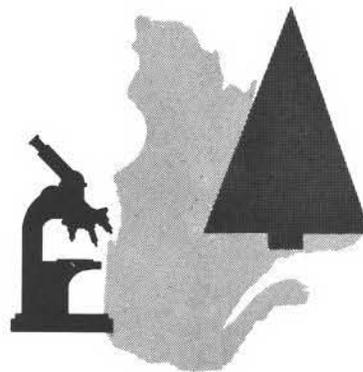




GOUVERNEMENT DU QUÉBEC  
MINISTÈRE DES TERRES ET FORÊTS  
SERVICE DE LA RECHERCHE



## Note n° 1, 1972

### Calibration d'un radar-altimètre propre à la photo-dendrométrie

Gilles Ladouceur<sup>1</sup>

O.D.C. 587.5 -- 017 (047.3) L.C. SD 555 L

#### Résumé

La première étape du travail a consisté à établir sur une grande surface plane et dénudée, une grille de 32 signaux pour lesquels on a déterminé les coordonnées.

Par la suite, des survols à diverses hauteurs au-dessus du sol entre les valeurs limites de 1 000 et 4 000 pieds (300 et 1 175 m) ont été effectués à l'aide d'un avion bimoteur.

En laboratoire, la hauteur de la caméra au-dessus du sol a été calculée sur chacun des négatifs; et ces valeurs ont été confrontées à celles enregistrées par le radar-altimètre, afin d'apporter les corrections nécessaires au mécanisme électronique.

Les résultats de la calibration montrent que l'erreur des lectures du radar-altimètre est inférieure à 1 p. 100 de la hauteur de l'avion.

Quelques essais effectués dans certains peuplements forestiers indiquent que pour une hauteur moyenne de 1 600 pieds (490 m) nécessaire pour obtenir une photographie à l'échelle de 1:800 en utilisant une focale de 24 pouces (610 mm), l'erreur moyenne se chiffre à — 10.7 pieds (3,26 m), soit 0.7 p. 100 de la hauteur de l'avion.

Par contre, pour une hauteur moyenne de 2 900 pieds (880 m), l'erreur atteint — 48.2 pieds (14,7 m), soit 1.7 p. 100 de la hauteur de l'avion.

Ces tests ne fournissent que des résultats approximatifs, car la mauvaise disposition des repères terrestres nous a empêché d'apporter les corrections

nécessaires à l'inclinaison de la photographie, et aux différences d'élévation entre les signaux et le centre géométrique de la photographie.

Cette étude, réalisée avec la collaboration de messieurs R. L. Westby, W. Grenier, M. Marcheterre et W. Taylor, a été partiellement subventionnée par le Service de la recherche du ministère des Terres et Forêts du Québec.

#### Summary

*The first step of the study was to determine the coordinates of 32 targets systematically distributed on flat, base terrain. Flights with a twin-engine aircraft were carried out at various heights between 1 000 and 4 000 feet (305 and 1 220 m). Aircraft heights computed from each photograph were compared with the radar altimeter data. Calibration results showed that error was less than 1 p. 100 of aircraft height.*

*Tests carried out over forested areas indicated errors equal to 0.7 p. 100 for a height of 2 800 feet (854 m). These results are considered approximate because of the impossibility of evaluating errors due to camera tilt and to height differences between target positions and photograph center.*

*This study was carried out with the cooperation of Messrs. R. L. Westby, W. Grenier, M. Marcheterre and W. Taylor; it was partially subsidized by the Research Service of the Quebec Department of Lands and Forests.*

<sup>1</sup> Professeur titulaire de photogrammétrie forestière et de photo-interprétation, Département de photogrammétrie, université Laval.

## Introduction

L'inventaire d'un territoire forestier en vue de déterminer le contenu ligneux devient de plus en plus onéreux par voie terrestre si on s'applique à réaliser un plan de sondage plus représentatif des peuplements forestiers qui composent la forêt. Ordinairement, on se limite à échantillonner les peuplements forestiers qui sont économiquement accessibles par voie terrestre et l'on assume que ces derniers sont représentatifs de l'ensemble de la forêt.

Afin de remédier à cette faiblesse du sondage, des recherches ont été entreprises en vue de mettre au point un procédé photogrammétrique qui pourrait remplacer partiellement le travail sur le terrain. Il consiste à photographier du haut des airs des peuplements forestiers choisis par le plan de sondage. Ces photographies à grande échelle servent de documents de base pour la mesure des variables liées à l'estimation du volume des tiges par unité de surface. Cependant il importe de connaître l'échelle de la photographie à l'endroit de la place d'étude. Parmi les façons de réaliser ce travail, on a opté pour l'usage de l'avion dans lequel sont installés une caméra aérienne, un radar-altimètre et d'autres accessoires propres à ce genre de prise de vue.

Cette étude, subventionnée partiellement par le Service de la recherche du ministère des Terres et Forêts du Québec, a été réalisée avec la collaboration de messieurs R. L. Westby, technicien en électronique au Conseil national des recherches à Ottawa; W. Grenier, président d'une compagnie privée de prise de vue; M. Marcheterre, ingénieur forestier à l'emploi de la Compagnie Internationale de Papier du Canada et W. Taylor, pilote de l'avion. Elle porte sur la calibration d'un radar-altimètre spécialement conçu pour indiquer la distance la plus courte entre la caméra aérienne et le sol.

## Description du radar-altimètre

Cet instrument déjà décrit par Westby<sup>2</sup>, se compose d'une antenne de trois pieds de diamètre fixée sous l'avion (fig. 1 et 2). Celle-ci est reliée à un tableau de bord (fig. 3) et à la caméra aérienne pour l'enregistrement des lectures d'altitude.

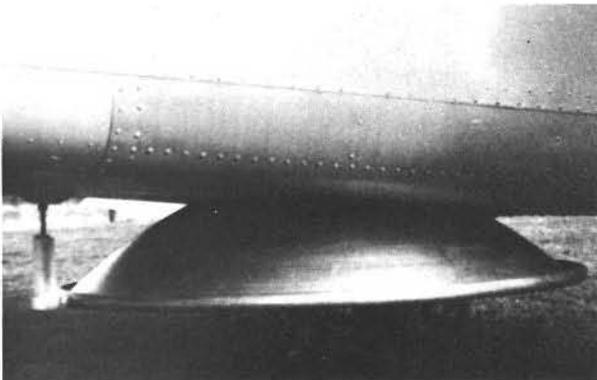


Fig. 1 — Antenne du radar-altimètre vue de l'extérieur de l'avion.

<sup>2</sup> A Radar altimeter for photogrammetric survey of forests. National Research Council, Ottawa, January 1967.

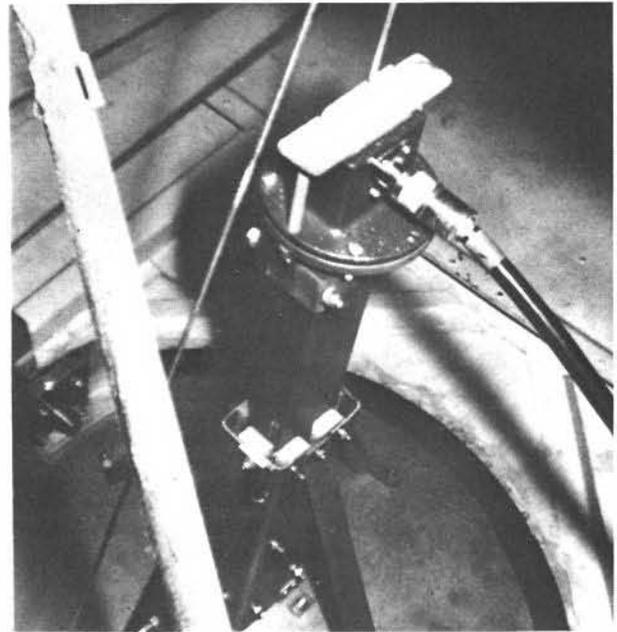


Fig. 2 — Antenne du radar-altimètre vue de l'intérieur de l'avion.

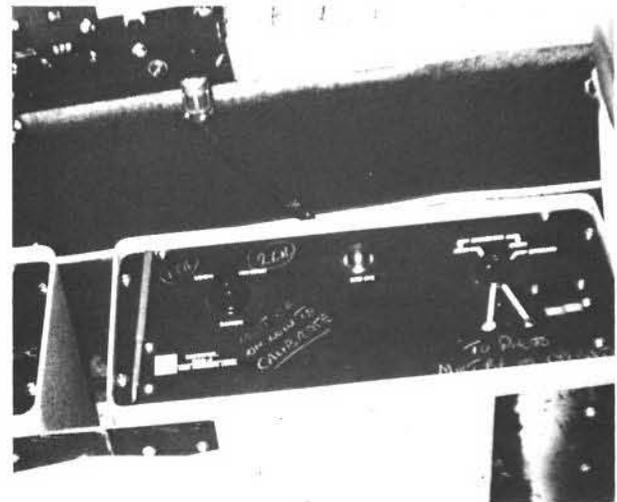


Fig. 3 — Tableau de bord lié au radar-altimètre.

Le faisceau de pulsations qui se dirigent au sol forme un angle de 5 degrés. À leur retour, seules les plus fortes, *i.e.* celles qui se situent dans la partie centrale (2.3 degrés) du faisceau sont captées par le récepteur. La fréquence de ces ondes s'élève à 4 200 mégacycles de façon à ce que l'énergie réfléchie du sol soit suffisamment supérieure à celle provenant du couvert forestier pour être sélectionnée. Ainsi la lecture indique la plus courte distance entre l'antenne et partant la caméra aérienne et le sol à l'intérieur d'un cercle dont l'angle du faisceau est de 2.3 degrés et qui se situe au centre géométrique de la photographie. La lecture de l'altitude au moment de la prise de vue est enregistrée dans la marge de la pellicule photographique au moyen d'un système de chiffres lumineux (fig. 4).

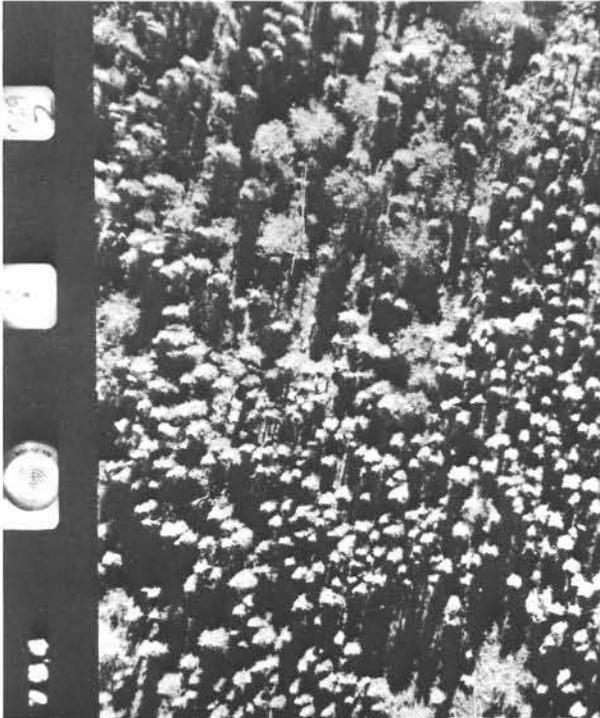


Fig. 4 — Lecture de l'altitude et signaux dans le peuplement forestier (échelle de 1:792)

### Calibration d'un appareil

La première étape du travail a consisté à établir, sur une grande surface plane et dénudée, une grille de 32 signaux (fig. 5) pour lesquels on a mesuré les coordonnées. Les signaux étaient fabri-

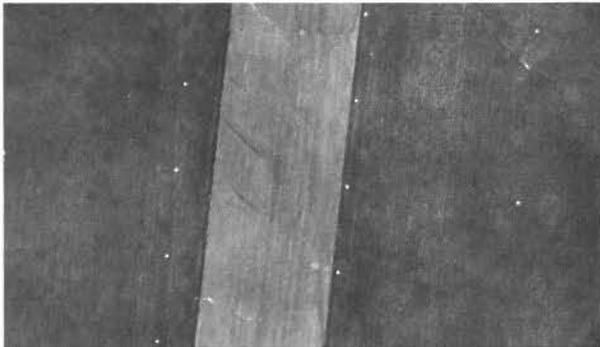


Fig. 5 — Grille de signaux utilisée lors de la calibration du radar-altimètre.

qués d'une croix en bois peinte en noir dont les pièces avaient une longueur de quatre pieds. De plus, afin d'augmenter le contraste, celle-ci était placée sur un morceau de coton blanc (fig. 6).

Lors d'une deuxième étape, on a effectué des survols à diverses altitudes entre les valeurs limites de 1 000 et 4 000 pieds (305 et 1 220 m) en utilisant un avion bimoteur du type *Apache 235* (fig. 7).

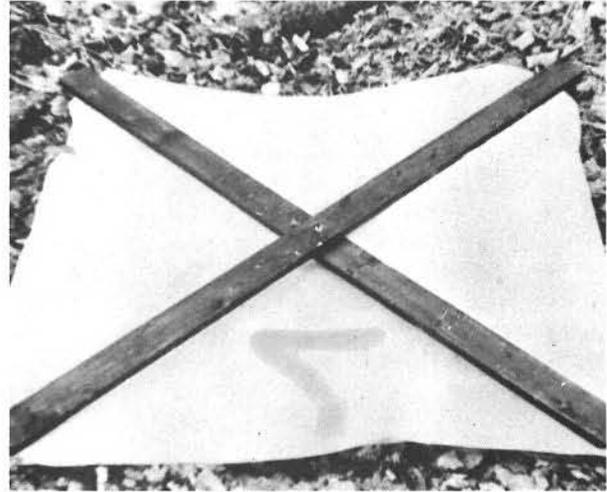


Fig. 6 — Gros plan d'un signal.



Fig. 7 — Avion bimoteur du type *Apache 235*.

En laboratoire, la hauteur de la caméra au-dessus du sol a été calculée sur chacun des négatifs en utilisant la relation suivante :

$$H = \frac{f D}{d}$$

dans laquelle :

H = hauteur de l'avion au-dessus du sol.

f = distance focale de la caméra.

D = distance sur le terrain entre les signaux.

d = distance sur le négatif entre l'image des signaux correspondants. Celle-ci était corrigée pour l'inclinaison de la photographie.

Ces valeurs de hauteurs ont été confrontées à celles enregistrées par le radar-altimètre afin d'apporter les corrections nécessaires au mécanisme électronique de l'instrument.

À la suite d'essais successifs, on a réussi à obtenir pour deux bandes d'altitude données, des résultats dont l'erreur est inférieure à 1 p. 100 (fig. 8 et 9).

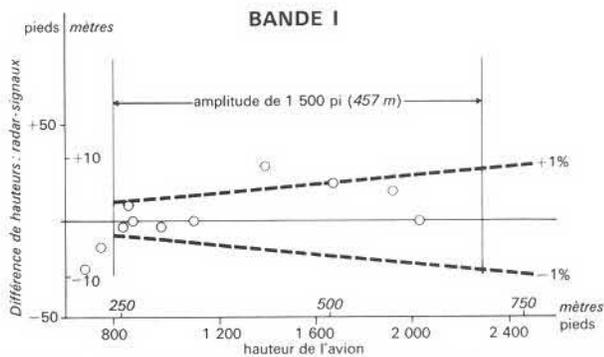


Fig. 8 — Relation entre la hauteur de l'avion et la différence de hauteurs (radar — signaux)

La première bande (fig. 8) dont les limites de hauteur sont 800 à 2 300 pieds (244 et 701 m) a été choisie pour effectuer une prise de vue à l'échelle d'une chaîne au pouce (1 : 792) en utilisant une caméra dont la distance focale s'élève à 610 mm (24 pouces). La distribution des points montre que la différence entre les lectures du radar et celles calculées par les signaux est surtout positive et n'est pas proportionnelle à la hauteur. Elle indique une erreur à peu près nulle entre les valeurs 800 et 1 200 pieds (244 et 366 m) et pour celle de 2 100 pieds (640 m) environ. Par contre, vers la hauteur de 1 500 pieds (457 m), l'erreur atteint une valeur positive et maximale de 25 pieds (7,6 m) soit 1.7 p. 100 de la hauteur.

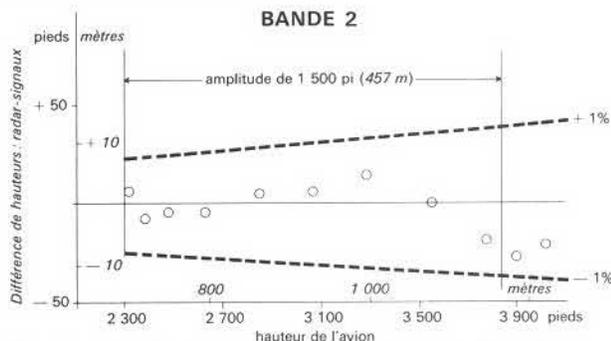


Fig. 9 — Relation entre la hauteur de l'avion et la différence de hauteurs (radar — signaux)

La deuxième bande (fig. 9), oscillant entre 2 300 et 3 800 pieds (701 et 1 159 m) permet une prise de vue à l'échelle de deux chaînes au pouce (1 : 1 584) en tenant compte comme dans le premier cas, d'une variation du relief égale à 1 500 pieds (457 m). Cette fois, la représentation graphique des points est tout à fait différente de la précédente. Alors que la fonction de la première bande indiquait une courbe en forme de cloche, celle-ci montre une forme sinusoïdale. Ainsi, entre les hauteurs de 2 400 et 2 700 pieds (732 et 823 m), la différence est négative, alors qu'elle devient positive entre les valeurs de 2 700 et 3 500 pieds (823 et 1 067 m). Ces différences, qui sont toujours inférieures à 1 p. 100, donnent en moyenne, pour l'amplitude de la bande, une valeur algébrique à peu près nulle.

#### Test de la précision du radar-altimètre en forêt

Un premier essai a été effectué au printemps 1967 dans divers peuplements forestiers situés dans la région de Québec. Le survol de ces peuplements

s'est effectué aux hauteurs moyennes de 1 600 à 3 200 pieds (489 et 976 m) afin d'obtenir des photographies aux échelles d'une et de deux chaînes au pouce (1 : 792 et 1 : 1 584) en se servant de la caméra aérienne Zeiss pourvue d'une focale de 610 mm (24 pouces). Les signaux consistaient en des repères naturels, tels que des arbres renversés, des intersections bien définies de sentiers, des cailloux ou toute autre indication reposant sur le sol et pouvant servir de station de mesure. Malheureusement, des défauts dans le système calorifique des circuits électroniques du radar-altimètre ont fourni des lectures fausses.

Au cours de l'été 1969, la Compagnie Internationale de Papier du Canada a établi, par l'entremise de messieurs J.-L. Colbert et M. Marcheterre, ingénieurs forestiers, douze places d'étude d'un dixième d'acre (0,04 ha) et de forme carrée dans des peuplements résineux (épinette-sapin) de la région du réservoir Guoin.

Les quatre extrémités des parcelles étaient signalées à l'aide de croix peintes en noir sur un fond blanc. Les signaux étaient placés à une hauteur variant de quatre à six pieds (1,2 à 1,8 m) au-dessus du sol afin de pouvoir les identifier plus facilement sur la photographie aérienne (fig. 4).

La prise de vue a été effectuée à l'aide de la caméra Zeiss (f = 610 mm) (fig. 10) fixée dans un avion du type Apache 235. Le film tri-X a été utilisé à cette fin. Les places d'études ont été photo-

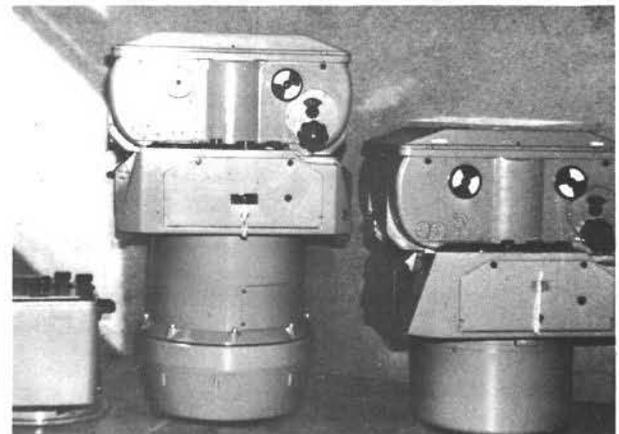


Fig. 10 — Caméras 610 mm et 152 mm.

graphiées à deux échelles différentes, soit une chaîne au pouce (1 : 792) et deux chaînes au pouce (1 : 1 584).

La distance entre l'image photographique des signaux était de l'ordre de 25 mm pour la photographie à l'échelle d'une chaîne au pouce et de 14 mm environ pour celle à l'échelle de deux chaînes au pouce.

Une règle micrométrique a servi à prendre les mesures sur la photographie et les lectures obtenues n'ont subi aucune correction due à l'inclinaison de la photographie, à la différence de hauteur d'une part entre l'élévation de la station et celle du centre géométrique de la photographie et d'autre part entre les élévations des signaux de la station.

L'estimation de la hauteur calculée à l'aide des signaux a été faite en utilisant la relation déjà énoncée lors de la calibration du radar-altimètre.

Nous présentons dans les tableaux 1 et 2 les résultats obtenus entre les hauteurs calculées à l'aide des signaux et celle enregistrée par le radar-altimètre pour chacune des photographies. La hauteur calculée est la moyenne arithmétique de deux à huit valeurs selon le nombre de distances entre les signaux qu'il était possible de mesurer sur la photographie.

Les résultats montrés dans le tableau 1 indiquent que le radar-altimètre accuse pour cette hauteur moyenne de 1 567 pieds (478 m) une sous-estimation moyenne de 10.7 pieds (3,26 m). Nous remarquons que cette valeur est négative, alors qu'elle était positive lors de la calibration de l'appareil (fig. 8). Cependant, nous considérons que cette erreur égale à 0.7 p. 100 de la hauteur est relative, car il nous fut impossible d'apporter les

corrections nécessaires dues à l'inclinaison de la photographie et aux différences d'élévation du terrain et des signaux.

En ce qui a trait aux photographies à l'échelle de deux chaînes au pouce (1:1 584 environ), les résultats présentés dans le tableau 2 indiquent que les différences de hauteur ont une tendance beaucoup plus marquée que précédemment. À l'exception d'une seule valeur (+ 27 pieds ou 8,2 m), toutes les différences sont négatives, ce qui laisse supposer que le radar-altimètre fournit pour cette hauteur de 2 882 pieds (879 m) une surestimation moyenne de 48.2 pieds (14,7 m) soit 1.7 p. 100 de la hauteur. Encore ici, nous n'avons pas tenu compte des erreurs dues à l'inclinaison de la photographie, car les distances à mesurer sur les photographies étaient très courtes (14 mm), ce qui entraîne une erreur instrumentale de la mesure plus grande que celles déjà énumérées.

**Tableau 1 — La hauteur moyenne calculée par les signaux et la hauteur du radar altimètre pour les photographies à l'échelle approximative de 1:792.**

Photo no	Nombre de lectures	Hauteur moyenne calculée (pieds)	Hauteur radar (pieds)	Différence de hauteur (pieds)
365	2	1620	1658	—38
364	4	1618	1611	+ 7
363	4	1641	1594	+47
362	2	1626	1596	+30
361	4	1620	1595	+25
360	6	1613	1587	+26
359	4	1607	1601	+ 6
358	4	1586	1587	— 1
357	4	1583	1564	+19
356	5	1545	1520	+25
355	4	1545	1510	+28
354	4	1555	1531	+24
353	4	1554	1537	+17
352	4	1562	1560	+ 2
351	5	1560	1558	+ 2
350	4	1566	1563	+ 3
347	4	1615	1608	+ 7
346	6	1622	1631	— 9
345	4	1653	1628	+25
344	4	1637	1613	+24
341	4	1528	1554	—26
340	4	1534	1490	+44
339	4	1436	1459	—23
338	4	1445	1451	— 6
Moyenne		1577.9 481,1 m	1567.2 477,8 m	—10.7 —3,26 m

**Tableau 2 — La hauteur moyenne calculée par les signaux et la hauteur du radar altimètre pour les photographies à l'échelle approximative de 1:1 584.**

Photo no	Nombre de lectures	Hauteur moyenne calculée (pieds)	Hauteur radar (pieds)	Différence de hauteur (pieds)
323	6	2860	2894	—34
322	5	2797	2894	—97
321	5	2824	2888	—64
320	6	2800	2807	— 7
319	8	2808	2838	—30
318	5	2793	2813	—20
317	6	2788	2857	—69
316	4	2786	2896	—110
315	4	2855	2922	—67
314	5	2881	2937	—56
313	2	2944	2984	—40
312	4	2851	2928	—77
311	5	2836	2873	—37
310	5	2865	2838	+27
309	4	2811	2854	—43
Moyenne		2833.3 <i>863,8 m</i>	2881.5 <i>878,5 m</i>	—48.2 <i>—14,7 m</i>

### Conclusion

Ces tests ne nous ont pas permis de déterminer exactement la précision du radar-altimètre, mais plutôt de montrer que cet instrument fournissait des résultats qui se rapprochaient de la réalité. Puisque le radar-altimètre enregistre la plus courte distance entre l'antenne et le sol à l'intérieur d'un faisceau de 2.3 degrés, une inclinaison de la photographie inférieure à cet angle n'influence pas la lecture du radar-altimètre alors qu'elle affecte la hauteur calculée à l'aide des signaux. Il en est ainsi des différences d'élévation des signaux et du centre géométrique de la photographie.

C'est pourquoi, il serait souhaitable que soit établi un réseau de stations permanentes situé à un endroit représentatif et pouvant servir occasionnellement de signaux. Ainsi il serait possible de vérifier périodiquement l'état de la calibration du radar-altimètre. De plus, puisque la qualité de la photographie est une variable fortement liée à la précision de la mesure de la parallaxe, on devrait également ajouter au réseau de stations permanentes, les gabarits qui permettent de mesurer la qualité de la définition d'une image photographique. Ainsi des facteurs de correction établis par ces tests pourraient être appliqués à la lecture de la parallaxe afin d'estimer encore plus exactement la hauteur des arbres.