



CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES



Sciences Techniques Jeunesse

ASSOCIATION NATIONALE SCIENCES TECHNIQUES JEUNESSE

S e c t e u r E S P A C E

16 Place Jacques Brel - 91130 RIS ORANGIS

Téléphone : 01-69-02-76-10 / Télécopie : 01-69-43-21-43

E-Mail : espace@anstj.mime.univ-paris8.fr

Web: <http://anstj.mime.univ-paris8.fr>

Edition Octobre 1999

L'intégration d'une fusée

Note technique ANSTJ

L'intégration d'une fusée

par M. Jourdain {SETS}

Au stade de l'avant-projet, les expériences et asservissements embarqués à bord de la fusée sont définis individuellement puis mis en commun pour en dégager l'unité du projet.

C'est à ce moment, bien éloigné des réalisations, qu'apparaît déjà l'importance de l'INTEGRATION qui est définie comme structure mécanique assurant la tenue et la liaison des divers équipements embarqués dans la fusée, entre eux-mêmes et avec la cellule.

Elle a donc pour rôle d'assurer:

- d'une part que le matériel puisse affronter sans dommage les contraintes de mise en oeuvre, de stockage et de vol : c'est la qualité mécanique,
- d'autre part que la méthode d'installation, de mise au point et de contrôle des systèmes soit la plus efficace possible : c'est la qualité fonctionnelle.

➔ CONTRAINTES MECANQUES -

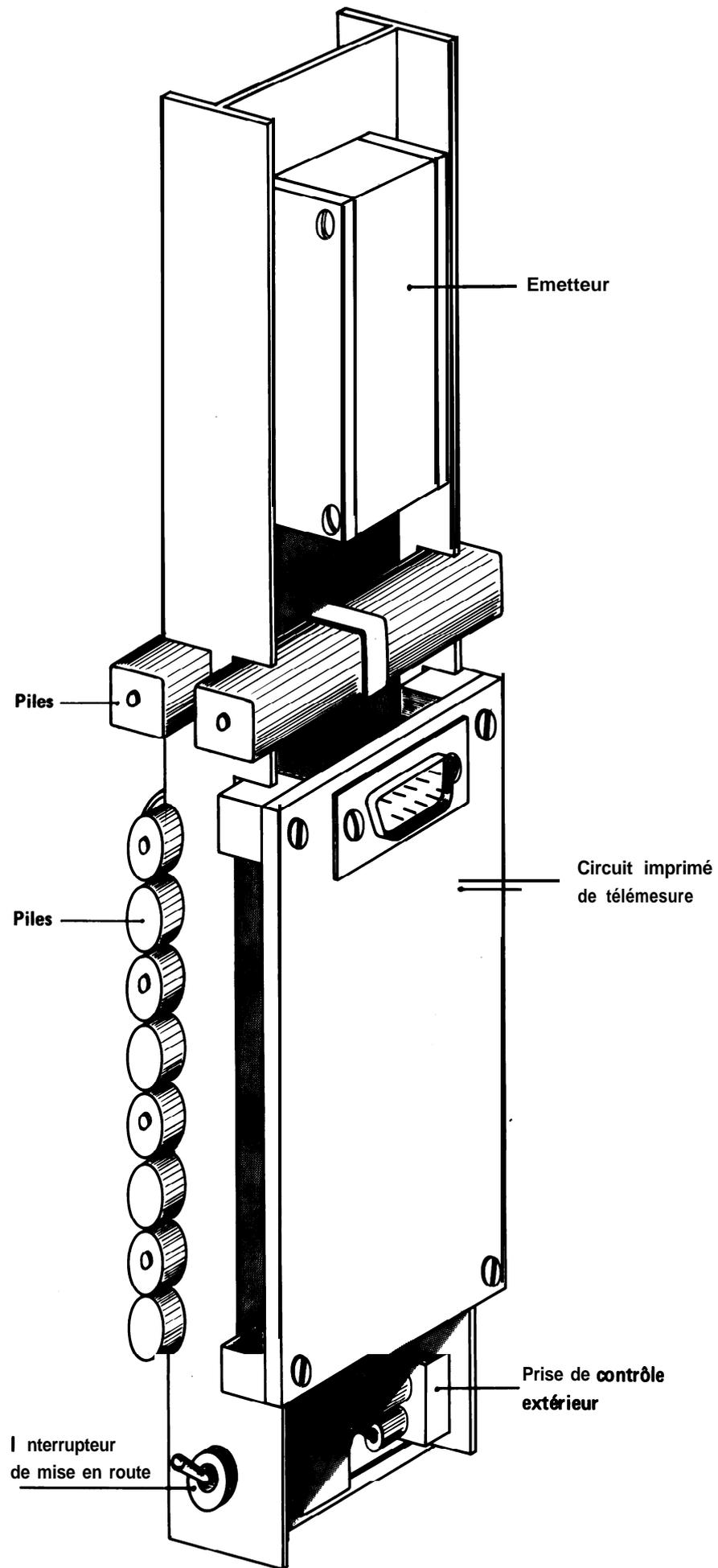
Depuis la réalisation des premières pièces jusqu'à l'arrivée au sol à la fin de vol, l'intégration va subir de nombreux efforts susceptibles de la dégrader.

● Les contraintes

Lors de la réalisation, les éventuelles erreurs de conception se traduisent généralement par des pièces bricolées entrées en force ou des liaisons dont la tenue est réduite au minimum. De plus, durant les déplacements, les divers stockages et l'intégration finale, les chocs, chutes, écrasements, brûlures, sont des possibilités courantes, sans même parler des contraintes au cours du vol : accélérations, vibrations, chocs.. .

● Les qualités

Les qualités mécaniques essentielles qui permettent d'éviter une action destructive sur l'intégration sont la solidité (structure portante) la rigidité, la souplesse, la légèreté et l'homogénéité de la conception (Par exemple : pas d'éléments en saillie ou rajoutés dans un coin). Auxquels il faut joindre la facilité de montage et de démontage de la structure mécanique en cas de remise en cause de l'intégration et la précision de marges sur les volumes pour que tout rentre .



➔ LES CONTRAINTES FONCTIONNELLES -

Quels problèmes doit résoudre l'intégration, depuis la réalisation jusqu'au lancement, en passant par "l'intégration" de la fusée, les essais et, bien entendu, les pannes.

- Les qualités requises

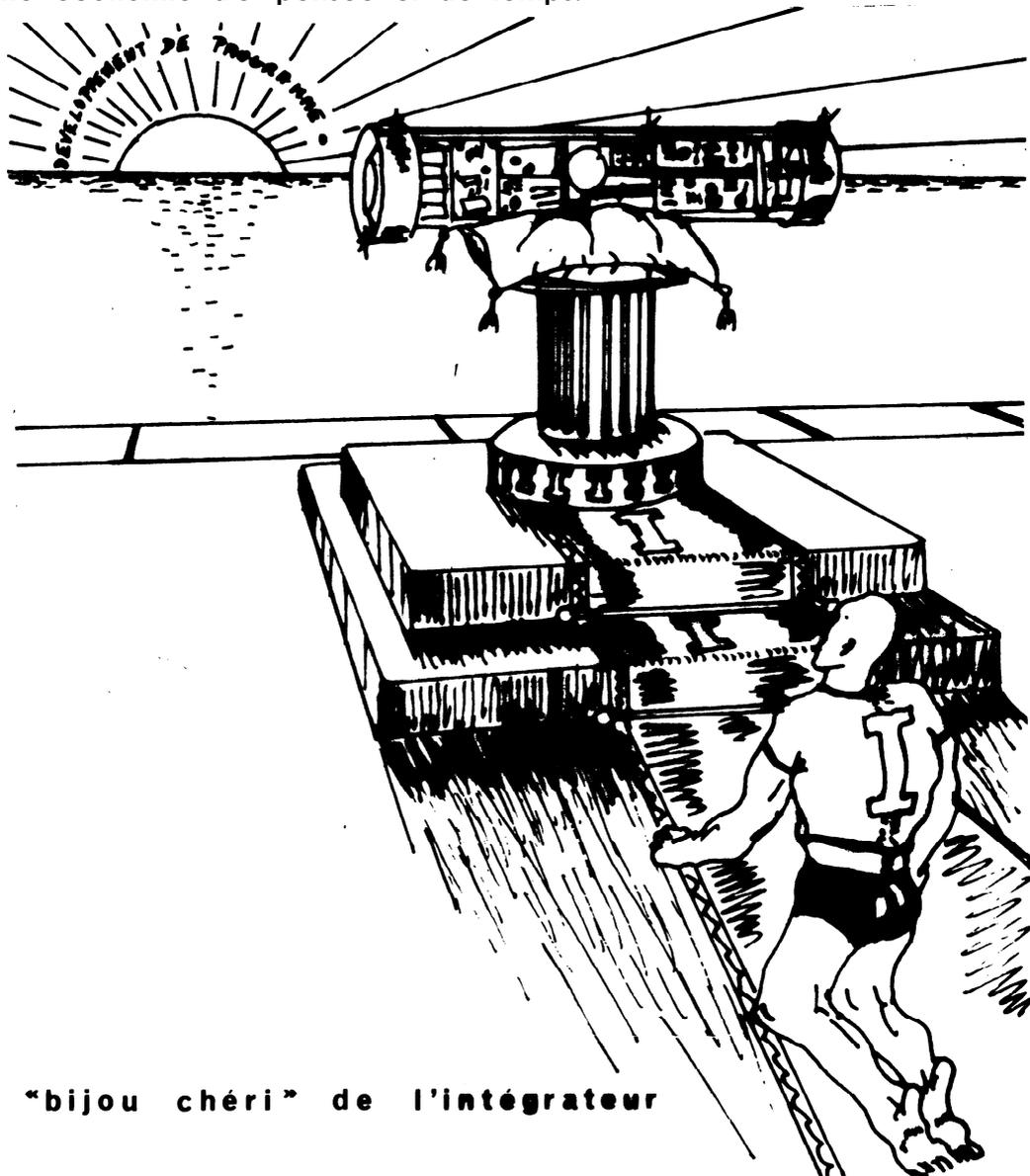
Les contraintes sont de deux ordres : expérimentales et humaines.

Elles apparaissent dès qu'un ou plusieurs expérimentateurs désirent "manipuler sur la bête".

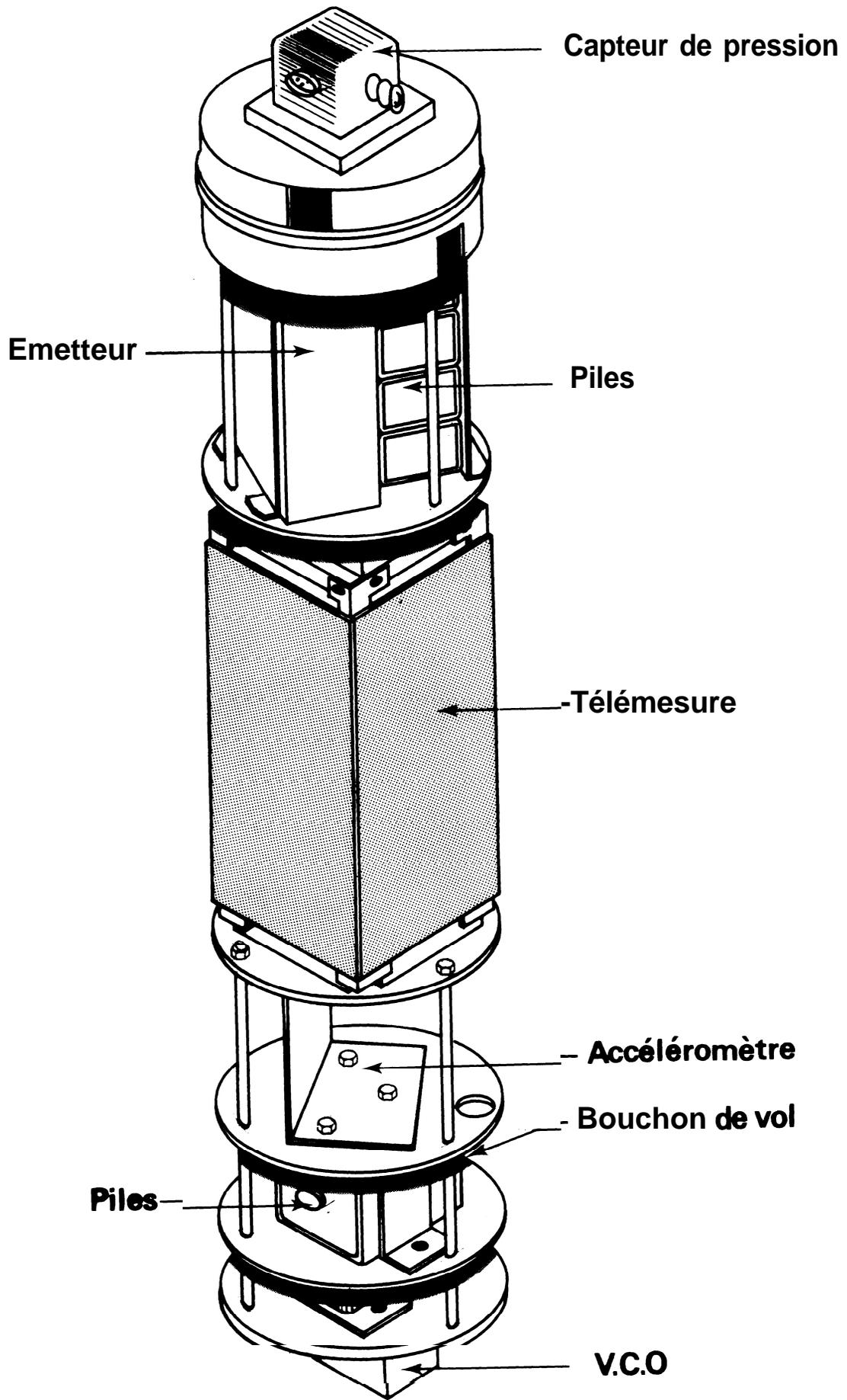
1) La sécurité tout d'abord entre en jeu. En effet, tout fonctionnement intempestif doit être interdit : non seulement pour protéger les matériels mais aussi les hommes.

2) La clarté du montage permet une compréhension de l'ensemble même par un membre de l'équipe qui n'est pas l'intégrateur lui-même.

3) L'accessibilité, la facilité de montage et de démontage des matériels autorise une économie de pensée et de temps.



Le "bijou chéri" de l'intégrateur



M E T A U X

Matériaux	Type	Codification	Résistance à la rupture en hecto bars	Densité	Façonnage	Qualité intrinsèque
ACIER	- doux	Adx, A 34, XC 18 S	33 à 41	7,85	- Tous usinages - Soudage pour Adx, XC 18 S et 25 CD 4 S	- Bonne résistance mécanique
	- mi dur	A 60, XC, 38 F, 25 CD 4 S	58 à 80			
	- dur	XC 65 F	82 à 130			
CUIVRE	- raffiné	Cu/a2 Cu/b	23 à 35	8,85	- Tous usinages	- Très bonne conducti- bilité électrique et thermique
LAITON	- usage général - décolletage	uz 15 UZ 39 Pbl	27 à 58	7,3 à 8,4	- Tous usinages - Fraisage et décolletage uniquement	- Bonne conductibilité électrique et thermique
ALUMINIUM	- usage général	A 5	9 à 14	2,7	- Tous usinages - Soudables	- Légèreté - Bonne conductibilité électrique et thermique
ALLIAGES LÉGERS	- Duralinox	AG 3 AG 5	25 36	2,7	- Tous usinages - Soudables	- Légèreté - Bonne conductibilité électrique et thermique
	- Duralumin	AU4G	42	2,9	- Tous usinages - Mais pliage après trempe - Non soudables	- Légèreté - Bonne conductibilité électrique et thermique

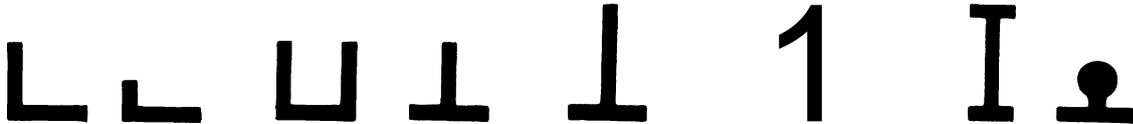
P L A S T I Q U E S

Dénomination	Résistance à la rupture en h bars	Densité	Température d'utilisation maximum	Façonnage	Qualité intrinsèque
PLEXIGLASS	4,9	1,18	70°	Tous usinages mais précautions car très cassant	<ul style="list-style-type: none"> - transparent à 90 % - isolant électrique - très léger
NYLON	4,9	1,15	130°	Tous usinages	<ul style="list-style-type: none"> - isolant électrique
RILSAN	4,8	1,04			<ul style="list-style-type: none"> - très léger
TEFLON	1,1	2,24	260°	Tous usinages (sur machine salle aérée)	<ul style="list-style-type: none"> - isolant H F - résiste bien à la chaleur
PVC rigide	3,5	1,4	50°	Tous usinages	<ul style="list-style-type: none"> - isolant électrique - peu onéreux - léger
EPOXYDE (araldite)	2,8	0,8 à 1,8	120°	Moulable Tous usinages	<ul style="list-style-type: none"> - utilisé sous forme de matériau ou de colle

. **Les profilés :**

Matériaux : Acier, laiton, aluminium et alliages, nylon et PVC.

Formes :



dimensions : normalisées

. **Les barres :**

Matériaux : Acier, laiton, alliages d'aluminium, plexiglass, nylon, rilsan, téflon

Formes :



dimensions des barres cylindriques : de 3 à 20 mm ... (tous les mm)

. **Les tubes :**

Matériaux : Acier, alliage d'aluminium, cuivre, laiton, plastiques.

Formes :



dimensions des tubes cylindriques : série emboîtable - Laiton et cuivre
diamètre 4 à diamètre 40 (par 2 mm) épaisseur : 1 mm
autres séries : épaisseur : 0,5 - 1,6 et 2 mm.

. **Les laminés :**

Clinquants :

Matériaux : cuivre, laiton et aluminium - épaisseur : de 0,08 à 0,2 mm,

Tôles :

Matériaux : tous métaux et plastiques - épaisseur de 0,3 mm à 5 mm.

4) De bonnes interfaces internes : une séparation maximum entre les circuits assure leur interchangeabilité, tout en supprimant les possibilités d'intervention lors des manipulations.

5) De bonnes interfaces externes : l'interruption, les réglages et les contrôles effectués de l'extérieur se déroulent ainsi dans les meilleures conditions.

- Un exemple, la minuterie

Prenons pour exemple le cas d'une minuterie de conception quelconque; c'est le système isolé par excellence mais qui nécessite cependant de multiples interfaces. Les divers facteurs présentés ci-dessus vont intervenir :

1) Tout d'abord le système mécanique ou pyrotechnique commandé par la minuterie met en oeuvre des forces non négligeables qu'aucune manipulation de réglage ou de dépannage ne doit déclencher.

2) L'intégration des divers éléments fonctionnels (alimentation, horloge, commande) doit apparaître clairement. Au besoin, un mode d'emploi ajouté au projet y contribue.

3) Les essais peuvent imposer le remplacement des alimentations et des systèmes commandés. Leur accessibilité quasi immédiate est donc essentielle.

4) Aucune erreur de branchement interne ne doit être possible et le circuit doit pouvoir être remplacé par son double en cas de défaillance.

5) Les différents points de contrôles, de commandes et sécurités doivent être d'un accès facile de l'extérieur, en particulier lors du déroulement de la chronologie.

➔ DEUX PRINCIPES FONDAMENTAUX -

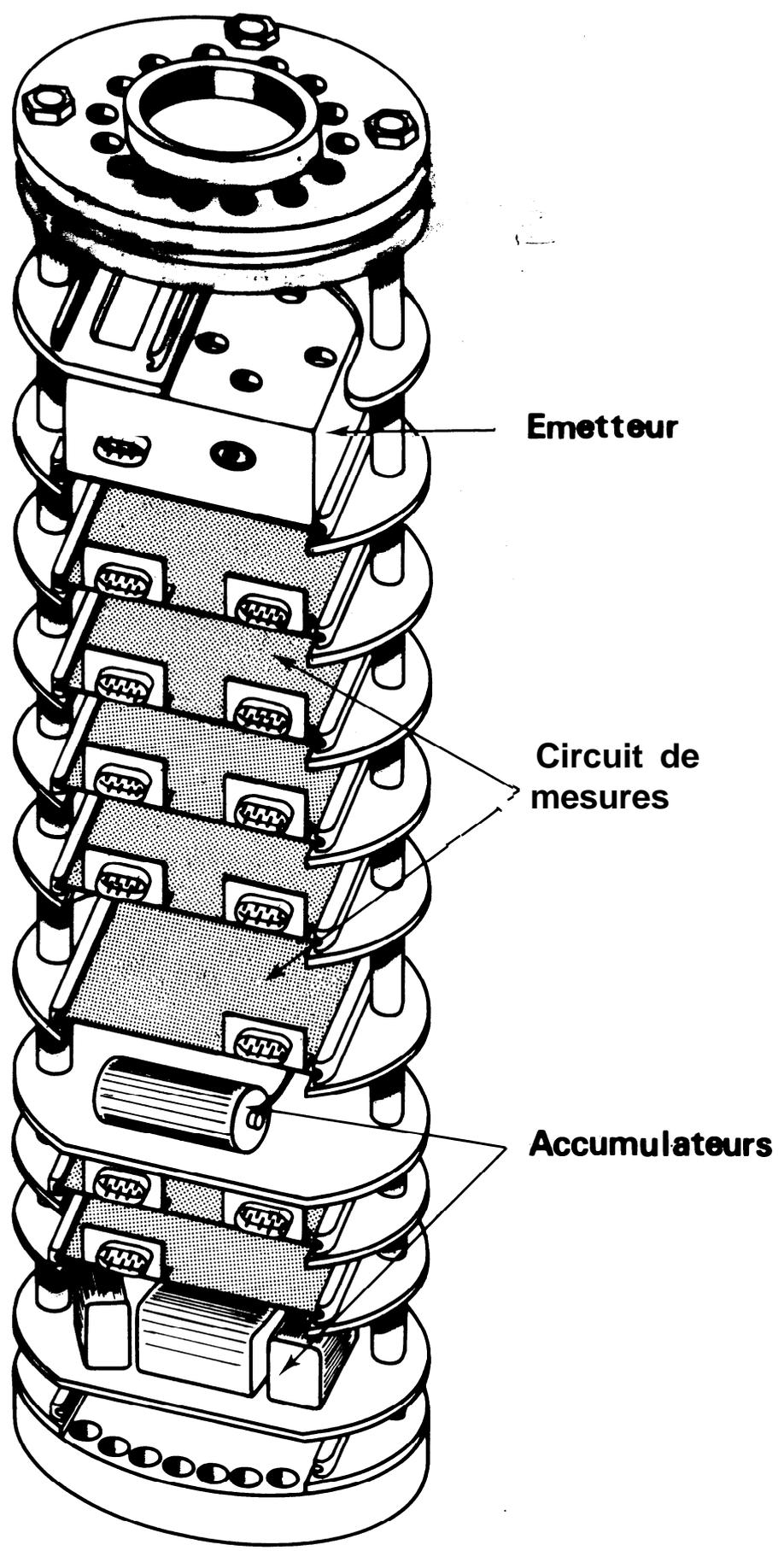
Ainsi, pour un système très isolé comme une minuterie, les problèmes à résoudre sont déjà très nombreux.

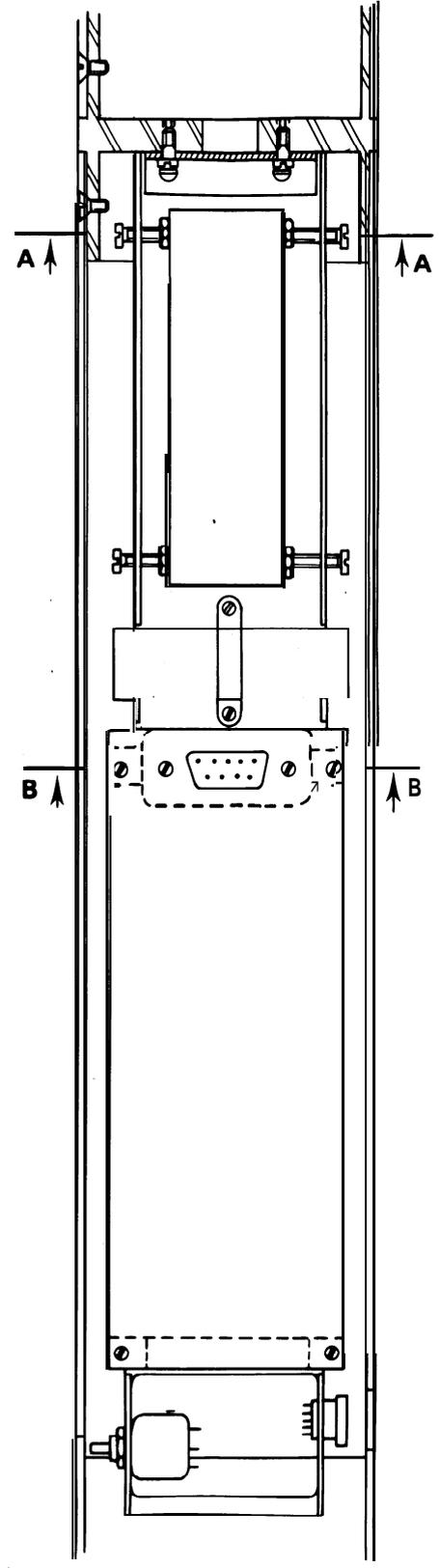
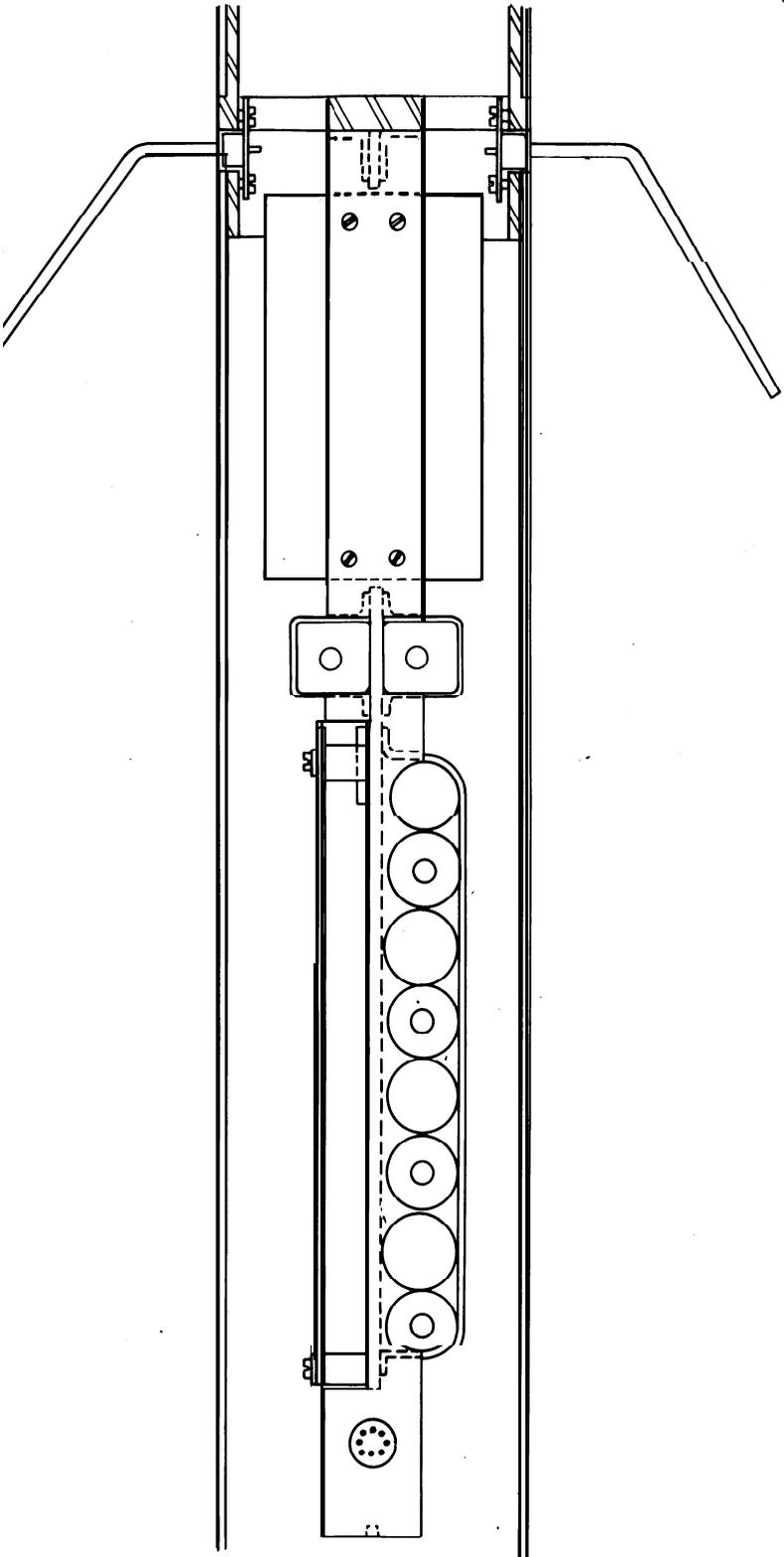
Il est donc compréhensible que pour des chaînes de systèmes (télémessure) tout se complique autrement.

Le premier principe sera donc de diviser au maximum les difficultés, ce qui signifie rendre l'intégration modulaire, la solution idéale étant une série de modules fixés sur une structure de liaison.

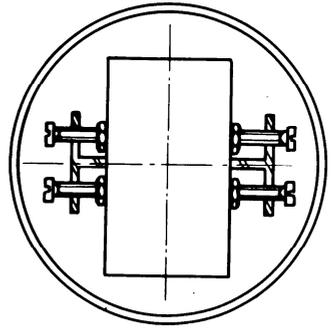
Par ailleurs, l'intégration n'est pas une fin en soi et ne doit pas être le "bijou chéri" de l'intégrateur mais le support efficace des expériences. Il en découle une recherche de la simplicité dans sa conception comme dans sa réalisation.

Ceci posé, une définition fonctionnelle de l'intégration est possible.

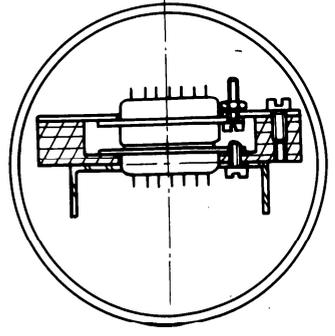




Section AA



Section BB



➔ METHODE DE CONCEPTION -

● Interfaces avec la cellule

Deux solutions peuvent être retenues :

- l'intégration est solidaire du reste de la fusée et on y accède en enlevant, soit entièrement, soit en partie, la peau de la case d'équipements,

- l'intégration est indépendante de la fusée. Elle n'est donc que temporairement en liaison avec la fusée; coincée des deux côtés, ou fixée rigidement d'un côté et coincée de l'autre. Dans ce cas, l'intégration qui n'est pas fixée rigidement à toute la cellule ne peut faire office de structure portante c'est la peau qui tiendra ce rôle.

● Interfaces avec les systèmes

Un système est lié à l'intégration d'un double point de vue mécanique et électrique.

La fixation mécanique se réalise de deux manières :

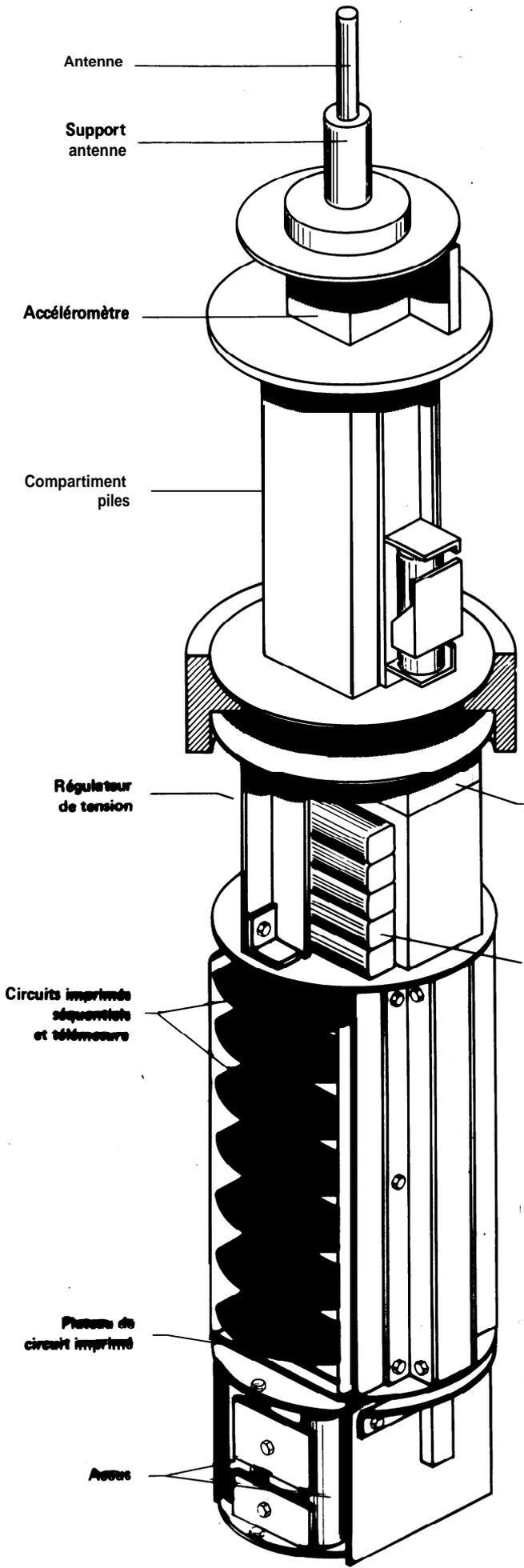
- la liaison directe par vissage, collage ou soudage,
- la liaison indirecte : coincement.

Les liaisons électriques se font par l'intermédiaire de câbles soudés à des connecteurs.

Dans tous les cas, il faut évaluer pour tout élément si il sera fixé en permanence ou temporairement tout en réduisant au maximum les fixations, afin d'améliorer l'accessibilité et l'interchangeabilité sans nuire pour autant aux qualités mécaniques du système.

Le choix du type d'intégration dépend également du positionnement des circuits imprimés électroniques qui représentent de loin la surface à intégrer la plus importante. Là encore, une alternative :

- l'intégration verticale lorsque les circuits sont placés suivant l'axe longitudinal de la fusée,
- l'intégration horizontale lorsque les circuits sont perpendiculaires à cet axe.



Armature de l'intégration du cône

Liaison cône-case équipement

Tiges de fixation des circuits imprimés

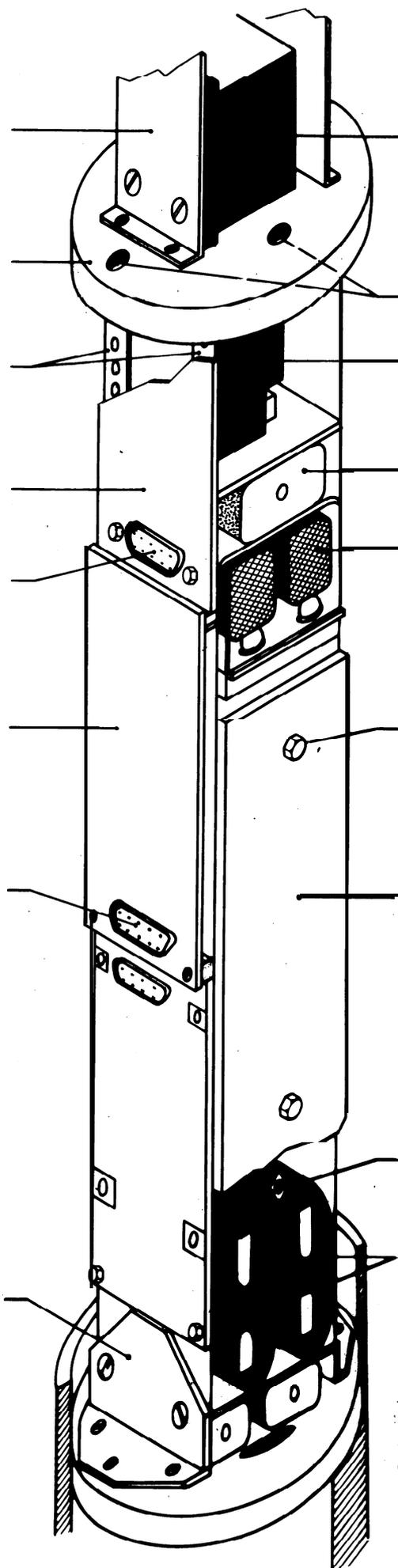
Plaquette «Peigne» en circuits imprimés

Fiche «Canon» femelle

Plaquette de télémètre montée

Fiche «Canon» mâle

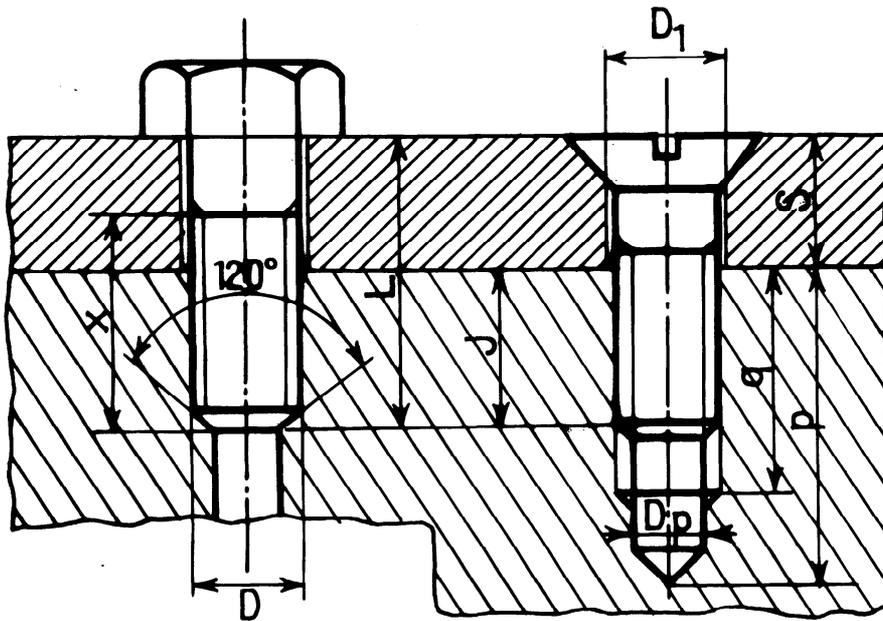
Equerres de fixation de l'armature



Plaque de liaison avec équipement et parachute

LES LIAISONS

Le VIS

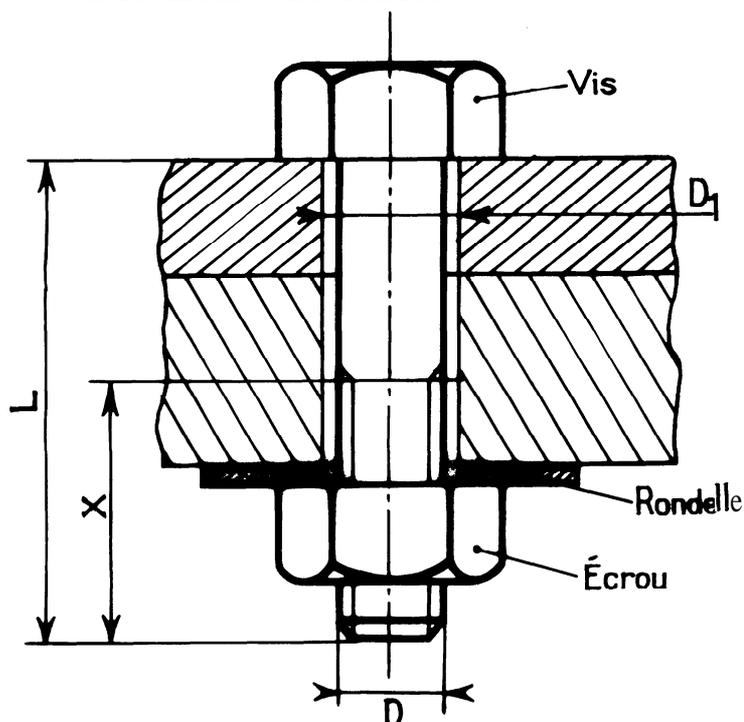


- L : longueur de la vis
 x : longueur filetée
 J : implantation
 p : longueur du perçage
 Dp : diamètre du perçage
 q : longueur du taraudage
 D : diamètre de la vis
 S : serrage (épaisseur de la pièce à fixer)
 D1 : diamètre de perçage de la pièce à fixer

Le BOULON

Il est constitué :

- d'une vis
- d'un écrou
- d'au moins une rondelle



- L : longueur de la vis
 D : diamètre de la vis
 x : longueur filetée
 D1 : diamètre de perçage des deux pièces

NORMALISATIONPas ISO

D (mm)	2	2,5	3	4	5	6	8	10
Pas de la vis (mm)	0,4	0,45	0,5	0,7	0,8	1	1,25	1,5

Détermination de DP

$$DP = D - 1 \text{ fois le pas}$$

Détermination de DI

$$DI = D + 0,5 \text{ mm pour } D < 5 \text{ mm}$$

$$DI = D + 1 \text{ mm pour } D > 5 \text{ mm}$$

➔ L'INTEGRATION dans le DEVELOPPEMENT du PROJET -

- L'avant-projet

L'intégration ne peut être définie que lorsque l'ensemble des expériences et asservissements à bord de l'engin est choisi.

Ceci est justement l'objectif de l'avant-projet. Elle y apparaît donc sous forme d'une vue générale en perspective, schématisée et facilement lisible par tous. Elle indique principalement la position et la fixation des différents systèmes :

- la structure portante
- les alimentations
- les circuits imprimés électroniques
- les capteurs
- les émetteurs et récepteurs
- les mécanismes
- les connecteurs
- les câbles
- etc

- Le projet

Au niveau du projet, l'intégration figurera sur le plan d'ensemble de la fusée avec les coupes et les vues de détail qui s'imposeront tout en conservant le schéma de l'avant-projet qui sera fort utile lors des petites modifications inévitables comme support de discussion au sein de l'équipe étant donnée sa facilité de lecture.

Enfin, la réalisation d'une maquette d'intégration à l'échelle avec des matériaux légers (balsa, carton, polystyrène expansé ...) permettra à chacun de bien se mettre en tête ce à quoi il va confier le fruit de ses efforts intenses et de voir les difficultés ou incohérences possibles.

Ceci défini, l'intégrateur pourra donner aux expérimentateurs les standards des formes des circuits, des volumes occupables, des connecteurs et leur demande en échange une évaluation précise des liaisons mécaniques et électriques nécessaires à leurs systèmes.

- La réalisation

Au cours des réalisations, les dessins, schémas et maquettes seront une référence constante, et pour qu'il en soit toujours ainsi, on ne manquera pas d'y reporter scrupuleusement toutes les modifications éventuelles en cours de route. Cela évitera bien des oublis et des malentendus.

- L'intégration finale

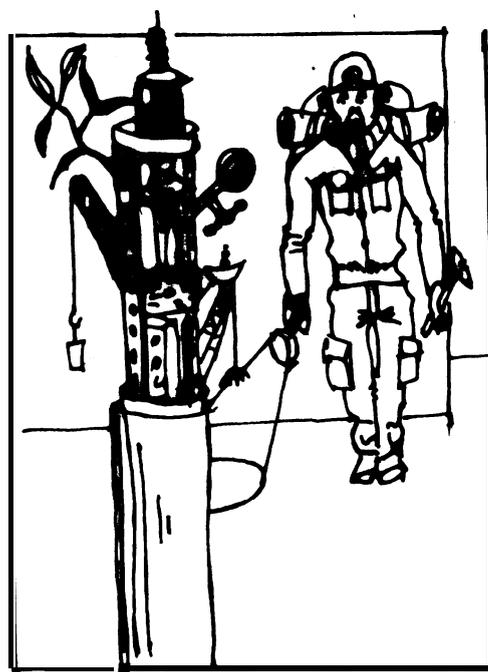
La phase finale de l'intégration, qui est pourtant la plus longue, se déroulera au moment où les modèles de vol des expériences étant réalisés et testés, ils seront installés douillettement dans leur logement. Alors se posera le problème des fixations et les plus grands soins sont indispensables pour éviter la destruction de bien des éléments par des erreurs grossières ou un empressement malvenu.

En particulier, le câblage électrique se fera à l'aide d'un schéma complet des connexions et du parcours des fils.

Toutes ces opérations faites, il ne restera plus qu'à effectuer les essais et contrôles de qualification de la pointe et il commencera à flotter dans l'atmosphère du laboratoire une odeur de poudre, une ambiance de campagne de lancement, un avant goût de succès.



L'accessibilité--



...e t l'homogénéité