



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE LA DÉFENSE

BEAD-air

Bureau enquêtes accidents défense air

Brétigny sur Orge, le 17 décembre 2007

RAPPORT PUBLIC D'ENQUÊTE TECHNIQUE



BEAD-air-T-2007-006-I

Date de l'événement	16 février 2007
Lieu	Fayence (83)
Type d'appareil	Drone SDTI
Immatriculation	F-321
Organisme	armée de terre
Unité	61 ^{ème} régiment d'artillerie

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 celle de la prévention pourrait conduire à des interprétations erronées.

TABLE DES MATIERES

<i>Avertissement</i>	2
<i>Table des matières</i>	3
<i>Glossaire</i>	5
<i>Table des illustrations</i>	7
<i>Synopsis</i>	8
1 Renseignements de base	10
1.1 Déroulement du vol	10
1.1.1 Mission	10
1.1.2 Déroulement	10
1.1.2.1 Préparation du vol	10
1.1.2.2 Description du vol et des éléments qui ont conduit à l'événement	10
1.1.3 Localisation	12
1.2 Tués et blessés	12
1.3 Dommages à l'aéronef	12
1.4 Autres dommages	12
1.5 Renseignements sur le personnel	12
1.5.1 Chef de mission SDTI	12
1.5.2 Pilote opérateur de drone	13
1.5.3 Opérateur charge utile	13
1.5.4 Autres personnels	14
1.6 Renseignements sur l'aéronef	14
1.6.1 Maintenance	15
1.6.2 Masse et centrage	15
1.6.3 Carburant	15
1.7 Conditions météorologiques	15
1.8 Télécommunications	15
1.9 Renseignements sur l'aérodrome	16
1.10 Enregistreurs de bord	16
1.11 Renseignements sur l'épave et sur l'impact	16
1.11.1 Examen de la zone	16
1.11.2 Examen de l'épave	18
1.12 Renseignements médicaux et pathologiques	20
1.13 Incendie	20
1.14 Survie des occupants	20
1.15 Essais et recherches	20
2 Analyse	21
2.1 Causes liées au domaine technique	21
2.1.1 Origine du déclenchement de la récupération immédiate	21
2.1.2 Identification du sous-système défaillant	23
2.1.3 Origine du court-circuit	24
2.1.4 Conclusion sur les causes techniques	24
2.2 Aspects organisationnels	25
2.2.1 Déficit de standardisation	25
2.2.2 Définition des différentes relations entre les acteurs du système SDTI	26
2.3 Intégration du drone dans le dispositif aérien	27
3 Conclusion	28
3.1 Éléments établis utiles à la compréhension de l'événement	28
3.2 Causes de l'événement	29
4 Recommandations de sécurité	30

4.1 Mesures de prévention ayant trait directement à l'événement	31
4.2 Mesures de prévention n'ayant pas trait directement à l'événement	31
Annexes	34
1 Pannes multiples conduisant à une récupération immédiate	35
2 courbes issues du re-jeu mission	36

GLOSSAIRE

ALAT	Aviation légère de l'armée de terre
ATC	<i>Air traffic control</i> Contrôle aérien
BEAD-air	Bureau enquêtes accidents défense air
BSTAT	Brevet supérieur technique de l'armée de terre
CAM C	Circulation Aérienne Militaire de type C
CDC	Centre de détection et de contrôle
COMALAT	Commandement de l'aviation légère de l'armée de terre
EGT	<i>Exhaust Gas Temperature</i> Température des gaz d'échappement
FL	<i>Flight Level</i> Niveau de vol
IAR	<i>Interface acquisition and recovery</i> Interface d'acquisition et de récupération
ITU	<i>Integrated Transmission Unit</i> Unité de transmission intégrée
Kts	<i>Knots</i> Nœuds (1 kt \approx 1,852 km/h)
MCU	<i>Mission computer unit</i> Calculateur de mission
NTI	Niveau technique d'intervention
OLOSP	<i>Orientable Line Of Sight Payload</i> Charge utile à ligne de visée orientable

OSV	Officier de sécurité des vols
PDB	<i>Power distribution board</i> Tableau de distribution de puissance
SCC	Station de contrôle et de communication
SDTI	Système de Drone Tactique Intérimaire (appartenant à la gamme SPERWER)
VA	Vecteur aérien
VCR	<i>Video Coded Recorder</i> Enregistreur vidéo
ZRT	Zone réglementée temporaire

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : cartographie du dispositif et lieu de l'événement _____	11
Figure 2 : architecture de principe du calculateur embarqué _____	23
Figure 3 : évolution de la tension de bord, du courant batterie et du débit carburant _____	36
Figure 4 : évolution des paramètres issus des sondes de températures _____	36
Photo 1 : vue générale du parachute accroché dans les arbres et du drone retourné au sol _____	17
Photo 2 : vue détaillée du drone retourné sur le sol _____	17
Photo 3 : vue générale de la charge utile endommagée _____	18
Photo 4 : partie intrados de l'aile gauche déchirée _____	19
Photo 5 : vue de l'extrémité de l'aile gauche _____	19

SYNOPSIS

- Date de l'événement : 16 février 2007 à 11h38¹ ;
- Lieu de l'événement : 2 km au Nord-Est de Fayence (83) ;
- Organisme : armée de terre ;
- Commandement organique : brigade de renseignement à Metz ;
- Unité : 61^{ème} régiment d'artillerie (RA) ;
- Aéronef : drone SDTI ;
- Nature du vol : surveillance ;
- Nombre de personnes à bord : sans objet.

Résumé de l'événement selon les premiers éléments recueillis

Au cours d'une mission opérationnelle de surveillance, après 38 minutes de vol, le drone SDTI atterrit dans une forêt. Il est endommagé.

Composition du groupe d'enquête technique

- Un enquêteur technique du bureau enquêtes accidents défense air (BEAD-air), nommé directeur d'enquête ;
- Un enquêteur technique adjoint ;
- Un pilote opérateur de drone ayant une expertise sur ce type d'aéronef ;
- Un mécanicien ayant une expertise sur ce type d'aéronef ;
- Un expert contrôleur aérien.

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

Déclenchement de l'enquête technique

Le BEAD-air a été prévenu de l'événement par le commandement de l'aviation légère de l'armée de terre (COMALAT) le 16 février 2007, en fin d'après-midi. Le directeur du BEAD-air désigne un directeur d'enquête technique (DET).

Enquête judiciaire

Cet événement ne fait pas l'objet d'une procédure judiciaire.

1 RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1 Déroulement du vol

1.1.1 Mission

Indicatif mission	DRONE 1
Type de vol	CAM C
Type de mission	Surveillance des ZRT « DRONE 1 & 2 »
Dernier point de départ	Camp militaire de Canjuers
Heure de départ	11 h 00
Point d'atterrissage prévu	Camp militaire de Canjuers

1.1.2 Déroulement

1.1.2.1 Préparation du vol

La préparation du vol s'est faite conformément aux règles en vigueur, pour un lancement prévu à 8h30.

Lors des contrôles avant vol, l'équipage détecte un défaut de liaison entre la station de contrôle et de communication (SCC) et le terminal de liaison sol (TLS). L'équipe chargée de la maintenance, présente sur le site, a alors constaté la défaillance du châssis d'interface optique de la station sol. Elle a donc procédé à son échange.

Les contrôles avant vol ont ensuite été poursuivis et ont permis d'autoriser le lancement.

Cette intervention technique a entraîné le report de la mission à 11h00.

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

Le drone est catapulté à 11h00 pour une mission de surveillance d'une zone définie au préalable, appelée « DRONE 1 »².

² L'indicatif mission communiqué par le CDC de Nice est identique au nom de la ZRT et aurait pu prêté à confusion. Une demande d'indicatif permanent est en cours au sein du 61^{ème} RA.

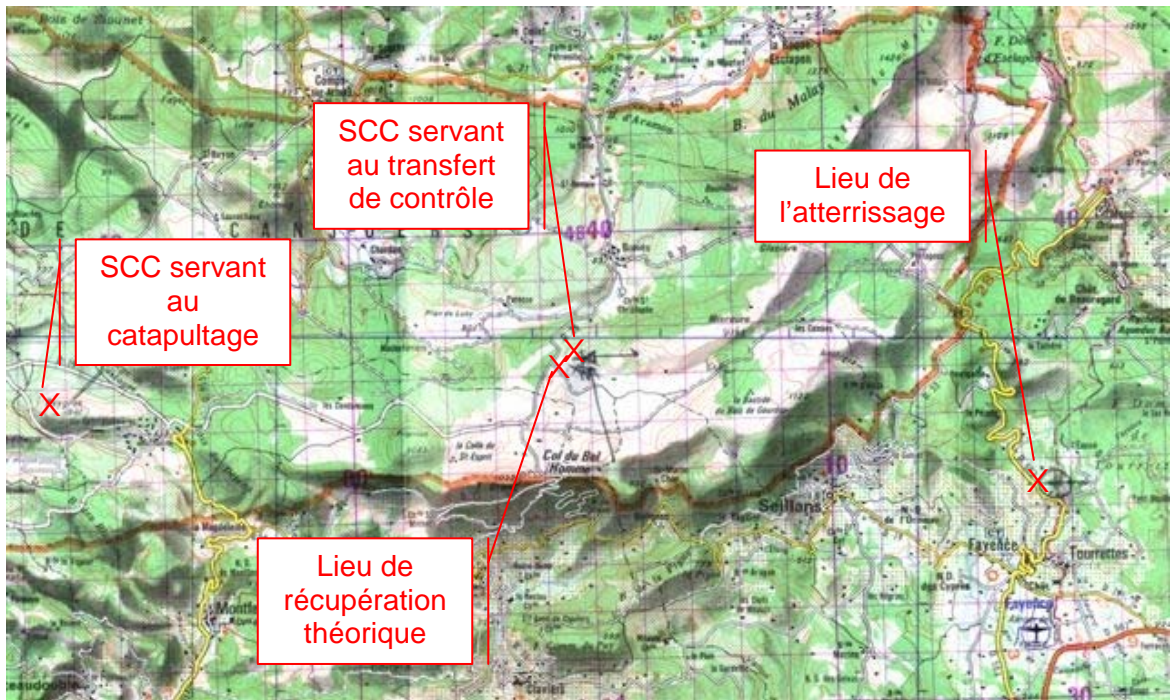


Figure 1 : cartographie du dispositif et lieu de l'événement

Une première SCC est chargée de catapulter le drone puis d'effectuer un transfert de contrôle avec une seconde SCC, située à quelques kilomètres de celle-ci. La seconde station assure la mission de surveillance et la récupération du VA à l'issue de la mission.

Le transfert de contrôle a eu lieu à 11h16. La mission de surveillance a débuté de manière nominale sous le contrôle de la seconde station.

Vingt minutes plus tard, alors que le drone est en orbite automatique à proximité du village de Fayence, des alarmes de pannes s'affichent sur l'écran de pilotage du drone. Le pilote opérateur de drone constate une chute de la température des échappements, une baisse des tours moteur et l'allumage du voyant rouge d'état moteur (synonyme d'alerte).

Le chef de mission demande alors au pilote d'appliquer la procédure d'urgence (reprise du VA en mode manuel). Au même moment, le drone passe automatiquement en mode de récupération immédiate, sans que le pilote ne puisse reprendre le contrôle. Les séquences automatiques d'atterrissage immédiat sont activées : arrêt moteur, ouverture du parachute puis gonflage des airbags.

Le VA atterrit dans une forêt. Au contact du drone avec la cime des arbres, le parachute est délesté et se désolidarise du drone selon la procédure automatique. Le drone chute alors jusqu'au sol et tombe sur le dos.

1.1.3 Localisation

- Lieu : camp de Canjuers :
- ⇒ pays : France ;
- ⇒ département : Var ;
- ⇒ commune : Fayence ;
- ⇒ coordonnées géographiques :
 - N : 43°38'43.56'' ;
 - E : 6°42'52.42''.

1.2 Tués et blessés

Sans objet.

1.3 Dommages à l'aéronef

Aéronef	Disparu	Détruit	Endommagé	Intègre
SDTI F-321			X	

1.4 Autres dommages

Néant.

1.5 Renseignements sur le personnel**1.5.1 Chef de mission SDTI**

Le chef de mission SDTI est responsable de la programmation de la mission, de la conduite des contrôles du VA avant vol et en vol.

- Age : 33 ans ;
- Unité d'affectation : 61^{ème} RA/4^{ème} batterie :
 - ⇒ fonction dans l'unité : chef de mission SDTI.
- Formation :
 - ⇒ qualification : BSTAT chef de mission drone lent ;
 - ⇒ école de spécialisation : centre d'instruction système d'arme du 61^{ème} RA et école d'application de l'ALAT ;
 - ⇒ année de sortie d'école : 2004.
- Heures de vol total comme chef de mission SDTI : 67h44 ;
- N'a jamais été pilote opérateur de drone sur SDTI. Les heures de vol comme pilote opérateur de drone (sur d'autres systèmes que le SDTI) n'étaient pas comptabilisées.

1.5.2 Pilote opérateur de drone

Le pilote opérateur de drone assure le pilotage et le contrôle du drone.

- Age : 31 ans ;
- Unité d'affectation : 61^{ème} RA / 4^{ème} batterie :
 - ⇒ fonction dans l'unité : pilote de drone SDTI.
- Formation :
 - ⇒ qualification : stage industriel pilote opérateur SDTI ;
 - ⇒ école de spécialisation : école d'application de l'ALAT ;
 - ⇒ année de sortie d'école : 2004.
- Heures de vol total comme pilote de drone SDTI : 33h19.

1.5.3 Opérateur charge utile

L'opérateur charge utile s'occupe de la gestion de la caméra embarquée, de l'identification d'objets tactiques et de leurs transmissions vers le chef de mission.

- Age : 24 ans ;

➤ Unité d'affectation : 61^{ème} RA / 3^{ème} batterie :

⇒ fonction dans l'unité : interprète image.

➤ Formation :

⇒ qualification : BSAT Interprète image – formation d'adaptation « mise en œuvre des outils d'exploitation » ;

⇒ école de spécialisation : CF3I Creil et CISA image au 61^{ème} RA ;

⇒ année de sortie d'école : 2004.

1.5.4 Autres personnels

Une autre équipe était présente dans la première station SCC. Tous avaient les qualifications requises, similaires à l'équipe présente dans la seconde SCC qui contrôlait le drone lors de l'événement.

1.6 Renseignements sur l'aéronef

➤ Organisme : armée de terre ;

➤ Commandement organique d'appartenance : brigade de renseignement ;

➤ Unité d'affectation : 61^{ème} RA de Chaumont ;

➤ Type d'aéronef : drone SDTI.

	Type - série	Numéro	Heures de vol totales	Heures de vol depuis
Cellule	Drone SDTI	321	20h01	8v/12mois ³ : 7h16
Moteur	Bombardier-Rotax 582 UL DCDI	322	24h13	

³ 8v/12mois= 8 vols ou 12 mois

1.6.1 Maintenance

L'examen du livret des opérations effectuées sur les sous-ensembles du VA témoigne d'un entretien conforme au plan de maintenance préventive préconisé par l'industriel.

Les dernières opérations de maintenance (visite des 8 vols ou 12 mois : NTI 1⁴) se sont déroulées de mai à septembre 2006. Les interventions techniques effectuées pour réparations ou modifications sont répertoriées en annexe 1.

1.6.2 Masse et centrage

- Masse du VA au décollage : 330 kg (masse nominale) ;
- Centrage : sans objet.

1.6.3 Carburant

- Type de carburant utilisé : mélange SP 95 à 2 % ;
- Quantité de carburant au décollage : 70 litres (quantité maximale : 80 litres) ;
- Quantité de carburant restant au moment de l'événement : 55.5 litres.

1.7 Conditions météorologiques

Les prévisions météorologiques ont été fournies par le service météo d'Istres et font état d'un vent de 5 à 10 kts orienté au secteur 240°-250° (au FL 030) et d'un vent régulier de 15 kts au secteur 320-330° (au FL 100).

Au moment de l'événement, les conditions météorologiques sont conformes aux prévisions.

1.8 Télécommunications

Le système de transmission du VA opère à travers deux bandes de fréquences.

Les communications entre le VA et la station de contrôle et de communication ont été maintenues après le déclenchement de la récupération, jusqu'à une altitude de 350 mètres environ, correspondant au seuil d'intervisibilité.

⁴ NTI 1 : niveau technique d'intervention.

Par ailleurs, le VA est équipé d'un émetteur-récepteur ATC VHF⁵ pour les communications vocales avec le contrôle aérien.

Au cours de la mission de surveillance du 16 février, l'officier sécurité des vols de l'unité, présent dans la SCC est en contact téléphonique avec le contrôle aérien.

1.9 Renseignements sur l'aérodrome

Sans objet.

1.10 Enregistreurs de bord

Toutes les données d'une mission sont enregistrées et stockées dans la SCC.

- 2 VCR enregistrent les images vidéo brutes, la télémétrie, les conversations ATC et les conversations d'ambiance de la station ;
- les images sont stockées dans une base de données spécifique, utilisable par les opérateurs ;
- 1 graveur DVD sauvegarde les données mission pour un re-jeu⁶ de mission.

1.11 Renseignements sur l'épave et sur l'impact

1.11.1 Examen de la zone

Le drone a atterri dans une forêt, à 2 km au nord-est de Fayence. Au contact du drone avec les arbres, le parachute s'est désolidarisé du VA. Ce dernier a chuté au sol sur le dos.

⁵ VHF : *Very high frequency* - Très haute fréquence (30 à 300 Mhz).

⁶ Reconstitution de la mission écoulée.

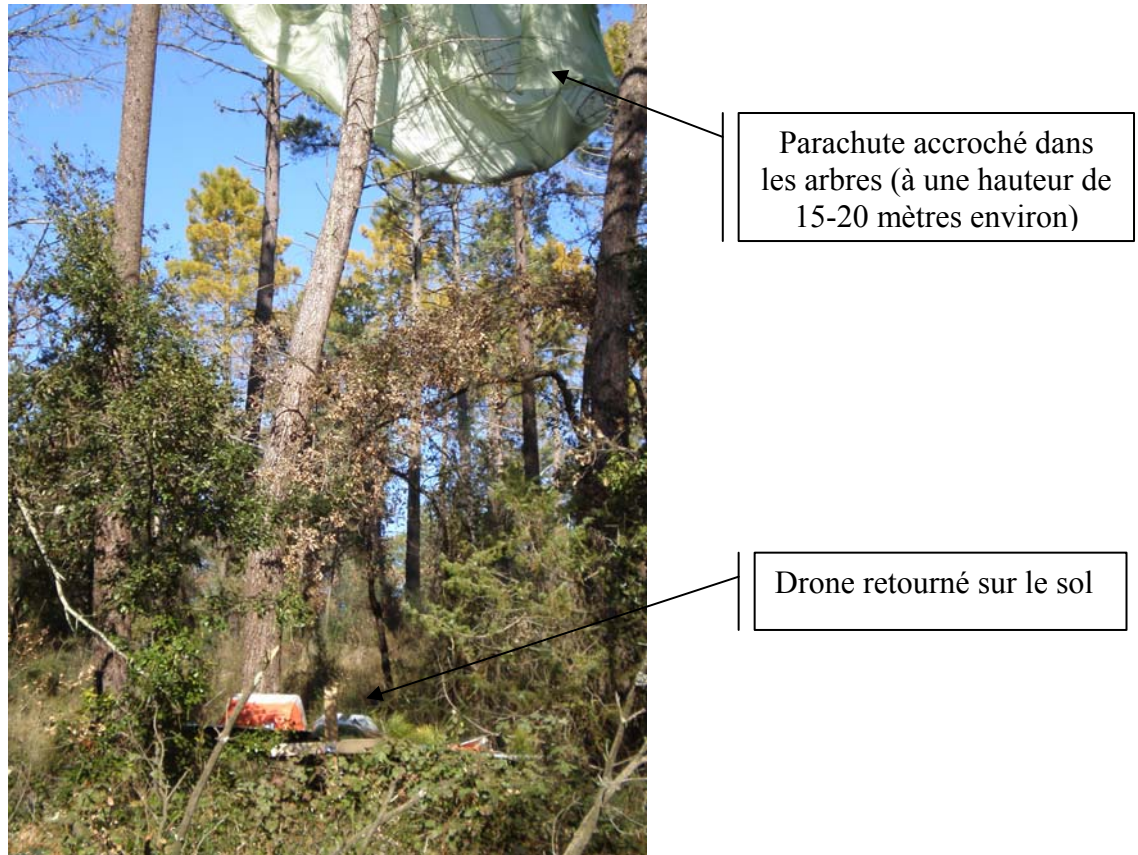


Photo 1 : vue générale du parachute accroché dans les arbres et du drone retourné sur le sol



Photo 2 : vue détaillée du drone retourné sur le sol

1.11.2 Examen de l'épave

Les dégâts suivants ont été constatés :

- la charge utile est fortement endommagée :
 - ⇒ le plateau OLOSP⁷ est détruit ;
 - ⇒ le bâti est détruit ;
 - ⇒ l'ITU⁸ est enfoncée ;
 - ⇒ aucune déformation apparente n'est constatée sur l'OLOSP.



Photo 3 : vue générale de la charge utile endommagée

- au niveau du fuselage :
 - ⇒ Les rivets et la barre de renfort sont arrachés au niveau de l'interface avec la charge utile ;
 - ⇒ Les fixations de la charge utile sont tordues.

⁷ OLOSP : *Orientable Line Of Sight Payload* - charge utile à ligne de visée orientable.

⁸ ITU : *Integrated Transmission Unit* - unité de transmission intégrée.

- au niveau de l'aile gauche :
 - ⇒ les élevons intérieurs sont arrachés ;
 - ⇒ le bord d'attaque est enfoncé ;
 - ⇒ la partie intrados de l'aile est déchirée.



Photo 4 : partie intrados de l'aile gauche déchirée



Photo 5 : vue de l'extrémité de l'aile gauche

1.12 Renseignements médicaux et pathologiques

Sans objet.

1.13 Incendie

Néant.

1.14 Survie des occupants

Sans objet.

1.15 Essais et recherches

Le programme drone SDTI étant soutenu par l'industriel, une équipe de techniciens a été mandatée pour mener à bien l'expertise du matériel. Une première expertise a été effectuée par l'industriel le 20 février 2007 dans les locaux du 61^{ème} RA. Le drone a ensuite été transféré chez l'industriel pour une expertise technique approfondie.

2 ANALYSE

Le 16 février 2007, Le drone SDTI est catapulté à 11h00 du camp de Canjuers. Après 40 minutes de vol, le drone passe, **de manière automatique, en mode de récupération immédiate**, impliquant simultanément la coupure du moteur, la sortie du parachute et le gonflement des airbags pour un **atterrissage immédiat**.

La séquence de récupération entraîne l'arrêt du moteur, l'ouverture du parachute et le gonflage des airbags. Une fois le parachute complètement déployé, le poids du VA arme le libérateur du parachute au bout de 4 à 6 secondes.

Le drone atterrit dans une forêt. Lorsqu'il touche les arbres, la pression appliquée sur le libérateur cesse. Ce dernier s'ouvre et désolidarise ainsi le parachute du drone. **Le parachute reste accroché dans les arbres et le drone termine sa chute de la hauteur des arbres en se retournant sur le dos et s'endommage.**

Aucune cause environnementale n'est à l'origine de l'événement. Les causes liées à cet évènement sont essentiellement techniques.

L'analyse ci-dessous se décompose en deux parties :

- une première s'attache à déterminer les causes liées au domaine technique ;
- une seconde traite de l'aspect organisationnel.

2.1 Causes liées au domaine technique

2.1.1 Origine du déclenchement de la récupération immédiate

Deux cas peuvent déclencher de manière automatique une phase de récupération immédiate :

- une panne électrique ;
- ou certaines pannes multiples (descriptif fourni en annexe 1).

L'analyse des courbes du re-jeu de la mission révèle que :

- la tension de bord chute de 28 V à 11 V (courbe en annexe 2) ;
- le courant batterie passe subitement à 64 A (courbe en annexe 2) ;

- toutes les sondes de températures moteur (EGT, eau, ambiante moteur, tête de cylindre, extérieure) prennent des valeurs incohérentes (courbes en annexe 2).

Quatre secondes après le changement d'état des paramètres, le parachute du drone est déployé.

L'expertise menée sur site par l'industriel a montré que le moteur fonctionnait parfaitement. Par ailleurs, des mesures de tension effective du système ont permis d'établir que la tension du réseau de bord était nominale.

L'hypothèse d'une panne électrique ou d'une panne multiple conduisant à une récupération immédiate, de manière automatique, est rejetée.

L'origine du problème provient de l'acquisition des données d'entrées du calculateur embarqué MCU⁹.

Les informations telles que la tension de bord, le courant batterie, ainsi que les températures moteurs sont des entrées multiplexées de type analogique.

Le calculateur embarqué reçoit et analyse toutes les informations de vol (capteurs avionique, capteurs moteur...). Il maintient le drone en vol suivant le programme de vol ou suivant les ordres de guidage du pilote. A partir de l'analyse des différents paramètres (vol, moteur, système ou transmissions), le calculateur embarqué peut alors ordonner des corrections de vol, activer des règles de sécurité, ou un ordre de récupération.

Au moment de l'événement, les entrées analogiques multiplexées se sont figées sur des valeurs incohérentes et ont affiché une tension de bord qui chute à 11 V (rappel, l'expertise a montré que la tension d'alimentation du réseau de bord était nominale). Les règles de sécurité¹⁰ interne du système s'activent alors : si la tension de bord est inférieure à 17 V pendant plus de 2 secondes, le calculateur embarqué déclenche une récupération immédiate.

⁹ *Mission Computer Unit.*

¹⁰ les règles de sécurité déterminent le mode de récupération adéquate permettant de préserver le drone (et en particulier la charge utile) en cas de défaillances.

Le calculateur embarqué a analysé des données d'entrées incohérentes et a déclenché une récupération immédiate, conformément à une logique de sécurité interne du drone.

2.1.2 Identification du sous-système défaillant

Des expertises approfondies ont été nécessaires pour déterminer le sous-ensemble ou le composant défaillant du calculateur embarqué.

L'architecture du calculateur embarqué est présentée sur la figure ci-dessous :

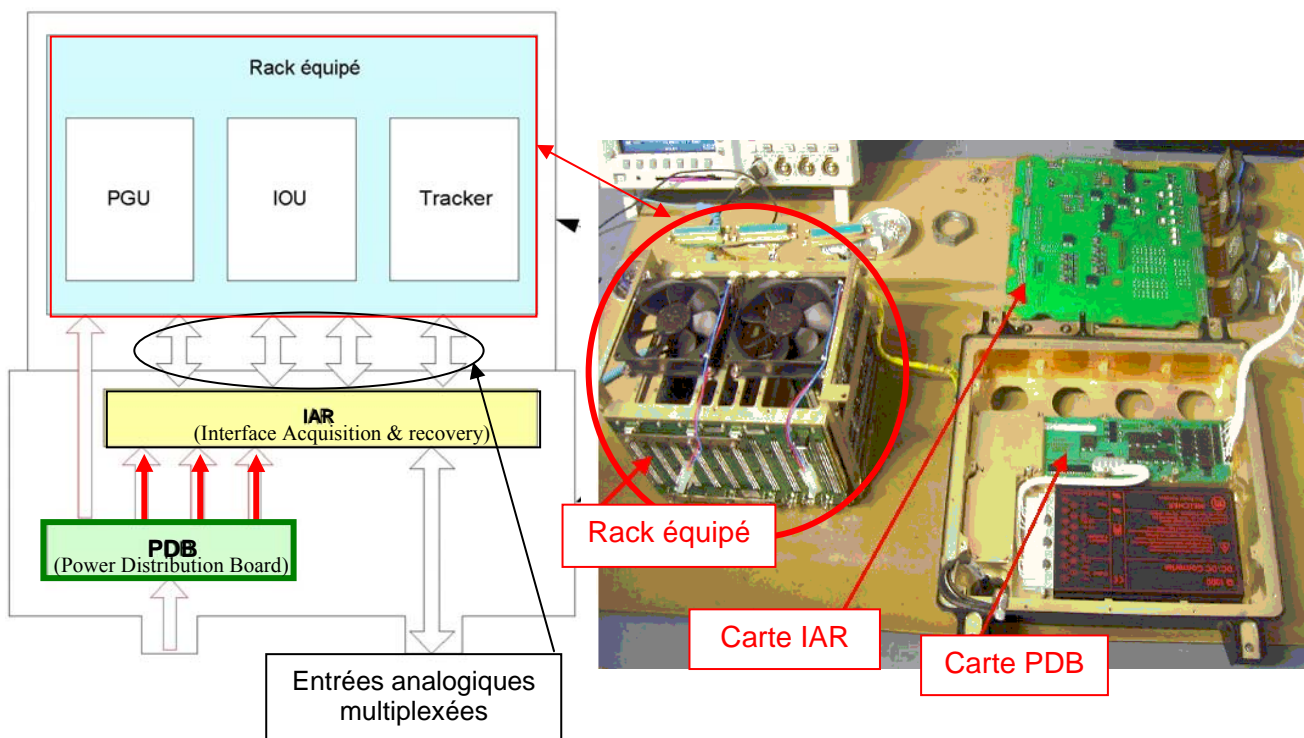


Figure 2 : architecture de principe du calculateur embarqué

Après un contrôle des cartes électroniques internes du MCU, un dysfonctionnement a été constaté au niveau de la carte PDB (*Power Distribution Board* – tableau de distribution de puissance). Cette carte alimente la carte IAR (*Interface Acquisition and Recovery* – Interface d'acquisition et de reconnaissance) qui réalise le multiplexage des signaux. Ainsi, seules les entrées analogiques multiplexées (comme la tension de bord) sont devenues incohérentes.

Par ailleurs, l'expertise technique de la carte PDB a révélé un court-circuit sur le circuit primaire d'un convertisseur 12 V.

Le calculateur embarqué a analysé des paramètres incohérents provenant de la carte PDB IAR à la suite d'un court-circuit dans le circuit primaire d'un convertisseur 12 V de la carte PDB.

2.1.3 Origine du court-circuit

Suite aux expertises techniques, trois hypothèses sont émises afin d'expliquer l'origine du court-circuit :

- ❖ **Hypothèse n°1 : le court-circuit est le résultat d'un composant défaillant (condensateur tantale) ;**
- ❖ **Hypothèse n°2 : le court-circuit est le résultat d'une surtension (pic de tension dépassant la tension seuil du condensateur tantale) en entrée du convertisseur ;**
- ❖ **Hypothèse n°3 : le court-circuit est le résultat d'une surintensité en interne du convertisseur (entraînant la défaillance du condensateur tantale).**

2.1.4 Conclusion sur les causes techniques

La coopération de l'industriel tout au long de l'enquête, ainsi que sa transparence vis-à-vis des résultats des expertises techniques a permis de retenir trois hypothèses à l'origine du court-circuit.

Malheureusement, aucun élément significatif ne permet d'identifier avec certitude l'origine du court-circuit.

Quelle que soit l'hypothèse retenue, le court-circuit a provoqué une incohérence des données d'entrées analogiques multiplexées, ce qui a eu pour conséquence de fournir des informations erronées au calculateur embarqué. Analysant les différents paramètres (tension de bord qui chute à 10 V), le calculateur embarqué détecte une défaillance électrique.

Dans le cas d'une panne électrique (tension de bord inférieure à 17 V pendant plus de deux secondes), le calculateur embarqué active une règle de sécurité interne : la récupération immédiate.

A ce jour, ce type de panne ne s'est produit sur aucun autre drone de la gamme SPERWER (ni en France, ni à l'étranger).

Suite à un court-circuit sur une carte électronique interne du calculateur embarqué (carte PDB), des informations incohérentes ont été transmises au calculateur embarqué. Ce dernier a ainsi traduit une panne électrique.

Le court-circuit s'est produit dans le circuit primaire d'un convertisseur 12 V. L'origine du court-circuit reste indéterminée : un composant défaillant ou une surtension en amont du convertisseur peuvent en être l'origine.

Conformément aux règles de sécurité, le calculateur embarqué (MCU) a déclenché automatiquement la récupération immédiate du drone.

2.2 Aspects organisationnels

2.2.1 Déficit de standardisation

Le vocabulaire spécifique au système de drone est défini au travers des procédures et des guides techniques (manuels d'utilisation et documentation d'entretien et de réparation). Néanmoins, certains termes peuvent être ambigus dans la mesure où la définition retenue apparaît différente de l'emploi usuel du terme (par exemple mode autonome et mode autopilote¹¹).

¹¹ En mode autonome, le drone suit automatiquement le plan de vol téléchargé au préalable. En mode autopilote, le pilote opérateur contrôle le drone en altitude, vitesse, cap et roulis.

Les différents témoignages recueillis au cours de l'enquête ont notamment montré que les termes « récupération d'urgence¹² » et « récupération immédiate¹³ » étaient couramment confondus. Le terme « récupération automatique¹⁴ » a par ailleurs été utilisé à plusieurs reprises à la place du terme « récupération immédiate ».

Cette confusion de vocabulaire entraîne ainsi les opérateurs :

- soit à utiliser des termes spécifiés dans la documentation technique avec des définitions différentes ;
- soit à utiliser du vocabulaire différent de celui spécifié dans la documentation technique.

Ainsi, la fiche de vol (compte-rendu écrit du vol) stipule une « récupération d'urgence déclenchée par le VA », expression qui ne fait pas partie du vocabulaire spécifique et technique du système.

De manière générale, cette ambiguïté de terminologie peut avoir un impact important, en particulier lors de la gestion de pannes et de procédures de secours.

2.2.2 Définition des différentes relations entre les acteurs du système SDTI

Bien que le système de drone SDTI soit opérationnel depuis 2005, la répartition des actions entre les différents intervenants (opérateurs, autorité technique de l'armée de terre, autorité d'emploi, autorité organique et autorité technique) n'est pas clairement identifiée.

Sur l'aspect relationnel, des problèmes de communication se produisent car les rôles de chacun sont imprécis. Ainsi, l'information ne transite pas chez tous les intervenants et à l'opposé, la relation avec l'industriel s'opère à tous les niveaux, parfois avec redondance.

Sur l'aspect de la maintenance, même si les directives d'entretien et de réparations aux niveaux NTI 1, NTI 2, NTI 3 sont clairement définies, aucune autorité de contrôle ne valide, à l'heure actuelle, l'ensemble des interventions techniques réalisées sur les drones de l'armée de terre.

¹² Récupération commandée manuellement qui consiste à faire atterrir le drone sur une zone de récupération d'urgence choisie au préalable.

¹³ Récupération qui consiste à faire atterrir le drone immédiatement, suite à une auto-détection de panne par le drone.

¹⁴ Récupération en mode nominal, conformément au plan de vol téléchargé au préalable.

Cet événement montre un déficit de standardisation du vocabulaire employé, essentiellement dû à une ambiguïté dans la terminologie retenue.

La communication entre les différents acteurs du programme est peu efficace.

Il n'existe aucune autorité de contrôle garantissant les opérations de maintenance et les interventions techniques relatives aux réparations réalisées sur les drones.

2.3 Intégration du drone dans le dispositif aérien

Dans le cadre de la mission « Cannes 2007 », l'armée de l'air était chargée de la conduite du dispositif et de la coordination de l'activité aérienne. Ainsi, elle transmettait les ordres de vol aux opérateurs chargés de la mise en œuvre du drone et au CDC de Nice, chargé de la surveillance du drone.

Lors des deux missions précédant l'événement, le CDC a rencontré des problèmes de détection et de communication avec le drone. Lors d'une mission, le VA ne fournissait pas de réponse transpondeur mode C (alticodeur). Au cours d'une autre mission, le VA fournit une réponse transpondeur après une coupure, mais la communication entre le contrôleur et le pilote opérateur du drone était impossible via la fréquence radio. Ils ont alors communiqué par téléphone.

Des problèmes techniques fréquents concernant les communications ATC ne permettent pas une coordination optimale dans la troisième dimension.

3 CONCLUSION

3.1 Éléments établis utiles à la compréhension de l'événement

- L'événement se produit lors d'une mission opérationnelle de surveillance du drone SDTI F-321, après 40 minutes de vol ;
- Suite à un court-circuit sur une carte électronique interne du calculateur embarqué (carte PDB), des informations incohérentes ont été transmises au calculateur embarqué. Ce dernier a ainsi diagnostiqué une panne électrique ;
- Dans le cas d'une défaillance électrique, les logiques internes de sécurité du drone déclenchent alors le mode de récupération immédiate ;
- L'origine du court circuit reste indéterminée. Trois hypothèses sont émises. Le court circuit est le résultat :
 - ⇒ d'un composant (condensateur tantale) défaillant situé sur un convertisseur ;
 - ⇒ d'une surtension en amont du convertisseur ;
 - ⇒ ou d'une surintensité en interne du convertisseur.
- La séquence de récupération entraîne l'arrêt du moteur, l'ouverture du parachute et le gonflage des airbags. Une fois le parachute complètement déployé, la liaison entre le VA et le parachute est maintenue par le poids du VA.
- Le drone atterrit dans une forêt. Lorsqu'il touche les arbres, la pression appliquée sur le libérateur cesse. Ce dernier s'ouvre et désolidarise ainsi le parachute du drone. Le parachute reste accroché dans les arbres et le drone termine sa chute de la hauteur des arbres ;
- Les dommages subis par le drone sont consécutifs à l'atterrissage dans une forêt puis sa chute sur le dos, rendant inefficace la protection assurée par les airbags.

3.2 Causes de l'événement

La perte du drone est consécutive au passage en mode de récupération immédiate après 40 minutes de vol. Le mode de récupération a été déclenché automatiquement par les logiques internes du drone suite à un court-circuit localisé sur une carte électronique du calculateur embarqué.

L'origine du court circuit reste indéterminée. Trois hypothèses sont émises. Le court circuit résulte :

- d'un composant (condensateur tantale) défaillant situé sur un convertisseur ;
- d'une surtension en amont du convertisseur ;
- ou d'une surintensité dans le convertisseur.

L'analyse des témoignages a par ailleurs mis en évidence certaines faiblesses dans :

- le domaine organisationnel ;
- les communications avec le contrôle aérien.

4 RECOMMANDATIONS DE SECURITE

L'enquête a mis en évidence un certain nombre de voies d'amélioration qui conduisent le BEAD-air à formuler les recommandations ci-après.

4.1 Mesures de prévention ayant trait directement à l'événement

L'événement résulte d'un court-circuit localisé sur l'étage primaire du convertisseur de la carte PDB du calculateur embarqué.

S'agissant de l'hypothèse H1 (défaillance du condensateur tantale), le bureau enquête accidents défense air recommande :

à l'industriel d'étudier la possibilité d'un contrôle qualité plus exigeant (se rapprochant du domaine aéronautique) ou, à défaut d'une telle démarche, d'engager une réflexion sur la nécessité de redondance des composants identifiés comme critiques au regard de la sécurité des vols.

S'agissant de l'hypothèse H2 (surtension en amont du convertisseur) ou H3 (surintensité dans le convertisseur), le bureau enquête accidents défense air recommande :

à l'industriel de mettre en place un dispositif de mesure et d'enregistrement de la tension et de l'intensité¹⁵ vues par les différents sous-ensembles du calculateur embarqué.

4.2 Mesures de prévention n'ayant pas trait directement à l'événement

- Depuis cet incident, l'armée de terre a mis en place des actions et des procédures dans une logique de milieu aéronautique et qui s'inscrivent dans l'esprit des recommandations émises par le BEAD-air.

¹⁵ Ce dispositif pourrait, dans un premier temps, être effectué sur un seul drone à titre d'expérimentation.

Afin de poursuivre ces efforts, le bureau enquête accidents défense air recommande :

à l'armée de terre de poursuivre les actions permettant d'apporter une culture aéronautique aux opérateurs de drones et à l'encadrement.

et

à l'armée de terre, en coordination avec l'industriel, d'engager une réflexion sur le déficit de standardisation du vocabulaire employé et de mettre en place, le cas échéant, des actions afin de lever les ambiguïtés de terminologie retenue.

Concernant l'aspect de la maintenance des drones, le bureau enquête accidents défense air recommande :

à la DGA d'identifier une autorité de contrôle de la maintenance et de standardiser, en accord avec les exploitants, les procédures de qualité et de maintenance des drones, en se rapprochant de la réglementation et des processus aéronautiques.

- L'enquête a souligné des dysfonctionnements fréquents concernant la détection et les communications avec le contrôle aérien.

En conséquence, le bureau enquête accidents défense air propose :

à l'industriel d'identifier ces problèmes techniques et de mettre en place des actions permettant de fiabiliser le fonctionnement du transpondeur et les communications avec le contrôle aérien.

- Le système de drone SDTI (SPERWER) est aujourd'hui utilisé par d'autres pays européens et par le Canada. Ce dernier a notamment acquis une expérience sur des théâtres d'opérations depuis 2003. Un club utilisateurs du système SPERWER permet notamment aux opérateurs et exploitants d'échanger des informations sur leur expérience respective.

En conséquence, le bureau enquête accidents défense air propose :

aux organismes mettant en oeuvre des drones de formaliser le partage d'expérience avec les canadiens sur le système SPERWER.

ANNEXES

Annexe 1 : Pannes multiples conduisant à une récupération immédiate _____ page 35

Annexe 2 : courbes issues du re-jeu mission _____ page 36

1 PANNES MULTIPLES CONDUISANT A UNE RECUPERATION IMMEDIATE

	2 ^{ème} Panne	Panne Nav HNS	Panne Nav totale	Pannes attitudes HNS	Panne alternateur	Panne moteur	Panne électrique	Panne MFS failure	Panne vitesse air	Panne baromètre	Panne BUGY	Panne GPS C/A	Lien RC indisponible	Panne GPS P/Y
1 ^{ère} Panne	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Panne Nav HNS	1						X			X				
Panne Nav totale	2						X			X			X	
Pannes attitudes HNS	3					X	X			X	X			
Panne alternateur	4						X			X				
Panne moteur	5			X			X		X	X			X	
Panne électrique	6	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X
Panne MFS	7						X			X			X	
Panne vitesse air	8					X	X			X	X			
Panne baromètre	9	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X
Panne BUGY	10			X			X		X	X				
Panne GPS C/A	11						X			X			X*	X*
Lien RC indisponible	12		X			X	X	X		X		X*		X*
Panne GPS P/Y	13						X			X		X*	X*	

X*: au delà d'une minute.

- La panne électrique ou la panne baromètre génère toujours une récupération immédiate, indépendamment de toute autre panne.
- En outre, le GPS P/Y et le GPS C/A du HNS indisponibles (panne ou invalidité temporaire) associés à une RC indisponible pendant plus une minute entraîne la génération d'une récupération immédiate, indépendamment de toute autre panne.

2 COURBES ISSUES DU RE-JEU MISSION

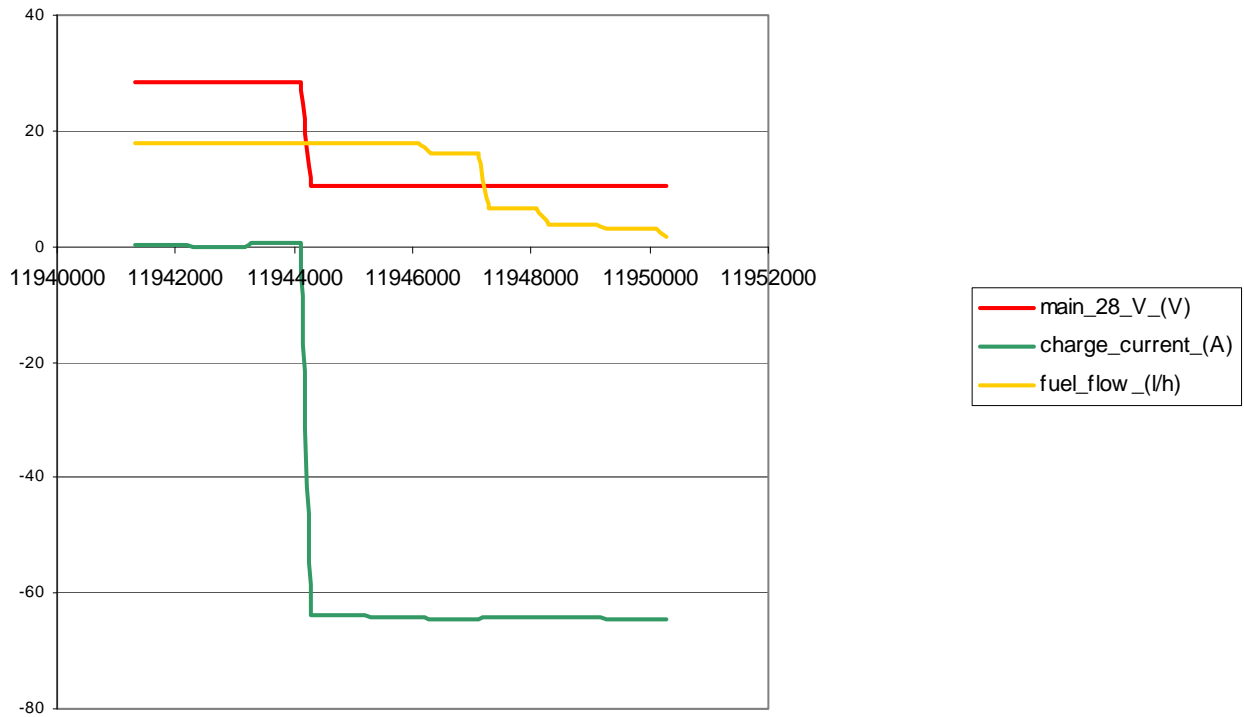


Figure 3 : évolution de la tension de bord, du courant batterie et du débit carburant

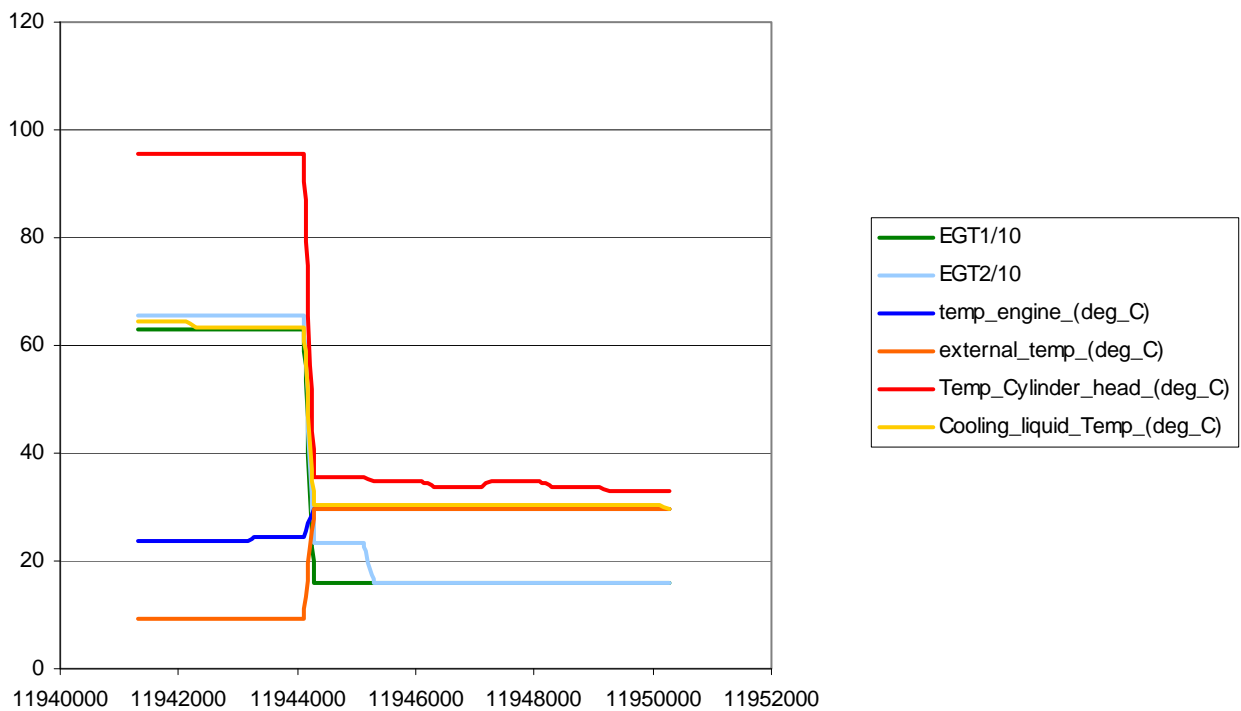


Figure 4 : évolution des paramètres issus des sondes de températures