

Vallées de débâcle et processus cryokarstiques sur Mars et en Sibérie

Fluvial Outbursts and Cryokarstic Processes on Mars and in Siberia

François Costard

Volume 44, numéro 1, 1990

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/032802ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/032802ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Les Presses de l'Université de Montréal

ISSN

0705-7199 (imprimé)

1492-143X (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cette note

Costard, F. (1990). Vallées de débâcle et processus cryokarstiques sur Mars et en Sibérie. *Géographie physique et Quaternaire*, 44(1), 97–104.
<https://doi.org/10.7202/032802ar>

Résumé de l'article

Le climat froid et sec de la planète Mars implique le maintien d'un pergélisol. À Yakutsk (Sibérie), l'épaisseur maximale du pergélisol est de 1,5 km. Une analyse comparative entre les vallées de débâcle en Sibérie et celles de la planète Mars est proposée. Elle fait appel au processus d'érosion thermique produit par le contact de l'eau liquide avec le pergélisol. La fonte des glaces de ségrégation sous la vallée implique la formation d'un talik. Celui-ci facilite la prise en charge des sédiments et l'enfoncement de la vallée. En Sibérie, le sapement le long des berges par érosion thermique provoque un rapide recul des versants qui expliquerait la largeur excessive des vallées de débâcle sur Mars. Avec le climat froid de la planète Mars et de la Sibérie, le pergélisol, empêche l'infiltration de l'eau tout en facilitant l'étalement des sédiments à l'embouchure des vallées. La présence de couches massives de glace dans le sous-sol et leurs fontes préférentielles contribue au développement d'un cryokarst comme celui des vallées d'alas en Yakoutie. Une comparaison est proposée entre le cryokarst de la Yakoutie et certaines dépressions fermées sur Mars.

VALLÉES DE DÉBÂCLE ET PROCESSUS CRYOKARSTIQUES SUR MARS ET EN SIBÉRIE

François COSTARD, Laboratoire de géographie physique, UA 0141 CNRS, 1, place Aristide-Briand, 92195 Meudon Cedex, France.

RÉSUMÉ Le climat froid et sec de la planète Mars implique le maintien d'un pergélisol. À Yakutsk (Sibérie), l'épaisseur maximale du pergélisol est de 1,5 km. Une analyse comparative entre les vallées de débâcle en Sibérie et celles de la planète Mars est proposée. Elle fait appel au processus d'érosion thermique produit par le contact de l'eau liquide avec le pergélisol. La fonte des glaces de ségrégation sous la vallée implique la formation d'un talik. Celui-ci facilite la prise en charge des sédiments et l'enfoncement de la vallée. En Sibérie, le sapement le long des berges par érosion thermique provoque un rapide recul des versants qui expliquerait la largeur excessive des vallées de débâcle sur Mars. Avec le climat froid de la planète Mars et de la Sibérie, le pergélisol, empêche l'infiltration de l'eau tout en facilitant l'étalement des sédiments à l'embouchure des vallées. La présence de couches massives de glace dans le sous-sol et leurs fontes préférentielles contribue au développement d'un cryokarst comme celui des vallées d'alas en Yakoutie. Une comparaison est proposée entre le cryokarst de la Yakoutie et certaines dépressions fermées sur Mars.

ABSTRACT *Fluvial outbursts and cryokarstic processes on Mars and in Siberia.* The cold and dry climate of the planet Mars involves the existence of permafrost. In Yakutsk (Siberia), the maximum thickness of permafrost is 1.5 km. The objective of this paper is to compare Siberian valleys and Martian outflow channels. The analysis shows comparative thermal erosion by liquid water contact on permafrost. Melting of the segregated ice under the valley floor involves the formation of a talik. Sediment mobilization and incision of the valley will therefore probably be induced. In Siberia thermal erosion of valley walls produces large-scale slumps and favors accelerated scarp retreat. The widening of Martian outflows may best be explained by this process. Under the cold climate conditions of Mars and Siberia, water infiltration is prevented and dispersal of sediments at the mouth of rivers is common. The presence of massive ice and its subsequent thaw contributes to the formation of cryokarst landforms of the alas valley type in Siberia. Cryokarst in Siberia and some circular depressions on Mars are also compared.

INTRODUCTION

La planète Mars est relativement plus éloignée du Soleil que ne l'est la Terre et présente à sa surface une température moyenne annuelle de -60°C permettant le maintien d'un pergélisol. Si la durée du jour martien est pratiquement égale à celle de la Terre, l'année martienne, en revanche, est deux fois plus longue. L'obliquité de Mars de $24^{\circ}46'$ explique les variations saisonnières de la température à la surface du sol. À l'équateur cette température peut descendre à -90°C en hiver, et monter à 15°C en été. Actuellement aux latitudes boréales supérieures à 25° - 30° , la température au sol reste constamment négative tout au long de l'année. Des dépôts de givre ont même été détectés en plein hiver, au pied du Lander Viking 2 situé par 48°N . En raison d'une pression atmosphérique actuelle de 6 mb, la planète ne peut garder en état d'équilibre l' H_2O à sa surface. Mars a été définie par Cailleux (1973) comme une planète au climat périglaciaire aride.

À Yakutsk (Sibérie), les hivers présentent des températures minimales de $-64,4^{\circ}\text{C}$. L'été par contre est très chaud, la température maximale atteint 38°C en juillet. De faibles précipitations annuelles (190 mm à Yakutsk) compensées par une forte évaporation (équivalant à 180 mm) engendrent un climat particulièrement aride. Comme l'essentiel des précipitations de l'année tombe en juillet (100 mm) au moment où

les températures sont maximales, la couverture neigeuse reste faible et favorise ainsi une pénétration du gel et la persistance d'un profond pergélisol. On le voit, le climat de la Yakoutie centrale rappelle par certains côtés le monde froid et sec de la planète Mars. L'objet du présent article est de confronter ces deux domaines et d'en tirer quelques enseignements du point de vue de la géomorphologie.

L'étude du rapport deutérium sur hydrogène permet d'estimer la quantité d'eau qui était présente au cours de l'histoire de la planète. La forte valeur de ce rapport indique la présence dans le passé d'une grande quantité d'eau (Encrenaz, 1988). Celle-ci pourrait être maintenant emprisonnée dans le sous-sol martien sous forme d'un pergélisol.

Les images de Mars renvoyées au cours des missions spatiales Mariner et Viking semblent indiquer l'influence d'un pergélisol, ayant une certaine teneur en glace, sur la genèse de certains reliefs et modelés. La planète Mars présente à sa surface plusieurs milliers de cratères d'impact entourés par des éjectas lobés du type coulée boueuse. Cette morphologie particulière serait due à une fonte brutale, lors de l'impact, des matériaux volatils inclus dans le pergélisol (Carr, Crumpler, Cutts, Greeley, Guest et Mazursky, 1977). Certains clichés Viking à haute résolution révèlent que les obstacles à proximité du cratère ont été contournés par l'éjecta. Cette observation confirme que par suite d'une phase ballistique de l'éjecta, celui-ci à l'état visqueux aurait continué à fluer à la surface. Des chercheurs américains ont reproduit en laboratoire de tels éjectas sur des cibles contenant une certaine proportion d'eau. Les résultats obtenus, bien que n'étant pas

du tout à la même échelle, présentent une morphologie des éjectas tout à fait comparable (Gault et Greeley, 1978). Il est à noter que le satellite galiléen Ganymède, qui contient lui aussi un sol gelé, est le seul corps avec Mars à posséder de tels éjectas lobés. L'étude de leurs répartitions géographiques indique que le pergélisol est globalement présent sur la planète. Celui-ci a une épaisseur probable de 1 à 3 km à l'équateur et de 3 à 7 km vers les hautes latitudes (Kuzmin, 1980; Battistini, 1984). En comparaison, le pergélisol terrestre atteint une épaisseur maximale de 1500 m en Sibérie, près de la rivière Markha. Sur Mars, la faible pression atmosphérique au sol explique la présence d'un pergélisol totalement desséché près de la surface et contenant en profondeur une certaine teneur en glace. Ce pergélisol riche en glace se situe à une profondeur de 1 km à l'équateur et de 150 m à 60 m vers les moyennes et hautes latitudes (Costard, 1988).

D'un point de vue géomorphologique, Mars présente une dissymétrie hémisphérique très nette, avec un plateau cratérisé dans l'hémisphère sud, et des basses plaines dans l'hémisphère nord. La zone de contact, entre ces deux unités, s'exprime par un talus de 1 à 3 km de haut et par la présence de reliefs chaotiques (Jons, 1983). Ces derniers se présentent comme un ensemble de lambeaux de plateau effondrés sur eux-mêmes, de buttes coniques alignées et de vastes dépressions fermées, parfois longues de 300 km. La plupart des auteurs (Anderson, Gatto et Ugolini, 1973; Belcher, Veverka et Sagan 1971; Carr et Schaber, 1977; Battistini, 1987) leur accordent une origine interne. Une augmentation locale du gradient géothermique, liée à l'activité volcanique de la planète, fait fondre le pergélisol, d'où ces effondrements de terrains et cet aspect chaotique. Le plateau cratérisé comporte à sa surface d'anciens réseaux de vallées hiérarchisées (Pieri, 1980; Baker, 1982), aujourd'hui asséchées, qui indiquent soit une période pluviale ancienne (Mazursky, 1973; Tricart, 1986), soit l'existence d'une circulation hydrothermale souterraine (Newson, 1985). Par contre, au niveau de la zone de contact, de gigantesques vallées non hiérarchisées et à fond plat (*outflows*) ont contribué pour une large part à l'accentuation de la dissymétrie topographique par la formation de larges plaines (fig. 1). Si les écoulements hiérarchisés du plateau cratérisé sont assez bien compris, la genèse des *outflows* reste encore assez énigmatique (Lucchitta, 1981). Cet article a pour but de mieux comprendre les processus morphogénétiques mis en jeu, en prenant comme hypothèse de départ la présence d'un pergélisol ayant une certaine teneur en matériaux volatils. Cette étude reprend des travaux réalisés en 1985(a), partiellement publiés en 1987 à propos du rôle éventuel joué par les phénomènes cryokarstiques dans le façonnement de certaines vallées martiennes.

LA RÉGION À L'ÉTUDE

L'étude repose sur un travail cartographique réalisé à partir de photomosaïques à l'échelle de 1/2 000 000 (fig. 1). La carte (fig. 2) représente une vallée nommée Ares Vallis, située près de l'équateur dans la région de Margaritifer Sinus, juste dans la zone de contact entre le plateau cratérisé et les plaines récentes. La vallée, dont la longueur est de 1500 km et la largeur moyenne de 25 km, présente un tracé pratique-

ment rectiligne. Autre fait remarquable, son degré de hiérarchisation est presque nul. Tout comme les vallées sibériennes, Ares Vallis est calibrée et à fond plat. Elle prend sa source à l'emplacement de cratères d'impact effondrés, de 30 km de diamètre en moyenne (Schultz et Glicken, 1979; Costard, 1986), et de grandes dépressions chaotiques profondes de 3 km. L'ensemble des dépressions chaotiques et des vallées associées a été estimé à une superficie totale de 2,14 millions de km². Le volume minimal du matériel déblayé serait de 3,26 millions de km³, si on prend en compte la profondeur des dépressions et en soustrayant le volume des reliefs résiduels. Les dépressions, supposées cryokarstiques, seraient ainsi à l'origine de ces grandes vallées (Sharp, 1973; Costard, 1986).

Une observation un peu plus fine révèle que la vallée d'Ares Vallis est surdimensionnée par rapport au volume des reliefs chaotiques dont elle est issue. Compte tenu des conditions morphoclimatiques régnant sur Mars, ces grands épisodes d'écoulement ont été successivement comparés aux chenaux de Scabland du NW des États-Unis provenant de la vidange d'un lac proglaciaire (Baker et Milton, 1974), puis à des chenaux sous-marins (Komar, 1979) et enfin à des vallées glaciaires (Lucchitta, 1982; Battistini, 1988).

LES VALLÉES

Dans cette étude, on propose une analyse comparative avec les fleuves sibériens; elle a l'avantage de prendre en compte le climat périglaciaire et les conditions morphogénétiques de Mars. Le terme de *vallée de débâcle* est proposé pour décrire ces épisodes d'écoulement martiens (*outflows*). Afin de mieux percevoir la genèse de ces vallées de débâcle sur Mars, on raisonnera en termes de *durée* et d'*efficacité des processus morphogénétiques* mis en jeu lors du façonnement de ces vallées.

a) LE RÉGIME DE DÉBÂCLE

Les fleuves en Sibérie ont un régime de débâcle; lors des hautes crues estivales, des nappes d'eau inondent de vastes superficies en étalant de grandes quantités d'alluvions sur les basses plaines (Jahn, 1975). Ces écoulements se caractérisent par de violentes ruptures d'embâcle, dues à des accumulations contre des amas de glace encore présents sur la partie aval de ces vallées et qui se libèrent brutalement en balayant la plaine inondable (Tricart et Cailleux, 1967; Journaux et Dresch, 1972). Si la fonte saisonnière de la glace superficielle n'est peut-être pas le processus responsable du façonnement des vallées martiennes, le caractère brutal des débâcles des vallées sibériennes rejoint l'aspect catastrophique de la rupture répétée d'une nappe aquifère invoquée par Carr (1979), dans le cas des vallées martiennes issues des reliefs chaotiques. L'aspect saisonnier des crues et la divagation de certains chenaux en Sibérie pourraient correspondre sur Mars à des épisodes d'écoulements répétitifs, et à des variations du débit qui expliqueraient la présence de certaines vallées suspendues près du Tiu Vallis (Costard, 1985a).

b) TERRASSES ET VALLÉES SUSPENDUES

Mazursky, Boyce, Dial, Schaber et Strobell (1977) ont analysé les modelés d'accumulation dans Ares Vallis et ont

observé la présence de trois replats successifs, correspondant à trois niveaux de terrasses fluviales, qui correspondraient à trois épisodes d'écoulements successifs. Cette interprétation reste très fragile puisque, dans l'hypothèse de l'existence de terrasses fluviales étagées, il serait également légitime de supposer la présence d'un seul et même écoulement, ayant subi des variations de débit, du type régime de débâcle.

L'étude des vallées suspendues correspond à un indice plus sûr au sujet des hypothétiques variations de débit des vallées de débâcle. Non loin des reliefs chaotiques, sur le plateau cratérisé, on peut repérer un ancien chenal d'écoulement suspendu d'orientation WSW-ENE, venant probablement de la région de Simud Vallis et débouchant sur Ares Vallis. On le retrouve, sous forme de lambeaux de vallées suspendues, dans la région de Tiu Vallis (fig. 3). Ce type d'écoulement semble donc être bien antérieur à Ares Vallis et à Tiu Vallis et suppose soit différents épisodes espacés dans le temps, soit un seul et même écoulement avec d'im-

portantes variations de débits. Dans les deux situations, les variations de débit résulteraient de la rupture de poches d'eau liquide (talik) dans le pergélisol à la faveur d'un ou plusieurs effondrements cryokarstiques, causés par des variations climatiques ou une élévation du gradient géothermique. Cette hypothèse rejoint l'idée d'un régolite poreux en profondeur autorisant le maintien d'eau sous pression (Carr, 1979). Selon le modèle de l'hydrolithosphère proposé par Battistini (1987), H₂O liquide pourrait être incluse dans ce régolithe poreux sur une épaisseur de plusieurs kilomètres (hydrolithosphère inférieure) sous les terrains gelés. Un tel système artésien pourrait subir de brusques vidanges par affleurement de la cryomarge (interface entre les deux parties de l'hydrolithosphère).

c) UNE ÉROSION THERMIQUE ET MÉCANIQUE

En Sibérie, lors des débâcles, l'érosion mécanique est très active et engendre un sapement des berges et leur effon-

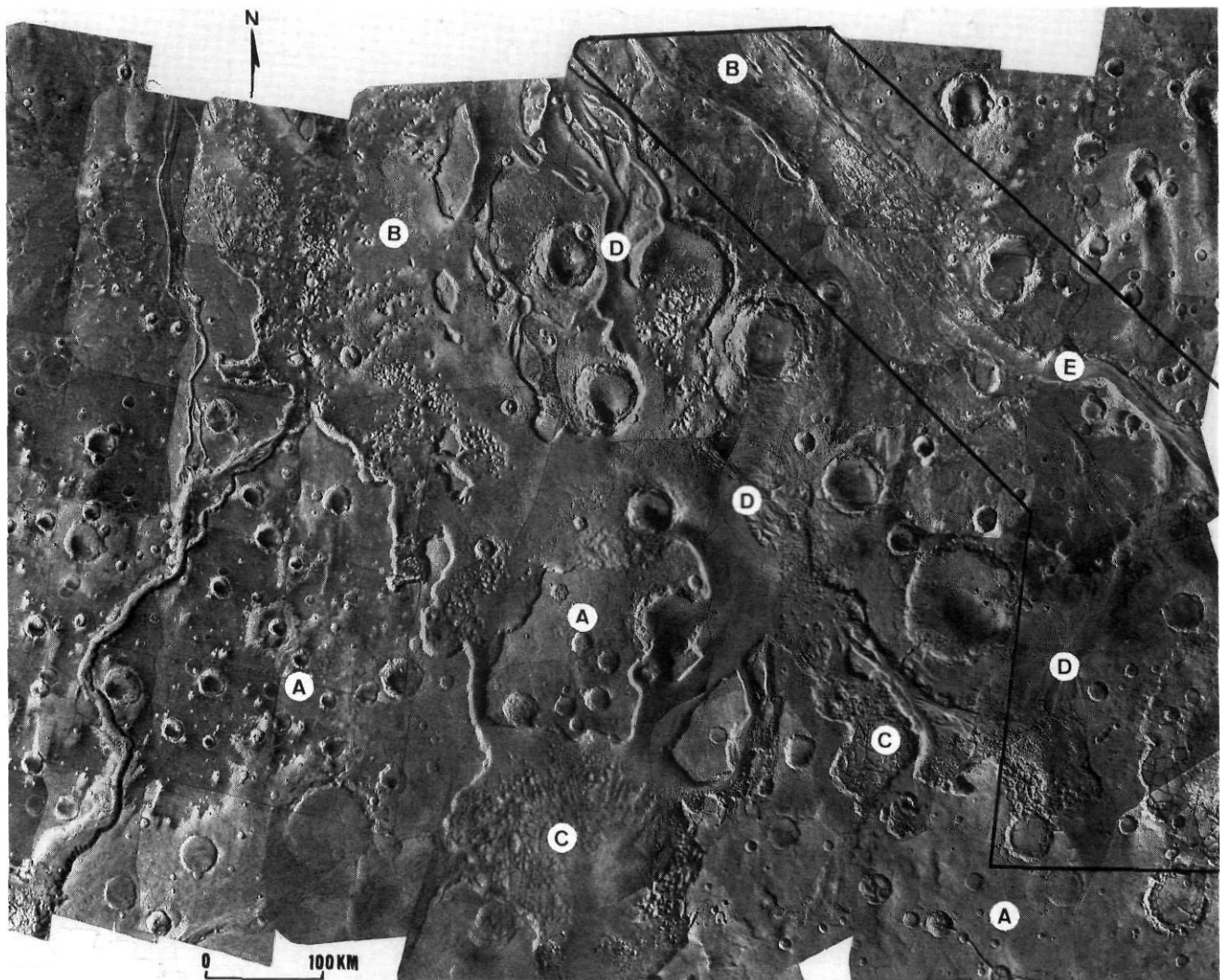


FIGURE 1. Région de Margaritifer Sinus présentant la zone de contact entre le plateau cratérisé et les plaines récentes. La région à l'étude de la figure 2 est indiquée dans l'encadrement. A) Plateau cratérisé; B) plaine récente; C) relief chaotique; D) vallée de débâcle; E) Ares Vallis.

Boundary between cratered upland and northern plains in the Margaritifer Sinus area. The location of Figure 2 is indicated in the inset. A) Cratered upland; B) young plain; C) chaotic terrain; D) outflow channel; E) Ares Vallis.

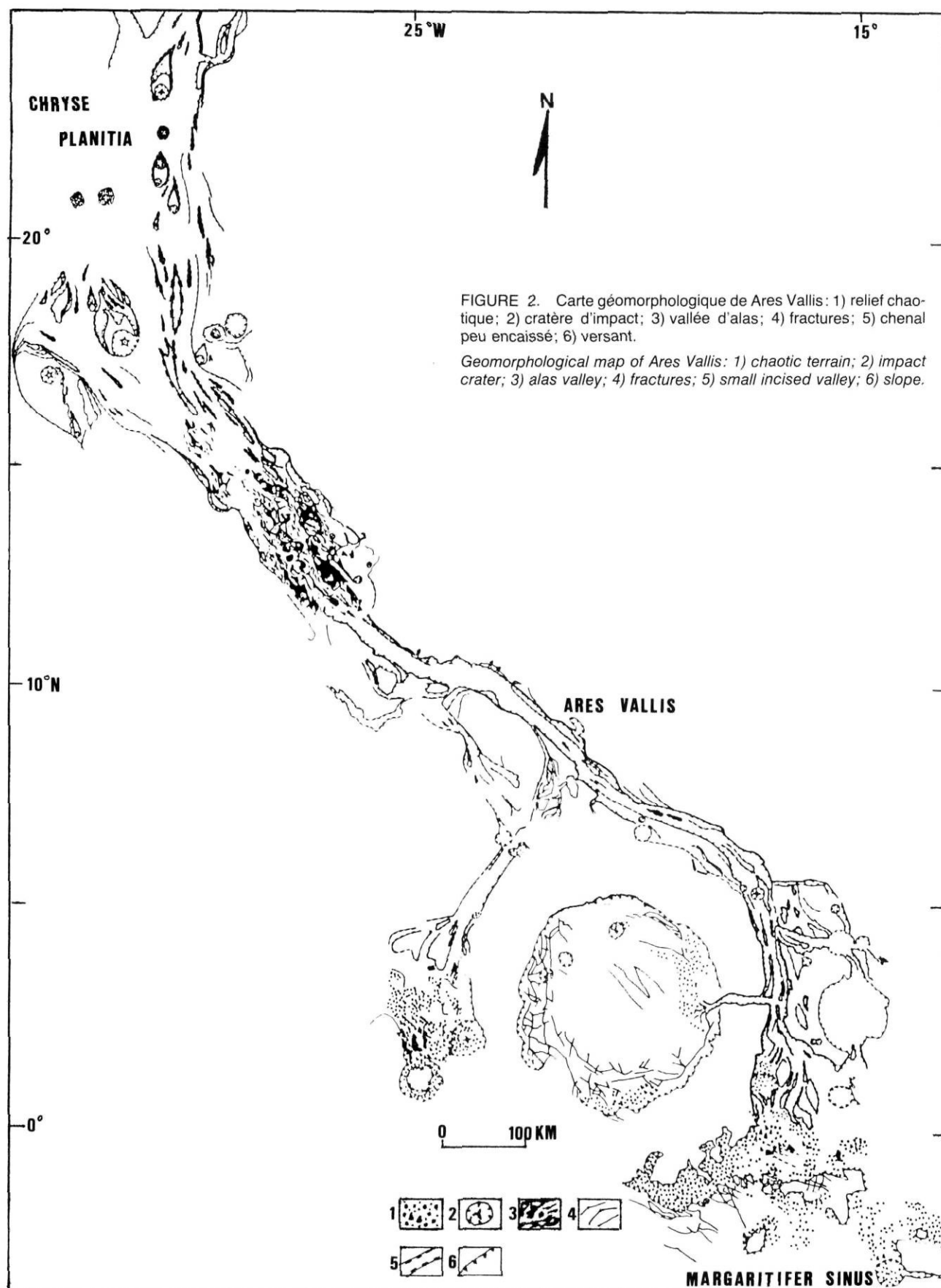
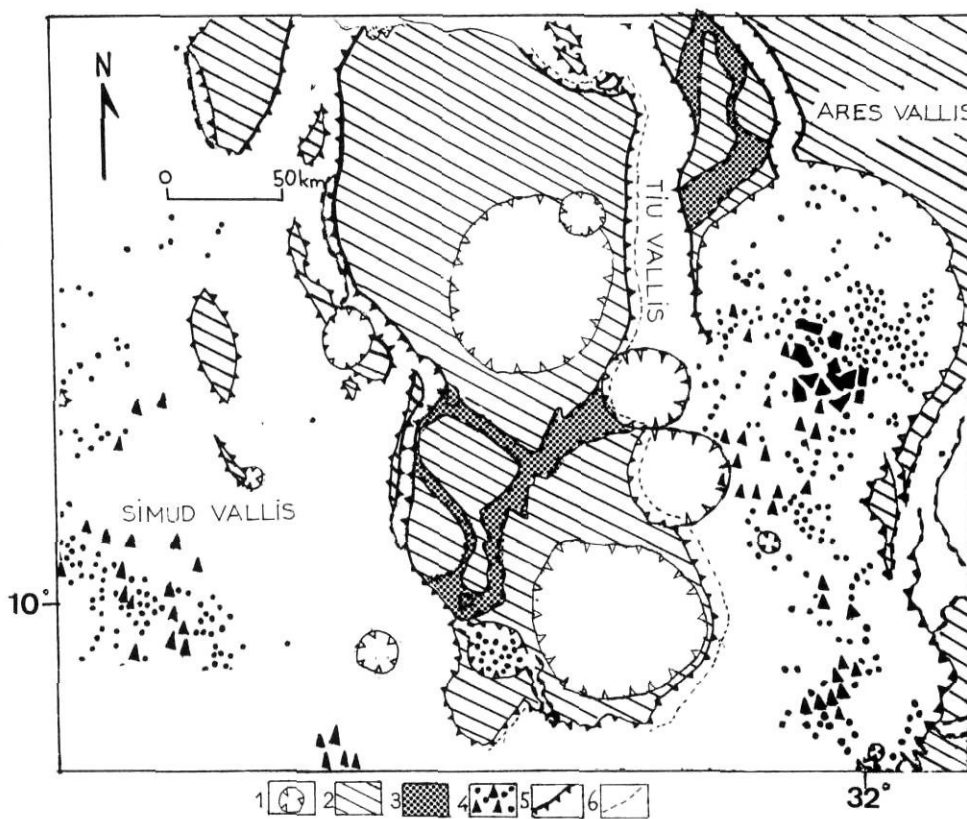


FIGURE 3. Lambeaux de vallées suspendues dans la région de Tiu Vallis: 1) cratère d'impact à éjectas lobés; 2) plateau cratérisé; 3) lambeau de vallée suspendue; 4) relief chaotique; 5) versant; 6) base de versant.

Hanging channels near Tiu Vallis on Mars: 1) fluidized ejecta crater; 2) cratered upland; 3) hanging channel; 4) chaotic terrain; 5) slope; 6) foot of slope.



drement par le raclage des radeaux de glace (Hamelin, 1969; Are, 1983). Mais, en termes d'efficacité des processus en milieu arctique, l'érosion thermique l'emporte largement (Jahn, 1975). L'écoulement fluvial, ayant donc une température légèrement supérieure au point de fusion, engendre sous les fleuves, un talik par diffusion thermique (fig. 4). Le maintien de ce talik est dû bien plus au fait que le gel n'atteint pas le fond du cours d'eau, qu'à celui du réchauffement l'été. La présence de veines de glace verticales favorise et accélère la fusion du pergélisol en profondeur (Caveliev, 1958). Le fond de la vallée devient perméable et favorise l'enfoncement de son talweg. La pente du profil longitudinal peut être, dans ce cas, très faible.

L'érosion thermique latérale contribue aussi au façonnement de la vallée avec une fonte préférentielle de la glace, le long des fentes en coins (Klimek, 1975; Jahn, 1975), et la création de thermocirques. Cette érosion thermique pourrait expliquer le modelé de certaines vallées dénommées «rivières boudinées» (Costard, 1985b) et dont le tracé présente une succession de berges festonnées (fig. 5) rappelant certaines rivières cryokarstiques de la Sibérie (Cailleux, 1973).

En règle générale, la cryokarstie sera d'autant plus efficace que la teneur en glace sera élevée. Ainsi, en Yakoutie centrale, le pergélisol formé de sables fluviaux et de dépôts lacustres gelés contient 50 % de glace (Journaux et Dresch, 1972). On comprend alors toute l'efficacité de la cryokarstie quand on sait que, pour la Léna, le recul des versants parallèlement à eux-mêmes peut atteindre, en certains cas, une valeur proche de 25 m/an (Are, 1979; 1983). La richesse en matériaux volatils du pergélisol martien n'est guère quantifiable actuellement;

les valeurs absolues théoriques ont été estimées supérieures à 40 % (Rossbacher and Judson, 1981). Le volume minimal des terrains chaotiques et des vallées associées a été estimé à 3,26 millions de km³. Compte tenu d'une teneur en glace hypothétique de 40 %, il en résulterait près de 2 millions de km³ de sédiments pris en charge par les vallées de débâcle.

Les vallées martiennes de débâcle sont bien plus anciennes que les vallées de débâcle de la Sibérie. En effet, la plupart des auteurs estiment que Ares Vallis aurait plus de 3 milliards d'années (Mazursky, 1977; Janke, 1985). Dans ce cas, cette longue érosion thermique conjuguée à l'érosion mécanique expliquerait, sur Mars, la largeur excessive des vallées de débâcle. L'efficacité de l'érosion thermique pourrait être accentuée aussi par la présence hypothétique d'un pergélisol martien à base de glace carbonique (St. John Lambert et Chamberlain, 1978). Selon cette idée, le CO₂, à l'état solide, fond à plus basse température que la glace hydrique. Ainsi, pour une pression atmosphérique de 6 mb, des températures proches de -50°C peuvent engendrer une fonte du CO₂. Si la température avoisine 0°C, la fonte du CO₂ sera encore plus rapide. Ce phénomène peut donc aussi contribuer à accélérer le processus d'érosion thermique à la surface de Mars.

LES PLAINES D'ÉPANDAGE

a) LA GENÈSE DES COUCHES DE GLACE FOSSILES

Dans le domaine arctique, et notamment en Sibérie, les plaines d'épandage sont gigantesques aux débouchés des vallées à régime de débâcle (Jahn, 1975; Journaux et Dresch,

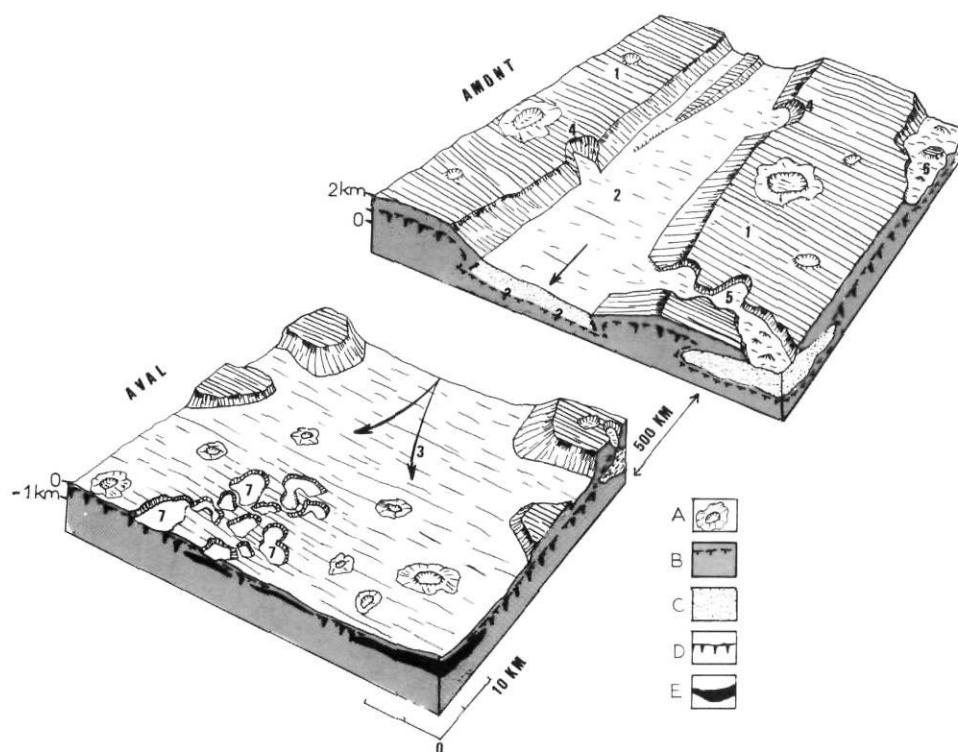


FIGURE 4. Modèles cryokarstiques et glace de ségrégation sur Mars: A) cratère d'impact à éjectas lobés; B) limite supérieure du pergélisol; C) talik; D) fentes en coins; E) lentille de glace. 1) Plateau cratérisé; 2) vallée de débâcle; 3) plaine d'épandage; 4) thermocirque; 5) rivière boudinée; 6) dépression cryokarstique; 7) vallée d'alas.

Cryokarst landforms and ice segregation on Mars. A) Fluidized ejecta crater; B) permafrost table; C) talik; D) ice wedges; E) ice lenses. 1) Cratered upland; 2) outflow channel; 3) outwash plain; 4) thermocirque; 5) beaded river; 6) cryokarst hollow; 7) alas valley.

1972; Tricart et Cailleux, 1967). Ces grandes plaines alluviales de la Sibérie peuvent être comparées aux dépôts de sédiments situés aux embouchures des vallées de débâcle dans Chryse Planitia (fig. 4). Compte tenu des conditions climatiques en Sibérie et sur Mars, le sol gelé, sur lequel se déposent les alluvions, facilite l'étalement et évite l'infiltration tout en empêchant une remobilisation des sédiments déposés lors des dernières débâcles. Une telle genèse favorise le développement de gigantesques cônes. Ces régimes de débâcles ou de crues catastrophiques engendrent le développement de glaces fossilisées et de ségrégation bien visibles en Sibérie (Popov, 1956; Bobov, 1970) et probables pour Mars. Ces couches massives de glace, parfois longues de 2 km, se maintiennent à plusieurs dizaines de mètres de profondeur (Popov, 1956; Mackay, 1973). L'eau gèle dans les dépressions ou dans d'anciens bras morts de rivières; la glace formée est alors recouverte par les débâcles suivantes, formant de grandes couches de glace fossiles. Les couches massives de glace peuvent aussi se former par ségrégation de glace. Le poids des sédiments supérieurs s'oppose à la formation de glace de ségrégation dès que l'épaisseur atteint 10 m sur la Terre. Sur Mars, compte tenu d'une gravité 2,5 fois plus faible que sur Terre, les couches de glace de ségrégation devraient se former jusqu'à une profondeur de 25 m. De telles observations en Sibérie appuient l'hypothèse d'une couche de sédiments riche en matériaux volatils, et inférieure à 800 m d'épaisseur dans la région de Chryse Planitia à l'embouchure de Ares Vallis (Costard, 1988).

b) LE CRYOKARST

Sur Terre, la fonte du pergélisol provoque des effondrements cryokarstiques ou thermokarstiques (Czudek et Demek, 1970).

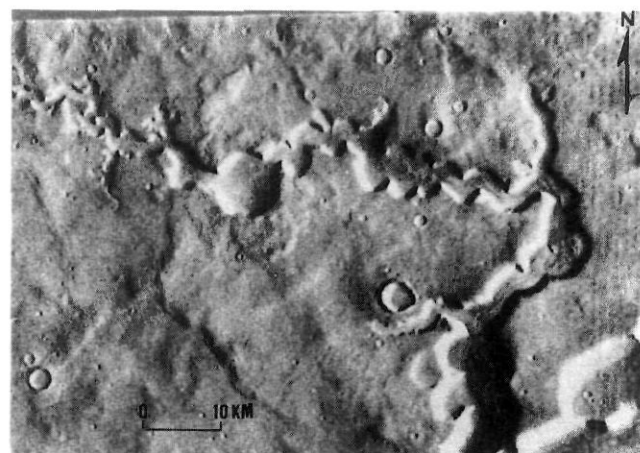


FIGURE 5. Exemple de «rivière boudinée» sur Mars. On remarquera les berges festonnées de la vallée probablement produites par la présence de la glace de ségrégation. Cliché Viking 567A15, NASA; l'éclairage vient de la droite.

Beaded river on Mars. The widening and narrowing of river banks might be linked with the presence of thermocirques. Viking Orbiter image 567A15, NASA; illumination from right.

C'est dans les plaines alluviales arctiques où la glace de ségrégation est particulièrement développée que le cryokarst prend toute son extension. En Sibérie, la glace de ségrégation et les amas de glace fossilisées, riches à 80 % de glace, peuvent engendrer de larges affaissements lors d'une fonte (Soloviev, 1973). Le cryokarst alluvial peut être aussi un cryokarst glaciaire lorsque la fonte de la glace concerne des culots de glace mortes parmi des dépôts morainiques; il y a dans ce cas convergence de forme (Tricart et Cailleux, 1967). Ces



FIGURE 6. Alas en Sibérie (d'après Katasonov et Soloviev, 1969). 1) Lacs cryokarstiques; 2) terrasse à glace syngénétique; 3) plaine d'inondation de la rivière Suola.

Cryokarst lakes in Siberia (after Katasonov and Soloviev, 1969). 1) Cryokarst lakes; 2) fluvial terrace; 3) flood plain of Suola River.

dépressions cryokarstiques nommées *alas* sont à fond plat, ont une longueur maximale de 15 km et une profondeur de 3 à 40 m. On les rencontre essentiellement en Yakoutie centrale. Ces dépressions peuvent se rejoindre et se recouper pour former une vallée d'*alas*, comme par exemple celle de la rivière Kocara, en Sibérie (Soloviev, 1973; Kacurin, 1961).

Sur Mars, de tels modelés sont visibles et ont été interprétés comme étant d'origine cryokarstique (Anderson, Gatto et Ugolini, 1971; Carr et Schaber, 1977; Jons, 1983). On les trouve dans les plaines de l'hémisphère nord à l'embouchure de Ares Vallis (Costard, 1987). Ils se composent d'une succession de dépressions à fond plat, de 4 km de diamètre, qui seraient liées à la fonte d'une glace de ségrégation. Les figures 6 et 7 présentent une comparaison entre des *alas* en Sibérie et des dépressions coalescentes sur Mars supposées cryokarstiques. L'échelle est presque identique et la ressemblance frappante.

CONCLUSION

Entre les latitudes -30° et $+40^{\circ}$, des profils topographiques méridiens montrent la diminution progressive de l'altitude du plateau cratérisé du sud vers le nord. Cette dissymétrie topographique originelle a vraisemblablement favorisé la direction des principaux épisodes d'écoulement engendrés par des reliefs chaotiques; en effet ces vallées se dirigent toutes vers le nord. Ces vallées de débâcle sont supposées d'origine cryokarstique, l'érosion thermique ayant été l'un des plus efficace agent d'érosion. Ces vallées datant d'environ 3 milliards d'années, ce processus de façonnement a été d'autant plus

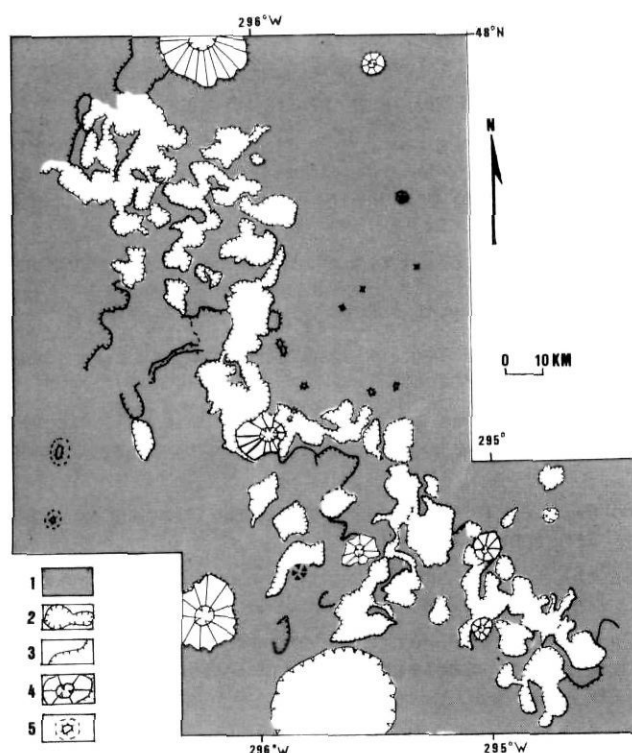


FIGURE 7. Dépressions coalescentes sur Mars au nord de Isidis Planitia: 1) plaine sédimentaire récente; 2) alas; 3) talus; 4) cratère d'impact à éjectas lobés; 5) buttes résiduelles.

Flat floor and steep sided depressions near Isidis Planitia: 1) young sedimentary plain; 2) alas; 3) minor break of slope; 4) fluidized impact crater; 5) residual mounds.

efficace. On le voit, la géomorphologie planétaire permet d'analyser le comportement d'un même processus vu dans des conditions assez différentes de celles de la Terre.

REMERCIEMENTS

Nous remercions M^{lle} Birot d'Intergéo et M. Malaurie, pour la documentation et la traduction des articles soviétiques, ainsi que MM. Peulvast et Pissart pour leurs précieux conseils. Les clichés Viking ont été aimablement communiqués par Ph. Masson. Ce travail a été réalisé dans le cadre du groupe de Planétologie de l'UA 0141, financé par l'A.T.P. de Planétologie de l'I.N.S.U.

RÉFÉRENCES

- Anderson, D., Gatto, L. W., et Ugolini, F., 1973. An examination of Mariner 6 and 7 imagery for evidence of permafrost terrain on Mars, p. 449-508. In F. G. Sanger, éd., *Permafrost: Second International Conference. National Academy of Sciences*, Washington, D. C., 1220 p.
- Are, F. E., 1979. The influence of a frozen state of soils upon washout of the river banks of the permafrost zone, p. 107-117. In *Regional and cryolithological investigations in Siberia, Yakutsk, USSR*.
- , 1983. Thermal abrasion of coasts, p. 24-28. In *Proceedings, Fourth International Conference on Permafrost: Alaska*. Washington, D.C., National Academy Press, 1350 p.

- Baker, V. R., 1982. The channels of Mars. Adam Hilger, Bristol, 193 p.
- Baker, V. R. et Milton, D. J., 1974. Erosion by catastrophic floods on Mars and Earth. *Icarus*, 23: 27-41.
- Battistini, R., 1984. L'utilisation des cratères météoritiques à éjectas fluidisés comme moyen d'étude spatiale et chronologique de l'eau profonde (hydrolithosphère) de Mars. *Revue de Géomorphologie dynamique*, 33: 25-41.
- 1987. La notion d'hydrolithosphère sur Mars: son rôle dans la morphogénèse des basses latitudes. *Bulletin de la Société géologique de France*, 1: 49-57.
- 1988. Glaciers et modelés glaciaires sur Mars. *L'Astronomie*, 3: 92-97.
- Belcher, D., Veverka, J. et Sagan, C., 1971. Mariner photography of Mars and aerial photography of Earth: Some analogies. *Icarus*, 15: 241-252.
- Bobov, N. G., 1970. The formation of beds of ground ice. *Soviet Geography*, 7: 456-463.
- Cailleux, A., 1973. Astrogéomorphologie: le relief de Mars, nouvelles interprétations. *Revue de Géographie de Montréal*, 27: 115-116.
- Carr, M. H., 1979. Formation of Martian flood features by release of water from confined aquifer. *Journal of Geophysical Research*, 84: 2995-3007.
- Carr, M. H. et Schaber, G. G., 1977. Martian permafrost features. *Journal of Geophysical Research*, 82: 4039-4065.
- Carr, M. H., Crumpler, L. S., Cutts, J. A., Greeley, R., Guest, J. E. et Mazursky, H., 1977. Martian impact craters and emplacement of ejecta by surface flow. *Journal of Geophysical Research*, 82: 4055-4065.
- Caveliev, B. A., 1958. Particularités des processus de fusion des glaces dans la couverture glaciaire et les roches gelées. *Problemy Severa*, 1: 149-155.
- Costard, F., 1985a. Le modelé d'une région thermokarstique sur Mars. *Mémoire de Maîtrise, Université de Paris I*, 111 p.
- 1985b. Rivière boudinée sur Mars. *Cahiers géologiques* 105: 750-751.
- 1986. Vie et mort d'un cratère d'impact à évolution cryokarstique sur Mars. *Revue de Géomorphologie dynamique*, 4: 123-131.
- 1987. Quelques modelés liés à des lentilles de glace fossiles sur Mars. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 31: 243-251.
- 1988. Thickness of sedimentary deposits at the mouth of outflow channels. *Lunar Planetary Science Conference (Abstracts)*, 19: 211-212.
- Czudek, T. et Demek, J., 1970. Thermokarst in Siberia and its influence on the development of lowland relief. *Quaternary Research* 1: 103-120.
- Encrenaz, Th., 1988. L'atmosphère de Mars. *L'Astronomie*, 3: 68-71.
- Jahn, A., 1975. Problems of the periglacial zone. Washington D.C., Warszawa.
- Janke, D. R., 1985. A relative scale for channeling events in the Oxia Palus/Margaritifer Sinus region, Mars (Abstracts). *Lunar Planetary Science Conference*, 16, 398-399.
- Fanale, F. P., 1976. Martian volatiles: their degassing history and geochemical fate. *Icarus* 28: 179-202.
- Gault, D. E. et Greeley, R., 1978. Exploratory experiments of impact craters formed in viscous-liquid targets: Analogs for Martian rampart craters? *Icarus*, 34: 486-495.
- Jons, H. P., 1983. Permafrost-related types of large-scale dissection, degradation, and deformation of Martian landscape, p. 566-571. *In Proceedings, Fourth International Conference on Permafrost: Alaska*. Washington, D.C., National Academy Press, 1350 p.
- Journaux, A. et Dresch J., 1972. Phénomènes périglaciaires en Sibérie Orientale, définition d'une nouvelle province périglaciaire actuelle. *Bulletin de l'Association des géographes français*, 57-73.
- Kacurin, S. P., 1961. Thermokarst na territorii SSSR. *Izdatelstvo Akademii Nauk, SSSR, Moscou*, 292 p.
- Katasonov, E. M. et Soloviev, P. A., 1969. Guide to trip round Central Yakutia, Yakutsk, 87 p.
- Klimek, 1975. Thermal erosion of the Tsagan-Turutuin River banks in the Kangai Monts Foreland. *Bulletin de l'Académie polonaise des Sciences*, 23: 135-142.
- Komar, P. D., 1979. Comparisons of the hydraulics of water flows in Martian outflow channels with flows of similar scale on Earth. *Icarus*, 34: 156-181.
- Kuzmin, R. O., 1980. Morphology of fresh Martian craters as an indicator of the depth of the upper boundary of ice bearing permafrost (Abstracts). *Lunar Planetary Science Conference*, 11, 585-586.
- Lucchitta, B. K., 1982. Ice sculpture in the Martian outflow channels. *Journal of Geophysical Research*, 87: 9951-9973.
- Lucchitta, B. K., Anderson, D. et Shoji, H., 1981. Did ice streams carve Martian outflow channels? *Nature*, 5809: 759-763.
- Mackay, J. R., 1973. Problems in the origin of massive icy beds, Western Arctic, Canada, p. 223-228. *In F. G. Sanger, éd., Permafrost: Second International Conference*. National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1220 p.
- Mazursky, H., Boyce, J. M., Dial, A. L., Shaber, G. G. et Strobell, M. E., 1977. Formation of Martian channels. *Journal of Geophysical Research*, 82: 4016-4038.
- Newson, H. E., 1980. Hydrothermal alteration of impact melt sheets with implications for Mars. *Icarus*, 44: 207-216.
- Pieri, D., 1980. Martian valleys: morphology, distribution, age and origin. *Science*, 210: 895-897.
- Popov, A. I., 1956. Le thermokarst. *Biuletyn Peryglacjalny*, 4: 319-330.
- Rossbacher, L. A. et Judson, S., 1981. Ground-ice on Mars: inventory, distribution and resulting landforms. *Icarus*, 45: 25-38.
- St. John Lambert, R. et Chamberlain, V. E., 1978. CO₂ permafrost and Martian topography. *Icarus*, 34: 568-581.
- Schultz, P. H. et Glikin, H., 1979. Impact crater and basin control of igneous process on Mars. *Journal of Geophysical Research*, 84: 8033-8047.
- Sharp, R. P., 1973. Mars: fretted and chaotic terrains. *Journal of Geophysical Research*, 78: 4073-4083.
- Soloviev, P. A., 1973. Thermokarst phenomena and landforms due to frost heaving in Central Yakutia. *Biuletyn Peryglacjalny*, 23: 135-155.
- Tricart, J., 1986. Le relief de la planète Mars, comparaison avec celui de la Terre. *Annales de Géographie*, 530: 401-444.
- Tricart, J. et Cailleux, A., 1967. Le modelé des régions périglaciaires, SEDES, Paris, 512 p.