



Récupération en mer du premier étage d'Ariane

A. Mechkak, Direction des Systèmes de Transport spatial, ESA, Paris

La nécessité d'offrir des lancements à des coûts aussi bas que possible, surtout dans le contexte de compétition où les aspects financiers joueront un rôle prépondérant, a poussé les responsables du programme Ariane à envisager la récupération du premier étage du lanceur. Une étude à cet effet est conduite dans le cadre du programme de développement complémentaire Ariane 3 dont les deux objectifs principaux sont l'augmentation de la performance (masse et volume offerts aux utilisateurs) et la réduction des coûts.

L'une des solutions envisageables pour atteindre ce deuxième objectif porte sur la diminution du prix de revient du premier étage qui à lui seul représente environ 40% du coût de fabrication du lanceur. La récupération partielle des matériels de cet étage devrait permettre une économie substantielle.

Une étude de faisabilité est en cours pour déterminer les solutions techniques envisageables et en quantifier l'intérêt économique; une décision quant à l'implantation du système sur les lanceurs de série et sa mise en oeuvre pourrait être prise par la suite. La première phase de cette étude a permis de démarrer le développement des matériels du système et sera suivie par un essai de récupération du premier étage (Fig. 1) à l'occasion d'un lancement opérationnel de la série de promotion d'Ariane 1 (L5 à L10). Cet article porte uniquement sur l'aspect technique du problème.

Pour réussir une récupération permettant la remise en état de l'étage et sa réutilisation ultérieure, deux conditions essentielles doivent être satisfaites:

- freinage de l'étage avant son impact sur l'eau (récupération en vol);
- repérage et repêchage rapides (récupération en mer).

Récupération en vol

Le but de cette première phase est de ralentir suffisamment la chute de l'étage, pour assurer un impact sur l'eau compatible avec la résistance mécanique de la structure.

Le mode de freinage qui consiste, après orientation correcte de l'étage, à allumer un moteur de décélération, conduit bien évidemment à un système compliqué et coûteux, d'une mise en oeuvre délicate et hasardeuse. Par contre, l'utilisation d'une chaîne de parachutes réduisant progressivement la vitesse de descente de l'étage s'est avérée tout à fait envisageable.

Des études préliminaires ont été entreprises pour permettre d'apprécier les difficultés à surmonter en vue des objectifs fixés.

Une étude de la trajectoire du premier étage après sa séparation du reste du lanceur a permis de déterminer les valeurs probables de certains paramètres critiques: efforts généraux auxquels est soumis l'étage lors de sa retombée; flux thermiques subis par les différentes parties de la structure. Elle a par ailleurs amené à conclure que le freinage naturel de l'étage rendait possible sa récupération en vol, au moyen de parachutes s'ouvrant à basse altitude.

Une seconde étude avait pour but de déterminer les pressions appliquées à l'étage lors de son impact sur l'eau. Des essais au moyen d'une maquette au 1/16 ont été réalisés dans différentes hypothèses de vitesse verticale, de vent horizontal et d'inclinaison de l'étage. La similitude employée est celle de Froude-Thoma, basée sur l'invariance des nombres de Froude et de Thoma, où:

- le premier exprime le rapport entre les forces hydrodynamiques et les forces de gravité

$$F = V / \sqrt{gH};$$

- le second exprime le rapport entre les forces de pression au sein du liquide, et les forces hydrodynamiques

$$T = \left(P_a + \rho g H + P_v - \rho \frac{V^2}{2} \right) / \rho \frac{V^2}{2}$$

P_a = pression atmosphérique

P_v = tension de vapeur.

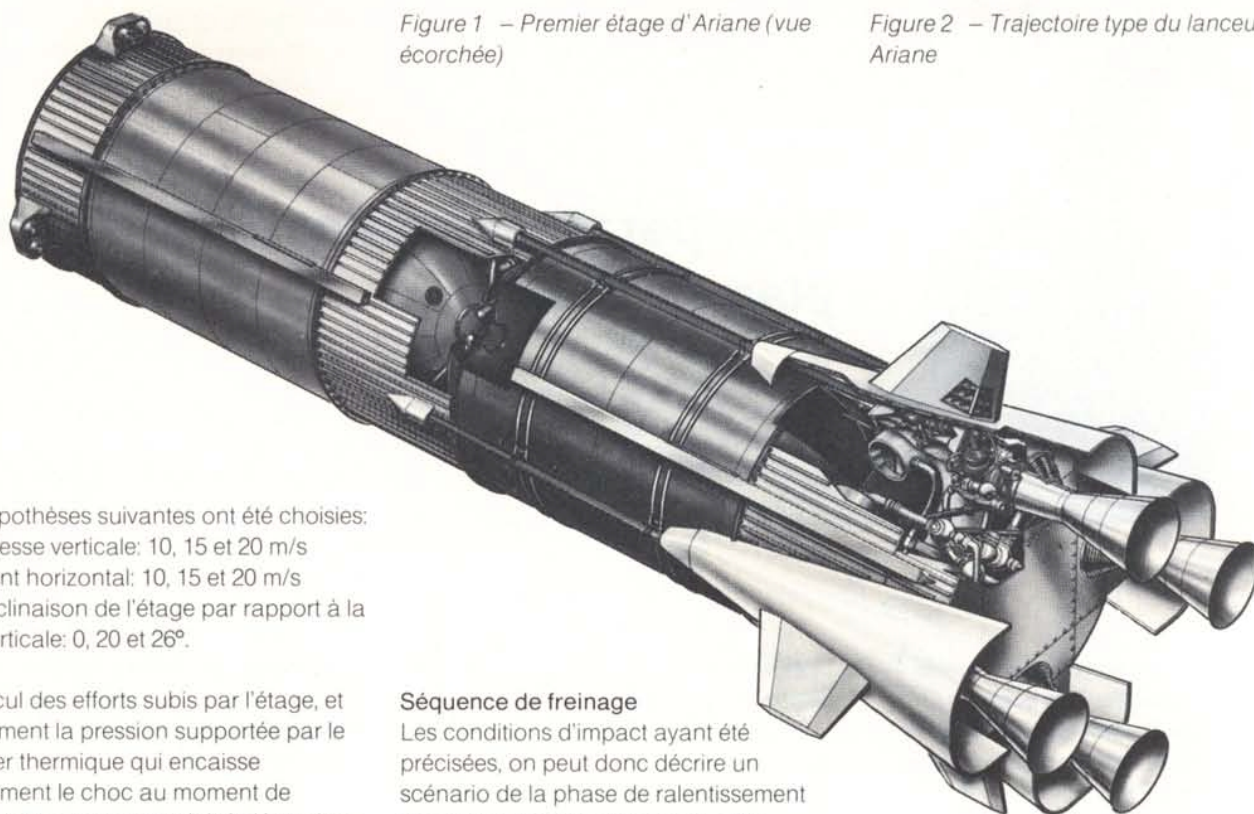


Figure 1 – Premier étage d'Ariane (vue écorchée)

Figure 2 – Trajectoire type du lanceur Ariane

Les hypothèses suivantes ont été choisies:

- vitesse verticale: 10, 15 et 20 m/s
- vent horizontal: 10, 15 et 20 m/s
- inclinaison de l'étage par rapport à la verticale: 0, 20 et 26°.

Le calcul des efforts subis par l'étage, et notamment la pression supportée par le bouclier thermique qui encaisse directement le choc au moment de l'impact en mer, ont conduit à déterminer comme valeurs acceptables:

- vitesse verticale: 12,5 m/s
- inclinaison: 0° (légère inclinaison favorable)
- vent maximal: 20 m/s.

Séquence de freinage

Les conditions d'impact ayant été précisées, on peut donc décrire un scénario de la phase de ralentissement lors de la retombée de l'étage, puis déterminer la configuration des éléments participant au déroulement de la séquence élaborée.

A la fin de sa phase propulsée (altitude:

environ 50 km), le premier étage (L140) du lanceur se sépare de la partie haute. Il amorçe alors une phase balistique (Fig. 2) au cours de laquelle sa vitesse est freinée

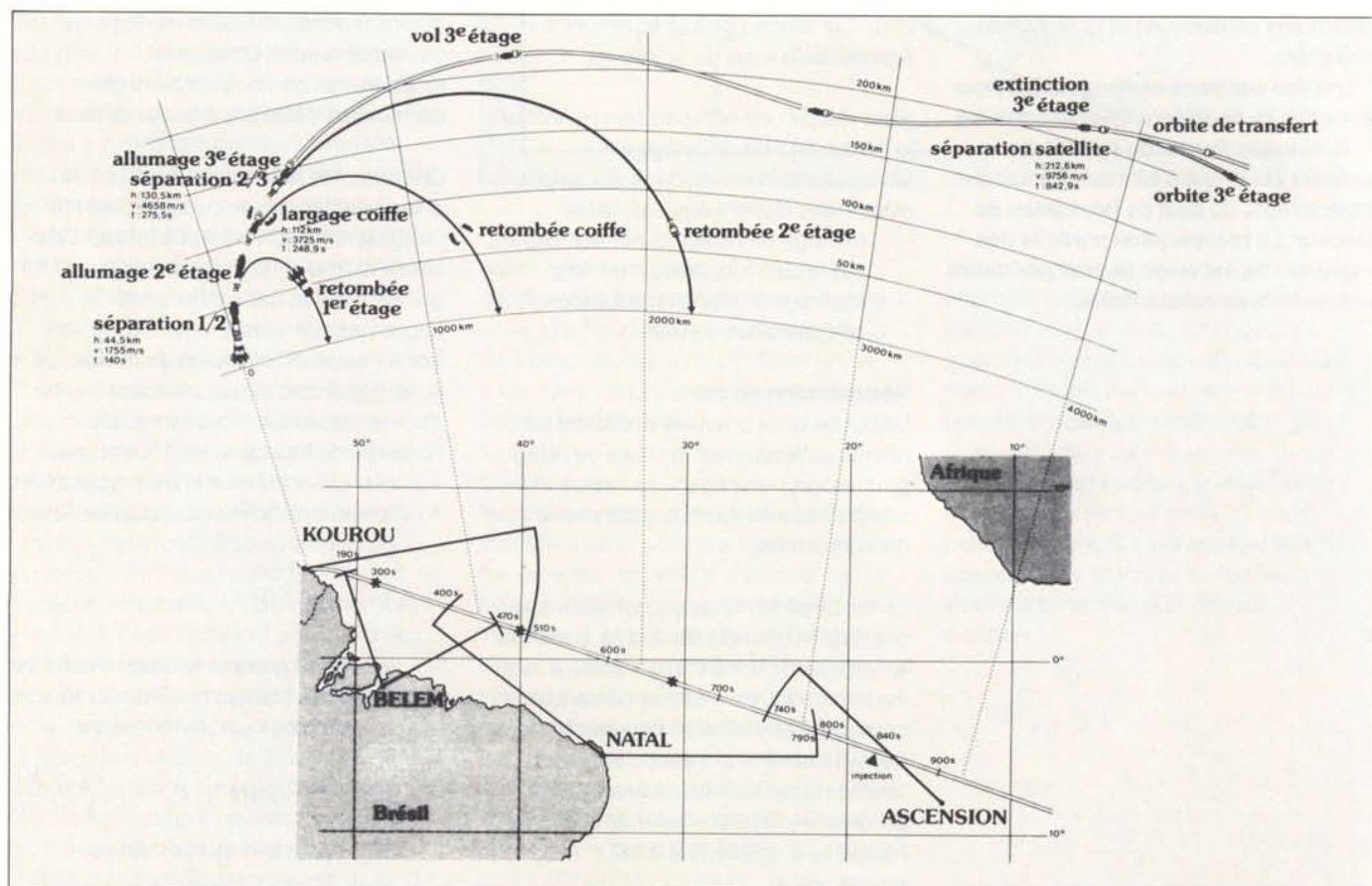
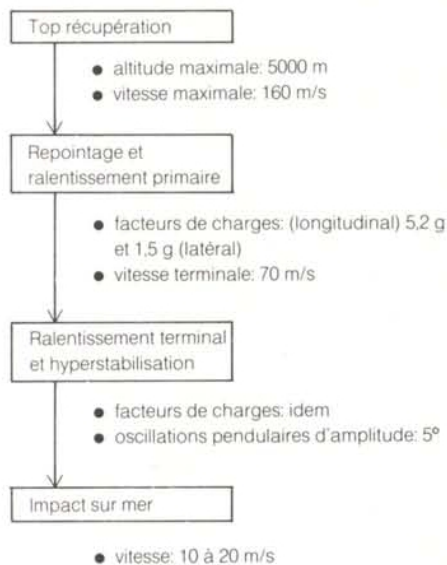


Figure 3 — Séquence de récupération du premier étage

par l'atmosphère environnante, et passe de 1800 m/s à environ 160 m/s vers l'altitude de 5 km. A partir de ce moment, le processus de freinage par parachutes (Fig. 3) se déroule selon le schéma suivant:

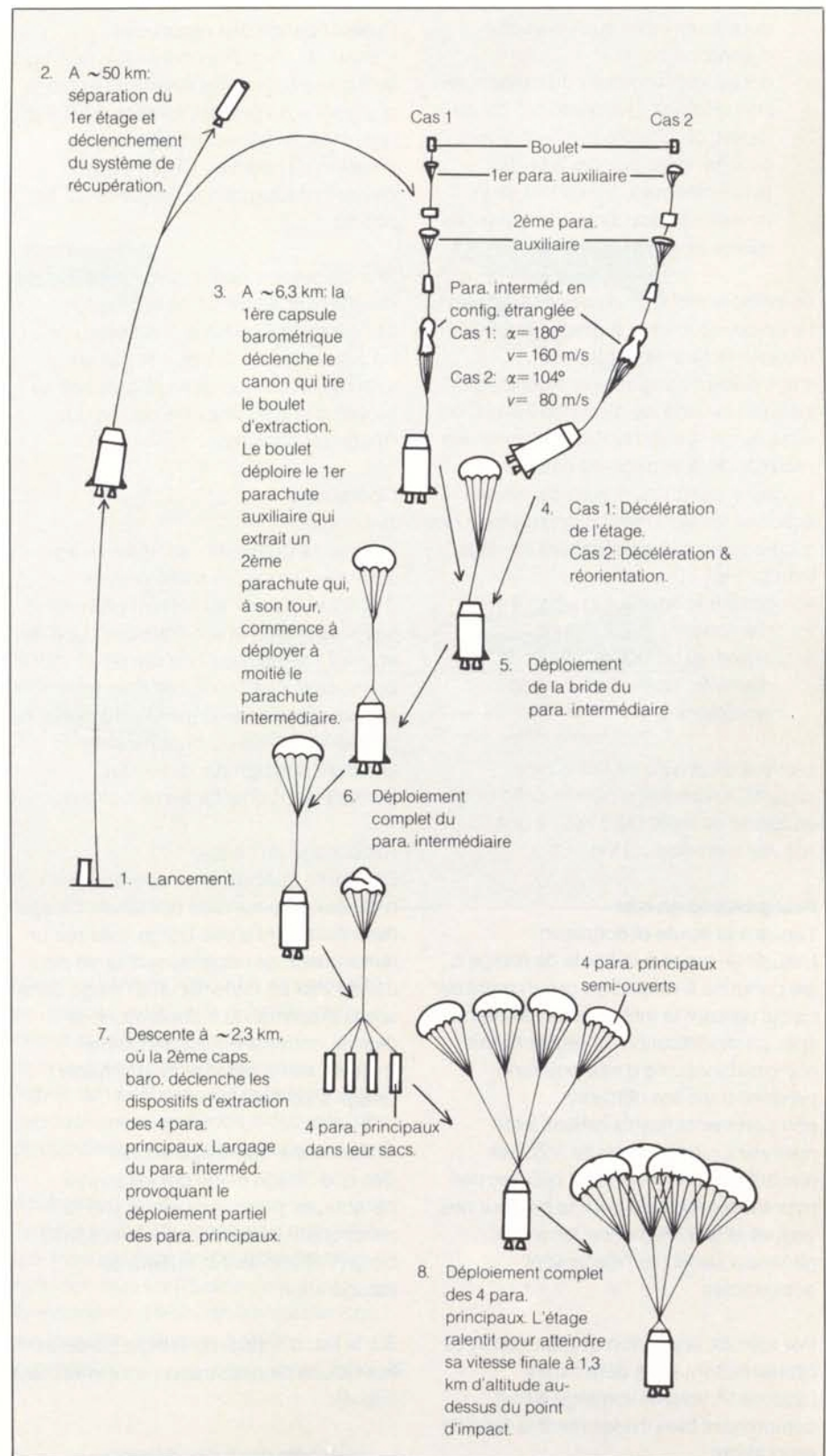


Top de récupération

L'initialisation de la séquence est obtenue au moyen d'un câble de commande largué après utilisation, relié d'une part au deuxième étage du lanceur, et d'autre part à un actionneur pyrotechnique qui arme un boîtier de commande barométrique (un retard pyrotechnique de 12,5 s évite le fonctionnement prématuré du boîtier barométrique). Ce dernier, à une altitude d'environ 5 km, commande un canon qui éjecte un boulet extracteur d'un premier parachute auxiliaire (diamètre: 0,56 m) qui lui-même aide au déploiement du parachute extracteur principal, (diamètre: environ 1,5 m).

Repointage et ralentissement primaire

Le déploiement complet du parachute auxiliaire principal permet alors l'extraction du parachute intermédiaire, destiné à opérer un début de ralentissement de l'étage, à réduire ses éventuelles oscillations et enfin à assurer son orientation correcte. L'ouverture de ce parachute s'effectue en deux temps:



- ouverture limitée à un diamètre d'environ 2 m;
- déploiement complet du parachute intermédiaire (diamètre: 12,5 m) au moyen de cisailles pyrotechniques commandées par des retards pyrotechniques, armés lors de la première phase d'ouverture par des câbles de commande.

Ralentissement final et hyperstabilisation

Le lanceur continue à descendre, freiné uniquement par le parachute intermédiaire complètement déployé, jusqu'à une altitude d'environ 2 km. C'est alors qu'un second boîtier barométrique commande le largage du parachute auxiliaire. Durant son éjection, celui-ci actionne les systèmes de déploiement des quatre parachutes principaux en deux temps:

- ouverture limitée à environ 4 m de diamètre;
- ouverture complète à 20 m de diamètre, environ 4,3 s après extraction.

La mise en oeuvre de ces quatre parachutes permet d'obtenir enfin une descente verticale (12,5 m/s) à une altitude d'environ 1,3 km.

Récupération en mer

Tenue à la houle et flottaison

L'étude de tenue à la houle de l'étage a été conduite à l'aide d'un programme de calcul utilisant la méthode des éléments finis. La modélisation de l'étage tenait compte du volume d'eau pouvant pénétrer dans ses différents compartiments (partie arrière, inter-réservoirs, jupe inter-étage 1/2). Les résultats obtenus montrent qu'avec des hypothèses réalistes pour la hauteur des vagues et leur fréquence, les efforts généraux subis par l'étage sont acceptables.

Par ailleurs, la position approximative de l'étage flottant a été déterminée (assiette 5°; volume immergé 42 m³, comprenant bien évidemment la baie de propulsion).

Pressurisation des réservoirs

L'étude de l'évolution thermique des gaz de pressurisation des réservoirs après la séparation du premier étage a montré que, sous certaines conditions, la pression du réservoir UDMH pouvait descendre jusqu'à une valeur de 0,9 bar absolu.

Afin d'écartier le risque d'une détérioration du réservoir par l'effet de la pression atmosphérique externe, il est prévu de pouvoir le repressuriser, soit par un système embarqué dans l'étage, soit au moyen d'une source externe, lorsque l'étage est dans l'eau.

Opérations

Repérage

Lors de sa phase de retombée, l'étage sera suivi au moyen d'instruments d'optique, à partir du bateau prévu pour sa récupération et son transport. Une fois en mer, il se peut qu'il ne soit plus localisé optiquement de façon certaine, aussi est-il prévu d'implanter dans la jupe avant, une série de trois ou quatre balises émettant des signaux radio, qui permettront d'orienter les recherches.

Repêchage de l'étage

Un moyen spécial de récupération en mer a été conçu pour cette opération. Il s'agit essentiellement d'une barge, tirée par un remorqueur, de capacité suffisante pour transporter en toute sécurité l'étage dans son bâti spécial de récupération; ce dernier, communément dénommé 'cuillère', sert à amarrer, puis à hisser l'étage à bord de la barge.

Scénario du repêchage en mer

Dès que l'étage freiné par les quatre parachutes principaux est en vue, le remorqueur tracte dans sa direction la barge transportant la cuillère de récupération.

Sur le lieu d'impact de l'étage, plusieurs opérations de préparation sont effectuées (Fig. 4):

- contrôle des fuites d'ergols

- mise en position angulaire adéquate de l'étage
- enlèvement des parachutes
- réglage de l'assiette de la barge, en concordance avec celle de l'étage (en même temps qu'elle est amenée en position de travail)
- mise en position récupération de la cuillère
- amarrage de l'étage au moyen d'un câble fixé à un treuil sur la barge.

L'ensemble est alors tracté par le remorqueur, à vitesse réduite, afin d'aligner l'étage avec l'axe de la cuillère. Ensuite, l'étage est treuillé lentement pour être placé dans la cuillère, dont l'intérieur est garni de coussins gonflés d'air. L'étage étant solidement amarré à la cuillère, l'opération de hissage à bord de la barge peut alors commencer. Ceci se fait par treuillage de la cuillère qui glisse sur une rampe prévue à cet effet. L'ensemble est ensuite assuré en position fixe, en vue de son transport jusqu'au port.

Remise en état

Dès l'arrivée au port de Cayenne va commencer la deuxième phase de l'étude de faisabilité, celle qui correspond à la récupération des matériels. Elle débutera par un rinçage soigné à l'eau douce de l'ensemble du lanceur, suivi d'opération de neutralisation et de séchage.

Ensuite un démontage systématique de l'ensemble sera immédiatement entrepris afin d'effectuer une expertise des matériels, en vue de leur revalidation. Les résultats des différentes expertises de revalidation en Europe seront les données principales de l'étude de rentabilité économique.

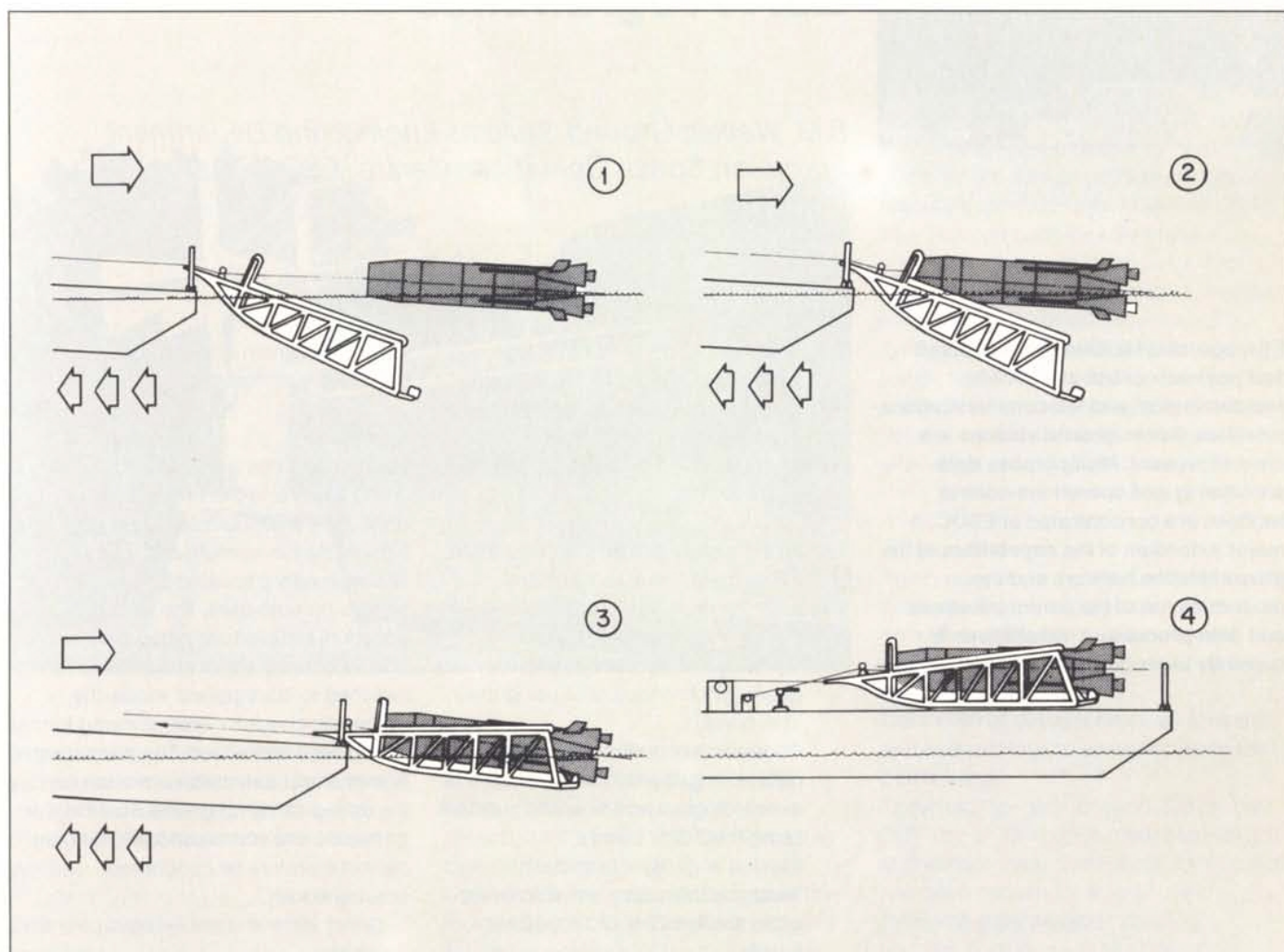
Conclusion

Ce programme de récupération du premier étage se décompose en trois parties:

Etude de faisabilité

La première phase de cette étude s'est terminée au début de l'année 1981 et

Figure 4 – Scénario de repêchage en mer



concluait à la possibilité technique de récupérer le premier étage du lanceur, dans des conditions d'intégrité suffisante pour permettre la réutilisation de bon nombre de ses éléments.

Démonstration pratique

Un planning de développement du système de récupération et de son intégration dans la jupe avant d'un premier étage a été établi. La définition de tous les matériels a été faite, une revue de définition s'est tenue au cours du mois de juin 1981. Actuellement les équipements sont en cours de réalisation et les essais de mise au point et de qualification sont déjà entrepris pour certains d'entre eux. La livraison du matériel est prévue pour le

début de l'année 1982, afin de permettre un essai en vol à partir du milieu de la même année. Après cet essai, commencera la deuxième phase de l'étude de faisabilité; une expertise sera conduite sur les matériels récupérés afin de compléter l'étude économique.

Application

Le bilan global de l'opération permettra aux responsables du programme de formuler leurs conclusions et éventuellement leurs recommandations sur les suites à donner à cette expérience.