

## COMPRESSION D'IMAGES POUR LA MISSION D'EXPLORATION PLANETAIRE PHOBOS II

A. BASKURT\*, R. GOUTTE\*, C. ODET\* et C. MALIQUE\*\*

\* Laboratoire de Traitement du Signal et Ultrasons, INSA - 20 av. A. Einstein, 69621 Villeurbanne cedex

\*\* Service d'Aéronomie du CNRS, 91371 Verrières-Le-Buisson

### RÉSUMÉ

L'étude réalisée pour la mission internationale d'exploration planétaire Phobos II dans le cadre d'une coopération franco-soviétique concerne la compression à bord de la sonde d'atterrissage, des images acquises sur Phobos, avant la transmission vers la Terre. La méthode de compression développée utilise la Transformation Cosinus Discrète appliquée sur des blocs de taille 16 x 16. Un seuillage adaptatif est effectué pour le choix des coefficients à garder. Les coefficients sont quantifiés uniformément et codés par des mots binaires de longueur fixe. L'emplacement des coefficients conservés est représenté par quadtree. Les résultats de simulation sont concluants. Les premières images seront reçues et décodées à partir d'avril 1989.

### SUMMARY

The study realised for the international mission of planetary exploration Phobos II as a part of a French-Soviet cooperation, concerns the coding of Phobos images on the space probe. The developed coding method uses a Discrete Cosine Transform applied on 16 x 16 image blocks. An adaptative thresholding allows to select the coefficients. The coefficients are uniformly quantized and coded using fixed length codes. The threshold mask is coded using a quadtree representation. Simulation results are satisfactory. The first images will be received and decoded in april 1989.

#### I - Introduction

Une mission spatiale a pour but de nous faire découvrir des mondes lointains, planètes, astéroïdes, comètes, etc, et d'en étudier les caractéristiques. Cette découverte ne peut se faire que par transmission vers la Terre des données acquises localement.

Dans le cadre de la coopération franco-soviétique pour la mission internationale d'exploration planétaire PHOBOS II, le responsable scientifique de l'expérience, le Professeur J. Blamont du Service d'Aéronomie du CNRS nous a proposé de développer une méthode de compression d'images, de réaliser le logiciel correspondant et de l'implanter sur le calculateur de bord de la sonde d'atterrissage sur Phobos. Phobos qui veut dire la "Terreur" en grec, est un des deux satellites de la planète Mars. Les images transmises seront acquises sur ce satellite.

interplanétaire, le Soleil, la planète Mars et un de ses deux satellites naturels, Phobos.

Phobos est un grand "caillou" de 27 km de long, 21 km de haut et 19 km de large (Figure 1). Il tourne en 7 heures et 39 minutes à 5981 km au-dessus de la surface de la planète rouge. L'attraction est 2000 fois moindre que sur Terre. Les observations à distances faites par la sonde américaine Viking I indiquent que le sol de Phobos est de nature semblable à celui des météorites déjà présentes autour du Soleil avant la formation des planètes. L'étude de Phobos pourra nous renseigner sur la naissance du système solaire. Un autre intérêt capital est la déposition d'un "Lander", sur la surface de Phobos. C'est la première fois qu'une station autonome est déposée si loin dans l'espace.

#### II - La mission Phobos II

Le lancement de la fusée porteuse soviétique PROTON a eu lieu le 12 juillet 1988 de Baïkonour, en Union Soviétique. Cette fusée a emporté la station interplanétaire Phobos qui contient 22 expériences scientifiques élaborées par 12 pays différents, dont la France. Ces expériences sont destinées à étudier le milieu

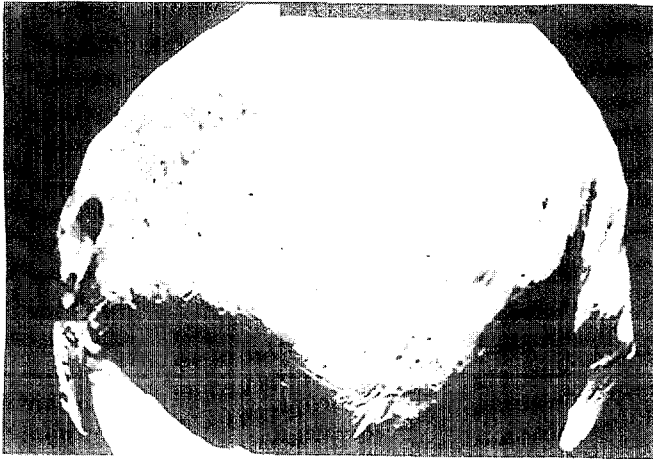


Figure 1 Image de Phobos prise par Viking 1.

Le Lander est une des 22 expériences de la sonde Phobos. Il sera déposé sur Phobos après 265 jours de voyage Terre-Mars, lorsque la sonde passera à 50 m au-dessus de la surface du satellite. Il sera alimenté par des panneaux solaires qui vont se déployer et s'orienter vers le Soleil après l'atterrissage. Plusieurs expériences sont prévues comme la détermination de l'attitude de Phobos sur son orbite autour de Mars (mesure des Librations) ou l'étude de la constitution du sol. Sa durée de vie est de l'ordre de 12 mois.

Le Lander possède deux caméras CCD mobiles qui permettront de prendre des images de la surface de Phobos et aussi de l'horizon. Ces images seront transmises directement, sans relais, vers la Terre à une fréquence de 1667 MHz. Le débit de transmission est de 4 à 32 bits par seconde. Les antennes de réception sur Terre sont situées de façon telle qu'au moins une de ces antennes puisse recevoir chaque émission du Lander.

L'émission se fera pendant des séances de 16 à 30 minutes à chaque orbite Phobos autour de Mars. Les séances espacées d'environ 7 h 56 mn. A ce rythme, la durée de la transmission d'une image numérique codée sur 8 bits et de taille 208 x 144 pixels (format fixé par les caméras CCD) est estimée à environ 10 jours. Cette durée n'est évidemment pas envisageable compte-tenu de la durée totale de la mission (12 mois). Cette contrainte nous a conduit à utiliser une méthode de compression sur Phobos avant la transmission. En effet, sans compression, on ne transmettrait que quelques images (5 - 6). Grâce à la compression, 40 à 50 images au moins seront envoyées pendant la durée totale de la mission.

### III - Cahier des charges

Le lander ayant une capacité mémoire limitée partagée par 12 expériences, l'emplacement mémoire réservé au logiciel de compression est le suivant :

- 4 k octets de mémoire morte (ROM) pour le programme et les constantes ;
- 2 k octets de mémoire vive (RAM) pour les variables.

Le taux de compression peut prendre les valeurs de 1, 4, 8 ou 12. Cette valeur est télécommandable à partir de la Terre.

Le temps d'exécution n'est pas vraiment une contrainte étant donné que les transmissions se font pendant des séances courtes espacées de plusieurs heures. Toutefois, le système possède un seul microprocesseur 8 bits qui doit gérer les exigences des 7 expériences en cours. En plus, pour limiter la consommation, la fréquence de l'horloge du système est faible (1.125 MHz). Compte tenu de ces remarques, le temps d'exécution nécessaire à la compression d'une image complète doit être inférieur à 2 heures.

Les erreurs de transmission sont évaluées à  $10^{-4}$ . Autrement dit, 1 bit sur 10000 risque d'être faux à la réception. Le nombre de bits faux possible pour un taux de compression  $T_c = 4$  est donc donné par :

Image originale : 208 x 144 x 8 bits = 239.616 bits  
 Image codée par  $T_c = 4 \Rightarrow 59.904$  bits  
 Nombre de bits faux possibles  $\Rightarrow 6$  bits

Dans le cas d'une méthode de compression par transformation de blocs, 6 blocs au plus seront erronés. Suivant la localisation de ces blocs dans l'image et aussi suivant la localisation des bits faux dans la chaîne de transmission, ces erreurs peuvent causer la perte de ces six blocs et donc une partie de l'information de l'image originale. Ceci nous impose :

- Une redondance au niveau du codage des coefficients importants du plan transformé comme, par exemple, la valeur à l'origine.
- Un codage des coefficients sélectionnés avec des mots-code de longueur fixe. En effet, si nous utilisons des mots-code de longueur variable comme le code de Huffman, un bit faux causerait la perte de tous les coefficients transmis séquentiellement.

### IV - Méthode de compression développée

Les méthodes par transformation sont *unanimentement* considérées comme les méthodes de compression les plus efficaces. Elles permettent une décorrélation quasi-parfaite de l'information. Toutefois, on souligne souvent que leur implantation est plus complexe que celle des autres méthodes travaillant dans le plan image. L'utilisation d'un algorithme de transformation rapide devient souvent nécessaire.

Dans le cadre de la mission Phobos, le temps d'exécution n'étant pas une contrainte sévère, nous avons choisi d'utiliser une méthode par Transformation Cosinus Discrète (TCD) [1] appliquée sur des blocs d'image de taille 16x16. En effet, la TCD est la transformation qui satisfait au mieux les critères suivants :

- la décorrélation de l'information se traduisant par une concentration d'énergie dans le plan transformé
- l'existence d'algorithmes de calcul rapides.

Le plan transformé est ensuite traité par une méthode de seuillage auto-adaptative par opposition aux méthodes zonales pré-déterministes. Cela permet de sélectionner les coefficients transformés de plus grandes énergies. Les performances obtenues devraient être équivalentes pour les deux classes d'images à traiter (images de la surface de Phobos et images de l'horizon).

L'image a une taille de 208 x 144 pixels, rassemblés en 117 blocs de taille 16 x 16 pixels. Il y a donc 9 lignes de 13 blocs.

L'algorithme de compression se déroule de la façon suivante pour chaque bloc :

- 1) Le bloc est transformé par une TCD bidimensionnelle (TCD-2D)
- 2) La valeur à l'origine VM qui représente la valeur moyenne du bloc image est quantifiée et codée séparément. La valeur maximale de est donnée par :

$$VM_{max} = 2 \cdot (2^B - 1) = 2 \cdot 255 = 510$$

où B est le nombre de bits utilisé pour coder chaque pixel de l'image originale. Nous quantifions et codons linéairement VM sur 13 bits. Une bonne précision sur ce coefficient est nécessaire pour limiter la variation possible de la luminosité moyenne lorsqu'on traverse la frontière de 2 blocs voisins.

La valeur à l'origine du plan transformé est mise à zéro pour la suite des opérations.

- 3) Pour s'assurer d'avoir pour chaque bloc des chaînes binaires de longueur voisines, le même nombre de coefficients  $N_c$  est sélectionné pour chaque bloc. Les  $N_c$  plus grandes valeurs (en valeur absolue) du bloc sont alors choisies. Les autres coefficients sont forcés à zéro. Le seuil varie d'un bloc à l'autre et est égal à la valeur minimale des  $N_c$  valeurs maximales du plan transformé. Il s'adapte donc à l'activité énergétique du bloc.

- 4) Pour avoir une longueur de programme inférieure à 4 k octets et pour tenir compte des éventuelles erreurs de transmission, une méthode linéaire avec des mots de longueur fixe a été choisie pour la quantification et le codage des  $N_c$  coefficients sélectionnés. L'intervalle de quantification est défini entre la valeur minimale et la valeur maximale de ces coefficients. Il est donc à dynamique variable de bloc à bloc.

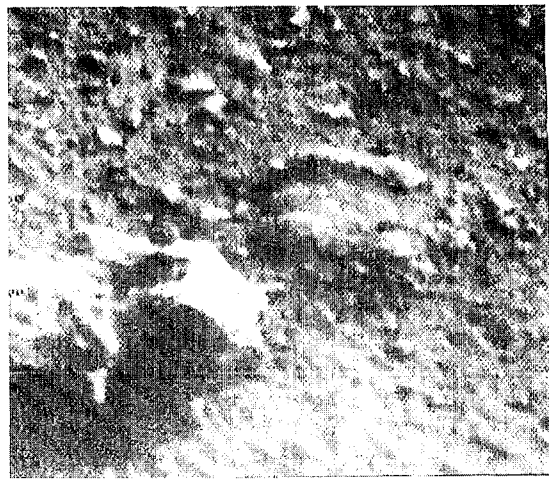
- 5) Cette méthode nous oblige à coder le masque de seuillage (l'emplacement des  $N_c$  coefficients sélectionnés) pour chaque bloc. Ce codage a été effectué avec la méthode de balayage par arbre quaternaire proposée dans [2].

Les nombres de coefficients sélectionnés et la longueur moyenne de la chaîne binaire par bloc en fonction des taux de compression sont les suivants :

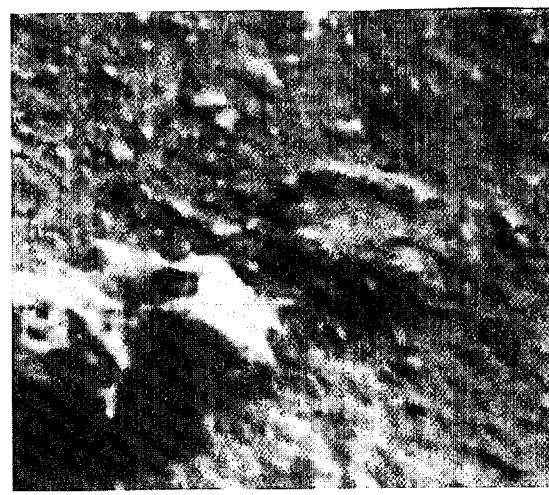
Taux de compression	Nombre de coefs. sélectionnés	Longueur de la chaîne binaire par bloc
4	8	512
8	28	256
12	12	171

V - Résultats de simulations

L'algorithme a été tout d'abord simulé en langage évolué sur un micro-ordinateur. La figure 2 représente l'image originale et l'image décompressée avec un taux de compression de 8 (1 bit/pixel).



a



b

Figure 2 : a- L'image originale 256x256 codée sur 8 bits  
b- L'image décodée : taux de compression=8 (1 bit/pixel)



Nous obtenons les rapports signal sur bruit suivants :

Taux de compression (dB)	Rapport Signal sur Bruit (dB)
4	37.7
8	33.5
12	32.2

Les effets de blocs qui apparaissent sur l'image décompressée ont été "gommés" par un filtre gaussien dans la figure 2.

## VI - Ecriture en langage assembleur et implantation

Les résultats de simulation étant très satisfaisants, nous avons écrit l'algorithme en langage assembleur du processeur de bord du Lander. Ce processeur est un microprocesseur 8 bits équivalent à un Z 80.

Le programme assembleur final a une longueur de 3856 octets. La mémoire RAM utilisée est de 1956 octets.

Afin de pouvoir tester ce programme dans un environnement logiciel identique à celui de la sonde, nous avons simulé sur un micro-ordinateur, le système d'exploitation du Lander, les procédures de lecture et d'écriture dans les mémoires RAM et la bibliothèque mathématique.

L'interfaçage avec l'environnement logiciel réel du système a été réalisé à l'Institut Central de Recherche en Physique (KFKI à Budapest), de l'académie des Sciences de Hongrie au mois de septembre 1987.

La version définitive du programme a été implantée sur la sonde à l'Institut de Recherches Spatiales (IKI à Moscou), de l'académie des Sciences de l'URSS au mois de Mars 1988.

Les temps d'exécution dans les conditions réelles de fonctionnement de la sonde Phobos pour les différents taux de compression  $T_c$  sont :

$T_c$	Temps d'execution
4	2 h
8	1 h 15
12	1 h

## VII - Conclusion

Dans cette étude, nous avons développé une technique de compression adaptée aux contraintes sévères de la mission spatiale Phobos. Cette technique a été mise en oeuvre et implantée sur le processeur de bord du Lander, avec une entière satisfaction du cahier des charges.

Outre la distance de corrélation qui fixe la taille des blocs, la méthode proposée ne nécessite aucune

hypothèse préalable sur les caractéristiques de l'image ni sur la position spectrale de l'information utile. Contrairement à beaucoup d'approches, elle ne se traduit pas par un simple filtrage BF.

Comme toutes les méthodes travaillant par blocs, la méthode Phobos présente l'avantage de faciliter la localisation d'une erreur de transmission. Les redondances de la chaîne binaire associée à chaque bloc permettent en plus une correction éventuelle de cette erreur.

Cette application, mise à part la méthode utilisée, est en soit une nouveauté, car il s'agit d'une des toutes premières applications de traitement d'images complexe réalisée à bord d'une sonde dans le cadre d'une mission spatiale.

## Bibliographie

- [1] - AHMED N., NATARAJAN T., RAO K.R. "Discrete cosine transform", IEEE Trans. on Computers, 1974, vol. 23, p. 90-93.
- [2] - BASKURT A., GOUTTE R. "Encoding the location of spectral coefficients using quadrees in transform image coding", IEEE Intl. Conf. on ASSP, ICASSP-89, Glasgow, Ecosse, 23-26 Mai 1989.