SCT013 BKN026 00/M05
Q1007 RESN NOSIG

TAF LFLB 29 0500Z 29 0615 180 10G25KT 1200 SN SCT003 OVC023 BCMG
0810 340 10G25KT 3000 BR SCT010 BKN033 BECMG 1215 340
12KT 8000 FEW020 SCT040

AMBERIEU:

METAR LFXA 29 0600Z 330 17KT 9999 SCT036 M01/M05 Q1006 RESN

METAR LFXA 29 0700Z 330 07KT 9999 FEW036 BKN090 M01/M06 Q1008

TAF LFXA, non disponible.

4.2. PREVISIONS COMMUNIQUEES PAR LE CENTRE METEOROLOGIQUE D'ISTRES ET DE MARSEILLE AU MOMENT DE L'EVENEMENT

Istres :

METAR LFMI 29 1300Z 340 21G33KT CAVOK 05/M06 Q1012 TEMPO 350
25G35KT=

METAR LFMI 29 1330Z 340 24KT CAVOK 06/M05 Q1013 TEMPO 350
25G35KT=

METAR LFMI 29 1400Z 340 21KT CAVOK 06/M06 Q1013 TEMPO 350
25G35KT=

SALON :

METAR LFMY 29 1300Z 330 23G33KT 9999 FEW030 05/M06 Q1011

METAR LFMY 29 1330Z 320 23G33KT 9999 FEW030 05/M06 Q1012

MARSEILLE :

METAR LFML 29 1300Z 350 31G41KT 9999 FEW030 05/M07 Q1011 NOSIG=

METAR LFML 29 1330Z 340 28KT 9999 FEW030 05/M07 Q1011 NOSIG=

METAR LFML 29 1400Z 340 27KT 9999 FEW030 05/M07 Q1011 NOSIG=

- Pas de texte -