

Février 1970

LES SATELLITES ITOS

Le satellite ITOS 1, lancé le 23 janvier 1970 pour le compte de l'Administration américaine de l'Environnement (ESSA), représente le premier satellite d'une série opérationnelle destinée à connaître sa forme définitive avec le quatrième, c'est-à-dire ITOS D (fin 1971). L'acronyme ITOS pour Improved TOS (TIROS Operational Satellite) montre bien qu'il s'agit d'une suite du système TOS, opérationnel depuis mars 1966. On rappelle que les satellites du système TOS sont baptisés ESSA (ESSA AVCS pour les véhicules de numéro impair, ESSA APT pour les véhicules de numéro pair). Les ESSA APT font l'objet d'une exploitation systématique au CEMS Lannion.

On décrira ci-après:

- 1 - Les missions de ITOS; le véhicule.
- 2 - L'orbite et la stabilisation d'attitude.
- 3 - Les senseurs et les télémessures.

1 - Les missions de ITOS; le véhicule

1.1 - Le satellite ITOS est un satellite d'environnement, principalement consacré à la météorologie mais comportant également un avertisseur de protons solaires. Mentionnons ici simplement que cet avertisseur mesure les flux de particules énergétiques dans plusieurs gammes: les protons à 10, 30 et 60 Mev; les électrons de 100 à 750 Kev, selon la verticale et selon la normale au plan orbital. Ces télémessures, recueillies par l'une des stations centrales d'acquisition (Fairbanks et Wallops) - sous le contrôle du NESC (*), - seront acheminées, après filtrage et réduction, sur le laboratoire de l'ESSA à Boulder, chargé de la signalisation - et de la prévision - des tempêtes solaires.

1.2 - Le satellite ITOS adopte, comme NIMBUS (qui se voit ainsi condamné à terme en tant que satellite opérationnel), une stabilisation trois axes, qui l'oriente fixement par rapport à la Terre (axe de lacet), par rapport à son vecteur - vitesse sur la trajectoire (axe de roulis) et par rapport à la normale au plan orbital (axe de tangage).

(*) Centre National de Satellites d'Environnement, dirigé par David JOHNSON.

ITOS peut ainsi porter:

a) les senseurs classiques pour les "prises de vues" du type AVCS et APT,

b) des senseurs radiométriques à balayage mécanique comparable à celui du senseur IR de NIMBUS (HRIR), opérant soit dans le visible, soit dans l'infra-rouge lointain. Les radiomètres de ITOS A préfigurent les radiomètres du même type, mais à très haute résolution (VHRR), prévus sur ITOS D.

Indiquons déjà que le senseur en visible apporte une vision apparemment redondante par rapport à l'AVCS et à l'APT, mais probablement supérieure en qualité (dynamique image plus large).

Le senseur infra-rouge opère dans la bande de 11 microns, c'est-à-dire qu'il s'affranchit de tout albedo solaire (dans l'infra-rouge), et devient alors utilisable nuit et jour (alors que le senseur HRIR de NIMBUS, travaillant à 4 microns, était pratiquement inutilisable de jour).

c) un radiomètre "global" de mesure du bilan radiatif terrestre, comparable dans sa conception au système à moyenne résolution (MRIR) de TIROS et NIMBUS, mais avec certains perfectionnements techniques.

1.3 - Le véhicule ITOS se présente sous une forme très compacte, sensiblement un cube dont l'arête est de l'ordre du mètre.

Sur une face de ce cube s'articulent 3 panneaux solaires (ces panneaux sont repliés chacun sur une face dans la phase lancement, pour tenir dans la coiffe). Ces panneaux, de 1,6 m x 0,9 m chacun, sont "pavés" de cellules solaires au silicium et développent une puissance totale de l'ordre de 400 watts (tous les appareillages en fonctionnement consomment ensemble 60 watts).

Cette même face tournée vers le soleil (cf. géométrie orbitale, infra) comporte deux anneaux cylindriques concentriques, très caractéristiques, qui sont destinés à une régulation "passive" de la température, en fonction de l'angle d'incidence du soleil. Cette régulation passive se double, comme sur NIMBUS, d'une régulation "active", dans laquelle la surface radiative d'un système de persiennes est modifiée par la dilatation d'un fluide (elle-même dépendante de la température).

Sur la face anti-solaire, on trouve le système de roue d'inertie utilisé pour la stabilisation (cf. infra).

On a ainsi défini l'axe privilégié -en même temps: axe de rotation-, reliant la face au soleil et la face antisolaire. Restent quatre faces "latérales", dont l'une porte tous les senseurs météorologiques, à savoir:

- 2 caméras AVCS,
- 2 caméras APT,
- "système radiométrique (SR) à haute résolution,
- radiomètre à moyenne résolution.

Le poids total de l'engin ITOS est de l'ordre de 300 kg, sur lesquels 100 kg environ représentent le poids des senseurs (et enregistrement). La durée de vie estimée est comprise entre 6 mois et 1 an.

2 - Orbite et stabilisation d'attitude

2.1 - Le satellite ITOS est placé en orbite circulaire synchrone du soleil (*), à partir de la base de lancement Ouest (c'est-à-dire Vandenberg Californie), par un véhicule Thor-Delta à deux étages.

La mise en orbite ne présente pas de nouveautés. La trajectoire de départ est évidemment orientée vers le Sud-Ouest, c'est-à-dire le Pacifique. Une première phase de combustion du deuxième étage amène l'engin sur l'ellipse de transfert. Après contrôle d'attitude, une deuxième phase de combustion entraîne l'injection sur orbite, cette fois circulaire.

L'altitude nominale est légèrement inférieure à 800 milles nautiques, 1 450 km environ.

2.2 - ITOS dispose, comme on l'a dit, d'une stabilisation d'attitude trois axes, suivant la verticale terrestre (axe de lacet), le vecteur vitesse sur trajectoire (axe de roulis) et la normale à la trajectoire (axe de tangage).

Cette stabilisation d'attitude est commandée principalement par un système gyromagnétique avec volant d'inertie.

Ce volant tourne, nominalement, à 150 tours/minute; ITOS tourne alors de 360° en une orbite, c'est-à-dire qu'il reste stabilisé par rapport à la Terre.

Un système en boucle, asservi sur des détecteurs d'horizon (comme NIMBUS), agit sur la vitesse de rotation du volant d'inertie, pour commander la pente (angle de tangage) de ITOS.

Les angles de roulis et lacet sont eux-mêmes commandés (plus exactement: corrigés) grâce aux techniques de contrôle d'attitude éprouvées sur TOS ESSA ("précession forcée"): on injecte des courants variables dans une bobine, dont le moment magnétique réagit sur le champ magnétique terrestre pour créer un couple redresseur. C'est la "commande magnétique d'attitude".

Ces différentes opérations (qui tiennent compte, il faut le noter, non seulement des perturbations "mécaniques" de l'attitude, mais aussi des effets sur celle-ci de la pression de radiation du soleil) permettent d'assurer la précision du degré dans l'orientation des axes de référence (nadir; normale au plan orbital).

(*) C'est-à-dire: quasi-polaire, à inclinaison rétrograde de l'ordre de 80° sur l'équateur.

3 - Les senseurs et les télémessures

On traitera d'abord:

- du radiomètre global "FPR" (*) (bien que ses informations ne soient pas traitées opérationnellement);
- du système AVCS;
- du système APT;
- du système radiométrique "SR".

3.1 - Radiomètre global FPR

Ce radiomètre, semblable dans sa conception aux radiomètres MRIR de TIROS puis NIMBUS, comporte en réalité deux couples de détecteurs de rayonnement global (rayonnement thermique propre de la Terre dans l'infra-rouge, et rayonnement d'albedo solaire, captés dans une large ouverture).

Chaque couple réunit ainsi:

- une thermistance noire, sensible dans toute la bande de 0,3 à 30 microns, c'est-à-dire donnant la somme de l'énergie de rayonnement propre et de l'énergie solaire rétrodiffusée;
- une thermistance blanche, sensible au rayonnement terrestre propre de 7 à 30 microns.

On déduit de ces deux mesures, connaissant par ailleurs le flux solaire ("constante solaire"), le bilan radiatif global "externe" de l'ensemble Terre-Atmosphère.

Le premier couple de détecteurs n'est pas essentiellement différent de celui de TOS.

Le second couple met en oeuvre une boucle de mesure différente: on détermine l'apport d'énergie nécessaire pour maintenir une température constante; il s'agit bien ainsi d'une mesure d'énergie (T_4), et non de température (T). Accessoirement, l'ensemble peut pivoter et "regarder" une cible à l'intérieur de la boîte d'instrumentation, ce qui permet un calibrage en vol.

Ces différentes données sont transmises dans la télémessure multiplexée en bande S (1700 MHz); elles sont traitées au NESC de façon non opérationnelle.

3.2 - Système AVCS

On ne reviendra pas longuement sur ce système, "parallèle" à l'APT et déjà décrit dans des rapports antérieurs.

Les images AVCS sont obtenues par des caméras de caractéristiques géométriques à peu près identiques à celles de l'APT. L'ouverture angulaire est de 90°. La résolution TV est de 2 à 4 milles nautiques.

(*) FPR = flat plate radiometer.

La portion illuminée de la Terre est couverte par 11 images prises à 260 secondes d'intervalle (élévation du soleil supérieure à 15 degrés). Les signaux ITOS AVCS sont identiques à ceux de TOS AVCS: format de 833 lignes video; 10 teintes de gris.

La transmission satellite - stations d'acquisition (Fairbanks et Wallops) se fait en modulation de fréquence, avec signaux multiplexés (AVCS + SR + FPR (*)), sur la porteuse bande S (1695 Mhz) à polarisation circulaire droite.

3.3 - Système APT

Le système ITOS APT est comparable au système TOS APT: même caméra à 90° d'ouverture résolution 2 à 4 milles nautiques (2 milles au centre, 4 sur les bords extrêmes) 10 teintes de gris même vitesse de balayage 4 lignes par seconde.

Mais :

- a) le format image change avec 600 lignes, contre 800 (avec comme conséquence un gain de qualité, car on élimine de la sorte les 100 premières et 100 dernières lignes, les moins bonnes);
- b) l'intervalle de temps entre prises de vues est réduit à 260 secondes, contre 352 (mais, au total, le taux de recouvrement entre images successives est inchangé : 30%).

Cette modification permet d'introduire dans la télémétrie les signaux du "système radiométrique" SR : c'est la nouveauté véritablement révolutionnaire de ITOS, que l'on décrit ci-après.

3.4 - "Système radiométrique" ITOS SR

La technologie de ce système dérive, en partie, de la technologie déjà éprouvée avec le radiomètre HRIR (et sa télémétrie DRIR) sur NIMBUS.

Il s'agit d'un radiomètre bi-canal à balayage plan: un miroir tournant à 48 tours/minute, balaie la scène terrestre perpendiculairement au vecteur-vitesse du satellite.

L'énergie recueillie dans le pinceau d'exploration est répartie en deux (séparation de faisceaux) et filtrée: d'une part, dans le canal infra-rouge 10,5 à 12,5 microns ("fenêtre" infra-rouge);

d'autre part, dans le visible, entre 0,52 et 0,73 microns.

3.4.1 - Canal infra-rouge

Le champ angulaire du détecteur IR (au sélénium de plomb (**)) est de 5,3 milliradians. Ce pinceau découpe au sol un élément de surface de 4 milles nautiques de côté, au nadir; le pouvoir de résolution décroissant évidemment à mesure que l'on se rapproche des bords.

(*) et aussi l'avertisseur de protons solaires.

(**) le détecteur futur (qui sera opérationnel sur ITOS D/VHRR) est un détecteur au Hg Cd Te, refroidi à 77,16.

Par exemple, le point de contiguïté à l'Equateur (point vu de deux orbites successives) correspond à une élévation du vecteur cible-satellite sur l'horizon de 30°; la surface élémentaire observée est de 8 x 12 milles nautiques.

Le balayage lignes IR assure la contiguïté de ces lignes dans le sens de progression du satellite (comme l'HRIR).

La précision de la mesure infra-rouge peut s'évaluer comme suit. L'erreur sur la température de la cible corps noir, exprimée en "différence de température équivalente de bruit" est de l'ordre de 1°C pour une cible chaude (300°K) et de l'ordre de 4°C pour une cible froide (195°K). Tenant compte de la variabilité d'un certain nombre d'éléments (stabilité de l'instrument proprement dit, incertitude sur le calibrage, etc...), on doit s'attendre à une erreur sensiblement double de cette erreur nominale: ceci donne, par exemple, 2°C d'erreur sur la température de l'océan tempéré.

3.4.2 - Canal visible

Le détecteur est une photodiode au silicium.

Le champ angulaire est la moitié de celui du canal IR, ce qui correspond à un élément de surface terrestre de 2 milles nautiques de côté au nadir (identique à l'APT et à l'AVCS).

La géométrie du balayage fait ainsi que les lignes ne sont pas jointives au nadir (elles le sont, par contre, en bordure d'image, au point de contiguïté entre orbites successives).

Cependant, on obtient de la sorte, d'une part, la meilleure résolution possible, d'autre part, une dynamique photométrique supérieure à celle de l'APT.

Il vient ainsi que le système radiométrique SR est en mesure de remplacer les 2 systèmes précédents en fonctionnement de jour; il est, en revanche, seul en marche au cours de la nuit.

Les possibilités opérationnelles sont alors les suivantes:

JOUR

- (a) APT
- (b) APT + SR IR
- (c) APT + SR visible
- (d) SR IR
- (e) SR visible.

NUIT

- (f) SR IR

Les formats (b) et (c) -notamment le format (b) qui sera le plus employé- se présentent de la manière "entrelacée" suivants:

Première phase: 158 secondes: transmission APT classique, avec 8 secondes de préparation (5 secondes de mise en phase 300hz), et 150 secondes pour les 600 lignes vidéo.

Deuxième phase: 102 secondes: transmission SR en 94 secondes et 8 secondes sans signal. Ces 94 secondes correspondent à environ 75 lignes de balayage IR; la deuxième de ces lignes se situe géographiquement très près du centre de la photographie APT suivante.

La figure annexée détaille la séquence des "événements" pour le signal SR.

On a représenté le signal video en pourcentage de la déviation maximale; l'échelle de temps figure en abscisses, sur les 1 250 ms du balayage (on y fait correspondre l'échelle angulaire, comptant l'angle de balayage du miroir avant et après son passage au nadir nominal).

Les séquences sont représentées par des segments, ici au nombre de 9, désignés par les lettres A et I.

La portion correspondant à l'action sensorielle du détecteur, groupe les segments C, D, E, F (simple exemple) de part et d'autre du nadir (*).

Le segment C pourrait ainsi correspondre à une couche dense, froide et réfléchie de Cirrus; le segment D, à l'inverse, représenterait un désert sans nuages, chaud et assez réfléchissant; le segment E se rapporterait à une portion d'océan, tiède et faiblement réfléchissant, en l'absence de nuages; enfin, le segment F serait l'image d'une situation intermédiaire, avec nuages bas, ou moyens, de température, par conséquent, moyenne et d'une réflectivité relativement élevée.

Cette séquence "sensorielle" est précédée par:

- en A, la rafale de synchronisation à 300 hz;
- en B, le balayage espace avant l'occultation de la terre.

Elle est suivie par un segment "espace" G.

Ici deux possibilités en infra-rouge: pour protéger le détecteur SR du rayonnement solaire direct, on interpose un masque dès que le faisceau quitte la terre et pénètre dans l'espace; mais il est possible que ce dispositif s'avère finalement non nécessaire et soit abandonné.

Le segment H correspond à un signal de synchronisation et de calibrage, et comporte:

- une impulsion large au niveau de signal le plus chaud;
- une échelle incrémentale à six paliers équidistants entre les deux niveaux extrêmes de signal.

(*) la symétrie par rapport au nadir nominal correspond à une géométrie orbitale parfaite. Elle n'existe plus quand s'introduit une erreur de roulis.

L'équidistance de ces paliers est reliée au calibrage prévol du radiomètre (cible 330° K = 4; cible 185° K = 100; paliers: 4, 20, 36, 52, 68, 84, 100).

Le segment I n'est autre chose que la réponse du radiomètre regardant l'intérieur de la boîte d'instrumentation.

Conclusions

La série des satellites ITOS représente une étape importante - peut-être, à certains égards, révolutionnaire - dans la progression des satellites météorologiques opérationnels.

Il s'agit, en définitive, de donner de la scène atmosphérique une image:

a) à haute résolution - Dans la version la plus élaborée (ITOS D/VHRR) le pouvoir de résolution s'élèvera à $\frac{1}{2}$ mille nautique, soit moins du kilomètre, permettant ainsi:

. l'observation à l'échelle "locale", c'est-à-dire à l'échelle des besoins de l'utilisateur (notamment aéronautique).

Particulièrement, il sera alors possible d'étudier:

- les singularités du champ de nébulosité (notamment, celles liées à l'orographie);

- la nébulosité cumuliforme correspondant à une stabilité convective moyenne ou forte (possibilité "secondaire" de repérer les précipitations par averses).

. l'observation du déplacement de certains nuages "traceurs", c'est-à-dire les Cumulus de taille moyenne, pour en déduire le vent (possibilités complémentaires de celles des satellites GOES).

b) continue jour et nuit (en infra-rouge) - L'observation infra-rouge quitte, en effet, le domaine des 4 microns, où le renseignement était inexploitable de jour ("pollué" par l'albedo solaire), pour celui des 11 microns, dans lequel l'albedo devenant insignifiant, la mesure à travers la fenêtre atmosphérique restitue la vraie valeur du rayonnement propre émis par la Terre et l'Atmosphère.

Cette observation infra-rouge donne accès à la connaissance:

- de la nébulosité (cf. ci-dessus);

- de la composante "thermique" du bilan radiatif "externe" de la Terre et de l'Atmosphère (mais sous une forme probablement moins "commode" que le radiomètre global FPR);

- de la température de cible (émission de Planck corrigée par l'émissivité) pour:

. les nuages (détermination de l'altitude);

. la mer (température superficielle de l'océan obtenue dans les "trous" de nébulosité).

c) complètement numérisable dans le visible - Le calibrage du détecteur radiométrique dans le visible permet de quantifier correctement l'énergie reçue (alors que la lamination de la plaque photosensible du vidicon classique ne permet d'établir qu'une correspondance approximative).

Ceci ouvre la voie:

- à une meilleure identification des éléments nuageux;
- à la connaissance effective de l'albedo, élément essentiel du bilan radiatif Terre-Atmosphère.

Immédiatement, le satellite ITOS 1 doit apporter:

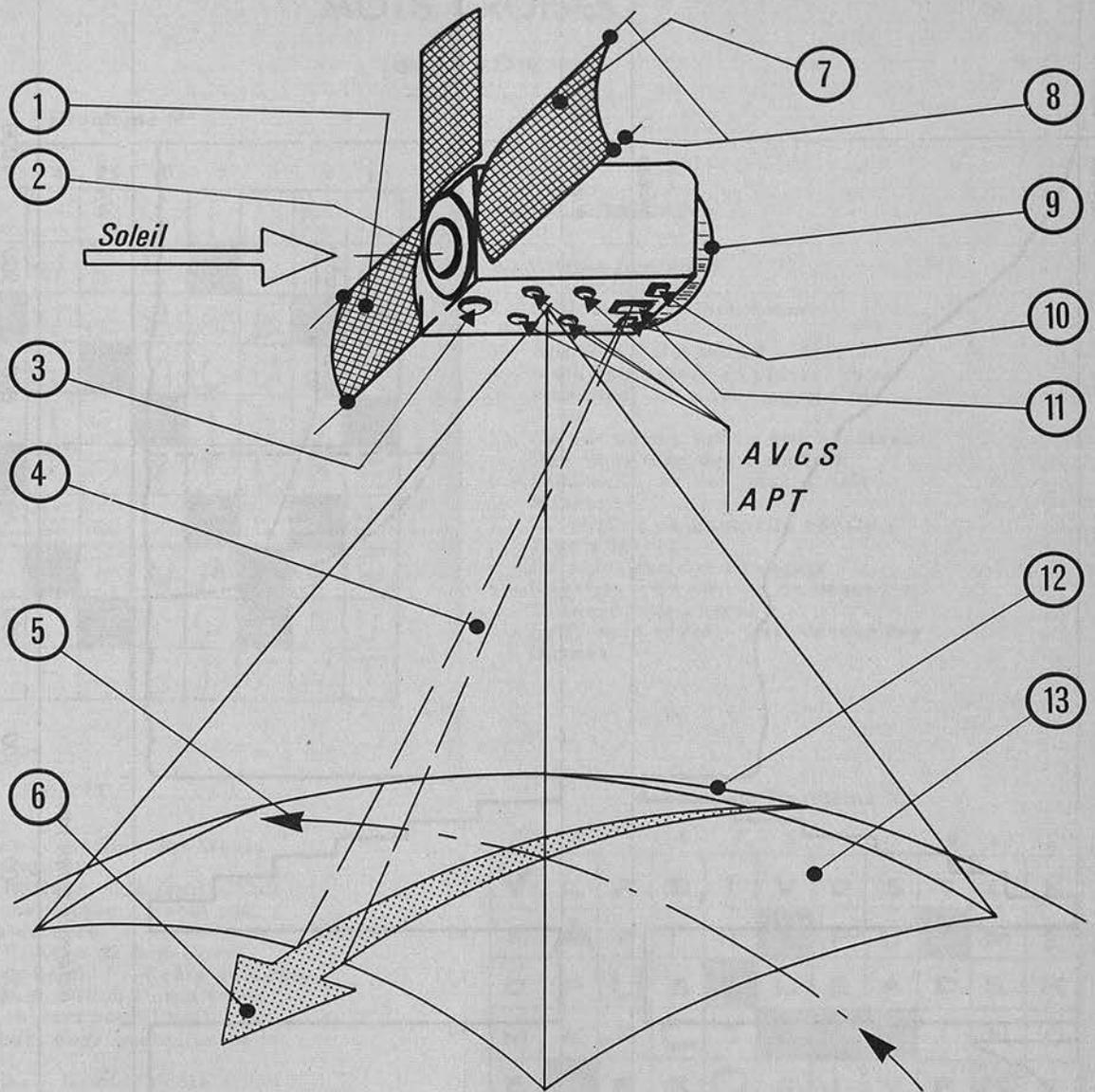
- la démonstration de la faisabilité des techniques plus haut citées;
- une doctrine d'utilisation des nouvelles télémessures, et notamment de l'infra-rouge jour-nuit.

La Météorologie Nationale s'est préparée à cette nouvelle étape de la technique satellitaire.

Le Centre d'Etudes Météorologiques Spatiales de Lannion, qui exploite déjà de façon opérationnelle les télémessures du système TOS (APT, DRID, HRIR), a réalisé les équipements nécessaires pour recevoir et décoder les signaux de ITOS 1, et se tient prêt à participer au programme d'évaluation des performances de ce satellite.

La première réception d'ITOS 1 au CEMS de Lannion a eu lieu le 3 février 1970 à 17h15 T.U., soit quatre à cinq semaines avant que le satellite ne soit programmé de façon systématique.

Les premières images ainsi obtenues seront publiées dans le prochain Bulletin d'Information de la Météorologie Nationale.



- | | | | |
|---|---------------------------------------|---|--|
| ① | <i>Panneau solaire B</i> | ⑧ | <i>Antenne APT</i> |
| ② | <i>Régulateur thermique</i> | ⑨ | <i>Volant d'inertie sur face antisolaire</i> |
| ③ | <i>Antenne bande S</i> | ⑩ | <i>Radiomètre à balayage</i> |
| ④ | <i>Pinceau de balayage SR</i> | ⑪ | <i>Radiomètre FPR</i> |
| ⑤ | <i>Trajectoire</i> | ⑫ | <i>Horizon terrestre</i> |
| ⑥ | <i>Sens de balayage radiométrique</i> | ⑬ | <i>Aire observée APT/AVCS</i> |
| ⑦ | <i>Panneau solaire A</i> | | |

Fig. 1 - GEOMETRIE ORBITALE DE ITOS

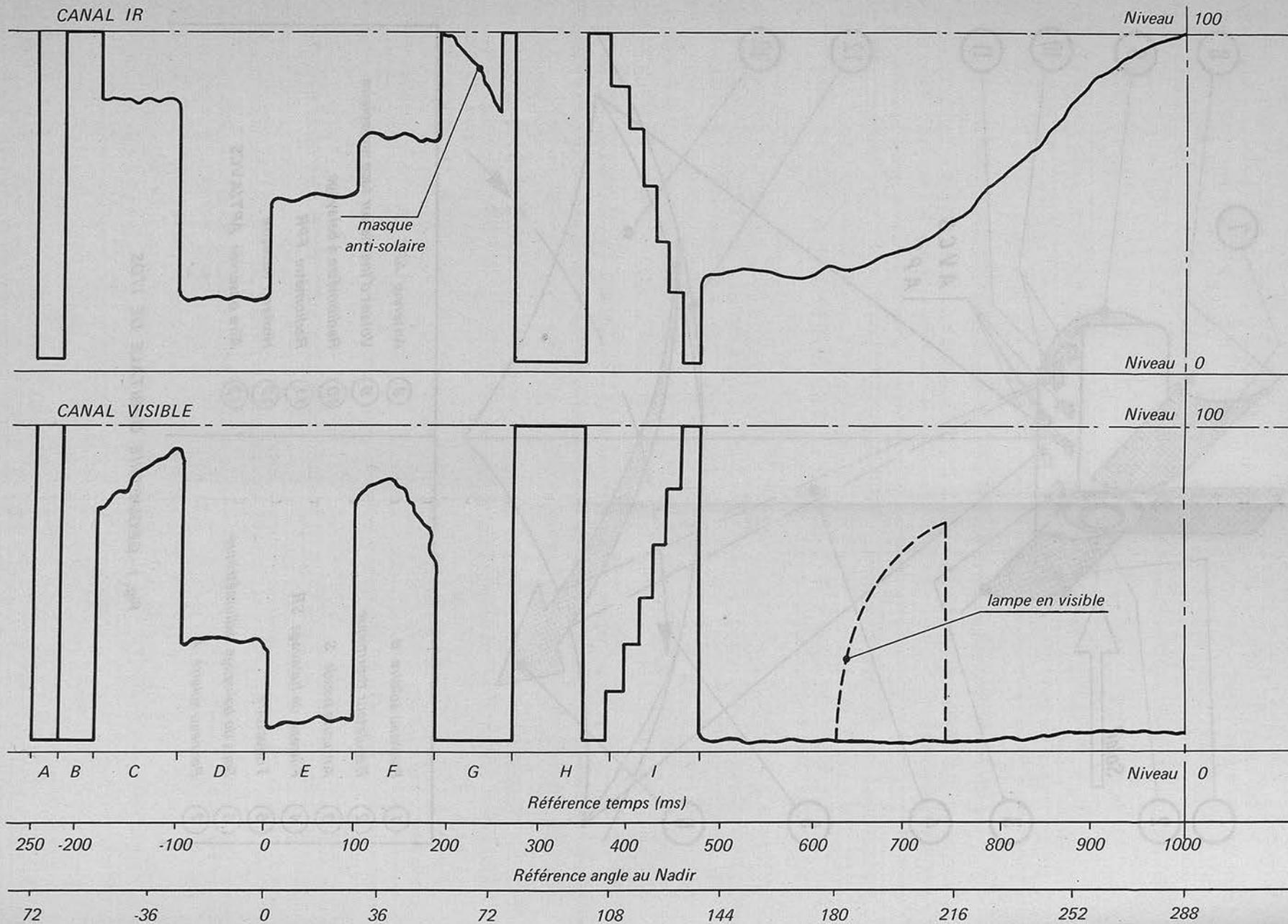


FIG. 2 FORMAT DE LA TELEMESURE SR