

Histoire de l'hélicoptère

■ Jean TARIEL

Tout au long de l'année, la naissance de l'hélicoptère est commémorée. C'est en effet en 1907 que Louis Breguet expérimenta son "Gyroplane" ; et que Paul Cornu réussit le premier vol libre d'un homme à bord de ce type d'aéronef. De nombreuses manifestations sont prévues en France pour célébrer ce centenaire. C'est peu après la fin de la Seconde Guerre mondiale que se développèrent les premières applications pratiques de cet appareil. Aujourd'hui il est devenu d'usage courant dans de nombreux domaines y compris dans différentes disciplines de la topographie.

Au fil des numéros des articles parus dans XYZ⁽¹⁾ ont mis en lumière l'utilisation de l'hélicoptère en topographie, et la couverture de certaines de ces revues ont même mis ces aéronefs en vedette. En 2007 est célébré le centenaire du premier vol libre d'un homme en hélicoptère⁽²⁾, mais bien peu de personnes savent que ce sont des Français qui jouèrent le rôle initial dans son développement. C'est aujourd'hui un appareil dont l'image est devenue familière. Dans le domaine militaire il est largement utilisé depuis la guerre de Corée (1950-1953). Ses applications civiles sont nombreuses et particulièrement mises en valeur dans la lutte contre les catastrophes : acheminement des secours et opérations de sauvetage.

Historique succinct de l'hélicoptère

On sait que le principe du rotor ou "voilure tournante" est connu depuis très longtemps et a fait l'objet de travaux de recherche bien avant le XX^e siècle.

L'idée du principe qui devait conduire à l'hélicoptère fut l'une des premières qui vint à l'homme qui cherchait à s'élever dans les airs. Il est attesté que les Chinois, quatre siècles avant notre ère, savaient déjà faire voler des jouets à voilure tournante. En Europe la plus ancienne représentation d'un hélicoptère date du premier quart du XIV^e siècle, il s'agit d'un jouet dont le "rotor" est actionné par la traction d'une ficelle.

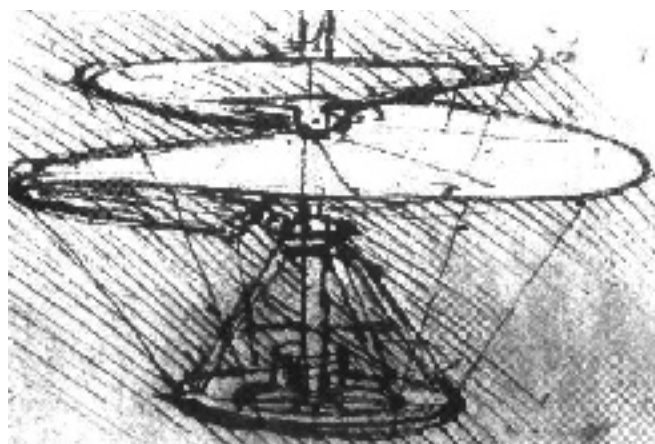
(1) Particulièrement les numéros suivants : 64, 86, 89, 90, 93, 94

(2) Ce centenaire est inscrit aux célébrations nationales pour 2007. Des manifestations sont notamment prévues à Paris et en région parisienne, à Douai (Breguet), Lisieux (Cornu) et Montbéliard (Oehmichen), ainsi qu'en d'autres villes.

(3) L'appareil original est exposé au Musée de l'Air et de l'Espace, au Bourget ; c'est le plus vieux modèle d'hélicoptère motorisé connu au monde.



A gauche : La plus ancienne représentation connue (vers 1325) d'un hélicoptère-jouet. A droite : Détail d'une peinture (vers 1460) représentant un "moulinet à noix" (noix = axe). C'est la première représentation d'une hélice de sustentation, ancêtre direct de tout hélicoptère.



L'hélicoptère imaginé par Léonard de Vinci.

1486 : Léonard de Vinci imagine l'"helix ptéron" ou aile en spirale, basé sur le principe de la vis d'Archimède. La machine reste à l'état de projet du fait de la méconnaissance des lois de l'aérodynamique et du défaut de motorisation.

1754 : le Russe **Lemonosov** présente à un aréopage scientifique un petit appareil à deux rotors coaxiaux contrarotatifs mus par un mécanisme d'horlogerie ; il démontre ainsi l'existence d'une force de sustentation.

1784 : les Français **Launoy** (naturaliste) et **Bienvenue** (mécanicien) font voler devant l'Académie royale des Sciences un petit appareil équipé de deux hélices coaxiales actionnées par la détente d'un ressort tendu par son enroulement autour de l'axe qui les relie.

1796 : l'Anglais **George Cayley** fait voler une toupie découpée dans une feuille de fer blanc lancée par traction d'une ficelle. C'est le premier rotor métallique ; il atteint 5 m de haut.

L'impossibilité de disposer d'une force de sustentation suffisante ne permet pas alors d'envisager la réalisation d'un appareil susceptible d'élever un homme et d'avoir des applications pratiques.

1863 : le Français **Gustave de Ponton d'Amécourt** construit un appareil⁽³⁾ mû par un petit moteur à vapeur, mais ne réussit

■ ■ ■ pas à le faire décoller. On lui doit l'invention du mot "hélicoptère" tiré du grec ??? "helix" (spirale) et ≠???? "ptéron" (aile), c'est-à-dire "l'hélice qui sert d'aile".

1877 : l'Italien **Enrico Forlanini** réussit à faire voler à plusieurs reprises et à une douzaine de mètres de hauteur, un hélicoptère à moteur à vapeur (de 8 kg et de 0,25 CV) qui entraînait deux rotors coaxiaux contrarotatifs.

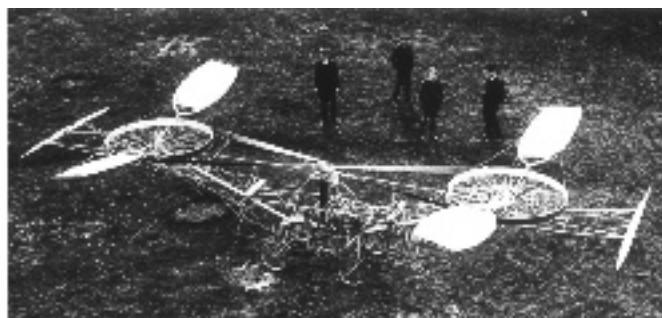
1877 : le Français **Gustave Trouvé** réalise un petit hélicoptère à moteur électrique alimenté depuis le sol à l'aide de fils de cuivre reliés à des accumulateurs.

L'invention du moteur à allumage commandé (ou moteur à explosion) permet de penser à la présence d'un homme à bord pour conduire la machine. Et c'est en France en 1907 que les maquettes expérimentales cèdent la place aux réalisations qui visent au transport d'un pilote.

Mai 1907 : l'ingénieur **Maurice Léger**, avec le soutien du Prince Albert 1^{er} de Monaco, essaie au château de Marchais (Aisne) un hélicoptère équipé d'un moteur de 15 CV qui se soulève mais bascule aussitôt et tombe dans un étang ; il est entièrement détruit.

Août-Septembre 1907 : l'ingénieur **Louis Breguet**, son frère **Jacques** et le professeur **Charles Richet** essaient à Douai (Nord) le "Gyroplane n°1" monté par l'ingénieur **Volumard**. L'appareil est très lourd (578 kg en charge) et d'un grand encombrement (4 hélices de 8,10 m de diamètre) mû par un moteur Antoinette de 45 CV. Comme il n'est pas prévu d'organes de direction il est guidé et retenu au sol par 7 hommes ; il se soulève à 0,60 m puis à 1,50 m, mais ne peut se maintenir en l'air en raison de son poids.

Novembre 1907 : le mécanicien **Paul Cornu**, aidé de son père et de son frère réalise près de Lisieux (Calvados)⁽⁴⁾ le **premier vol libre d'un homme en hélicoptère**. L'appareil, lourd de 260kg en charge, équipé d'un moteur Antoinette de 24 CV, est un birotor en tandem. Il s'élève d'une trentaine de centimètres, puis de 1,50 m avec le **premier passager**, en l'occur-



L'hélicoptère de Paul Cornu.



Paul Cornu aux commandes de son hélicoptère. La maison "aux trois cheminées" visible derrière le bâtiment en bois, existe toujours en 2007. Elle permet de situer l'aire probable des essais.

rence le frère du pilote qui se cramponne à l'appareil (poids total : 328kg)^{(5) (6)}.

Alors que l'avion se développe rapidement, l'hélicoptère reste un véhicule expérimental jusqu'à la Seconde Guerre mondiale. Ce retard s'explique par la méconnaissance des différences entre les lois de l'aérodynamique qui s'appliquent aux voilures fixes et celles qui régissent les voilures tournantes. C'est le temps des pionniers qui succèdent aux précurseurs. Parmi de nombreux inventeurs il faut citer : **Yuriev** (Russe) qui dessine et construit le premier hélicoptère à rotor principal et à rotor anticouple. C'est la configuration la plus "classique" de l'hélicoptère actuel.

Raul Pateras, marquis de Pescara (Argentin) fixé en Espagne puis en France invente la variation cyclique des pales du rotor. Il pense à l'autorotation.

Juan de la Cierva (Espagnol) invente l'autogyre. C'est un avion sur lequel on ajoute un rotor qui est seulement entraîné par le vent relatif et non par un moteur.

Etienne Oehmichen (Français) boucle le 4 mai 1924 à Arbouans près de Montbéliard (Doubs) le premier kilomètre en circuit fermé.

Louis Breguet (Français) n'a pas renoncé et construit en 1935 avec **Dorand** le "Gyroplane Laboratoire".

Au moment de la Seconde Guerre mondiale la connaissance de l'aérodynamisme de la voilure tournante permet de maîtriser la technique du rotor articulé et des organes indispensables à sa rotation et l'hélicoptère s'approche du stade de sa maturité.

Heinrich Focke (Allemand) construit le Focke-Wulf 61 (Fw 61). C'est un appareil à rotors latéraux. Il est considéré comme étant le premier qui est bien adapté à ce que l'on attend d'un hélicoptère. La célèbre aviatrice Hanna Reitsch le pilote au

(4) Précisément sur la commune de Coquainvilliers, au lieu-dit La Goulaffre, actuelle usine Péruréna.

(5) Une maquette à l'échelle de 1/10 est présentée au Musée de l'Air et de l'Espace. Dans le cadre du centenaire il est prévu la reconstitution, par des élèves de l'Ecole supérieure des techniques aéronautiques et de construction automobile (ESTACA), d'une réplique en grandeur réelle de l'appareil ; elle sera présentée au Salon aéronautique du Bourget en juin 2007 puis remise au Musée de l'Air et de l'Espace.

(6) Relation (extraits) de Paul Cornu de son envol du 13 novembre 1907, parue dans l'Aérophile du 15 avril 1908 : "...le 13 novembre, pour la première fois, l'appareil enlevant son constructeur s'élève de 30 cm et y reste quelques instants... Le même jour, l'après-midi,..., l'appareil s'enlève emportant l'aviateur ; mais l'avant se soulevant plus haut que l'arrière, mon frère qui mettait en marche le moteur se cramponne au châssis et se trouve également soulevé à 1,50 m environ."

cours de nombreuses démonstrations. Puis Heinrich Focke crée la société Focke-Achgelis qui construit le Fa 223 à 9 exemplaires, c'est le premier hélicoptère construit industriellement. Il est utilisé pour le transport.

Anton Flettner (Allemand) invente l'hélicoptère à rotors "engrenants". Il fabrique le FI 282-Kolibri à 24 exemplaires, ce qui en fait le premier hélicoptère fabriqué en série. Il est utilisé pour la reconnaissance.

En fait ces appareils sont très peu utilisés au cours du conflit.

L'hélicoptère atteint rapidement le stade de son plein développement, notamment aux Etats-Unis d'Amérique et en Europe.

Igor Ivan Sikorsky (Américain d'origine russe) s'était intéressé à l'hélicoptère dès 1909 et avait fait plusieurs voyages en France pour y rencontrer les pionniers. Il construit dès 1910 un appareil mais renonce en raison des problèmes de vibrations qu'il rencontre. En 1919 il émigre aux Etats-Unis et se consacre à la construction d'avions et d'hydravions. En 1930 il se remet à l'étude de l'hélicoptère (le VS 300) qu'il présente en vol en septembre 1939 ; en mai 1940 il se voit remettre la licence N° 1 de pilote d'hélicoptère. **Sikorsky est considéré comme étant le père de l'hélicoptère.**

A la suite de Sikorsky, les constructeurs américains les plus connus sont : **Larry Bell** qui confie la direction de son bureau d'études à **Arthur Young, Stanley Hiller, Franck Piasecki, Charles H. Kaman.**

En France, dès la fin de la guerre, la Société nationale de constructions aéronautiques du sud-est (SNCASE) entreprend des études d'hélicoptère avec l'aide d'Heinrich Focke et d'une partie de son équipe. En 1951 sort l'Alouette I.

Mais équipés de moteurs à pistons les performances des hélicoptères restent modestes comparées à celles des avions de même capacité : vitesses ascensionnelle et de croisière moindres, charges utiles inférieures. En outre les vibrations engendrées par les moteurs alternatifs constituent des contraintes sévères pour la voilure ; et la régulation de la puissance en fonction de la vitesse oblige le pilote à concentrer son attention sur le réglage du régime du moteur par une manipulation incessante et fatigante de la manette des gaz. Entre 1946 et 1948 l'hélicoptère voit ses premières utilisations dans le domaine civil, y compris en topographie.

C'est en 1955 que s'ouvre l'ère des appareils à turbine avec pour première mondiale la construction en série de l'Alouette II par la SNCASE. La puissance est accrue, le niveau vibratoire est réduit, la régulation de la vitesse du rotor en fonction de la puissance est rapide et précise. C'est l'hélicoptère tel qu'on le connaît de nos jours.

Utilisation de l'hélicoptère en topographie, géodésie, photogrammétrie

Dans *"La véritable histoire de l'hélicoptère"* l'auteur date les premières applications civiles entre 1946 et 1948, aux Etats-Unis. Il rapporte que dès juin 1947 une chaîne de journaux l'uti-

lisait pour la photographie aérienne de reportage. Et il ajoute que *"le transport de matériel en zone difficile est tellement évident que tous les opérateurs la pratiquent déjà,..."*. Il est très vraisemblable que ce furent les Canadiens qui, les premiers, utilisèrent l'hélicoptère pour des travaux topographiques. Dans une rétrospective historique l'Association canadienne des Sciences géomatiques mentionne que dès 1948 la Topographic Division Surveys and Mapping Service, Department of Lands and Forests de Colombie britannique avait affrété un hélicoptère dans le but d'évaluer les possibilités de cet appareil dans l'exécution de travaux sur le terrain ; le même été une équipe de géodésiens opérant dans la même province utilisaient aussi un hélicoptère pour des travaux le long de la route de l'Alaska.

La vaste province de Colombie britannique couvre près de 950 000 km². Elle est en grande partie montagneuse et forestière (sur près de 60 % du territoire). Sauf dans le sud où se concentre la population autour des villes de Vancouver et de Victoria, le reste du territoire est relativement vide d'habitants à l'exception de quelques agglomérations d'importances très moyennes. Toujours à l'exception du sud, les voies de communication terrestre sont peu développées ; un maillage élémentaire fut créé lors de la "ruée vers l'or", c'est encore celui que suivent les routes actuelles. Les voies ferrées sont au nombre de quatre. Ceci pour dire que les travaux géodésiques et topographiques présentent aujourd'hui encore, bien que dans une bien moindre mesure qu'autrefois, des difficultés certaines tant au point de vue des déplacements que celui des observations. Par contre, en raison de l'immensité du territoire et des difficultés dues au relief, le transport aérien y est remarquablement développé.

Les essais canadiens

Divers articles parus dans *"The Canadian Surveyor"* rapportent les premières utilisations de l'hélicoptère dans le domaine de la topographie. A la fin de la Seconde Guerre mondiale la forte demande d'exploitation des ressources naturelles au Canada entraîna un besoin urgent de cartes topographiques des vastes régions septentrionales, très souvent éloignées de voies de communication. Avant l'utilisation de l'hélicoptère la difficulté principale que rencontraient géodésiens et topographes résidait dans l'accès aux stations qui n'était alors possible qu'à pied et éventuellement avec l'aide d'animaux de bât ; par ces moyens les deux tiers du temps passé sur le terrain étaient réservés au transport du matériel, à l'établissement des camps, au layonnage et à la montée aux sommets. Il ne restait plus que le tiers de ce temps pour exécuter les travaux proprement géodésiques et topographiques. L'un des auteurs (A.G. Slocomb) rapporte que ce fut longtemps le rêve de tous les topographes de disposer d'un moyen qui leur permettrait de "voler" de sommet en sommet et le soir de retrouver le camp de base. Cet auteur qui, avant l'utilisation de l'hélicoptère avait participé à de nombreux travaux sur le terrain mais n'y prenait plus part, ne savait qui blâmer : son père ou l'inventeur de l'hélicoptère qui, l'un et l'autre en ce qui le concernait, avaient mal calculé leur affaire ! Au mois d'août 1948 l'utilisation de l'hélicoptère par le Department of Lands and Forests de la Colombie britannique

■ ■ ■

■ ■ ■ avait avant tout le caractère d'un test : l'appareil pouvait-il être efficacement utilisé pour déposer des topographes et leur équipement à proximité des stations prévues situées sur des sommets ou sur des crêtes et les ramener ensuite à leur camp de base ? La zone choisie présentait les caractéristiques suivantes : terrain très accidenté, maillage relativement serré de routes pour faciliter la maintenance de l'appareil, proximité d'un aérodrome d'altitude peu élevée, forte demande de la feuille à équiper (Echelle : 1 mile au pouce soit 1/63 360⁽⁷⁾).

Pour bien saisir le caractère expérimental et novateur de ce test, les auteurs soulignent que très peu de renseignements étaient alors disponibles sur les possibilités des hélicoptères et ce qu'ils avaient déjà réellement accompli. Le scepticisme s'accrût lorsqu'au cours du choix d'un appareil il se révéla que ses performances réelles se situaient bien en deçà de celles qui étaient annoncées. Le pilote lui-même n'avait jamais atterri en montagne et seulement une ou deux fois sur un aérodrome d'altitude ! Ce fut un hélicoptère Bell 47 qui fut finalement retenu. Avant les opérations sur le terrain une "table ronde" fut organisée ; toutes les phases du travail et tous les aspects de l'utilisation de l'hélicoptère furent discutés au bénéfice mutuel du pilote et des topographes. Les résultats de ces essais firent l'objet de deux grandes catégories de conclusions et d'enseignements. Ce qui suit est extrait de l'article : "The Helicopter on a Photo-Topographical Survey".

■ Les conclusions du pilote et du mécanicien

Les conclusions qui suivent sont celles déduites des essais de 1948 ; aujourd'hui encore ces conclusions peuvent être pertinentes.

L'altitude-densité doit être connue ; c'est la mesure de la résistance de l'air ; cette résistance dépend de plusieurs variables dont les deux plus importantes sont l'altitude et la température. A basse altitude et basse température l'air est dense et la pression élevée, tout aéronef motorisé est performant. Si l'appareil s'élève la pression décroît et il perd en efficacité. Il en est de même quand, pour une altitude du sol donnée, l'augmentation de la température entraîne une diminution de pression qui équivaut à une augmentation d'altitude pour ce qui concerne l'appareil : le moteur produit moins de puissance et la voilure moins de portance.

La température de l'air doit être connue avant tout atterrissage ou décollage afin que soit calculée l'altitude-densité.

La direction et la vitesse du vent doivent pouvoir être évaluées pour les manœuvres d'atterrissage. En un lieu où l'appareil se pose pour la première fois un fumigène est utilisé. Pour les atterrissages suivants un morceau d'étoffe suffit ; il est fixé à une courte hampe lestée à sa base ou fichée dans le sol.

Les aires d'atterrissage doivent être suffisamment vastes et horizontales. Mais en montagne on se contente parfois de surfaces très étroites. Le revers est parfois difficile à apprécier en raison des illusions d'optique créées par les rochers et les

parois environnantes. En haute montagne les alpages sont les surfaces les plus appropriées pour se poser mais les plus problématiques pour s'envoler. Lorsque l'appareil s'est posé sur le rebord d'un escarpement vertical il prend parfois son envol par une manœuvre qui consiste à le basculer dans le vide.

Les limites de charge dépendent de l'altitude du lieu d'atterrissage et des conditions de température (cf. : l'altitude-densité) ; elles doivent être scrupuleusement respectées.

■ Les conclusions des topographes

Ces conclusions sont surtout propres au contexte canadien de l'époque ou, de nos jours, à celui de vastes pays dans lesquels les liaisons terrestres restent difficiles.

Le choix des stations est dégrossi au camp de base à l'aide des cartes et de photographies aériennes ; mais le choix définitif est laissé à la brigade de terrain.

Des mesures de sécurité doivent être prévues ; elles consistent à emporter suffisamment de ravitaillement pour deux raisons : les observations peuvent être retardées par le mauvais temps ou l'immobilisation de l'hélicoptère à cause d'une mauvaise météorologie ou d'une panne. Un itinéraire de repli est à prévoir vers le point le plus proche de secours : voie de communication ou lieu habité.

Les approvisionnements peuvent poser des difficultés d'acheminement lorsque la distance est importante entre le dépôt et le camp principal.

Les communications par radiophonie sont d'une nécessité absolue dans ce genre d'opérations⁽⁸⁾.

■ Les enseignements tirés de cet essai

L'altimétrie barométrique par hélicoptère en vol stationnaire au-dessus de plans d'eau permet en trois quarts d'heure d'effectuer l'équivalent d'un travail qui, à pied, aurait demandé une semaine.

L'écoulement du temps, la fatigue du pilote et celle des topographes sont des facteurs fortement reliés. La fatigue du pilote est directement proportionnelle au nombre de décollages et d'atterrissages, plus qu'au temps passé en vol. La fatigue des topographes n'est pas réduite du fait des fréquents déplacements d'une station à une autre.

Le givrage du carburateur est un problème sérieux car la puissance nécessaire au dégivrage est perdue par ailleurs⁽⁹⁾.

L'entretien de l'hélicoptère est une série d'opérations primordiales plus ou moins longues, qui doivent être acceptées par les topographes.

Les quatre fautes à ne jamais commettre :

- Ne jamais considérer les atterrissages et les décollages comme des opérations de routine.
- Ne jamais sauter d'un hélicoptère en vol stationnaire.
- Ne jamais laisser sur le terrain une brigade sans le matériel nécessaire à l'établissement d'un camp.
- Ne jamais exiger du pilote et du mécanicien des tâches autres que les leurs.

(7) En 1950 le Système national de référence cartographique adopta le 1/50 000

(8) Deux incidents, heureusement sans conséquences graves, dus l'un à la déficience l'autre au manque de communication radiophonique, sont rapportés dans les récits "Nuit corse" et "Mission héliportée au Sahara" ("La boîte de Pandore – autres souvenirs retrouvés des derniers arpenteurs de l'IGN", Editions APR-IGN – 1995).

(9) Aujourd'hui ce problème ne se pose plus sur les turbines. Je remercie M. Renaud Lataillade du Groupement français de l'hélicoptère d'avoir revu et corrigé certaines parties de ce chapitre.

En France, les probables premières utilisations de l'hélicoptère en photogrammétrie

Lors de leur première utilisation de l'hélicoptère en topographie, les Canadiens s'en servirent en tant que moyen de transport ; il semble que les Français l'utilisèrent tout d'abord comme plate-forme de prises de vues.

■ Prises de vues dans les Terres australes et antarctiques françaises (TAAF)

Les TAAF étant dépourvues d'aérodromes et trop éloignées de pays qui en sont équipés, le seul moyen d'y voler reste l'hélicoptère. C'est celui qu'a utilisé le Professeur Albert Bauer pour réaliser au cours de l'été austral 1962-1963⁽¹⁰⁾, des prises de vues verticales de l'île de Kerguelen et de l'archipel des Crozet.

Conditions générales des prises de vues : l'utilisation d'un hélicoptère relativement léger, une Alouette II, et les conditions météorologiques propres à ces régions firent que la réalisation de couvertures photographiques régulières se révélèrent impossibles. Il était inutile d'envisager de photographier des bandes rectilignes et, a fortiori, parallèles entre elles avec un recouvrement convenable. Les vols photographiques ne pouvaient être que de courtes durées en raison des conditions météorologiques locales : vents violents, turbulences dangereuses, variations brutales de visibilité. Le vol rectiligne n'était possible que par vent arrière et la réalisation d'une bande que l'on aurait voulu parallèle à la précédente aurait nécessité le retour, à basse altitude, à la zone de départ.

Le matériel utilisé se composait d'une chambre automatique à film SOM et d'un intervallo-mètre-chronodéclencheur de même marque. La chambre reposait sur un plateau installé à l'extérieur de la cabine, et inclinée de 6,5° vers l'arrière⁽¹¹⁾ pour compenser l'assiette moyenne de l'hélicoptère en vol. L'intervallo-mètre était placé au-dessus de la trappe de cabine ; il recevait une inclinaison égale à celle de la chambre. Ainsi lorsque la bulle de sa nivelle se trouvait entre ses repères l'axe de la prise de vue était vertical. Cette verticalité était recherchée, dans la mesure du possible car difficile à obtenir et à maintenir, par le pilote qui agissait sur la vitesse. Dans la conclusion de son article le Professeur Bauer souligne que *"cette méthode demande avant tout un pilote confirmé, s'intéressant à l'exécution des prises de vues, une bonne entente entre pilote et opérateur, et donc, de la part de ce dernier, une bonne connaissance des conditions aérologiques et de l'utilisation de l'Alouette"*.

■ Prises de vues stéréophotogrammétriques pour le relevé à grande échelle de très hauts monuments

Les photographies de monuments élevés faites à partir du sol posent un problème difficile à résoudre : les parties hautes

sont très souvent masquées par les plus basses et l'échelle de la prise de vue décroît de la base vers le faite. En 1969 la Société française de stéréotopographie (SFS) a utilisé une Alouette III pour la prise de vue de façades et de tours des cathédrales de Bourges et Reims. L'hélicoptère, équipé d'une chambre Wild RC8 couplée à un système de flashes, a été utilisé pour réaliser à une quarantaine de mètres des monuments et à des hauteurs comprises entre 50 et 75 m au-dessus du sol des couples stéréoscopiques à bases verticales ou horizontales. L'utilisation de l'hélicoptère en vol stationnaire a permis de diminuer les effets de traînée, et l'emploi de flashes (exposition à 1/1000 avec obturateur ouvert à 1/200) de travailler en mauvaises conditions d'éclairage naturel et d'éliminer en grande partie les effets dus aux vibrations de l'appareil.

Expérience personnelle

Au cours de l'été 1971 j'ai participé au piquetage du tracé d'une ligne électrique à haute tension dans la partie de la Province de Québec frontalière du Labrador (Province de Terre-Neuve). Située sur le Bouclier canadien cette région présente un relief mou, peu prononcé, les lacs y sont fréquents ainsi que des marécages dans les parties basses. L'équipe dont je faisais partie disposait pour le transport du personnel et du matériel d'un avion et de deux hélicoptères⁽¹²⁾. La préparation de cet article me remet en mémoire quelques points concernant l'utilisation de ces appareils au cours de ce chantier.

■ Relation entre pilote et géomètres

L'un des pilotes, probablement peu au fait des nécessités liées aux travaux topographiques, jugeait désordonnées les activités des géomètres, notamment en ce qui concernait les déplacements parfois fréquents de personnel qui lui étaient demandés. Une "table ronde" préalable aurait vraisemblablement évité des frictions⁽¹³⁾.



Reconnaissance par hélicoptère d'un point géodésique repéré au sol.

(10) Un tableau d'assemblage de la Photothèque nationale indique qu'une précédente mission photographique héliportée avait été faite en 1957 (Colonel Genty) sur l'île aux Cochons.

(11) L'article du professeur Bauer est ainsi rédigé : *"L'ensemble du plateau est incliné de 6°30' vers l'arrière. Cette inclinaison compense l'assiette moyenne de l'Alouette en vol."* Or un hélicoptère en vol de translation bascule bien vers l'avant et ne se cabre pas ; il semble donc que la chambre doive être inclinée vers l'avant et non vers l'arrière.

(12) Un hélicoptère Bell et un Fairchild-Hiller.

(13) Au cours de la préparation des travaux complémentaires d'abornement franco-brésilien des difficultés sont aussi survenues entre géographes et militaires qui fournissaient un hélicoptère pour le transport du personnel et du matériel sur le terrain. (*"Sur la frontière Guyane - Brésil 1956- 1961-1962-1991"*, Jean Hurault et Pierre Frenay - Les Cahiers historiques de l'IGN, janvier 2005)



Poser près d'un point repéré au sol. L'hélicoptère est équipé de flotteurs.

■ ■ ■ ■ Flotteurs

Les deux appareils étaient équipés de flotteurs et pouvaient se poser sans difficulté sur un lac, un marécage et la terre ferme.

■ Dépôts de carburant

C'est le point noir de l'utilisation de l'hélicoptère. Des dépôts de carburant (des "caches") sont fréquemment organisés sur le territoire d'un chantier pour l'avitaillement des appareils. En plus des réserves au camp de base notre équipe avait préparé une ou deux "caches". Il nous est aussi arrivé à plusieurs reprises de trouver des bidons plus ou moins remplis, abandonnés par de précédents opérateurs car le coût de leur transport par voie aérienne, la seule possible, est élevé et il est plus facile et surtout moins onéreux de les laisser là où ils ont été déposés, même pleins. Ne sachant pas depuis combien de temps ces bidons avaient été abandonnés il n'était pas question d'utiliser ce carburant, "gracieusement offert" en raison de la présence possible d'impuretés, notamment d'éclats de métal dus à la décomposition du contenant, qui auraient pu endommager les moteurs. Depuis lors des fuites se sont très probablement produites ; qu'elle fut à la longue leur influence sur l'environnement (végétation, eau, animaux) ?

Il est parfois, mais très rarement, tenu compte de ce problème. Aussi est-il bon de signaler qu'en 1995, le Service de cartographie de l'Armée canadienne entreprit la récupération des bidons de carburant qu'il avait abandonnés sur l'île de



Découverte d'une "cache" de carburant abandonné par des opérateurs précédents. Le responsable du chantier de topographie indique que quatre bidons sont encore pleins, mais le carburant ne sera pas utilisé.

Baffin. Le ramassage fut un succès : le nombre de bidons récupérés s'élevait à 110 % de ceux abandonnés par le Service. Pour montrer l'importance du potentiel de pollution, plus de quatre cents d'entre eux étaient encore pleins. Après les avoir rassemblés ils étaient vidés, étuvés, déchiquetés et enterrés dans une décharge et le carburant brûlé. Il est bon aussi de souligner que l'organisation de cette opération semble ne pas s'être faite sans difficultés (importance des moyens à mettre en œuvre, du budget à prévoir)⁽¹⁴⁾.

■ Retour problématique vers le camp de base

En fin de journée les hélicoptères recueillaient les équipes de terrain (arpenteurs et bûcherons) pour les ramener au camp de base. Un soir de gros orage et à la tombée de la nuit, les conditions de vol se situant à leur limite, il s'en fallut de très peu que je ne restasse seul sur le terrain pour y passer la nuit, perspective qui ne m'enchantait guère ; ni vivre ni couvert de secours n'ayant été prévus. Abandonnant le matériel (aucun danger de vol, nous étions seuls dans la région) j'ai pu rapidement embarquer, bien heureux à la perspective de manger à ma faim et de retrouver un lit ! L'un des conseils donnés dans les "quatre fautes à ne pas commettre" n'avait alors pas été respecté (voir plus avant : ne jamais laisser sur le terrain...) !

(14) "Op Conservation 95", Scotty Alger-Geomatica Press, 1996



Sur le terrain, avitaillement en combustible de l'hélicoptère Bell.



En fin de journée, récupération d'un topographe qui aide à la manœuvre d'atterrissage en terrain encombré par la végétation. Le morceau d'étoffe blanche a permis au pilote d'évaluer la force et la direction du vent.

Participation directe de l'hélicoptère à des mesures géodésiques et topographiques

En géodésie l'hélicoptère a pu jouer un rôle autre que celui de moyen de transport. Ses possibilités de vol stationnaire ont permis de l'utiliser comme **"signal"** ou comme **"instrument de nivellement"** au-dessus de points à déterminer.

• "Signal"

Le Service géologique des Etats-Unis l'a utilisé comme "signal" pour fixer les coordonnées horizontale et verticale de points géodésiques de 4^e ordre implantés en zones forestières. A partir de points connus des mesures angulaires (horizontales et verticales) étaient faites sur un gyrophare fixé sur l'appareil lorsque celui-ci stationnait au-dessus du point à déterminer ; simultanément étaient exécutées des mesures électromagnétiques de distances. Un système de visée nadirale permettait au pilote de maintenir son appareil à la verticale du point. L'utilisation de l'hélicoptère évitait ainsi de longs cheminements topographiques ou le transport et la construction de signaux élevés.

• "Instrument de nivellement"

L'hélicoptère a pu être utilisé de deux manières pour le nivellement barométrique :

– Soit comme simple moyen de transport : l'appareil se pose, le topographe en descend avec son baromètre, s'en éloigne suffisamment pour éviter la surpression provoquée par le rotor et effectue ses observations.

En 1956, les Canadiens ont utilisé l'hélicoptère de cette manière, en pratiquant deux méthodes. Celle des deux bases, utilisée quand des points d'altitude connue sont disponibles en nombre suffisant ; des baromètres y stationnent en permanence et observent les variations de la pression atmosphérique. Et la méthode du saute-mouton dans laquelle le cheminement se fait à partir d'un point de référence et après une première série d'observations en ce point les baromètres se chevauchent l'un l'autre de point en point.

– soit en se stabilisant à une certaine hauteur au-dessus du sol, le topographe à bord de l'appareil note les lectures faites au baromètre et mesure la hauteur de vol par rapport au sol. Cette méthode est utilisée en terrain où les déplacements sont difficiles (forêts, marécages, etc.) et les aires d'atterrissage rares, voire inexistantes.

Des essais ont été menés en 1969 au Gabon, dans une région de parcours très difficile (forêt marécageuse) et totalement inhabitée, en utilisant un hélicoptère Alouette II. Ils firent l'objet d'un rapport⁽¹⁵⁾ dont on peut tirer les enseignements suivants : lors d'essais préalables à la mission proprement dite, trois baromètres furent embarqués à bord de l'hélicoptère. Les vibrations dues à l'appareil étaient en très grande partie éliminées par l'utilisation de coussins en mousse plastique sur lesquels reposaient les baromètres.

(15) "Utilisation de l'hélicoptère en nivellement barométrique – 2^e brigade de rattachement APR au Gabon-Octobre 1969", G. Durieux – Brazzaville le 6 janvier 1970 – Centre de documentation de l'IGN – N°49249

Les drones d'hélicoptère



Miniature Aircraft USA : équipé pour la photographie aérienne.

Les drones sont des engins capables d'évoluer dans les airs sans présence humaine à leur bord. Ils sont pilotés par téléguidage. Ils couvrent tous les types d'aéronefs : voilure fixe ou tournante, aérostats dirigeables. Leur dimension, leur puissance, leur performance, leur destination sont diverses.

Depuis déjà longtemps et pour certains travaux ces engins ont retenu l'attention des photogramètres et d'autres spécialistes concernés par des chantiers de petites dimensions car ils permettent de réaliser des prises de vues de manière autonome et économique, à de faibles hauteurs de vol, à proximité des objets à saisir, et aussi au-dessus de zones d'accès difficile à des aéronefs avec équipage ou de régions à restrictions aéronautiques ou dangereuses. Grâce à leurs qualités manœuvrières ce sont les drones d'hélicoptère* qui retiennent le plus l'attention. Ces appareils sont mus par de petits moteurs à essence ou électriques ; les premiers sont plus puissants et tiennent l'air plus longtemps, les seconds sont beaucoup plus silencieux.



Maxi-Joker 2 : spécialement étudié pour le transport de petites charges, incluant des appareils photographiques

Pour la photographie les constructeurs de ces drones ont étudié des supports orientables en direction et en inclinaison et qui préservent au mieux l'appareil de prises de vues des vibrations causées par le moteur. La puissance des drones utilisés ne leur permet d'emporter que de petits (comparés aux chambres photogrammétriques classiques) appareils soit à film (24 x 36 mm ou 6 x 6 cm) soit à dispositif numérique. Les commandes destinées aux prises de vues sont transmises à partir du sol : direction et inclinaison de l'axe optique, déclenchement de l'obturateur, réglage de la distance focale (zoom), etc.

* Contrairement aux modèles réduits d'avions, la construction et le pilotage télécommandé d'un drone d'hélicoptère ne peuvent être menés à bien que par des spécialistes. Le pilotage exige une grande expérience ce qui nécessite soit faire appel à un pilote chevronné soit s'entraîner longuement.



Les mesures se révélèrent stables et cohérentes⁽¹⁶⁾, les trois appareils réagissant immédiatement et sans retard aux variations rapides d'altitude de plusieurs centaines de mètres, affichant des valeurs correctes et uniformes, notamment celle de départ. Les paramètres pouvant avoir une influence sur les observations étant la hauteur de l'hélicoptère qui produit un effet de sol, l'angle d'incidence des pales qui est fonction de la charge et fait varier le déplacement de l'air à travers le rotor, la place du baromètre dans la cabine, la température et la vitesse de translation.

L'auteur du rapport insiste sur deux points évoqués auparavant par les Canadiens : le soin à apporter à la préparation du vol avec la participation du pilote, et la prise de toutes les mesures de sécurité en cas d'incident ou d'accident.

Pratique de l'hélicoptère dans le domaine des sciences géodésiques

Avantages : L'hélicoptère permet

- l'accès des topographes à des sites difficiles d'approche (principalement en montagne)
- le vol stationnaire pour certains travaux particuliers
- le survol à vitesses lentes et à faibles hauteurs et ainsi l'obtention d'une densité élevée de points, d'une meilleure résolution et d'une précision accrue (divergences limitées, distances justes)
- le survol de couloirs rectilignes ou sinueux (routes, voies ferrées, canaux, oléoducs, lignes de transport d'énergie électrique, etc.) (*Gaz de France a fréquemment utilisé l'hélicoptère pour la reconnaissance des tracés et la surveillance des gazoducs*)
- l'exécution en fin de bande des boucles très serrées pour amorcer rapidement la bande suivante
- de ne pas devoir retourner à un aéroport pour le ravitaillement en carburant (*si la pratique des "caches" est favorable pour la rentabilité elle est préjudiciable à l'environnement : voir précédemment*)

Désavantages

- coût d'exploitation plus élevé que celui d'un avion
- trop lent pour les prises de vues à petites échelles (vitesse rarement supérieure à 60 nœuds soit environ 110 km/h)
- autonomie de vol réduite (de l'ordre de 3 heures)
- capacité limitée d'emport pour le transport de charges importantes (instruments lourds et encombrants)

Contraintes

- appel à des entreprises locales spécialisées dans l'exploitation d'hélicoptères (*cette contrainte se transforme en avantage, notamment à l'étranger, pour les deux raisons principales suivantes :*
– *facilite l'obtention des autorisations de vol*
– *annule les frais d'acheminement de l'hélicoptère et limite les coûts de mise en œuvre*)
- appareils non spécialement aménagés pour les prises de vues*
- autorisations de survol plus difficiles à obtenir, parfois impossibles en raison de vols à basse altitude (*l'utilisation d'un avion bimoteur est souvent obligatoire au-dessus de zones urbaines*)

* L'IGN a toutefois exploité entre décembre 1976 et mars 1984 un hélicoptère Alouette III (F-BVVH) spécialement aménagé pour la photographie aérienne et la thermographie ; l'appareil a aussi servi à la calibration d'émetteurs et de réémetteurs du réseau TDF, ainsi qu'à l'acheminement de brigades géodésiques en zones montagneuses. (Il était une fois... le... "service des activités aériennes de l'IGN" (S.A.A.), J. Faivre – 1989).

L'acquisition des données

"La photogrammétrie est la technique qui se propose d'étudier et de définir avec précision les formes, les dimensions et la position dans l'espace"⁽¹⁷⁾ des objets au moyen de mesures faites sur des images perspectives de ces objets. Cette définition est très générale ; en topographie les objets considérés sont des portions plus ou moins étendues d'un territoire, c'est-à-dire le terrain. Ces images sont très généralement les représentations sur un écran plan des traces de rayons perspectifs ou de gerbes perspectives, ce qui permet de généraliser la définition de la photogrammétrie comme étant "toute technique de mesure qui permet de modéliser un espace 3D en utilisant des images 2D"⁽¹⁸⁾. Les méthodes courantes d'acquisition des données sont la photographie argentique ou numérique ; les méthodes plus récentes font appel au radar, au balayage par télémétrie aéroportée.

La géométrie des images photographiques

La géométrie conique est celle qui est utilisée dans tout appareil photographique classique. La géométrie cylindro-conique est utilisée dans certaines chambres photographiques.

En géométrie conique l'image perspective se forme soit sur une pellicule recouverte d'une couche sensible argentique, soit est enregistrée sous forme numérique par l'intermédiaire d'une matrice composée d'un grand nombre de petits éléments qui forment un dispositif à transfert de charge (DTC – en anglais : CCD pour "Charged Coupled Device").

Cette géométrie est celle qui est classiquement utilisée en photographie aérienne. Ce mode d'acquisition permet sans difficulté l'obtention de scènes stéréoscopiques qui sont, à une certaine échelle, des modèles en relief du terrain ; il suffit pour cela que chaque point de "l'objet", c'est-à-dire du terrain, figure sur au moins deux clichés pris de deux points de vues différents. A partir d'un aéronef l'axe des prises de vues à caractère topographique est très souvent proche de la verticale. Généralement c'est l'avion qui est utilisé pour la photographie aérienne à caractère topographique. Comparé à l'hélicoptère il permet d'enlever des charges utiles plus importantes, il offre davantage d'espace dans son habitacle, il assure au-dessus d'étendues plus ou moins vastes une meilleure régularité de vitesse, de stabilité et de trajectoire, son rayon d'action est supérieur et son coût d'exploitation inférieur. Cependant l'hélicoptère est préféré pour des vols de faible hauteur (200 mètres ou moins) et pour sa manœuvrabilité exceptionnelle qui lui permet :

- de progresser lentement pour réaliser des couvertures sys-

(16) Dans les années 1950, une première tentative de nivellement aéroporté avait pourtant été décevante : aucune lecture n'avait été possible sur les baromètres Fortin et anéroïde en raison des vibrations dues au moteur et aux pales ; rapporté dans " Du nivellement aéroporté " ("La boîte de Pandore – autres souvenirs retrouvés des derniers arpenteurs de l'IGN" Editions APR-IGN, 1995).

(17) "Photogrammétrie générale", Henri Bonneval Editions Eyrolles, Paris - 1972.

(18) "Photogrammétrie numérique", Michel Kasser et Yves Egels (sous la direction de) Hermès Sciences Publications, Paris - 2001.

La photogrammétrie au service de l'hélicoptère

La photogrammétrie industrielle permet la mesure dans les trois dimensions de grands objets de construction mécanique complexe. La photographie en général permet la saisie d'images en un laps de temps restreint, ce qui permet de s'affranchir des déformations de structure dues aux gradients de température et l'étude d'objets en mouvement même très rapide. L'incertitude des mesures est de l'ordre du millimètre pour un volume de l'ordre de 100 m³.

Ainsi la Société d'étude et de travaux photogrammétriques (S.E.T.P.)* a-t-elle contribué à des études sur des hélicoptères pour le compte de la Société nationale industrielle aérospatiale (S.N.I.A.S.) puis pour Eurocopter qui lui succéda :

- Numérisation d'un tronçon entre deux cadres afin de le modéliser en trois dimensions pour la reconstruction d'une matrice mécanique destinée à la confection de carénages latéraux d'un hélicoptère, la matrice originale ayant été détruite dans une usine de sous-traitance à l'étranger.
- Numérisation en trois dimensions de certains points caractéristiques de la structure d'un hélicoptère en les rattachant au référentiel de l'appareil, dans le but de mettre au point un système rapide et efficace de contrôle par du personnel peu spécialisé dans la méthode, des points sensibles de la structure et du train d'atterrissage. Ce type de contrôle a ensuite été étendu aux avions de lignes.

Désormais, pour ce type de mesures la métrologie industrielle utilise le scannage 3D qui permet de recueillir à partir d'une seule station située à plusieurs dizaines de mètres et en quelques minutes un nuage de plusieurs millions de points à une précision de l'ordre de +/- 10 ?m/m. Mais l'objet doit être immobile. Seule la photogrammétrie permet d'enregistrer des objets en mouvement même très rapide, ou des phénomènes fugitifs :

- mesure de déformation dynamique d'une pale d'un aéronef convertible, c'est-à-dire capable de décoller comme un hélicoptère puis de voler comme un avion. La détermination consistait à saisir

sous forme angulaire le "dévrillage" de la pale lors du basculement de son rotor. Cette application de la photogrammétrie à un hélicoptère, nécessitait l'utilisation de stroboscopes ; pour l'anecdote, la SETP s'était adjoint la collaboration de la société "Précision scientifique et industrielle" dont le fondateur ne fut autre qu'Etienne Oehmichen (voir l'historique).

- Mesure des déformations élastiques au moment du choc avec le sol lors de l'écrasement d'un hélicoptère Puma S.A. 330 tombant en chute libre, et des déformations statiques du plancher qui supporte les turbines. La difficulté résidait dans la synchronisation des prises de vues stéréométriques avec l'impact au sol de la structure lâchée d'une hauteur de 10 m.
- Mesure de déformation de la structure d'un hélicoptère par soulèvement de l'appareil simulant un décollage, pour connaître la déviation angulaire entre le point de fixation de l'appareil de visée et la tourelle de tir.

De son côté le département de photogrammétrie de l'Université Laval à Québec (Canada) a participé, à la demande de la division Vertol de la compagnie Boeing, à l'étude sur une maquette placée dans une soufflerie de l'aérodynamique des remous produits par un rotor d'hélicoptère. La visibilité des filets d'air, qui décrivaient une sorte de spirale, était assurée par une fumée blanche qui s'échappait de l'extrémité d'une pale. Et des mesures faites sur la voilure elle-même permirent de tirer des conclusions sur les déformations de cette dernière.

* Société d'étude et de travaux photogrammétriques (S.E.T.P.)
451, boulevard Georges Clemenceau 13654 Salon-de-Provence
setp@club-internet.fr

- "Des systèmes de poursuite laser mobiles optimisent la métrologie chez Eurocopter" Reporter N° 50, Leica Geosystems
- "Contrôles dimensionnels par photogrammétrie de structures d'hélicoptères", Maurice Blaustein SETP France - Mesures photogrammétriques sur hélicoptères - Rapport 2006
- "Analyse photogrammétrique de l'aérodynamique d'une voilure tournante", Dr. A.-J. Brandenberger Bulletin N° 41 (janvier 1971) de la Société française de Photogrammétrie.

tématiques spéciales⁽¹⁹⁾ ou qui nécessitent des vitesses peu élevées ;

- de s'immobiliser au-dessus des "objets" à photographier ;
- d'atteindre des "objets" inaccessibles pour des travaux au sol⁽²⁰⁾ ;
- de procéder à des déplacements horizontaux et verticaux qui permettent de jouer sur les angles et les échelles des prises de vues ;
- de se retirer rapidement de sites sujets à des prises urgentes de mesures de sécurité⁽²¹⁾ et, au besoin, de pouvoir se poser au plus vite.

En géométrie cylindro-conique l'enregistrement se fait sur un capteur DTC situé au foyer de l'optique et perpendiculaire au vecteur-vitesse de l'image. Transversalement l'image se crée "naturellement" ; longitudinalement elle est engendrée, sous forme d'une bande qui peut être très longue, par le déplacement de la plate-forme. Mais ce mode d'enregistrement ne permet pas l'obtention de scènes stéréoscopiques, donc la reconstitution de modèles en relief, puisque chaque point du terrain n'est enregistré qu'une seule fois. Mais si l'on dispose en plus de la visée verticale d'un système de pointage oblique vers l'avant et vers l'arrière de l'aéronef tout point est observé

à partir de trois points de vues différents et la stéréoscopie devient alors possible. Ce mode d'enregistrement d'images a d'abord été utilisé à bord de satellites. Maintenant il est aussi pratiqué à bord d'avions et d'hélicoptères⁽²²⁾.

La télémétrie aéroportée

Le principe de fonctionnement repose sur la différence entre le temps de l'émission d'une impulsion laser et celui de sa réception après qu'elle a été réfléchi par l'objet visé. L'instrument utilisé est donc un télémètre électronique équipé d'un disposi-

(19) "Saisie spatiale et représentation infographique en trois dimensions d'un complexe architectural à l'aide de prises de vues aériennes obliques", F.J. Heimes, J. Kanne, H. Junius - Bulletin N° 107 (1987,3) de la Société française de photogrammétrie et de télé-détection

(20) "Helicopter supported photogrammetric survey of Ramsberg Castle", G. Eckstein, J. Peipe - The Photogrammetric Record, Vol.15, Issue 87 (April 1996), pages 447-453

(21) Par exemple dans le prolongement de pistes d'aérodromes.

(22) Il est à noter qu'au cours de la Seconde Guerre mondiale l'aviation américaine de reconnaissance avait utilisé cette géométrie avec des chambres de prises de vues aériennes démunies d'obturateur et à déroulement continu du film. Les vols se déroulaient à très basses altitudes (parfois quelques dizaines de mètres) et à grandes vitesses, les temps d'exposition étaient très brefs.



Hélicoptère équipé pour la télémétrie laser aéroportée. L'armature que forment la nacelle qui abrite les capteurs et les deux bras qui supportent les antennes GPS, constitue un ensemble rigide. Ce dispositif,

fixé sous l'hélicoptère, évite le rattachement géométrique des différents éléments (capteurs, antennes GPS, centrale à inertie) les uns par rapport aux autres à chaque nouvel équipement d'un hélicoptère. Le seul désavantage d'un tel montage serait son aspect impressionnant qui peut parfois intriguer et inquiéter des observateurs terrestres non avertis.



Console d'acquisition installée à bord d'un hélicoptère.

tif optico-mécanique (miroir tournant ou oscillant) qui assure un "fauchage" très rapide du terrain (qui peut atteindre 150 000 points par seconde, voire plus). L'étendue de chaque "fauchée", qui est transversale à la trajectoire de la plate-forme est en

général égale à l'altitude de vol (entre 60 et 200 m, avec une densité de plusieurs dizaines de points par mètre carré). La progression de l'aéronef, la plupart des cas un hélicoptère en raison de la faible hauteur de vol, assure la couverture longitudinale ; il s'agit d'un enregistrement comparable à celui de la photographie en géométrie cylindro-conique.

Si la trajectoire de l'hélicoptère était idéale, c'est-à-dire parfaitement rectiligne et à altitude constante, l'enregistrement obtenu serait un fidèle modèle numérique du terrain (MNT). Mais un aéronef volant à plus ou moins basse altitude subit les turbulences de l'air qui engendrent des mouvements permanents : roulis, tangage, lacet, changements de vitesse et d'altitude. Il est donc indispensable de connaître en permanence les variations de l'assiette⁽²³⁾ du capteur, par observation continue selon les trois axes de ses inclinaisons, et les coordonnées de son centre optique. Ces données sont obtenues à l'aide d'une centrale à inertie couplée à un récepteur GPS. Une fois qu'elles sont connues on peut faire subir à l'enregistrement des mouvements "inverses" à ceux observés au cours du vol et le reconstituer tel qu'il aurait pu être obtenu si l'aéronef avait conservé une trajectoire parfaite tout au long de la prise de vue. ●

Remerciements

à Messieurs : Blaustein, SETP, France – Derwael, Hogeschool Antwerpen, Belgique – De Boeck, Eurosense, Belgique – Tiberghien, FIT SA, France – Bayerli, Fugro-Inpark BV, Pays-Bas – Lacombe, Geiod-Fugro SAS, France – Dübert (et Mme Pavell), Hansa Luftbild, Allemagne – Boulay, Jouis et Lataillade, Groupement français de l'hélicoptère, France.

Bibliographie

René Chambe *Histoire de l'aviation* – Flammarion – Paris – 1972
Charles H. Gibbs-Smith *Aviation – An historical survey from its Origins to the end of World War II* – Her Majesty's Stationery Office – Londres – 1985

Yves Le Bec *La véritable histoire de l'hélicoptère de 1486 - 2005* Editions Jean Ducret SA – Chavannes-près-Ressens (Suisse) - 2005

Le Pays d'Auge *Trente années dans le ciel de Lisieux* – 48^e année – Numéro spécial Juin/Juillet 1995 – 14100 Lisieux

A.C. Hamilton and L.M. Sebert *"Significant Dates in Canadian Surveying Mapping and Charting"* – Geomatica Press, 1996

A.G. Slocomb *"The Helicopter on a Photo-topographical Survey"*, The Canadian Surveyor, Volume X, July 1949, Number 1

H.N. Spence *"Helicopter Operation – Knob Lake Vicinity Québec-Labrador - Season 1949"* The Canadian Surveyor, Volume X, January 1951, Number 7

G.C. Emerson *"Topographical Mapping by Helicopter"* The Canadian Surveyor, Volume X, January 1952, Number 11

P.C. Atkinson *"The Use of the Helicopter for Topographical Mapping Survey"* – The Canadian Surveyor, Volume XI, October 1953, Number 6

Albert Bauer *"Utilisation de l'hélicoptère Alouette II pour la prise de vues verticales"*, Bulletin N° 11 (octobre 1963) de la Société française de Photogrammétrie

Pierre de Fontguyon *"Emploi conjugué d'un hélicoptère et de flashes pour les prises de vues stéréophotogrammétriques ayant pour objet le relevé à grande échelle de très hauts monuments"*, Bulletin N° 48 (octobre 1972) de la Société française de Photogrammétrie

Manual of Photogrammetry- Fourth Edition *"Field Surveys for Photogrammetry – Surveys Giving Both Horizontal and Vertical Control"* American Society of Photogrammetry, 1980.

M.S. Slivitzky *"Precise Barometric Levelling in Northern Quebec using Helicopter for Transportation"*, The Canadian Surveyor, Vol. XIV, October 1958, No. 5

L. Laflamme *"Precise Barometric Levelling in Northern Quebec with the Help of Helicopters"* The Canadian Surveyor, Vol. XIV, January 1959, No. 6

Gordon Petrie *"Ground Based Aerial Photography"*, GEOInformatics, Volume 9, 4, June 2006

J.M. Ales et D. Talaga *"Prise de vues aérienne à basse altitude par des moyens non conventionnels"*, Ecole supérieure des Géomètres et Topographes, 1982.

(23) contrairement à l'usage nous avons préféré utiliser le substantif assiette à celui d'attitude qui est repris de l'anglo-américain ; car avec attitude, latitude et altitude on arrive parfois à ne plus s'y retrouver !

ABSTRACT

During the year 2007 the birth of the helicopter is commemorated. In fact it is in 1907 that Louis Breguet made experiments with his "Gyroplane" ; and Paul Cornu made the first free flight of a man aboard an aircraft of this type. Many events are scheduled in France to celebrate this centenary. The first practical applications of this machine took place a few years after the end of the Second World War. Nowadays it is widely used in numerous fields. It is interesting to see what were its uses in various domains of surveying and mapping.