



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle SUST
Service suisse d'enquête de sécurité SESE
Servizio d'inchiesta svizzero sulla sicurezza SISI
Swiss Transportation Safety Investigation Board STSB

Domaine aviation

Rapport final n° 2262

du Service suisse d'enquête de sécurité SESE

concernant l'accident du ballon
à air chaud Cameron Z-140, HB-QOT,

survenu le 8 mars 2014

au nord-ouest de Moudon
commune de Montanaire / VD

Ursachen

Der Unfall ist darauf zurückzuführen, dass eine unzweckmässige Flugtaktik während der Anflugphase zu einer Kollision des Ballonkorbes mit dem Gelände führte.

Die Unterschätzung der Wetterentwicklung hat zum Unfall beigetragen.

Remarques générales sur le présent rapport

Le présent rapport relate les conclusions du Service suisse d'enquête de sécurité (SESE) relatives aux circonstances et aux causes de cet accident.

Conformément à l'article 3.1 de la 10^e édition de l'annexe 13, applicable dès le 18 novembre 2010, de la convention relative à l'aviation civile internationale (OACI) du 7 décembre 1944, ainsi que selon l'article 24 de la loi fédérale sur la navigation aérienne, l'enquête sur un accident ou un incident grave a pour seul objectif la prévention d'accidents ou d'incidents graves. L'enquête n'a pas pour objectif d'apprécier juridiquement les causes et les circonstances d'un accident ou d'un incident grave. Le présent rapport ne vise donc nullement à établir les responsabilités ni à élucider des questions de responsabilité civile.

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

Toutes les informations contenues dans ce rapport, sauf indication contraire, se réfèrent au moment où s'est produit l'accident.

Sauf indication contraire, toutes les heures indiquées dans ce rapport le sont en heure normale valable pour le territoire suisse (*local time* – LT) qui au moment où s'est produit l'accident correspondait à l'heure de l'Europe centrale (*central european time* – CET). La relation entre LT, CET et l'heure universelle coordonnée (*coordinated universal time* – UTC) est :
LT = CET = UTC + 1 h.

Rapport final

Type d'aéronef	Cameron Z-140	HB-QOT
Exploitant	Privé	
Propriétaire	Fédération des Banques Raiffeisen, route de Lossy 7, 1782 Belfaux	

Pilote	Citoyen français, né en 1955		
Licence	Pilote de ballon à air chaud (<i>hot-air balloon</i>), selon l' <i>International Civil Aviation Organization</i> (ICAO), établie par l'Office fédéral de l'aviation civile (OFAC)		
Certificat médical	Classe 2 pour pilote de ballon, établi le 13 mai 2002		
Heures de vol	total	784 h	au cours des 90 derniers jours 7:10 h
	sur le type en cause	125:50 h	au cours des 90 derniers jours 5:50 h

Lieu	Lieu-dit La Moille, situé à 3.5 km au nord-ouest de Moudon, commune de Montanaire (VD)		
Coordonnées	549 374 / 172 027 (Swiss Grid 1903) N 46° 41' 51" / E 006° 46' 36" (WGS 84)	Altitude	794 m/M 2600 ft AMSL ¹
Date et heure	8 mars 2014, vers 9 h 10 min		

Type de vol	VFR de jour, privé
Phase de vol	Atterrissage
Nature de l'accident	Atterrissage dur

Personnes blessées

Blessures	Membres d'équipage	Passagers	Nombre total de personnes à bord	Autres personnes
Mortelles	0	0	0	0
Graves	0	1	1	0
Légères	0	2	2	0
Aucune	1	1	2	Sans objet
Total	1	4	5	0

Dommages à l'aéronef Légèrement endommagé

Dommages à des tiers Dégâts à un champ cultivé

¹ AMSL : *above mean sea level*, au-dessus du niveau moyen de la mer.

1 Renseignements de base

1.1 Dérroulement du vol

1.1.1 Généralités

Les informations contenues dans ce rapport sont basées sur les déclarations du pilote et des passagers ainsi que sur les relevés d'un appareil GPS² portable et sur des enregistrements vidéo et photographiques.

1.1.2 Informations préalables

Le 6 mars 2014, les passagers ont été contactés en prévision d'un vol en ballon à air chaud³ envisagé pour le matin du 8 mars 2014 au-dessus de la région fribourgeoise. Le soir du 7 mars 2014, le pilote du ballon HB-QOT a consulté les bulletins météorologiques sur Internet. Vu les faibles vents annoncés dans les basses couches, il a confirmé aux passagers que le vol aurait lieu le lendemain.

1.1.3 Préparation du vol

Le 8 mars 2014, environ une heure avant le décollage, le pilote a consulté deux sites météorologiques pour s'assurer des conditions de vent dans les basses couches. Sur la base de ces prévisions, il a considéré que les conditions étaient acceptables pour le vol, qui devait durer environ une heure.

Comme le lieu de décollage n'était pas encore déterminé, le rendez-vous avec les passagers a été fixé à 7 h à l'aérodrome d'Ecuvillens (LSGE). A cet endroit, un ballonnet gonflé à l'hélium a été lâché par le pilote. La trajectoire du ballonnet est restée verticale jusqu'à une hauteur d'environ 100 m puis elle a été déviée vers l'ouest. Comme le pilote désirait survoler la ville de Fribourg, il a décidé de décoller au nord-est de la ville dans le but d'atterrir dans la région de Moudon. Par conséquent, il s'est déplacé avec les passagers vers un lieu situé au bord de la Sarine (voir annexe). A cet endroit, le pilote a lâché un second ballonnet gonflé à l'hélium vers 7 h 30 min et la trajectoire de ce dernier a été semblable à celle du premier. Sur la base de ces observations, le pilote a décidé d'entreprendre le vol prévu.

1.1.4 Le vol au cours duquel s'est produit l'accident

Le pilote du ballon Cameron Z-140 immatriculé HB-QOT procède aux préparatifs de départ. Il installe notamment dans la nacelle les brûleurs et divers appareils dont une radio portable, un appareil multifonctions faisant également office d'altimètre-variomètre et un GPS. Quatre bonbonnes⁴ de gaz remplies de propane et comprimées avec de l'azote à neuf bar sont fixées verticalement dans la nacelle. L'enveloppe est d'abord gonflée au moyen d'un ventilateur avec de l'air ambiant puis dressée au moyen de l'air chauffé par un des deux brûleurs. Le pilote donne aux passagers des consignes sur la sécurité à bord de la nacelle et effectue les vérifications d'usage avant le décollage. Il enclenche les instruments embarqués et selon ses déclarations tout fonctionne normalement.

Vers 8 h 05 min, le ballon quitte par vent calme la place de décollage située à une altitude de 575 m/M. A bord de la nacelle, trois passagères et un passager

² GPS : *Global Positioning System*, système de navigation par satellite.

³ Ballon à air chaud : dans ce rapport, le terme de ballon à air chaud est remplacé par ballon ou par montgolfière.

⁴ Bonbonnes : le manuel de vol utilise le terme « cylindres » pour désigner les bouteilles métalliques de forme cylindrique.

accompagnent le pilote. Le ballon se déplace d'environ 30 m en direction du nord-est puis, sous l'influence de la bise, la trajectoire est inversée vers le sud-ouest depuis une hauteur comprise entre 50 et 100 m. Le vol ascendant se poursuit alors que l'intensité de la bise augmente. Après environ vingt-cinq minutes de vol, le pilote change la connexion d'alimentation d'un brûleur pour le connecter sur un cylindre de gaz plein.

Vers 8 h 35 min, le ballon atteint une altitude de 2000 m/M et se déplace au cap 260° à une vitesse⁵ de 73 km/h. Le pilote reste quelques instants à cette altitude avant d'entamer une descente avec un taux de 2.5 m/s pour se stabiliser à une hauteur d'environ 100 m dans la région de Granges-près-Marnand. Le pilote constate que la vitesse du ballon n'est plus que de 20 km/h. Le vol se poursuit en direction de Forel-sur-Lucens.

A 8 h 58 min le pilote effectue une approche pour estimer sa vitesse près du sol. Il répète aux passagers les consignes de sécurité pour l'atterrissage. La vitesse n'est plus que de 8 km/h et il procède à un posé-décollé peu avant le village de Villars-le-Comte situé à une altitude de 750 m/M. Vu les conditions, le pilote décide alors de prolonger le vol de quinze à vingt minutes et en informe les passagers. Cette décision surprend certains d'entre eux. Le ballon reprend alors de la hauteur.

Après quelques minutes le ballon survole une forêt à une hauteur d'environ 30 m, sa vitesse est d'environ 25 km/h. Il traverse des turbulences qui provoquent une perte de hauteur. Malgré une action de chauffage au moyen des deux brûleurs, le pilote ne peut éviter une collision avec la cime des arbres et quelques branches se cassent. Après plusieurs activations des brûleurs, le ballon remonte légèrement et reprend son vol.

A 9 h 07 min, environ 300 m plus loin, le ballon entre en collision une seconde fois avec des arbres. Le choc est plus violent que lors de la première collision. La corde de couronne, reliant le haut du ballon à la nacelle par l'extérieur de l'enveloppe, s'accroche à la cime d'un sapin et une branche se casse. La collision endommage également le *scoop*⁶ situé à la base de l'enveloppe. La nacelle s'incline quelque peu. Le pilote actionne plusieurs fois un des deux brûleurs puis le ballon se libère et remonte à environ 30 m au-dessus de la forêt (figure 1).

Après le passage de cette dernière, le pilote aperçoit devant lui un champ cultivé de plus de 500 m de long et décide de s'y poser. Il entame sa descente et à une hauteur d'environ 30 m, il tire la corde rouge de commande du RDS⁷, détache la corde de couronne fixée à l'intérieur de la nacelle et éteint les veilleuses des brûleurs. Le RDS se met en forme de tulipe et libère rapidement l'air chaud contenu dans l'enveloppe. Le ballon descend immédiatement alors que sa vitesse horizontale est de 23 km/h. Le pilote prévient les passagers qu'il va y avoir un atterrissage dur et leur demande de s'accroupir dans la nacelle en se tenant aux poignées prévues à cet effet.

Le premier impact de la nacelle avec le sol se produit vers 9 h 10 min. Le passager ainsi que le pilote qui tient la corde rouge dans les mains sont éjectés de la nacelle. Allégé, le ballon remonte quelque peu puis est poussé par la bise. Le pilote ne parvient pas à retenir la corde de commande du RDS et la lâche. Il court pour rattraper le ballon tout en criant aux trois passagères restées dans la nacelle de tirer la corde rouge.

⁵ Vitesse : correspond à la vitesse sol dans tout le rapport.

⁶ *Scoop* : toile installée partiellement sur la base de l'enveloppe pour améliorer les performances du ballon en vol, lors de vents turbulents.

⁷ RDS : *Rapid Deflation System*, système de dégonflement rapide (voir chapitre 1.5.1).

Après plusieurs rebonds de la nacelle, le ballon s'arrête environ 220 m après le premier impact (figure 3). Sur place, le pilote ferme les vannes des cylindres de gaz restées ouvertes.

Les trois passagères restées dans la nacelle sont blessées, l'une d'elles grièvement. Elles s'extraient de la nacelle par leurs propres moyens. Le pilote fait appel à une ambulance pour le transport de la personne grièvement blessée. Sur conseil des ambulanciers arrivés sur place, cette dernière est ensuite hélicoptérée vers un hôpital régional. Les deux autres passagères se rendent d'elles-mêmes dans des hôpitaux de la région pour y recevoir des soins. Le passager éjecté et le pilote ne sont pas blessés.

Le ballon ne subit que peu de dégâts. Aucun incendie ne se déclare.

Le pilote n'annonce pas l'accident.

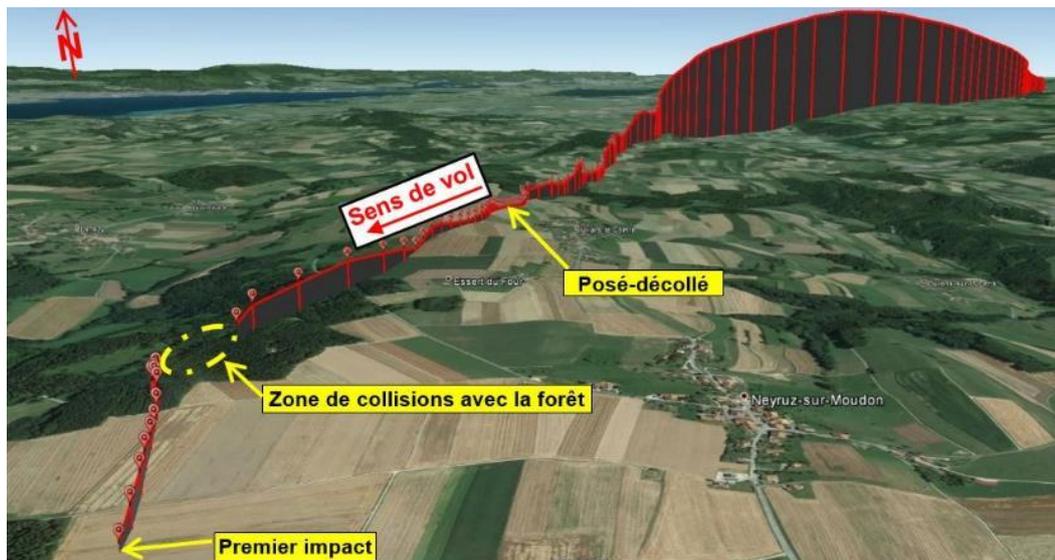


Figure 1 : trajectoire de vol du ballon HB-QOT

1.2 Renseignements météorologiques

1.2.1 Situation générale

La Suisse se trouvait en marge d'un fort anticyclone situé sur l'Allemagne.

1.2.2 Conditions météorologiques au moment où s'est produit l'accident

Le ciel était sans nuage. Une brume s'étendait sur le Plateau avec une limite supérieure se situant aux alentours de 1200 m/M. Une faible bise accompagnée de rafales modérées soufflait du secteur nord à nord-est. En dessous de 900 m/M, le cisaillement était insignifiant. Selon les relevés du radiosondage de Payerne, le vent moyen a augmenté à 20 kt au-dessus de 900 m/M.

Nuages	Aucun
Visibilité	Environ 5 km
Vent	030°, 4 kt à 12 kt
Température / Point de rosée	2 °C / 0 °C
Pression atmosphérique QNH ⁸	1029 hPa
Dangers	Visibilité localement réduite par la brume

⁸ QNH : pression réduite au niveau de la mer, calculée avec les valeurs de l'atmosphère standard de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI).

1.2.3 Données astronomiques

Position du soleil Azimut: 122° Hauteur: 20°
 Condition d'éclairage Jour

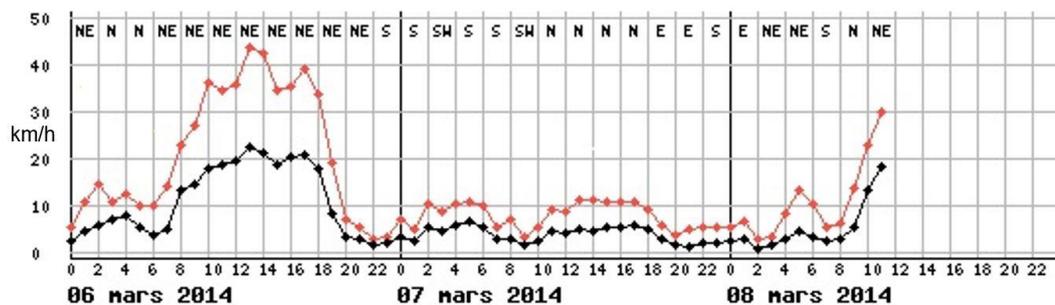
1.2.4 Représentation des mesures des vents et des pressions atmosphériques

Le tableau ci-dessous présente le relevé des vents et des valeurs moyennes respectives mesurées toutes les dix minutes pour les stations de SwissMetNet de MétéoSuisse :

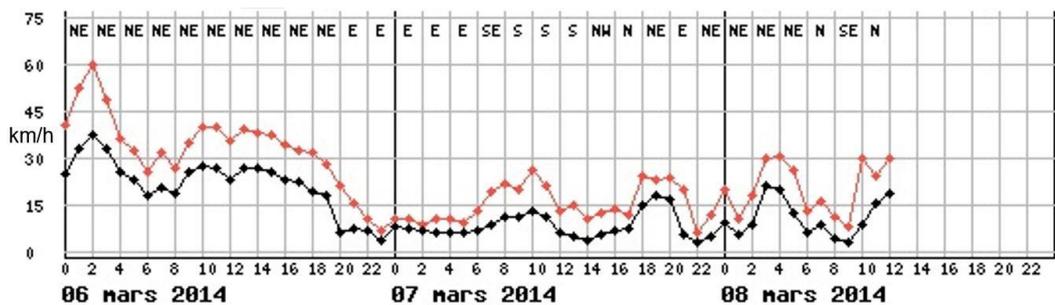
Heures	Mathod/VD 437 m/M [deg] [kt]/[kt]	Fribourg/FR 646 m/M [deg] [kt]/[kt]	Bière/VD 683 m/M [deg] [kt]/[kt]	Oron/VD 827 m/M [deg] [kt]/[kt]	Planfayon/FR 1041 m/M [deg] [kt]/[kt]	Moléson/FR 1974 m/M [deg] [kt]/[kt]
08:00	009 09/11	226 02/02	037 12/26	032 03/04	181 03/09	042 17/30
08:10	010 08/12	225 02/03	038 10/18	081 03/04	126 05/08	042 20/32
08:20	009 10/13	239 02/03	047 12/25	083 03/04	079 05/10	046 21/32
08:30	005 11/14	212 01/02	045 13/23	341 02/03	065 06/11	045 19/33
08:40	012 11/15	203 01/02	049 10/21	030 01/02	117 04/10	047 19/33
08:50	023 12/16	045 19/33	048 11/19	112 02/04	102 05/12	046 16/28
09:00	025 12/15	203 01/02	045 12/21	035 02/04	081 04/11	045 20/29
09:10	027 13/17	193 01/02	045 13/23	248 01/03	120 04/09	050 22/31
09:20	027 14/19	203 01/03	044 13/23	210 01/03	109 04/11	049 17/32

Tableau 1 : directions des vents au sol et valeurs moyennes respectives ainsi que rafales maximales

Les graphiques de MétéoSuisse ci-dessous représentent les relevés des vents à partir du 6 mars 2014 pour les stations météorologiques de Payerne et d'Oron :



Graphique 1 : direction et vitesse du vent au sol provenant de la station météorologique de Payerne (alt. 490 m/M). La ligne noire correspond au vent moyen et la ligne rouge aux rafales. La valeur des vents est indiquée en km/h.



Graphique 2 : direction et vitesse du vent au sol provenant de la station météorologique d'Oron (alt. 827 m/M)

Le tableau ci-dessous présente les relevés des pressions atmosphériques QNH dans les différentes stations météorologiques le 8 mars 2014 entre 8 h 40 min et 9 h 10 min :

Stations / heures	08:40	08:50	09:00	09:10
Zurich aéroport	1031.3	1031.4	1031.4	1031.4
Payerne Les Invuaries	1028.7	1028.7	1028.7	1028.7
Fribourg Posieux	1027.9	1028.0	1027.9	1027.8
Method	1028.9	1028.9	1029.1	1029.1
Bière	1027.6	1027.7	1027.7	1027.7
Genève Cointrin	1028.3	1028.2	1028.2	1028.3

Tableau 2 : les pressions atmosphériques sont indiquées en hectopascal (hPa)

1.2.5 Prévision de zone

La prévision de zone (*general aviation meteorological information – GAMET*) est relative à l'espace aérien suisse en dessous du niveau de vol FL 150. Il est publié toutes les trois heures pour une période de validité de six heures.

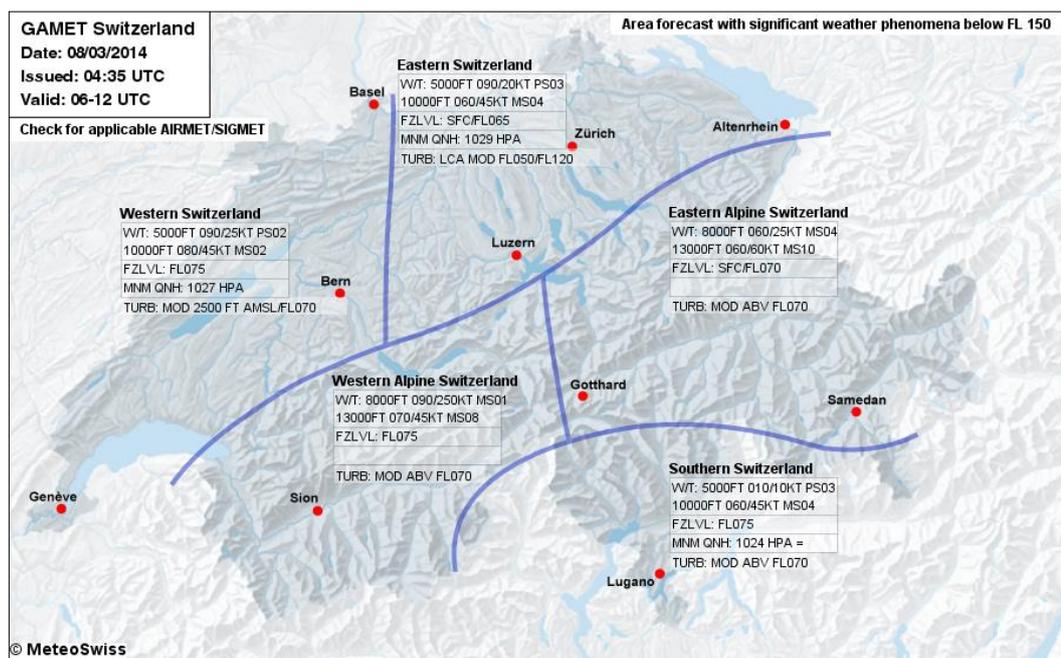


Figure 2 : prévision du 8 mars 2014 pour la période comprise entre 6 h et 12 h.

1.2.6 Informations météorologiques utilisées pour la préparation du vol

La veille du vol, le pilote avait pris connaissance des informations météorologiques locales, fournies par la *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)* et par *Meteoblue* diffusées sur Internet. La valeur du vent prévue à 10 m sol était de 5 km/h à 7 h pour atteindre 30 km/h à 13 h pour la région de Fribourg.

Le matin du vol, le pilote a pris connaissance par téléfax des informations de MétéoSuisse destinées aux ballons, parapentes et deltas en version allemande "*Wind für Ballon, Delta, Gleitschirm*". Ces mesures étaient valables dès 5 h 30 min et les relevés partiels publiés à 5 h 39 min sont les suivants :

Stations et altitudes	Degrés	Vent moyen kt	Rafales kt
Chasseral, 1599 m/M	110	24	28
La Dôle, 1670 m/M	90	35	45
Moléson, 1972 m/M	50	11	29
Neuchâtel, 485 m/M	100	1	5
Fahy, 596 m/M	80	6	9

Tableau 3 : mesures de vent publiés à 5 h 39 min

Vent prévu à Payerne à 7 h : 080° / 20 kt à 1500 m/M

Evolution du vent entre 600 et 900 m/M : augmentation de la bise de 7-15 kt.

Sous la rubrique « Dangers » il est mentionné : faibles turbulences de bise sur le plateau, turbulences de vent nord-est modérées dans les Alpes.

1.2.7 Conditions météorologiques observées sur le site de l'accident

Le pilote précise dans sa déclaration que le vent était soutenu lors de la dernière approche. Tous les passagers confirment un fort vent au sol.

1.3 Renseignements sur l'aéronef

1.3.1 Généralités

Immatriculation	HB-QOT
Type d'aéronef	Cameron Z-140
Caractéristiques	Ballon à air chaud Enveloppe : - volume : 3965 m ³ - équipée d'un RDS
Constructeur	Cameron Balloons Limited, Bristol, Grande-Bretagne
Brûleurs	Constructeur : Cameron Balloons Limited, Bristol, Grande-Bretagne Caractéristiques : Sirocco, double brûleur, puissance totale 7.6 MW avec une pression du carburant de 6.8 bar
Nacelle	Constructeur : Cameron Balloons Limited, Bristol, Grande-Bretagne
Certificat d'examen de navigabilité	Etabli le 14 juin 2013, date d'expiration le 29 juin 2014
Masses	Masse maximale autorisée au décollage : 1270 kg Masse estimée au décollage : 932 kg La masse était dans les limites prescrites au moment de l'accident.
Carburant	Propane, gaz liquide
Quantité de carburant embarqué	Environ 110 kg de gaz propane se trouvaient à bord de la nacelle au moment du décollage. Cette quantité était suffisante pour le vol projeté.

1.3.2 Instrumentation

Le pilote possédait à bord un instrument multifonctions de type Flytec 3040, servant entre autres de variomètre-altimètre et de mesure de température interne de l'enveloppe. Cet instrument n'est pas équipé de mémoire. A bord, il avait également un GPS portable de type Garmin GPSmap 60CSx. Le pilote n'avait pas de transpondeur dans la nacelle.

1.4 Renseignements sur le lieu où s'est produit l'accident et sur l'impact

1.4.1 Lieu où s'est produit l'accident

L'accident s'est produit dans un champ cultivé situé à une altitude de 794 m/M et à 3.5 km au nord-ouest de Moudon (voir annexe). Ce champ de plus de 500 m de long, en légère pente descendante, est bordé à l'ouest par une forêt et au sud par la route cantonale Thierrens-Moudon. Il était entouré à l'est et au nord par d'autres champs cultivés (figures 3 et 6).

1.4.2 Impact

Le premier impact s'est produit à environ 125 m d'un chemin vicinal, bordant d'est en ouest le champ cultivé et à 70 m de la lisière d'une forêt. Cet impact a été suivi environ 7 m plus loin par un deuxième choc. C'est lors de l'un de ces deux impacts que le passager ainsi que le pilote ont été éjectés de la nacelle. Immédiatement après le deuxième impact, des traces étaient visibles dans le champ ; l'une d'elle mesurait 30 m de long et 30 cm de large. Après plusieurs rebonds, la nacelle s'est immobilisée à environ 115 m de la route cantonale et à 15 m de la lisière de la forêt (figure 3).

Une distance d'environ 220 m sépare le premier impact de la position finale de la nacelle. Aucune trace n'a été observée entre les premiers impacts et les 130 m suivants.

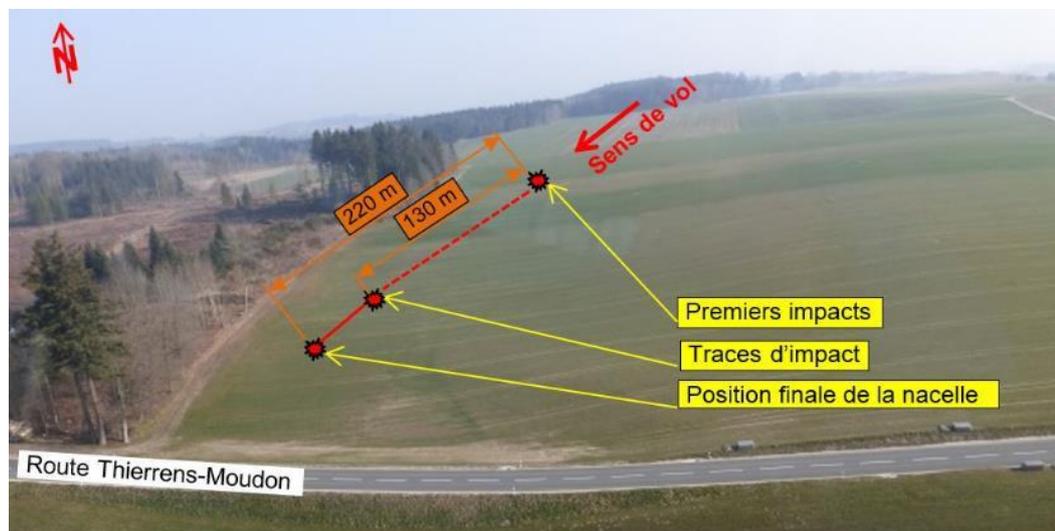


Figure 3 : situation générale du site de l'accident

1.5 Equipements du ballon

1.5.1 Systèmes de dégonflement

Le ballon est équipé d'une soupape de dégonflement qui peut être activée soit au moyen d'une corde rouge et blanche soit au moyen d'une corde rouge (figures 4 et 5).

Si l'on tire sur la corde rouge et blanche pendant le vol, la soupape-parachute s'ouvre et libère de l'air chaud de manière conventionnelle. Elle se referme sous la pression de l'air chaud dès qu'on relâche la traction sur la corde rouge et blanche.

Si l'on tire sur la corde rouge, le système de dégonflement rapide (RDS) est activé. Le parachute se rassemble en une colonne au milieu de l'ouverture en forme de tulipe, ce qui provoque un dégonflement rapide. Cette action de dégonflement peut être stoppée par une traction sur la corde rouge et blanche de fermeture de la soupape-parachute.

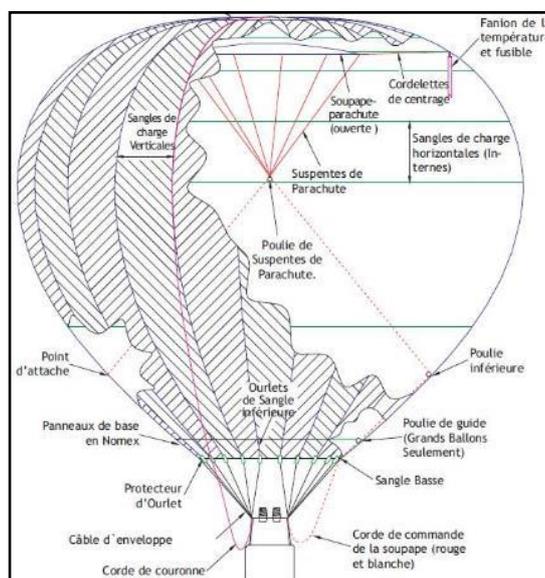


Figure 4 : description d'une enveloppe conventionnelle sans système RDS

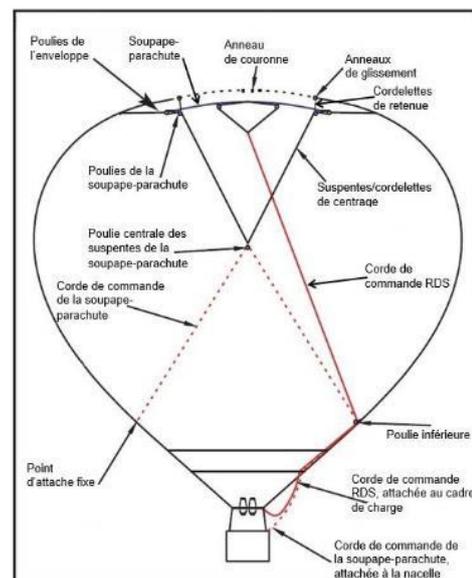


Figure 5 : description d'une enveloppe avec un système RDS

1.5.2 Nacelle

La nacelle, tressée en osier et en rotin, comporte deux compartiments, un pour le pilote et un pour les passagers. Elle mesure 1.85 m de long, 1.20 m de large et 1.37 m de haut. Le plancher est également tressé et recouvert d'un panneau de bois en contre-plaqué. Dix-huit poignées en corde sont réparties sur les côtés et permettent aux occupants de se tenir lors des atterrissages. Les rebords sont capitonnés de mousse et garnis de peau de daim. Le poids de la structure est soutenu par quatre câbles en acier inoxydable passant sous le plancher de la nacelle et reliés au cadre de charge.

1.6 Renseignements en matière d'organisation et de gestion

L'exploitant du ballon en assumait l'entretien et les charges d'exploitation. La majorité des vols effectués étaient commandés par le propriétaire, qui rémunérait la prestation à l'exploitant. L'aérostier impliqué dans l'accident assurait la plupart de ces vols.

Aucun titre de transport n'a été établi au nom des passagers pour le vol au cours duquel s'est produit l'accident. Les passagers détenaient des bons de vol, délivrés par le propriétaire et obtenus dans le cadre d'un concours.

1.7 Organisation des secours et survie

Le pilote a demandé l'assistance d'une ambulance pour le transport de la passagère grièvement blessée. En raison d'une intolérance médicale de cette dernière, les ambulanciers ont fait appel à la centrale d'alarme de la Rega⁹, pour l'hélicopter vers un centre hospitalier.

1.8 Essais et recherche

1.8.1 Examen du ballon

L'examen sommaire de l'enveloppe, de la nacelle et des brûleurs n'a pas montré de défaut ni de dégât. Seul le *scoop* fixé à la base de l'enveloppe a subi une déchirure d'environ 40 cm sur 40.

Dans sa déposition, le pilote a précisé qu'il n'avait pas observé de défectuosité au cours de ce vol.

1.8.2 Relevés du GPS

Les relevés du GPS ont permis de reconstituer la trajectoire du vol et d'en extraire le profil ainsi que de reconstituer les vitesses du ballon.

La distance parcourue depuis le décollage jusqu'aux premiers impacts est d'environ 34 km pour un vol d'une durée d'une heure et sept minutes. Entre les deux collisions dans la forêt, le GPS n'a pas enregistré de données pendant une durée de moins de deux minutes. Après le passage de la forêt, l'enregistrement GPS montre que le ballon se trouvait à plus de 30 m au-dessus du sol et à environ 400 m du champ que le pilote avait choisi pour l'atterrissage. Sur cette distance, le ballon a survolé des champs cultivés à des hauteurs estimées entre 10 m et 30 m avant que le pilote n'active le RDS.

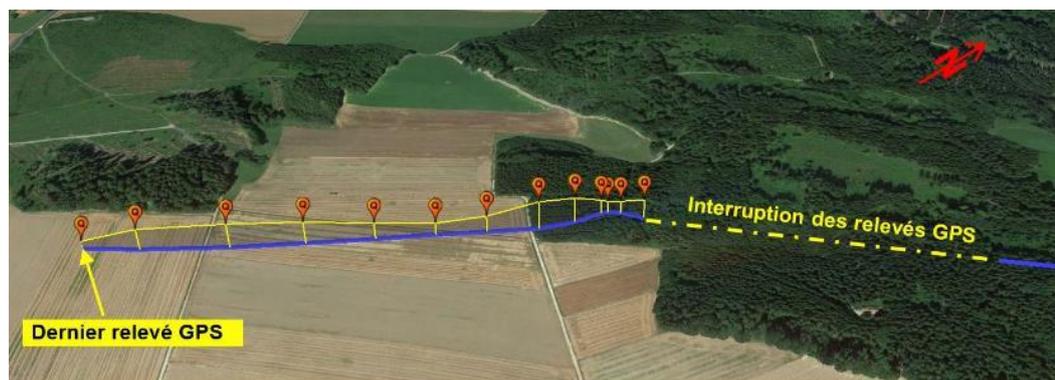


Figure 6 : trajectoire finale enregistrée avec projection au sol

Le dernier enregistrement montre un déplacement horizontal de 23 km/h et un taux moyen de descente d'environ 2 m/s. Ensuite, le GPS a été éjecté de la nacelle en même temps que le pilote et le passager. De ce fait, les 220 derniers m n'ont pas été enregistrés (figure 3).

⁹ Rega : Garde aérienne suisse de sauvetage

1.9 Obligation d'annoncer un accident

1.9.1 Absence d'annonce de l'accident

L'accident n'a pas été annoncé, comme cela est prescrit dans le recueil VFR de l'AIP. Le SESE, précédemment dénommé SESA, a été informé de l'accident par la Rega le jour même à 12 h 12 min, soit près de trois heures après l'accident.

1.9.2 Recueil VFR

Les informations de base contenues dans le recueil VFR de l'AIP prescrivent ce qui suit dans le chapitre GEN 1-5 :

« [...] »

4 Accidents

4.1 Obligation d'annoncer

Les accidents d'aviation survenus en Suisse doivent être immédiatement annoncés par téléphone à la centrale d'alarme de la Garde aérienne suisse de sauvetage (REGA) n° +41 333 333 333 pour l'étranger et 1414 pour la Suisse. Elle transmet cette annonce au Service d'enquête suisse sur les accidents (SESA).

L'obligation d'annoncer incombe au propriétaire et à l'exploitant de l'aéronef, à l'entreprise de vol (exploitant) intéressée, au personnel aéronautique intéressé, aux organes des services de la circulation aérienne et des aérodromes, aux postes des polices cantonale et communale, aux organes de la douane et à l'Office fédéral de l'aviation civile [...]. »

1.10 Limitations et procédures d'urgence

1.10.1 Extraits du manuel de vol

Parmi les limitations et les procédures liées à l'exploitation d'un ballon Cameron Z-140, le manuel de vol du constructeur préconise ce qui suit :

1.10.2 Section 2 – Limitations

« [...] »

2.2 Conditions météorologiques

[...]

3. Le ballon ne doit pas voler s'il y a une activité thermique étendue, une activité de cumulonimbus (orage) à proximité de la trajectoire de vol, ou n'importe quelle turbulence provoquant des rafales de plus de 10 nœuds (5,1 m/s) au-dessus de la vitesse du vent moyen.

[...]

2.12 Système de dégonflement rapide – RDS

1. L'ouverture du système de dégonflement rapide en cours de vol ne doit pas excéder 3 secondes. L'enveloppe doit pouvoir se regonfler complètement entre chaque coup de soupape.

2. L'utilisation de la corde rouge de déchirure n'est pas permise à des hauteurs supérieures à 2 mètres au-dessus du sol, sauf en cas d'urgence. »

1.10.3 Section 3 – Procédures d'urgences

« [...] »

3.2.2 Atterrissage d'urgence

Un atterrissage d'urgence peut se faire en ouvrant partiellement le système de dégonflement rapide, le panneau velcro ou la soupape-parachute à une hauteur de 15 m (50 ft) ou moins.

[...]

3.8 Préparation à un atterrissage dur

Il y a deux situations possibles d'atterrissage dur. Une défaillance du brûleur qui entraîne un atterrissage « lourd » où la vitesse est principalement verticale, tandis que des circonstances météorologiques peuvent entraîner un atterrissage « rapide » où la vitesse est principalement horizontale.

Pour un atterrissage lourd, les passagers doivent se raidir pour résister à la compression verticale, avec leurs genoux seulement légèrement fléchis. Les poignées en corde ou les rebords des réservoirs doivent être tenus fermement.

Dans un atterrissage rapide, la nacelle peut basculer violemment à l'impact, risquant d'éjecter les occupants en dehors. Les occupants doivent adopter une position baissée (genoux bien fléchis) avec le dos ou les épaules pressés contre la paroi de la nacelle, dos au mouvement, la tête au niveau des rebords de la nacelle et en tenant fermement les poignées en corde ou les rebords des cylindres.

Rappeler aux passagers de ne pas quitter la nacelle avant d'y avoir été invités.

Eteindre les veilleuses, fermer tous les cylindres en service et purger les circuits d'alimentation s'il reste du temps.

La corde de commande du RDS devra être agrippée fermement avant l'atterrissage. »

2 Analyse

2.1 Aspects techniques

L'enquête n'a pas mis en évidence d'élément technique ayant pu provoquer l'accident ou contribuer à sa survenue. Par ailleurs, le pilote n'a pas fait état de défectuosité lors de ce vol.

Entre les deux collisions dans la forêt, le GPS n'a pas enregistré de données pendant un peu moins de deux minutes, probablement en raison d'un manque momentané de réception des satellites.

2.2 Aspects météorologiques

Une situation de bise régnait ce jour-là avec un vent faible à proximité du sol et une rapide augmentation de la force du vent au-dessus d'environ 900 m/M. Avant Granges-près-Marnand, le ballon se trouvait dans un fort courant d'altitude avec une vitesse moyenne de 15 à 20 kt, ce qui a incité le pilote à descendre. Après son approche suivie d'un posé-décollé au nord-est de Villars-le-Comte, le ballon s'est à nouveau trouvé dans des vents plus forts et turbulents.

Deux facteurs ont contribué à cette situation : la dissipation de l'inversion au sol telle que relevée dans les données de la station météorologique de Payerne à partir de 8 h et l'augmentation de l'altitude du terrain qui, sous l'effet d'importants gradients, était exposé à de forts vents. Dès lors, la décision du pilote de poursuivre le vol impliquait des risques pour l'atterrissage.

Les mesures des stations environnantes ainsi que les données modélisées démontrent qu'un fort courant de bise soufflait dans l'axe situé entre le lac de Neuchâtel et la Plaine de l'Orbe ainsi qu'au nord de la vallée ouverte de la Broye. C'est pourquoi les stations de Method et Bière situées respectivement à 437 m/M et 683 m/M à l'ouest du lieu de l'accident enregistraient déjà plusieurs heures avant le décollage des rafales de plus de 10 kt. Au moment où s'est produit l'accident, les rafales s'élevaient à 15 kt, voire 20 kt. Sur la base des relevés du tracé parcouru par le ballon (voir annexe) la vitesse du vent sur le lieu de l'accident était d'environ 12 kt. La situation météorologique au moment de l'accident correspondait aux prévisions.

2.3 Aspects opérationnels

Dans le but de reconnaître les conditions de vent près du sol, le pilote a procédé à un vol de descente dans la région de Forel-sur-Lucens en direction de Villars-le-Comte situé à une altitude de 750 m/M. Parvenu dans les basses couches de ce secteur, il a constaté que la faible vitesse de la bise permettait un atterrissage sans difficulté particulière. Cette procédure était adéquate dans la perspective d'un atterrissage.

Toutefois le ballon a effectué un posé-décollé car le pilote avait décidé de prolonger le vol, ce qui comportait plusieurs risques en raison de la situation météorologique de ce jour et de la topographie de l'endroit. En effet, le fait de continuer ce vol obligeait à gagner de la hauteur et donc à atteindre une altitude où la force du vent était comprise entre 20 et 25 km/h. Cela avait également pour conséquence le survol d'une forêt. La vitesse de la bise a engendré des turbulences dues à la présence de la forêt, provoquant une perte de hauteur du ballon. Dès lors, la poursuite du vol est devenue délicate, ce qui s'est confirmé par deux collisions successives avec la cime des arbres. Après s'être dégagé de ces mauvaises postures, le pilote a sans doute réalisé qu'il était préférable de terminer le vol le plus rapidement possible.

Le pilote a aperçu devant lui un champ cultivé sans obstacle d'une longueur de 500 m environ et a décidé d'y atterrir. A ce moment-là, le ballon se trouvait encore à plus de 30 m du sol et à environ 400 m du champ choisi. Le choix du terrain d'atterrissage était correct, toutefois il aurait été possible d'atterrir plus tôt, dans les champs cultivés qui ont été survolés alors que le ballon se trouvait à environ 10 m du sol. La présence du vent au sol aurait certes provoqué un atterrissage mouvementé, mais probablement sans grandes conséquences à partir de cette hauteur. Par la suite, le ballon est remonté à une hauteur d'environ 30 m (figure 6) et le pilote a décidé d'utiliser le système de dégonflement rapide (RDS). Cette action a engendré un taux de chute important. Ce dernier, associé à une vitesse sol élevée, a causé un premier impact violent. Il a provoqué l'éjection du pilote et du passager ainsi que vraisemblablement les blessures des passagères.

Le fait que le pilote ait maintenu le RDS en position ouverte a empêché toute possibilité de redécollage du ballon; cette réaction était adéquate compte tenu de la situation. Sous l'effet du vent soufflant avec force au niveau du sol, le ballon a rebondi dans un premier temps puis a été traîné au sol avant de s'arrêter. Dès qu'il a rejoint la nacelle, le pilote a correctement fermé les vannes des cylindres de propane de manière à supprimer le danger d'incendie.

3 Conclusions

3.1 Faits établis

3.1.1 Aspect technique

- L'enquête n'a pas mis en évidence de défectuosité ayant pu provoquer l'accident ou contribuer à son déclenchement.

3.1.2 Aspects opérationnels

- Le pilote possédait une licence adéquate.
- La quantité de gaz propane emportée était suffisante pour le vol prévu.
- La masse de l'aérostat se trouvait dans les limites prescrites au moment de l'accident.
- Le ballon était admis au vol VFR de jour.
- L'activation du système de dégonflement rapide (RDS) est intervenue à une hauteur supérieure à celle préconisée par le constructeur.

3.1.3 Aspects humains

- Aucun élément n'indique que le pilote ait été affecté dans son état de santé lors de l'accident.
- Le pilote a organisé les secours.
- L'accident n'a pas été annoncé selon la procédure en vigueur.

3.1.4 Déroulement du vol

- Le ballon a décollé vers 8 h 05 min par vent calme d'un champ situé au nord-est de la ville de Fribourg à une altitude de 575 m/M.
- Le ballon s'est élevé jusqu'à une altitude d'environ 2000 m/M où le vent du nord-est soufflait à 73 km/h.
- Après environ cinquante minutes de vol, le pilote a effectué un posé-décollé par vent faible près de Villars-le-Comte.
- Par la suite, le ballon a subi de fortes turbulences lors du survol d'une forêt et est entré à deux reprises en collision avec la cime des arbres.
- Le pilote a tiré la corde rouge de commande du RDS et à une hauteur d'environ 30 m.
- Vers 9 h 10 min, la nacelle a touché durement le sol, à une altitude de 794 m/M, près de Neyruz-sur-Moudon.
- Le pilote et le passager ont été éjectés à ce moment-là. Ils n'ont pas été blessés.
- Les trois passagères sont restées dans la nacelle. Elles ont toutes été blessées dont l'une grièvement.
- Après plusieurs rebonds, la nacelle s'est immobilisée environ 220 m après le premier impact.

3.1.5 Conditions-cadres

- Le ciel était sans nuage et la visibilité était d'environ 5 km.
- Des turbulences étaient présentes lors du survol de la forêt située juste avant le site de l'atterrissage.
- Un vent du nord-est soufflait en rafales à cet endroit au moment où s'est produit de l'accident.

3.2 Causes

L'accident est dû à une collision de la nacelle du ballon avec le sol suite à une tactique de vol inappropriée lors de la phase d'atterrissage.

Une sous-estimation de l'évolution de la situation météorologique a contribué à la survenue l'accident.

- 4** **Recommandations de sécurité, avis concernant la sécurité et mesures prises après l'accident**
- 4.1** **Recommandations de sécurité**
Sans objet
- 4.2** **Avis concernant la sécurité**
Sans objet
- 4.3** **Mesures prises après l'accident**
Sans objet

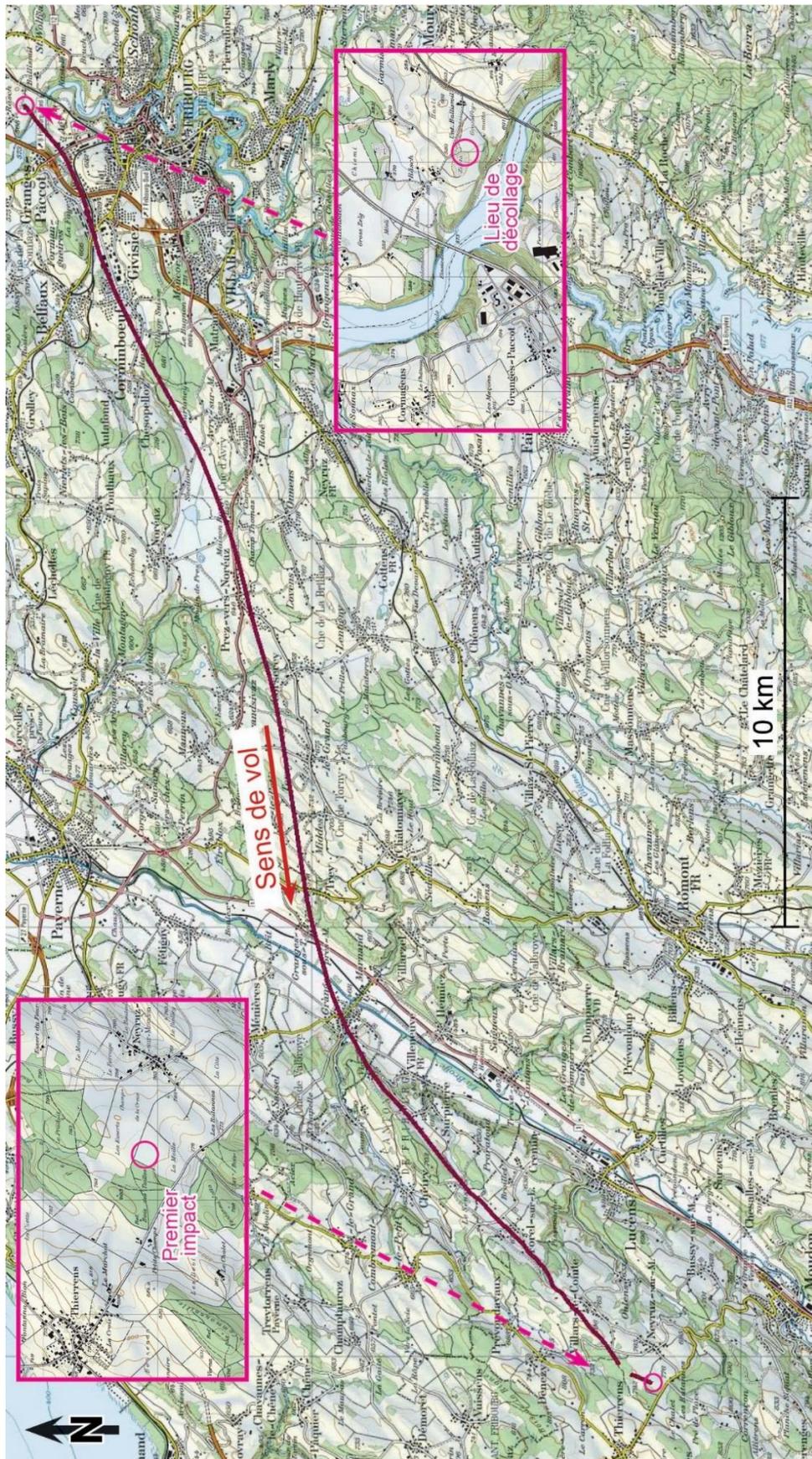
Payerne, 5 septembre 2016

Bureau d'enquête du SESE

Ce rapport final a été approuvé par la commission du Service suisse d'enquête de sécurité SESE (art. 10 lit. h de l'Ordonnance sur les enquêtes de sécurité en cas d'incident dans le domaine des transports du 17. décembre 2014).

Berne, 30 juin 2016

Annexe : vue en plan de la trajectoire de vol du HB-QOT



Carte reproduite avec l'autorisation de l'Office fédéral de topographie Swisstopo (JA150149)