

14ème Congrès de la Société Internationale de Photogrammétrie

Hambourg 1980

Commission 1

COMMUNICATION SUR LE SYSTEME APR-LASER DE L'I.G.N.

PAR M. R. BROSSIER INGENIEUR GEOGRAPHE

INSTITUT GEOGRAPHIQUE NATIONAL

R E S U M E

L'Institut Géographique National a mis au point en 1979 un nouveau système pour l'enregistrement aéroporté de profils du terrain, en vue de l'établissement du canevas altimétrique des levés photogramétriques à petite échelle en zone désertique. Ce système est destiné à remplacer l'APR-radar utilisé auparavant à l'I.G.N., moins précis et non embarquable sur avion pressurisé tel que Mystère 20 ou Beechcraft Super King Air.

Le système APR-laser s'articule autour d'un télémètre à laser TAY 130 construit par la CILAS et d'un hypsomètre H 51 Schlumberger dont les données sont enregistrées et traitées sur ordinateur HP 9825 et restituées sur imprimante à bord de l'avion. La localisation des profils est obtenue à l'aide d'une caméra 35 mm ; elle peut être complétée par une prise de vues stéréoscopique 24x24 cm dans le cas de zones particulièrement pauvres en détails topographiques.

Ce système est actuellement mis en oeuvre pour l'établissement de la cartographie à 1:100 000 du désert du Rub Al Khali en Arabie Saoudite (500 000 km² environ).

Les travaux d'établissement du canevas de restitution photogrammétrique se heurtent à des difficultés sérieuses dans le cas de levés à petite échelle (1:100 000, 1:200 000) de zones désertiques. Ces régions sont en général étendues, pauvres en moyens logistiques, d'accès difficile et dépourvues d'équipement géodésique et de nivellement. Le canevas de restitution doit donc être fourni par une méthode se satisfaisant d'une infrastructure d'appui très peu dense afin de limiter les travaux au sol au strict minimum. En particulier, le canevas altimétrique peut être obtenu par exploitation en aérotriangulation analytique de profils du terrain enregistrés à bord d'un avion et rattachés au réseau de nivellement par des travaux au sol : c'est la méthode des profils aéroportés dite A.P.R. (Airborne Profile Recorder). A l'I.G.N., cette méthode est mise en oeuvre depuis une vingtaine d'années, en utilisant un télémètre radar monté sur avion HD 34 ou B.17. Mais ce télémètre ne peut être monté sur avion pressurisé moderne, tel que Mystère 20 ou Beechcraft Super King Air ; d'autre part ses performances étaient limitées : angle d'ouverture du faisceau radar important (2°) ne convenant pas en région accidentée, précision de mesure de l'ordre de 3 m.

L'I.G.N. s'est orienté en 1978, vers un nouveau système embarquable sur avion pressurisé et utilisant un télémètre laser.

Organisation du système APR-laser de l'I.G.N. -

Le but de ce système est l'enregistrement à bord d'un avion d'un profil de terrain, c'est-à-dire l'intersection du terrain avec la surface générée par le faisceau laser au cours du déplacement de l'avion. Ce profil est obtenu à partir de deux ensembles de mesures.

1/ - la mesure selon une certaine fréquence de la distance avion-sol est effectuée à l'aide du télémètre laser. Ces mesures seraient directement exploitables si la route de l'avion était parfaitement horizontale. Ce n'est généralement pas le cas et il est nécessaire de tenir compte des variations d'altitude de l'avion.

2/ - ces variations sont mesurées à l'aide d'un baromètre différentiel ou hypsomètre, l'avion étant maintenu sur une ligne isobare à l'aide de l'altimètre de bord.

Les données fournies par le télémètre et l'hypsomètre sont enregistrées sur cassette, sur calculateur Hewlett-Packard 9825 de 8 kmots qui calcule ensuite et enregistre les données du télémètre corrigées des variations d'altitude de l'avion.

En sortie du calculateur une imprimante permet de restituer sur listage les variations d'altitude de l'avion par rapport à la surface isobare et le profil du terrain corrigé de ces variations.

3/ - le profil ainsi enregistré doit pouvoir être localisé avec précision sur le terrain. C'est le rôle d'une caméra 35 mm, dite caméra auxiliaire, solidaire du télémètre qui travaille au coup par coup, selon une cadence préalablement choisie. Son axe de prise de vues est réglé pour être parallèle au faisceau laser : le point d'impact au sol est enregistré sous forme d'une croisée de réticule venant sur le cliché 35 mm. La position de cette croisée peut être repérée par rapport au centre du cliché.

La prise de vues par caméra 35 mm est complétée par une prise de vues stéréoscopique normale avec chambre Wild RC 10, format 24x24cm installée sur la seconde trappe de l'avion, si le terrain présente peu de détails topographiques (cas des régions désertiques par exemple). La chambre RC 10 est montée sur une suspension Wild PAV 10, télécommandable par le navigateur qui maintient l'axe de prise de vues 24x24 cm en position verticale. La cadence de cette prise de vues est réglée pour obtenir le recouvrement stéréoscopique (au moins 60 %).

Les tops de la caméra 35 mm sont déclenchés simultanément à ceux de la prise de vues 24x24 cm ; toutefois, il est possible d'augmenter la cadence des clichés 35 mm afin de suivre en détail l'incidence des variations en roulis de l'avion. Cependant, la meilleure solution pour tenir compte du roulis serait de le mesurer par système gyroscopique, de l'enregistrer et d'effectuer la correction correspondante sur la distance avion-sol, sur le calculateur HP-9825 ; cette solution sera mise en oeuvre en 1980.

Chaque top de prise de vues 35 mm est repéré par un astérisque et le numéro du cliché correspondant sur le listage donnant le profil aéroporté.

Exploitation des profils aéroportés -

Le profil du terrain ainsi obtenu est référencé à une surface isobare. Or les couches atmosphériques, aux altitudes utilisées (de 2 000 à 6 000 m) ne sont ni parfaitement régulières, ni absolument stables.

Ainsi pour un profil isolé, il serait nécessaire de coter chacune de ses extrémités afin de tenir compte de la pente moyenne de la surface isobare (mais en négligeant ses déformations intermédiaires). En fait, on établit un réseau de profils APR orthogonaux dont on assure l'homogénéité interne avant rattachement au nivellement. Cette méthode permet de tenir compte des variations dans le temps d'une surface isobare donnée. En effet, au point d'intersection de deux profils orthogonaux correspond évidemment une altitude terrain unique.

Les mesures APR permettent alors en ces points de coter les surfaces isobares de référence les unes par rapport aux autres et d'effectuer une compensation interne globale du réseau. Le rattachement au nivellement est réalisé aux endroits où un profil APR coupe une

maille de nivellement (ou en tout autre endroit d'altitude connue : mer par exemple). L'introduction de points d'altitude connue permet de faire une deuxième compensation du réseau et de déterminer l'altitude de l'origine commune à tous les profils du réseau et par conséquent de déterminer ensuite l'altitude de n'importe quel point situé sur un profil.

Le système APR-laser est actuellement utilisé pour l'établissement de la cartographie du désert du Rub Al Khali en Arabie Saoudite. Il s'agit d'un chantier très important, couvrant 500 000 km² environ. L'APR est réalisé sous forme d'un réseau de profils nord-sud et est-ouest, selon un maillage imposé (30' en longitude pour 1°30' en latitude), à une altitude de 5 400 m au-dessus du sol. La longueur cumulée des profils est de l'ordre de 15 000 kilomètres. Les profils APR, rattachés à des traverses de nivellement effectuées au sol, sont destinés à l'équipement altimétrique d'une couverture aérienne systématique à 1:100 000 qui sera exploitée pour la production d'orthophotographies à 1:100 000 et de cartes au trait dérivées à 1:250 000.

Le télémètre à laser TAY 130 du système I.G.N. -

Ce télémètre est construit par la CILAS : Compagnie Industrielle des Lasers. Il est conçu pour être monté sur aéronef et se trouve alimenté par le réseau 28 V continu de bord.

Le principe de la télémétrie laser consiste à chronométrer le temps écoulé entre l'émission d'une impulsion lumineuse et son retour après réflexion sur le sol. L'impulsion se déplaçant à la vitesse de la lumière, il est facile d'obtenir la distance laser-point d'impact par la relation :

$$D = C \frac{t}{2}$$

D Distance en mètres

C Vitesse de la lumière en mètre par seconde

$$(c = 299,71 \cdot 10^6 \text{ m/s})$$

t Temps en secondes mis par l'impulsion pour faire le trajet aller et retour.

L'erreur maximum sur la distance mesurée est de 1 m ; la résolution du compteur qui mesure le temps de trajet est de 2 nano-secondes, soit 30 cm en distance mesurée.

- Caractéristiques -

- Distance maximale de mesure : 15 km
- Fréquence de mesures : 20 hz (soit une impulsion toutes les 50 millisecondes)

- Emetteur laser YAG (Grenat d'Yttrium Aluminium) dopé au néodyme
 - . longueur d'onde d'émission 1,06 μ m
 - . énergie maximale par impulsion 40 mJ
 - . durée de l'impulsion 18 ns
 - . divergence d'émission 0,5 m rad
(angle au sommet du cône contenant 86 %
de l'énergie totale émise)
 - . champ géométrique de réception de l'onde
retour 8 m rad
- Erreur d'alignement entre les axes du réticule
et de l'émission laser 0,25 m rad
- Diamètre de la pupille de réception 70 mm
- Température de fonctionnement 0 à 40°C
- Dimensions 30x35x85 cm
- Poids 25 kg environ

- Fonctionnement -

Le télémètre laser TAY 130 comporte les éléments suivants :

- un générateur d'impulsions comprenant une cavité laser et son électronique d'alimentation et de commande de tir
- un circuit de réception de l'impulsion retour
- les optiques d'émission, de réception et de visée
- un dispositif de chronométrie pour la mesure du temps séparant les impulsions de départ et de retour après réflexion sur la cible.

La cavité est terminée par deux miroirs, l'un a un coefficient de réflexion maximal (R_{max}), l'autre un coefficient de réflexion de l'ordre de 30 % : c'est par cette lame que sort le faisceau. L'ensemble comprenant le barreau, le tube flash et le diffuseur constitue une cartouche, dans lequel circule un liquide de refroidissement.

L'émission de l'impulsion laser est réalisée par déblocage de la cavité optique. Le barreau actif de la cartouche laser est mis en état d'excitation (pompage optique) par l'allumage d'un tube flash obtenu par la décharge d'un condensateur ; la lumière de ce tube flash est répartie autour du barreau actif par un diffuseur. Le déblocage de la cavité est assuré par l'ouverture d'un obturateur électro-optique déclenché au moment où la fluorescence du milieu actif est voisine de son maximum. Les miroirs délimitant la cavité entretiennent un mouvement d'aller et retour des photons induits : il en résulte une oscillation, l'amplification à chaque passage étant supérieure aux pertes de la cavité.

L'impulsion de départ du comptage de la distance est obtenue par la détection d'une faible partie de la puissance émise. La puissance réfléchie constitue l'impulsion écho : elle est détectée par une photodiode, les circuits de réception assurant l'amplification et la mise en forme de ces impulsions.

L'hypsomètre Schlumberger H 51 -

Cet appareil permet de mesurer des variations de pression par rapport à une valeur de référence. Les étendues de mesures réalisables par le constructeur variant de ± 2 m bar à ± 10 m bar. L'I.G.N. a retenu l'échelle ± 5 m bar, correspondant par exemple à des écarts en altitude de ± 50 m, à 3 000 m d'altitude.

L'élément sensible de l'hypsomètre est une membrane dont les déformations sont fonction des variations de la pression statique de l'avion par rapport à une valeur de référence donnée par un réservoir témoin et réglée avant l'exécution de l'enregistrement.

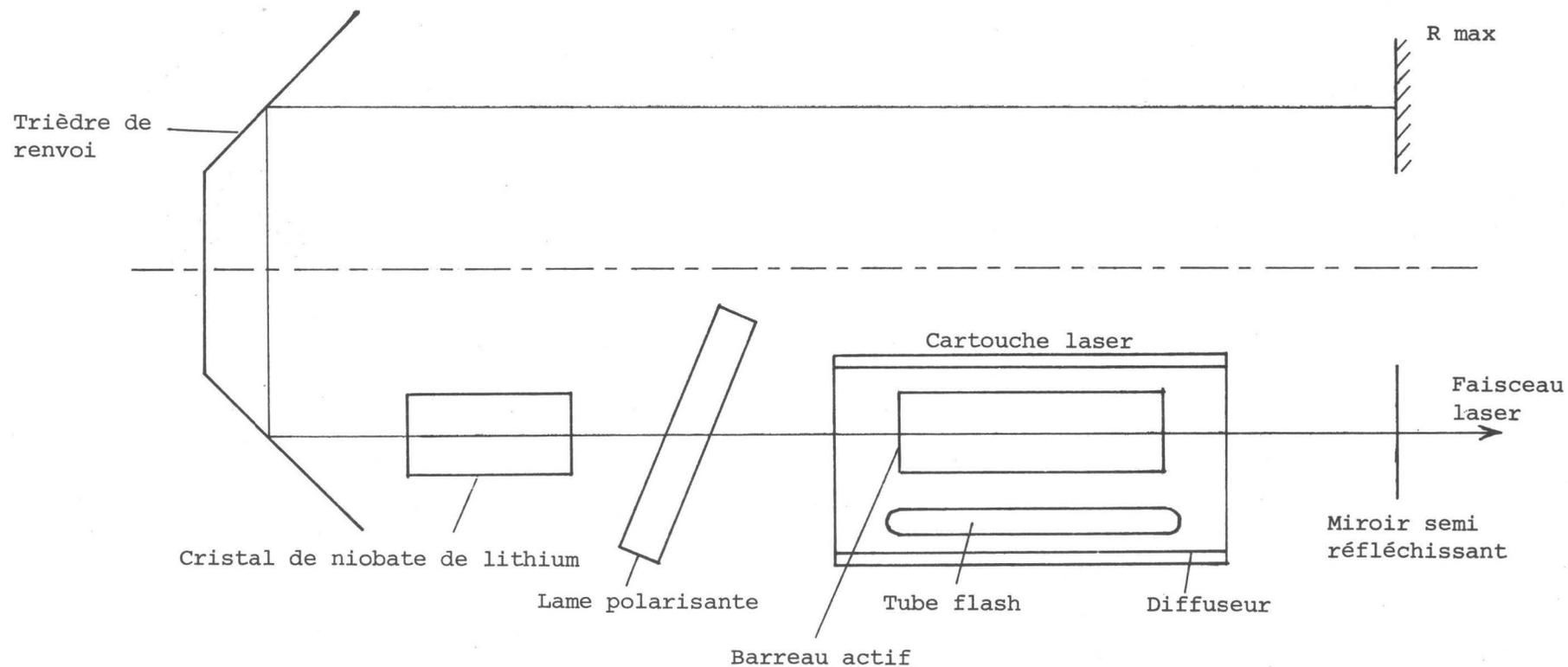
Ces déformations sont transmises au noyau d'un transformateur différentiel. Les déplacements de ce noyau engendrent des variations de tension secondaire mesurées par un circuit électronique et converties en un signal de sortie que l'on peut enregistrer sur cassette du calculateur HP 9825. L'hypsomètre et son auxiliaire électronique sont alimentés à l'aide du courant 28 V continu de bord. La précision des mesures de variation d'altitude de l'avion est de l'ordre du mètre.

Conclusion -

Le système APR-laser embarquable sur avion moderne devrait redonner un nouvel élan à la technique APR pour les levés photogrammétriques à petite échelle. La précision des mesures (télémètre et hypsomètre) est maintenant de l'ordre du mètre ; seule subsiste l'imprécision de la référence isobarique elle-même qui est fonction de la maille choisie pour le réseau des profils orthogonaux et de la densité des points rattachés au nivellement. La finesse du faisceau laser permet par ailleurs d'envisager des enregistrements en zone montagneuse, surtout dans la mesure où l'on pourra introduire dans les calculs, les variations en roulis de l'avion.

Indépendamment des utilisations à but photogrammétrique, on peut aussi concevoir des applications de l'APR-laser dans d'autres domaines, par exemple pour l'étude préliminaire et le choix d'itinéraires routiers, ferroviaires, de tracés de lignes électriques, etc.

031.



- Télémètre CILAS TAY 130 -
Cavité laser

(d'après document CILAS)

032.

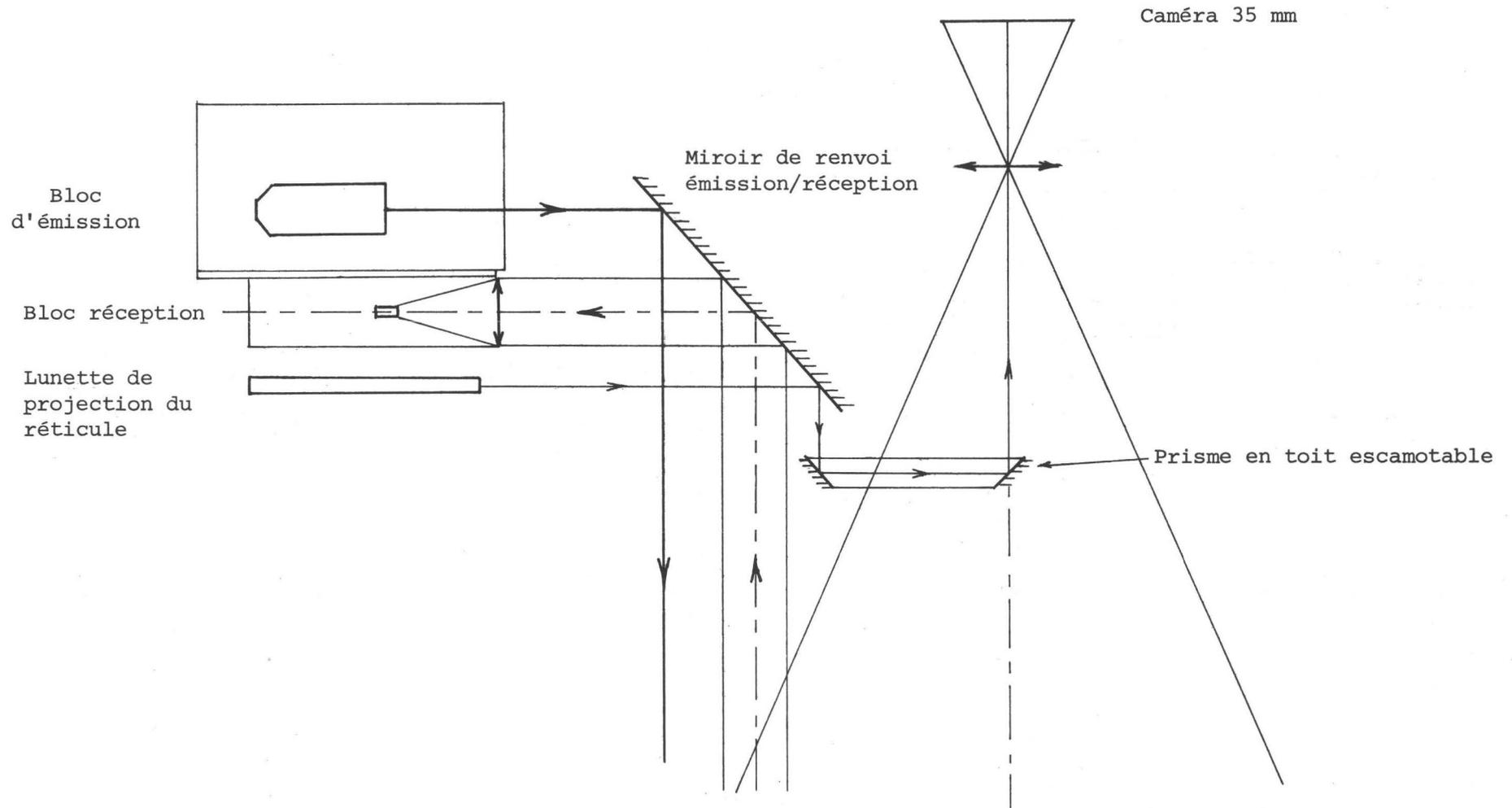
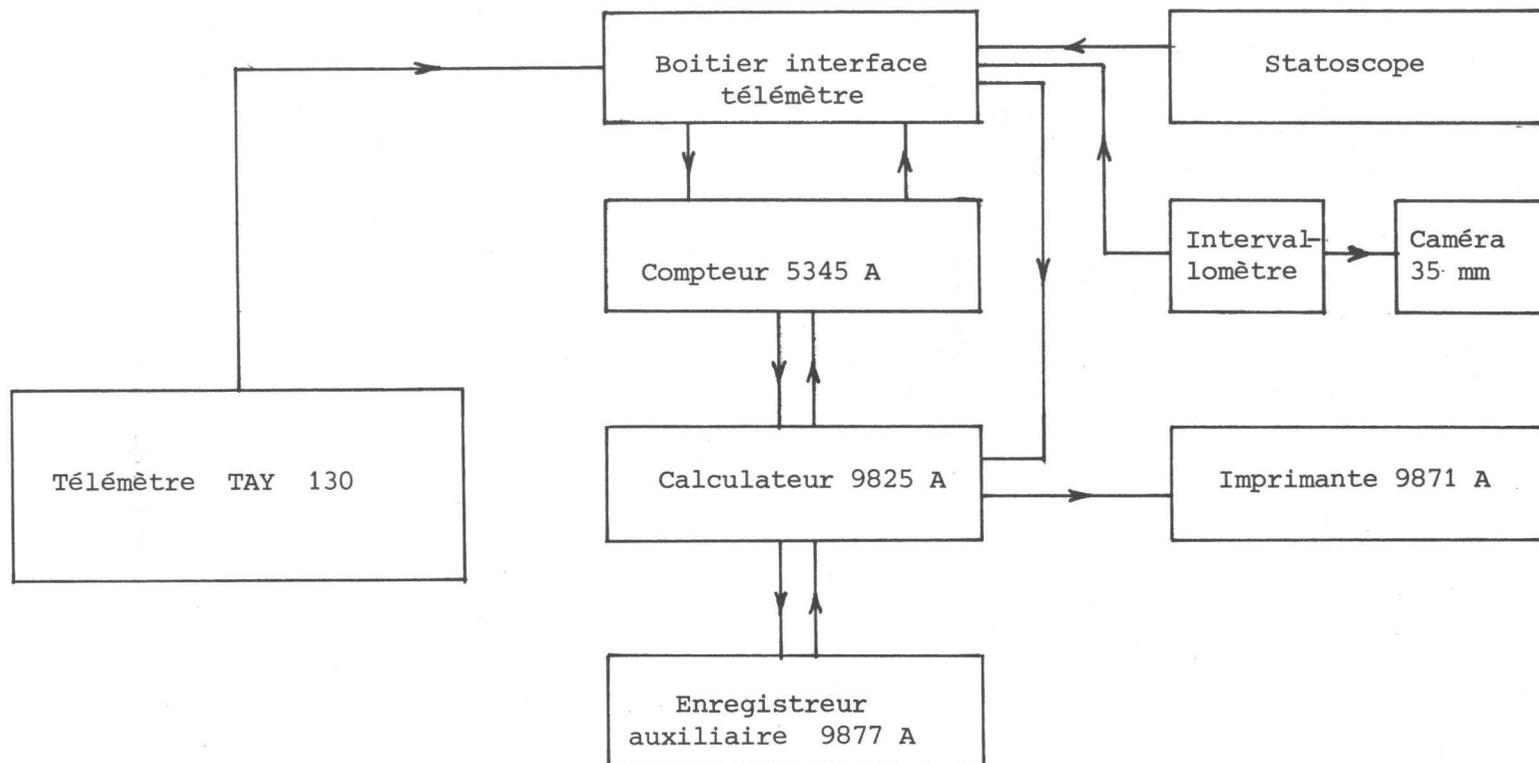


Schéma de principe de l'ensemble émission-réception laser

033.



- Schéma synoptique du système APR-laser de l'I.G.N. -