

Charte de l'Équipe de définition des mesures (ÉDM) scientifiques et de reconnaissance de la mission internationale de cartographie des glaces de Mars (MICGM)

(en anglais : *International Mars Ice Mapper Mission* ou *I-MIM*)

1.0 Déclaration d'intention sommaire

En janvier 2021, l'Agence spatiale italienne (ASI), l'Agence spatiale canadienne (ASC), l'Agence d'exploration aérospatiale du Japon (JAXA) et la National Aeronautics and Space Administration (NASA) ont signé une déclaration d'intention (IOC) pour établir une « équipe de concept » multilatérale, évaluer le potentiel d'une mission orbitale de cartographie des glaces sur Mars, définir leurs rôles et responsabilités potentiels et envisager des possibilités de partenariat.

Dans le cadre de sa collaboration, l'équipe de conception a l'intention de former une **équipe internationale de définition** de la reconnaissance et de la mesure scientifique (ÉDM) pour appuyer la définition plus précise de son concept de mission A préalable à la phase A comme passerelle vers la mise au point potentielle de la phase A. Ce processus diffère des équipes traditionnelles de définition scientifique des missions en ce sens que les partenaires de l'Agence ont prédéfini les buts et objectifs de la mission de haut niveau, ainsi que la charge utile d'ancrage – un radar à synthèse d'ouverture (SAR)/sondeur SAR polarisé en bande L – ainsi que d'autres éléments de la mission.

L'ÉDM doit effectuer trois tâches.

1. Définir les mesures liées aux exigences en matière de reconnaissance (détection des glaces, caractérisation des mords-terrains et caractérisation des sites d'atterrissage de missions habitées possibles) et les façons d'optimiser la ou les charges utiles à ces fins.
2. Dresser des constats sur les élargissements possibles des mesures scientifiques et celles de reconnaissance et de génie prioritaires et maximales, qui sont synergiques à la charge utile d'ancrage et qui pourraient optimiser le rendement de l'investissement de la mission dans les conditions limites établies pour celle-ci.
3. Définir un modèle conceptuel d'opérationnalisation en fonction des constatations établies pour les tâches 1 et 2.

L'ÉDM fera appel à des experts internationaux des agences partenaires et d'autres pays qui possèdent collectivement une expertise dans divers domaines, y compris les sciences planétaires, le radar à synthèse d'ouverture et le sondage radar, l'utilisation in situ des ressources (ISRU), l'entrée dans la classe humaine, la descente et l'atterrissage (EDL), l'ascension et le génie civil. En travaillant ensemble de façon transdisciplinaire, les membres de l'équipe de l'ÉDM assureront une utilisation optimale de toutes les capacités de SAR pour appuyer les mesures requises avant les futures missions humaines. En même temps, tous les organismes partenaires s'engagent à assurer les plus grands avantages possibles en matière de reconnaissance, de science et d'ingénierie pour cette mission et d'autres missions actuelles et futures sur Mars. Les organismes prévoient que l'ÉDM de la MICGM (et, plus tard au cours de la mission, son équipe de reconnaissance et de science) permettra de développer des connaissances et des capacités communautaires interdisciplinaires communes pour une future présence robotisée humaine sur Mars, une coopération internationale accrue et de meilleures possibilités de découverte pour tous.

2.0 Contexte

L'équipe du concept de la MICGM a établi d'un commun accord un but de mission de reconnaissance et des objectifs de reconnaissance (voir 2.1). La reconnaissance s'entend de « ce que nous devons savoir avant l'atterrissage de missions habitées », comme un vaisseau robotique pour combler les graves lacunes sur le plan des connaissances associées à l'exploration humaine de Mars. Les grandes priorités des organismes partenaires sur le plan de la reconnaissance consistent à déterminer l'emplacement et l'étendue des réserves de glace d'eau pour d'éventuelles découvertes scientifiques justifiant l'envoi de missions habitées (p. ex., le carottage de glace pour l'astrobiologie ou la climatologie) et à caractériser de façon adéquate les ressources en eau et en glace accessibles pour répondre aux besoins humains sur la surface de Mars, comme l'utilisation de ressources in situ (ISRU).

Compte tenu des années d'élaboration du concept de la mission et de l'entente multiagences, la charge utile d'ancrage identifiée pour la mission est un radar à synthèse d'ouverture (SAR) polarimétrique fonctionnant à une fréquence centrale de 930 MHz (bande L), capable de mesurer à la fois latéralement et nadir (sondage). Les mesures de seuil SAR/Sounder qui déterminent les exigences de la mission doivent être fondées sur le but de la mission de reconnaissance et les objectifs de reconnaissance et pouvoir être retracées. D'autres mesures de référence peuvent être envisagées pour améliorer la précision des mesures de seuil requises ou pour fournir le contexte des données de la charge utile d'ancrage.

2.1. Exigences opérationnelles

Voici le contexte de la tâche 1 de l'ÉDM: définir les mesures liées aux exigences en matière de reconnaissance (détection des glaces, caractérisation des morts-terrains et caractérisation des sites d'atterrissage de missions habitées possibles) et les façons d'optimiser la ou les charges utiles à ces fins.

OBJECTIF DE RECONNAISSANCE : L'objectif global de la mission de reconnaissance qui permet l'exploration humaine en comblant une lacune hautement prioritaire en matière de connaissances est de ***cartographier et caractériser la glace d'eau souterraine accessible (dans les 10 premiers mètres) et ses morts-terrains dans les latitudes moyennes à basses aux fins de la planification de la première mission habitée éventuelle à la surface de Mars.***

OBJECTIFS DE RECONNAISSANCE : les partenaires de l'Agence ont établi trois objectifs de reconnaissance (OR) qui orienteront les exigences de mesure dans une région appelée « zone de reconnaissance » (ZAR).

- **OR-1 : emplacement et étendue de la glace d'eau**
Dans la zone de reconnaissance, détecter, cartographier et inventorier la distribution spatiale et la profondeur par rapport à la glace des ressources en eau et en glace près de la surface (de 0 à 10 m dans la partie supérieure).
- **OR-2 : accessibilité de la glace d'eau**
Dans la zone de reconnaissance, détecter, caractériser et cartographier les propriétés géotechniques de surface et près de la surface (rugosité, compacité) afin de fournir une compréhension fondamentale de l'accessibilité des ressources en eau et en glace (p. ex., caractérisation des morts-terrains pour le forage/l'ISRU et stabilité structurale du terrain pour l'atterrissage/le lancement, la construction, la traficabilité et d'autres activités de surface liées à l'activité humaine).
- **OR-3 : évaluation du site d'atterrissage humain du candidat**
D'après les analyses des relevés ci-dessus de la zone de reconnaissance, fournir des cartes détaillées à haute résolution des zones d'intérêt ciblées qui ont de la glace d'eau adéquate (OR-1) et accessible (OR-2), sont le plus égalitaires possible, et modéliser le potentiel des sciences de surface et humaines, l'atterrissage et la montée en classe, l'ISRU et le génie civil.

2.2 RENDEMENT DE L'INVESTISSEMENT

Voici le contexte de la tâche 2 de l'ÉDM : dresser des constats sur les élargissements possibles des mesures scientifiques et celles de reconnaissance et de génie prioritaires et maximales, qui sont synergiques à la charge utile d'ancrage et qui pourraient optimiser le rendement de l'investissement de la mission dans les conditions limites établies pour celle-ci.

OBJECTIF DE VALEUR SUPPLÉMENTAIRE : l'objectif de valeur supplémentaire est, dans la mesure du possible, définir des possibilités scientifiques de grande valeur et des capacités de soutien de mission hautement prioritaires qui servent à la reconnaissance, à la recherche scientifique et au génie.

OBJECTIFS SUPPLÉMENTAIRES AXÉS SUR LA VALEUR DANS DES CONDITIONS LIMITES : sous réserve de traiter l'OR comme des priorités globales qui déterminent les exigences de mesure de la charge utile d'ancrage principale, les partenaires de l'Agence ont établi des objectifs scientifiques supplémentaires (OSS) qui optimisent l'utilisation de la charge utile d'ancrage SAR et des objectifs de soutien de mission (OSM), qui maximisent davantage le rendement potentiel du capital investi. Aucune ne dictera les exigences de la mission, mais les organismes sont déterminés à en tirer le plus d'avantages possible.

- **OSS-1 : répertoire augmenté des glaces d'eau**
Utilisez la charge utile d'ancrage pour étendre la détection, la cartographie et le répertoire de la glace en eau peu profonde à une échelle presque mondiale.
- **OSS-2 : reconnaissance/enquêtes scientifiques sur les possibilités**
Permettre des observations scientifiques et de reconnaissance des possibilités alignées sur les objectifs communautaires prioritaires, internationaux et multidisciplinaires (p. ex., climatologie et géologie martiennes, l'historique volatil de Mars, l'habitabilité, la recherche de structures géologiques naturelles pour la radioprotection, etc.).
- **OSM-1 : démonstration de technologie facultative : orbiteur(s) du relais des communications à haute altitude**
Fournir un MRN dédié, de première génération, à haute altitude principalement pour soutenir le volume de données élevé attendu de l'I-IMIM et sa livraison à des taux de données élevés (p. ex., données brutes de SAR) et, accessoirement, pour soutenir les futures missions sur Mars (y compris la sauvegarde pour le retour d'échantillons sur Mars et la mise à l'essai d'une infrastructure de MRN précurseur qui est rechargeable, évolutive et interopérable pour l'exploration robotique et humaine).
- **OSM-2 : charges utiles complémentaires pour la reconnaissance, la science et l'ingénierie**
Envisager des charges utiles supplémentaires, des partages, des opérations étendues et la mise à profit des capacités pour les futures missions humaines et robotiques sur Mars.

L'Équipe de définition des mesures scientifiques et de reconnaissance

On s'attend à ce que l'ÉDM appuie le concept de mission préalable à la phase A et sa transition vers la phase A. Après l'ÉDM, si la MICGM devait être confirmée pour mise en œuvre après une étude de concept appropriée de la phase A, les partenaires de la mission ont l'intention de mobiliser une plus grande participation de la communauté au sein d'une équipe internationale de reconnaissance et de science de la mission sélectionnée dans le cadre d'un concours.

Pour accomplir ces tâches, l'ÉDM a besoin d'une équipe multidisciplinaire d'experts en la matière qui ensemble possèdent une connaissance complète notamment des radars à synthèse d'ouverture et du sondage radar, du

contexte géologique pour la séquestration souterraine de glace d'eau (associé à la climatologie), de l'astrobiologie, de la glaciologie et des sciences cryosphériques, de la télédétection (y compris l'imagerie de la topographie géologique liée à la détection de la glace d'eau), des techniques d'utilisation des ressources in situ (ISRU), des éléments de la phase d'entrée et de descente, de même que d'atterrissage et d'ascension, et du génie civil. **L'ÉDM sera dirigée par des coprésidents possédant une expertise particulière** (c.-à-d. des publications, des rôles de leadership de vol ou des rôles de leadership d'ingénierie dans des missions/environnements analogues ou des bancs d'essai) liés à 1) la détection de glace d'eau, la caractérisation et l'analyse quantitative à l'aide de paradigmes de télédétection par micro-ondes; et 2) l'ISRU liée à la glace d'eau afin d'assurer le plein potentiel de l'instrument d'ancrage pour fournir des mesures aussi ciblées que possible aux besoins réels des planificateurs de missions humaines de Mars.

4.0 Principales hypothèses et lignes directrices

- L'orbiteur porteur SAR (« SARbird ») et les orbiteurs relais de communication potentiels (« COMbirds ») devraient arriver sur Mars d'ici 2030 et orbiter à environ 300 km et à environ 6 000 km - 8 000 km respectivement.
- L'exigence de durée de vie de la mission de référence est d'une année Mars (environ 690 jours Terre).
- Les activités préalables à la mission fourniront des contraintes sur la conception des vaisseaux spatiaux et des solutions de configuration afin d'établir des conditions limites réalistes pour l'examen de L'ÉDM.
- La charge utile de l'ancre est un radar à synthèse d'ouverture (SAR) polarimétrique fonctionnant à une fréquence centrale de 930 MHz (bande L), capable d'effectuer des mesures latérales et nadirs (sondage). Toute charge utile supplémentaire de mission théorique ou tout partage de manèges nécessiterait des engagements supplémentaires des partenaires internationaux, devrait être synergique avec la charge utile d'ancrage et s'harmoniser avec la reconnaissance, la science et la mission, appuyer les objectifs et ne pas nuire aux capacités de mesure de l'instrument principal (SAR) en matière d'hébergement et d'opérations.

5.0 Énoncé de la tâche

5.1 Tâche DÉFINIR LES EXIGENCES DE MESURE DE RECONNAISSANCE SEUIL TRAÇABLE DE NIVEAU 1 ET LES FAÇONS D'OPTIMISER LA CHARGE UTILE

L'ÉDM est chargée de déterminer un ensemble de constatations d'experts communautaires pour les exigences de mesure du seuil de reconnaissance de niveau 1 qui servent à :

- évaluer l'efficacité de la charge utile d'ancrage pour atteindre les objectifs de reconnaissance prédéfinis dans le cadre d'une matrice de traçabilité de mission générée par l'ÉDM;
- aider l'équipe de conception à élaborer un concept d'opération de mission réalisable;
- envisager d'autres possibilités de synergie avec la charge utile d'ancrage afin de renforcer la capacité de la mission à répondre aux objectifs de reconnaissance axés sur les exigences de l'Agence;
- cadrer avec les ressources disponibles et les niveaux de risque acceptables connexes fournis par l'équipe de conception de plusieurs organismes.

Si et comme l'équipe de conception le demande pour appuyer l'OR, l'ESM peut également envisager d'autres charges utiles de priorité plus élevée comme possibilités de référence potentielles qui permettent soit d'améliorer l'interprétation des mesures SAR (p. ex., comprendre la forme et la concentration de la glace) ou mieux répondre aux besoins prioritaires des planificateurs de missions martiennes pour l'exploration humaine. (L'ÉDM tiendra compte de ces considérations axées sur la reconnaissance de concert avec l'exécution des tâches 2 et 3 et en harmonie avec les objectifs supplémentaires de reconnaissance, de science et d'ingénierie des organismes partenaires.) Par exemple, un imageur à longueur d'onde visible de résolution spatiale appropriée ou des capteurs qui surveillent la circulation de la vapeur d'eau pourraient appuyer davantage les objectifs de reconnaissance dictés par les besoins, ainsi que les objectifs de science et de soutien de mission supplémentaires.

Autres – Les autres questions à résoudre comprennent, sans s'y limiter.

- Quelles mesures, traçables aux objectifs de reconstruction, sont nécessaires pour assurer la détection et la caractérisation de la glace et de ses morts-terrains?
- Comment peut-on optimiser toutes les capacités (p. ex., interférométrique, tomographique, haute résolution, projecteur) de l'échosondeur SAR/nadir SAR ou le concept d'opérations de mission pour les mesures axées sur la reconnaissance?
- Quelles approches du REP, ou en combinaison avec les ensembles de données existants, permettraient de caractériser la « pureté » (mélange glace/régolite glace) de la glace d'eau souterraine?
- **Pour atteindre les objectifs de mesure de la reconnaissance**, d'autres charges utiles synergiques au-delà du radar sont-elles nécessaires pour accroître la précision et l'interprétation des résultats SAR ou mener à la certification des sites d'atterrissage des candidats (accessibles, riches en glace)? Si oui, laquelle?

5.2 Tâche FOURNIR DES CONSTATATIONS SUR LES AUGMENTATIONS POTENTIELLES DE GRANDE VALEUR ET HIÉRARCHISÉES (NON FONDÉES SUR LES BESOINS) QUI POURRAIENT MAXIMISER LE RENDEMENT DU CAPITAL INVESTI DE LA MICGM

En complément de la Tâche 1, l'ÉDM fournira des conclusions sur les augmentations potentielles qui pourraient contribuer à des résultats scientifiques et de reconnaissance de Mars de grande valeur communautaire ou aux priorités de soutien de la mission. Les constatations doivent démontrer un lien avec les intérêts des partenaires de l'Agence fournis par l'équipe de conception conformément à l'objectif de valeur supplémentaire de la mission. (p. ex., capteurs de l'atmosphère/de la météo/de l'espace/de l'environnement de rayonnement/de l'environnement de rayonnement pour combler les lacunes en matière de connaissances liées à l'exploration humaine, améliorations des sciences de la radio, démonstrations techniques, covoiturage, etc.). Ils doivent également s'harmoniser avec les rapports documentés de l'organisme partenaire et de la collectivité. [p. ex. [Vision and Voyages NASEM Planetary Decadal Survey](#), [MEPAG Goals \(2020\)](#), [Canadian Space Exploration – Science and Space Health Priorities for the Next Decade and Beyond](#), [Documento di Visione Strategica per lo Spazio, 2020-2029](#); [JAXA Strategic Mars Exploration Program \(JSMEP\)](#) ([version anglaise](#), [version japonaise](#))].

Axées sur la maximisation du rendement potentiel des investissements dans des conditions limites plutôt que sur la prise en compte des mesures requises, les constatations de la tâche 2 de l'ÉDM pourraient permettre :

- d'identifier les caractéristiques de conception des engins spatiaux et de la charge utile d'ancrage qui permettraient d'étendre la détection et la caractérisation des glaces à un levé mondial (OSS-1);
- de définir les enquêtes scientifiques les plus prioritaires qui pourraient être menées au moyen d'« observations des possibilités » (OSEM-2) en utilisant la charge utile d'ancrage principale et les capacités

de mesure définies à la tâche 1, ainsi qu'une matrice supplémentaire de traçabilité scientifique (MTSS) dérivée qui passe des capacités de charge utile SAR à des objectifs scientifiques définis (et leur provenance « de grande valeur » approuvée par la collectivité);

- d'évaluer les avantages de la mesure des « charges utiles de l'occasion » de la plus grande valeur (p. ex., imageur, capteurs de vapeur d'eau, etc.) qui sont synergiques avec les objectifs de l'instrument d'ancrage et de reconnaissance, qui s'harmonisent avec les objectifs de soutien de la mission (OSM-2), et appuyer tout autre intérêt exprimé de l'équipe de concept :
 - en accordant la priorité aux options de charge utile en fonction des ressources critiques (p. ex., masse, volume, puissance, débit de données, besoins en locaux, etc.);
 - en vérifiant qu'ils n'entreraient pas en conflit avec les opérations de mission du SAR principal, ni ne modifieraient la portée ou les capacités requises de la charge utile de l'orbiteur/d'ancrage.

Autres – Les autres questions à résoudre comprennent, sans s'y limiter.

- Comment peut-on étendre le concept d'opérations de recherche et de sauvetage à l'ensemble de la planète (sans avoir d'incidence sur les exigences)?
- Quelles études scientifiques des possibilités peuvent être menées à l'aide de la suite de charge utile « de base » (charge utile d'ancrage et autres éléments pouvant être inclus)? Comment seraient-elles classées en ordre de priorité?
- Y a-t-il des augmentations modérées de la charge utile de base ou des vols qui pourraient améliorer considérablement la reconnaissance ou le retour scientifique? Comment seraient-elles classées en ordre de priorité?

5.3 Tâche PRÉPARER UN MODÈLE DE CONCEPT DES OPÉRATIONS

Dans le cadre du processus d'exécution des tâches 1 et 2, l'ÉDM fournira en outre un concept d'opération modèle (p. ex., altitude orbitale, temps solaire local, moment consacré à la collecte des données, etc.) qui reflète les buts, les objectifs et les exigences de la mission, et les conclusions de L'ÉDM, avec les informations d'appui des équipes d'ingénierie de la mission sur la mission principale (p. ex., lancement, arrivée, durée) et les capacités des engins spatiaux/charges utiles MICGM.

6.0 Calendrier du projet

L'EMD présentera officiellement ses produits livrables aux partenaires de l'Agence selon le calendrier suivant. Des dates cibles précises seront présentées à l'EMD au moment du lancement.

- **Mi-septembre, 2021** – Lancement de L'ÉDM
- **Mi-novembre, 2021** – Résultats provisoires (format de présentation)
- **Mi-décembre, 2021** – Sommaire presque final, dans lequel les constatations ne devraient pas changer pendant la préparation d'un rapport final.
- **Fin janvier 2022** – Rapport final sous forme de texte final (sous forme de « livre blanc »)

Le soutien d'experts en la matière des partenaires de la mission sera mis à la disposition de l'ÉDM, au besoin, sur des questions liées à l'ingénierie des systèmes de la mission et aux CONOPS, ainsi que sur l'état actuel et les lacunes critiques des connaissances liées à la distribution de la glace d'eau sur Mars.

4.0 Procédures d'exploitation

Pour des raisons de coût, de temps et de sécurité, la plus grande partie des travaux de l'équipe sera effectuée par courriel et par téléconférence ou vidéoconférence. Les candidats qui transmettent les documents d'intérêt requis renoncent par le fait même à toute revendication contre les organismes, entités ou personnes partenaires.

Les organismes partenaires utiliseront les produits fournis par l'ÉDM pour mettre au point leur étude de concept conjointe. Les membres signeront également une déclaration attestant qu'ils ne divulgueront pas de données techniques ni d'information concernant l'ÉDM pendant les travaux de celle-ci et qu'ils demanderont une approbation préalable pour toute présentation ou recherche supplémentaire. Toutefois, les organismes partenaires rendront public le rapport final et tout autre extrait produit par l'ÉDM. L'ÉDM sera dissoute avant tout autre avis d'offre de participation (AOP) à une équipe multidisciplinaire internationale de reconnaissance et de recherche scientifique pour la mission, que prévoit la MICGM.

La personne-ressource pour la présente offre de participation est :

Richard M. Davis
Directeur adjoint, Sciences et exploration
Directeur du programme de la NASA,
Mission internationale de cartographie de la glace de Mars (I-MIM)
gsfc-imim-mdt@mail.nasa.gov