


L'astronomie dans le monde



*Vue d'artiste d'un disque circumstellaire creusé par une cavité.
(ALMA, ESO/NAOJ/NRAO, M. Kornmesser)*

Disques proto-planétaires

Basé sur un communiqué ESO

La plupart des étoiles sont accompagnées de planètes. Afin de lever le voile sur les conditions de leur formation, les astronomes étudient les disques de gaz et de poussière en rotation autour des jeunes étoiles. La puissance d'ALMA est la bienvenue pour cette étude.

Les disques transitoires constituent un type de disques particulier, dénués de pous-

sière en leur centre, là où se situe l'étoile hôte. Deux mécanismes sont invoqués. Les vents et le rayonnement stellaires ont balayé ou détruit cette matière, ou elle a été expulsée par les planètes massives en formation. De telles planètes sont difficiles à observer directement. Des études antérieures, effectuées à des longueurs d'onde millimétriques, n'ont pas permis d'acquérir une vue suffisamment détaillée des régions internes de formation planétaire pour tester les différents scénarios envisagés.



*Vue schématique du disque transitoire autour d'une étoile jeune montrant la distribution de la poussière (en orange) et du gaz (en bleu). Une planète jeune est en train de creuser le trou central.
(ESO/M. Kornmesser)*

D'autre part il n'avait pas encore été possible de déterminer la quantité de gaz présente au sein de ces disques.

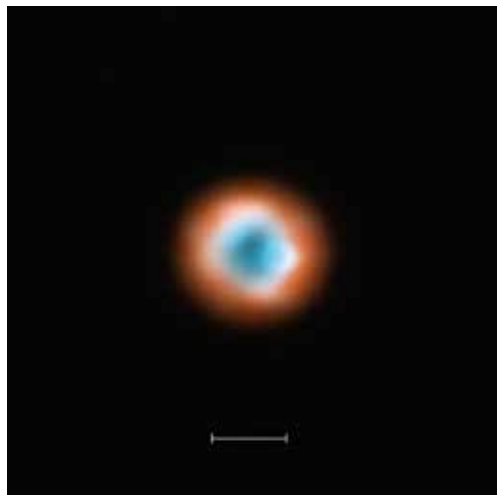
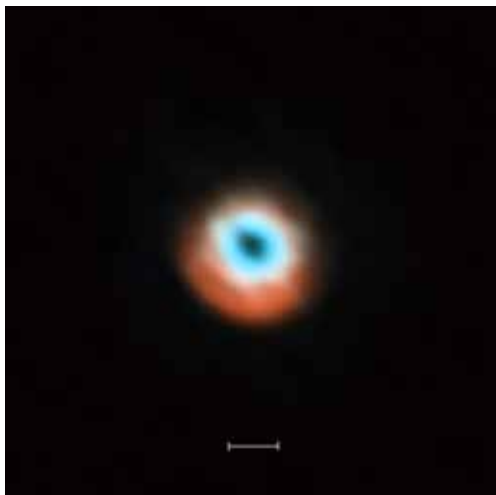
La sensibilité d'ALMA et la netteté des images obtenues ont récemment permis aux astronomes de cartographier avec précision la distribution du gaz et de la poussière au sein de quatre disques transitoires (SR 21, HD 135344B, DoAr 44 et Oph IRS 48). Les résultats obtenus leur ont en outre permis de privilégier l'un des deux scénarios de disparition de la poussière centrale.

Les disques transitoires sont principalement constitués d'hydrogène, que l'observation de la distribution de monoxyde de carbone (CO) permet de tracer. Les nouvelles images montrent l'existence de quantités significatives de gaz au sein des trous de poussière. À la surprise de l'équipe, il est toutefois apparu que le gaz présentait lui aussi une cavité, trois fois plus petite que le trou des poussières. Cette observation trouve une seule et unique explication : les planètes massives ont nettoyé le gaz à mesure qu'elles décrivait leurs orbites autour de l'étoile centrale, et piégé les particules de poussière à la périphérie.

Ces observations ont été effectuées alors que le réseau ALMA était encore en construction sur le Plateau Chajnantor au Chili. Il n'était doté alors que de 10% de son pouvoir de résolution actuel.

De nouvelles études, appliquées à d'autres disques transitoires, permettront peut-être d'établir l'universalité de ce scénario de défrichage planétaire. D'ici là, les observations d'ALMA auront fourni aux astronomes de précieux renseignements concernant le processus complexe de formation planétaire.

Grâce à ALMA, on parvient maintenant à déterminer le lieu ainsi que l'époque de formation de ces planètes géantes au sein de ces disques. On peut ensuite comparer les résultats obtenus aux modèles de formation planétaire. La détection directe de planètes est à la portée des instruments actuels, et la prochaine géné-



Images acquises par ALMA des étoiles jeunes HD 135344B (à gauche) et DoAr 44 (à droite). On a combiné une vue de la poussière qui entoure la jeune étoile (orange) avec une vue du gaz environnant (bleu). La cavité de plus petite dimension au sein du gaz révèle la présence d'une planète balayant le disque. La barre du bas montre le diamètre de l'orbite de Neptune. (ALMA ESO/NOAJ/NRAO)

ration de télescopes actuellement en cours de construction, comme le télescope géant Européen, permettra de repousser ces limites.

Ondes de proue

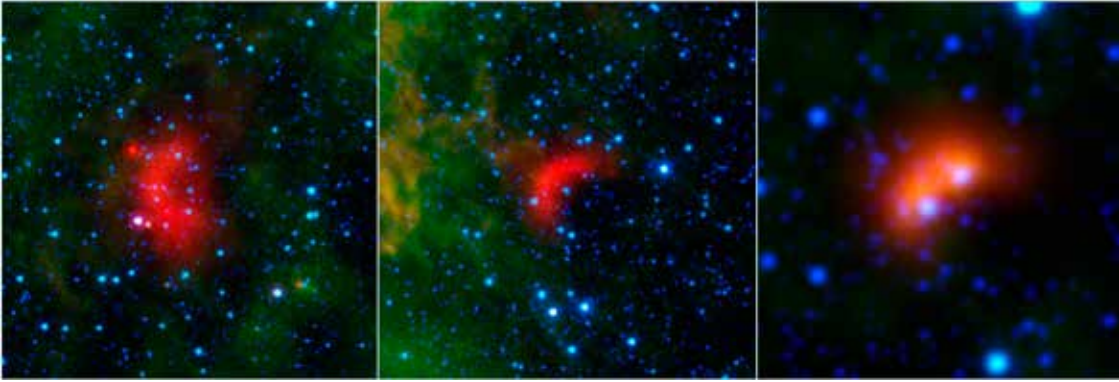
Les étoiles massives qui se déplacent à très grande vitesse peuvent pousser devant elles le milieu interstellaire au point de former une onde observable. De multiples exemples de ces véritables vagues d'étrave (ou de proue) stellaires ont été observés au moyen des télescopes spatiaux infrarouges Spitzer et WISE (Wide-field Infrared Survey Explorer) et ont permis aux astronomes de découvrir de telles étoiles très véloces, des « runaway stars ».

On peut expliquer la vitesse anormale des runaway stars par des interactions gravifiques dans un amas stellaire dense. L'explosion en supernova d'une des étoiles d'un système binaire peut aussi projeter l'autre à grande vitesse.

On connaît depuis longtemps les ondes d'étraves stellaires. Le satellite infrarouge IRAS, un prédécesseur de WISE qui avait scanné tout le ciel en 1983 avait déjà permis d'identifier quelques-unes.

Un exemple d'étoile rapide créant une onde d'étrave est Zêta (ζ) Ophiuchi. Elle se déplace à 24 kilomètres par seconde par rapport à son entourage (cf. image p. 102). Sa masse est vingt fois supérieure à celle du Soleil et les vents supersoniques qu'elle émet sont très efficaces pour repousser le gaz devant elle. La matière qui s'accumule dans l'onde s'échauffe et devient particulièrement bien visible dans le domaine infrarouge.

En consultant les archives des télescopes Spitzer et WISE les astronomes ont pu identifier 200 cas de vagues d'étrave, y compris certaines très distantes. Des observations au sol de 80 de ces objets avec le télescope du Wyoming Infrared Observatory leur ont permis d'identifier les astres responsables et, dans la majorité des cas, il s'agissait bien d'étoiles



massives. Dans le reste figurent des nuages émis par des étoiles et les vestiges de nuages pré-stellaires.

D'autres astronomes ont suivi une démarche différentes et ont d'abord recherché les étoiles rapides pour vérifier ensuite la présence éventuelle d'ondes d'étrave.

Des ondes d'étrave se forment au devant d'étoiles massives en mouvement rapide. Les étoiles sont en bleu, les nuages froids en vert et les nuages chauds en rouge. Les deux images de gauche proviennent du télescope spatial Spitzer, celle de droite de WISE. (NASA/JPL-Caltech/University of Wyoming)



Onde d'étrave produite par l'étoile Alpha (α) Camelopardalis (l'étoile brillante au centre de l'image). (Nasa/JPL-Caltech/Wise Team)

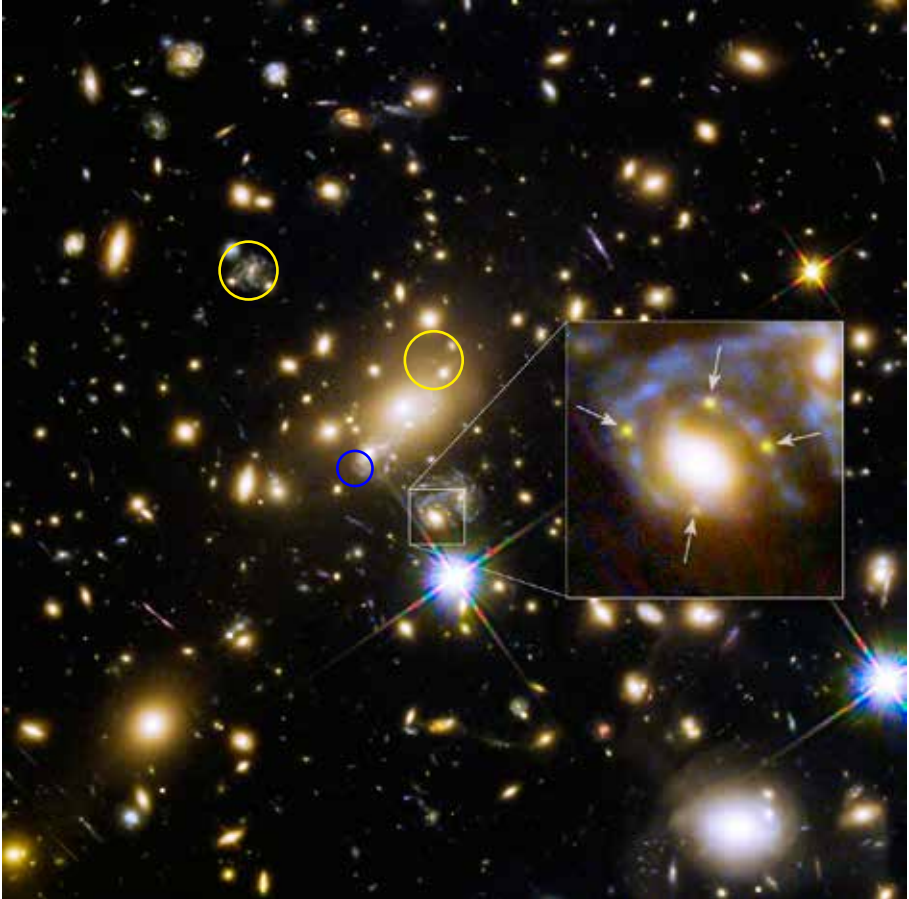


Zêta Ophiuchi

L'étoile bleue au centre de l'image est ζ Oph, une étoile vingt fois plus massive que le Soleil et 65 000 fois plus lumineuse que lui. On pense qu'elle faisait partie d'un couple stellaire avant que sa compagne, encore plus massive qu'elle, explose en supernova. Libérée de l'attraction gravifique elle prit la tangente et s'échappa en ligne droite.

ζ Oph serait l'une des étoiles les plus brillantes du ciel si elle n'était pas environnée de nuages interstellaires denses et poussiéreux.

L'image prise en infrarouge montre ces nuages en vert. Près de l'étoile, l'intense rayonnement ultraviolet chauffe les nuages et ils apparaissent en rouge. L'arc lumineux résulte quant à lui du déplacement de l'étoile. C'est l'onde créée par les vents stellaires qui compriment le gaz devant eux. L'image due à WISE montre les étoiles en bleu (correspondant à des longueurs d'onde de 3,4 et 4,6 microns). Les poussières, plus froides, apparaissent en rouge et vert (12 et 22 microns) (NASA/JPL-Caltech/UCLA)



Supernova Refsdal

N-i-ni, c'est fini

L'éclipse, à Cassini.

Qui ne connaît l'anecdote de l'éclipse de 1724 lorsque des retardataires arrivant au Trianon demandèrent si Cassini voulait bien recommencer l'éclipse pour eux. Cette naïveté inspira une chanson dont le refrain est reproduit ci-dessus.

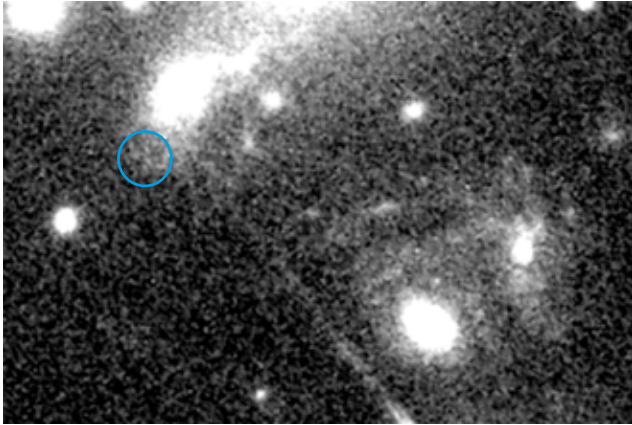
On ne recommence pas une éclipse. Et encore moins une supernova, et pourtant...

En novembre 2014, le télescope spatial Hubble avait photographié une supernova dans l'amas de galaxies MACS J1149.5+2223 (cf *Le Ciel*, janvier 2015, 35). La supernova

L'amas de galaxies MACS J1149.5+2223 photographié par le télescope spatial Hubble avec la croix d'Einstein observée fin 2014.

Le cercle bleu indique la position prédite pour la nouvelle apparition de la supernova Refsdal. Les cercles jaunes marquent les apparitions antérieures probables vers 1965 (à gauche) et 1994 (à droite).

(NASA, ESA, P. Kelly / University of California, Berkeley)



L'image du haut, a été prise par Hubble le 30 octobre dernier au début de la série d'observations destinées à trouver la nouvelle manifestation de la supernova.

En bas, la supernova est retrouvée sur une image du 11 décembre, ce qui confirme les modèles. (NASA, ESA, P. Kelly / University of California, Berkeley)

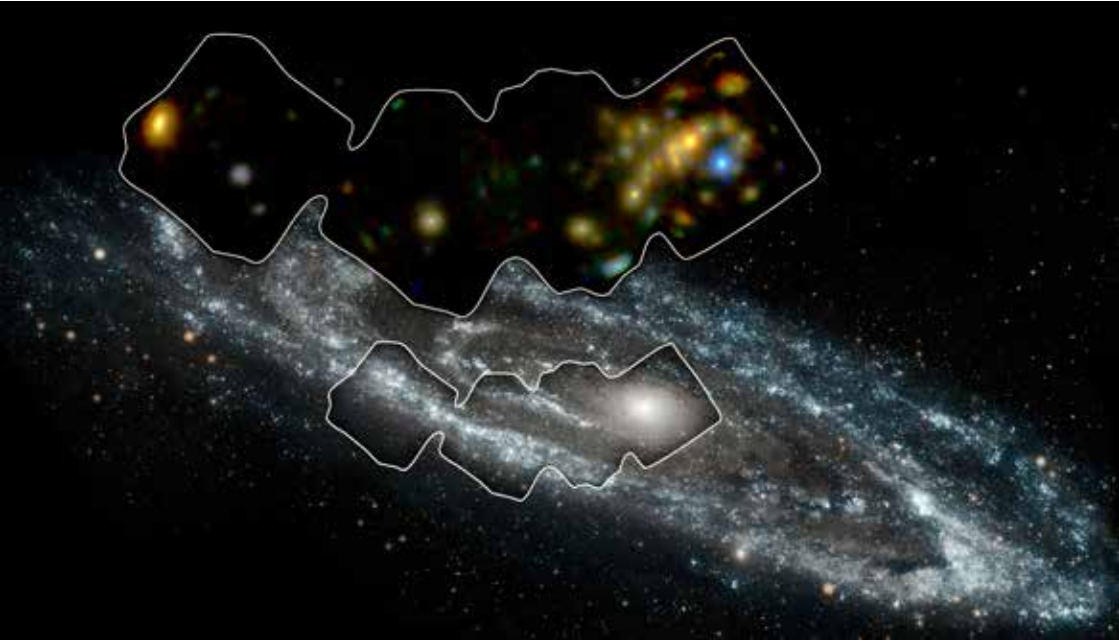


était en fait beaucoup plus loin que l'amas et son image était multipliée par effet de lentille gravitationnelle, formant une rare « croix d'Einstein » autour d'une galaxie de redshift 0,54. La lumière de cette dernière a mis 5 milliards d'années pour nous parvenir alors que le redshift de la supernova de 1,49 correspond à plus de 9 milliards d'années.

Le surnom de supernova de Refsdal a été attribué en l'honneur de l'astronome qui a dès les années 60 reconnu l'importance qu'aurait l'observation d'images multiples de supernovæ pour étudier l'expansion de l'Univers.

Les astronomes ont pu construire des modèles de répartition de masse reproduisant les effets gravitationnels de l'amas lentille. Ces modèles laissaient penser qu'une autre image de la supernova était déjà apparue ailleurs dans l'amas il y a un demi-siècle, et qu'une nouvelle image devait se manifester dans l'année. Les nouvelles observations de Hubble ont pu confirmer cette prédiction et valider les modèles de distribution de la matière – normale comme noire – dans les amas.

Non, la supernova à Refsdal n'était pas finie...



M31

La galaxie d'Andromède est une grande sœur de la Voie lactée. C'est la spirale la plus proche, ce qui permet aux astronomes d'étudier des objets individuels dans leur contexte galactique général et d'en déduire ce qui se passe dans des galaxies beaucoup plus lointaines. Cela permet aussi de voir ce qui peut différer entre les deux galaxies.

C'est ainsi la seule galaxie dans laquelle nous pouvons observer des binaires X individuelles. De nouvelles observations dans le domaine des rayons X de hautes énergie ont été effectuées par le télescope spatial NuSTAR (Nuclear Spectroscopic Telescope Array). Elles ont montré 40 binaires X – intenses sources de rayons X constituées d'une étoile à neutrons ou d'un trou noir associé à une étoile normale et se nourrissant à ses dépens. Les observations ont permis de compléter les observations faites antérieurement à plus basse énergie, mais à plus haute résolution, par Chandra. La combinaison des deux séries

*L'image des régions centrales de M31 construite à partir des observations X de NuSTAR a été superposée à une vue en ultraviolet par GALEX (Galaxy Evolution Explorer).
(NASA/JPL-Caltech/GSFC)*

de données promet de préciser la nature des binaires X et leur rôle dans l'échauffement du gaz intergalactique à l'époque où se formaient les premières galaxies.

Les observations de M31 par NuSTAR devraient permettre de mieux connaître la proportion de trous noirs par rapport aux étoiles à neutrons dans les binaires X et de juger de la puissance rayonnée dans l'espace. Le fait qu'il y ait un trou noir ou une étoile à neutrons dans une binaire dépend essentiellement de la masse qu'avait l'étoile originale avant sa destruction.

Êta Carinae

Êta (η) Carinae est un objet unique dans notre galaxie. Située à plus de sept mille années-lumière, elle est célèbre pour l'éruption qui au milieu du dix-neuvième siècle en a fait brièvement l'étoile la plus brillante du ciel après Sirius. Après être retombée rapidement à la septième magnitude, elle remonte lentement et régulièrement en luminosité depuis un siècle.

On estime que l'explosion a projeté dans l'espace au moins l'équivalent de dix fois la masse du Soleil. Le nuage qui l'enrobe encore se dissipe peu à peu ce qui explique l'augmentation actuelle de la luminosité apparente. La luminosité intrinsèque de l'étoile principale est estimée à quelque cinq millions de fois celle du Soleil et serait maintenant relativement constante. Lors de l'explosion elle aurait pu atteindre cinquante millions de fois celle du Soleil!

Il est évident qu'une étoile ne peut pas se permettre de répéter souvent ce genre de fantaisie. Une prochaine explosion pourrait bien être fatale. On pense que η Car est une étoile multiple constituée au moins de deux étoiles très massives (90 et 30 masses solaires) tournant l'une autour de l'autre en 5 ans et demi.

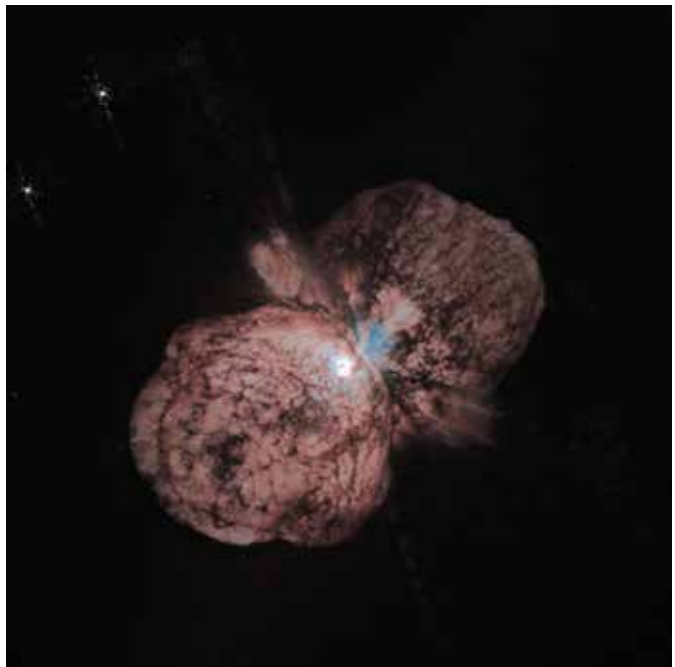
Le nuage d'éjecta fait de ce couple massif un objet exceptionnel, le seul connu de ce type dans la Galaxie. Cela n'est pas étonnant puisque les étoiles aussi grosses sont rares et il faut une coïncidence pour les

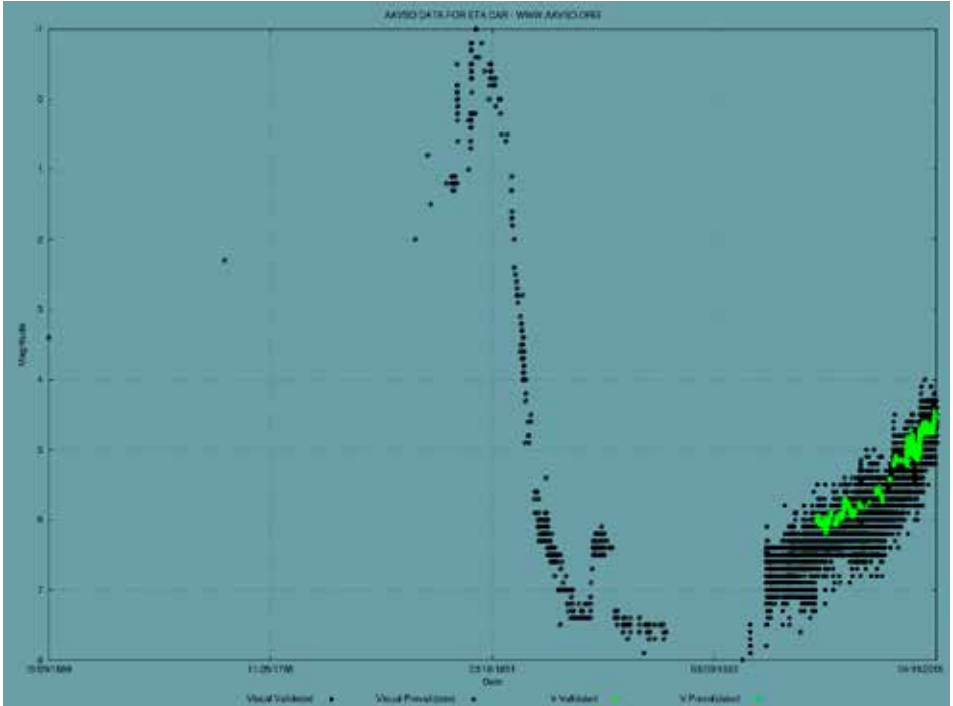
surprendre lors de l'épisode éphémère d'une éruption.

Des données d'archive des télescopes spatiaux Hubble et Spitzer ont cependant permis de trouver des cas analogues dans d'autres galaxies, ce qui constitue une véritable aubaine pour les astronomes avides d'étudier ces étoiles extrêmement massives dont l'impact est démesuré sur l'évolution des galaxies-hôtes. Par leurs vents et leurs explosions elles façonnent les galaxies et redistribuent de grandes quantités d'éléments chimiques.

Pour dénicher les clones de η Car les astronomes ont mis au point une technique basée sur la comparaison des luminosités dans les domaines visible et infrarouge. La poussière qui se forme dans les éjectas de ces étoiles absorbe et atténue considérablement l'ultraviolet, moins le visible et encore moins l'infrarouge. L'énergie absorbée est re-rayonnée dans l'infrarouge moyen. La répartition de l'intensité sur toute cette gamme de longueur d'onde permet de déduire la quantité de poussière présente.

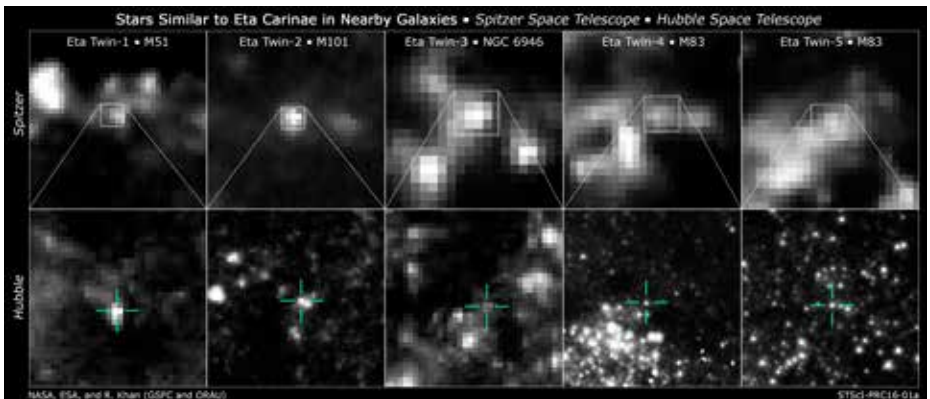
Les nuages éjectés par η Car au 19^e siècle remplissent deux lobes et le plan équatorial dans cette image prise avec le télescope spatial Hubble. (Jon Morse/University of Colorado & NASA Hubble Space Telescope - Hubble Site)

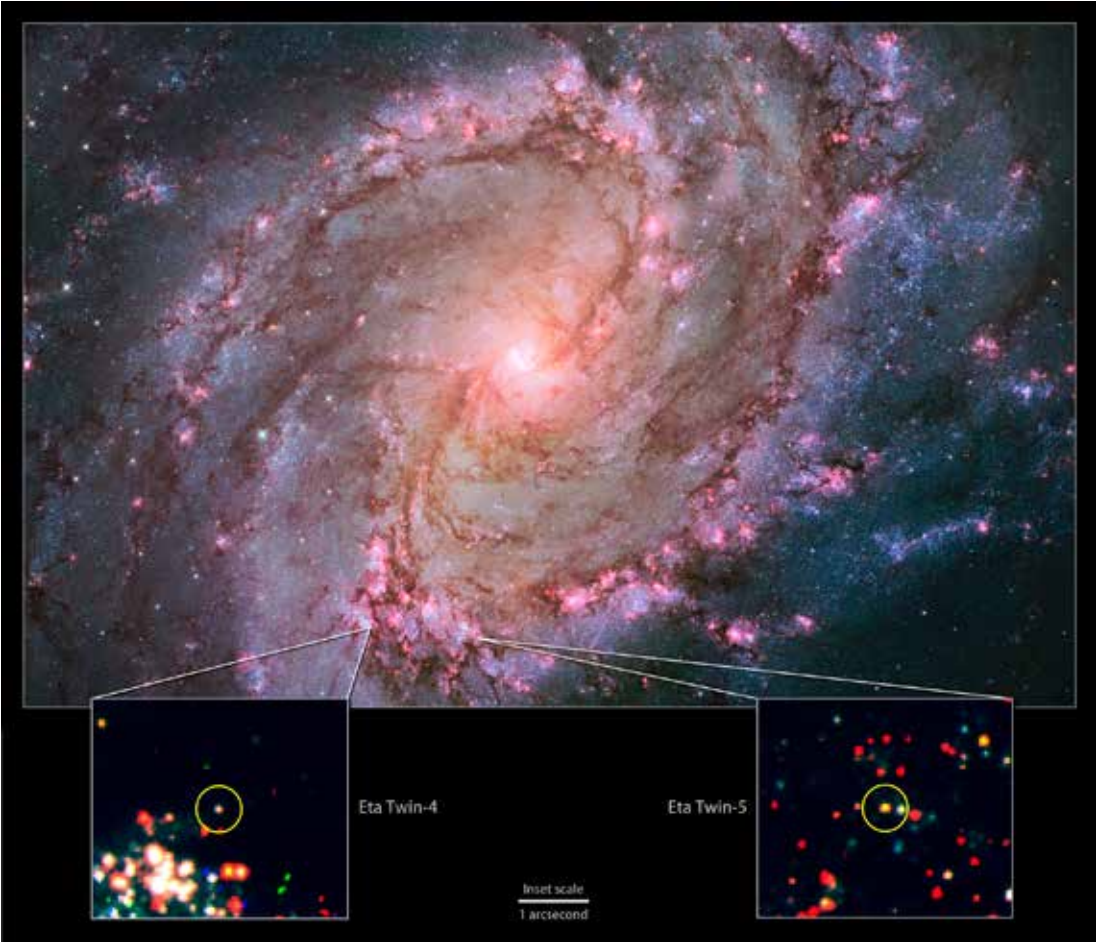




Luminosité de η Car au cours du temps.
(wikipedia; AAVSO)

Les clones potentiels de η Carinae sont présentés dans les images du haut en infrarouge à la longueur d'onde de 3,6 microns (Spitzer), et en bas à 800 nanomètres (Hubble).
(NASA, ESA, R. Khan/GSFC/ORAU)

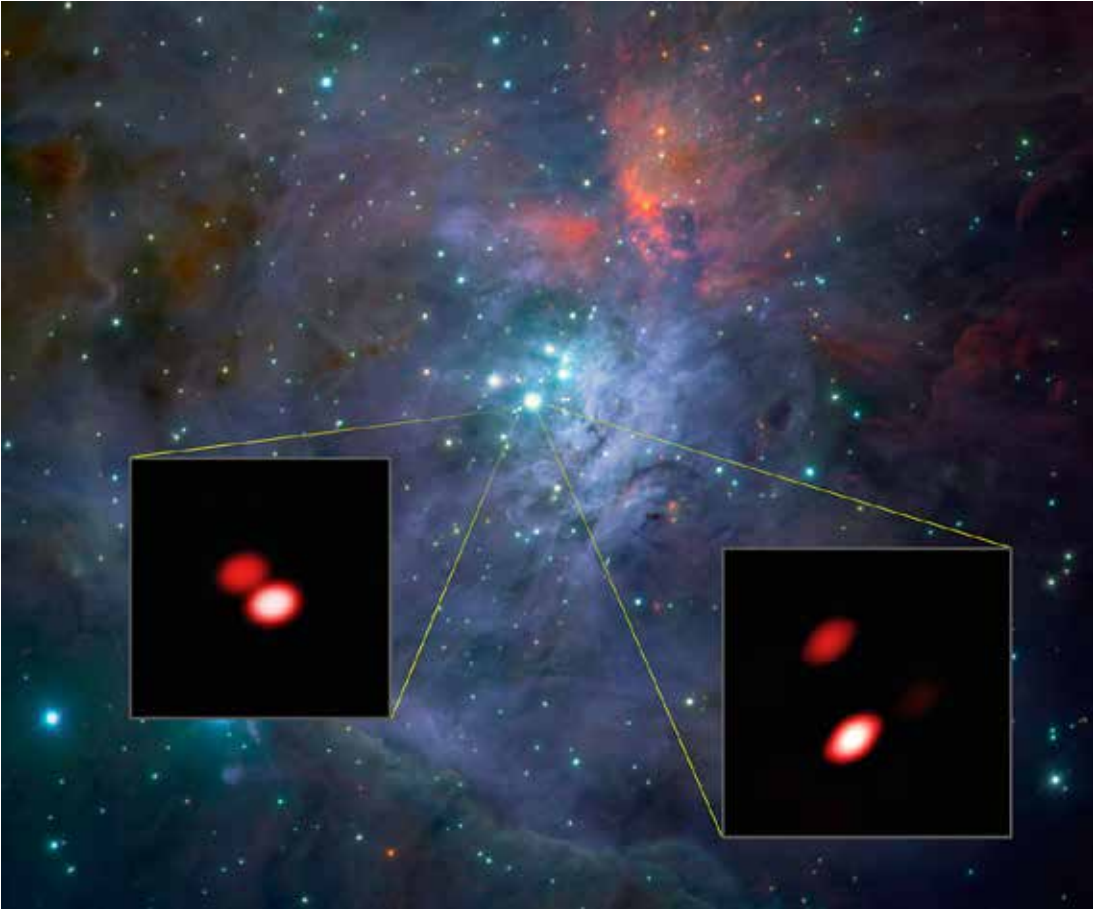




***La spirale Messier 83 est pour le moment la seule dans laquelle on ait détecté deux candidats η Carinae. Dans cette image composite prise par le télescope spatial Hubble on peut voir la position de ces objets.
(NASA, ESA, the Hubble Heritage Team/STScI/AURA, R. Khan/GSFC/ORAU)***

Après une première recherche n'ayant pas décelé de clones de η Car mais ayant malgré tout identifié une classe intéressante d'étoiles moins massives, confirmant par la

même occasion la validité de la technique, les astronomes en ont trouvé deux dans M83, à 15 millions d'années-lumière et une dans NGC6946, M101 et M51, entre 18 et 26 millions d'années-lumière. Ces objets montrent des propriétés optiques et infrarouges identiques à celles de η Car ce qui suggère qu'ils contiennent une étoile très massive enfouie dans une enveloppe de gaz et de poussière d'une dizaine de masses solaires.



Trapèze d'Orion

Basé sur un communiqué ESO

GRAVITY est le plus puissant des interféromètres installés à ce jour sur le VLT. Il combine la lumière de plusieurs télescopes afin de constituer un télescope virtuel dont le diamètre peut atteindre jusqu'à 200 mètres. Cette technique d'interférométrie permet aux astronomes d'obtenir des images d'objets astronomiques avec une résolution bien meilleure que celle des images acquises par chacun des télescopes individuels.

*Montage permettant de comparer les images de la région acquises par divers télescopes. L'image finale (cadre de droite), réalisée par GRAVITY, révèle des détails bien plus fins de l'environnement des étoiles les plus faibles de l'amas, inaccessibles au télescope spatial Hubble (à gauche).
(ESO/GRAVITY consortium/NASA/ESA/M. McCaughrean)*

Depuis l'été 2015, une équipe internationale d'astronomes et d'ingénieurs installe l'instrument dans des tunnels creusés sous le VLT (Very Large Telescope) de l'observatoire Paranal de l'ESO au nord du Chili. Il s'agit de la première phase de la mise en service de GRAVITY sur le VLT et une étape cruciale vient d'être franchie : pour la toute première fois, l'instrument a combiné avec succès la lumière des quatre Télescopes Auxiliaires du VLT, les AT de 2 mètres qui, faut-il le rappeler, ont été réalisés par la firme liégeoise AMOS. Il serait plus pertinent de nommer cette phase « premières franges » puisqu'elle a consisté en la première combinaison de lumière en provenance de plusieurs télescopes produisant des franges d'interférence.

À l'occasion de sa première lumière, et pour la première fois dans l'histoire de l'interférométrie optique astronomique, GRAVITY a pu réaliser des poses de plusieurs minutes, plus de cent fois plus longues que ce qui était possible jusqu'à présent. GRAVITY va ainsi étendre l'interférométrie optique à l'observation d'objets beaucoup moins lumineux, et repoussera bien au-delà des limites actuelles la sensibilité de l'astronomie à haute résolution angulaire.

Parmi les observations de cette première campagne, les astronomes ont pointé l'instrument sur des étoiles brillantes de l'Amas du Trapèze situé au cœur de la région de formation stellaire d'Orion. Ces premières données de test ont déjà permis à GRAVITY d'effectuer une petite découverte : l'une des étoiles de l'amas est double. Il s'agit de Theta¹ (θ¹) Orionis F.

Les observations ont été effectuées en utilisant l'étoile brillante θ¹ Orionis C comme référence. Le succès de cette opération reposait sur la capacité à stabiliser le télescope virtuel suffisamment longtemps, en utilisant la lumière issue d'une étoile de référence, pour permettre une pose longue sur un second objet bien plus faible. En outre, les astronomes sont parvenus à stabiliser la lumière provenant simultanément de quatre télescopes – un exploit inédit avec ce niveau de performance.

GRAVITY peut mesurer la position d'objets astronomiques avec la plus haute précision (de l'ordre de 10 microsecondes d'arc), faire de l'imagerie interférométrique (avec une résolution de quatre millisecondes) ainsi que de la spectroscopie. À titre d'exemple, il pourrait apercevoir des éléments de construction sur la Lune et les localiser à quelques centimètres près.

L'imagerie à une résolution aussi extrême a de nombreuses applications. Mais l'objectif principal de GRAVITY est d'étudier l'environnement des trous noirs.

GRAVITY étudiera notamment les effets de l'intense champ gravitationnel régnant à proximité de l'horizon du trou noir super-massif situé au centre de la Voie lactée – ce qui explique le choix du nom de l'instrument. Ces effets sont dominés dans cette région par la théorie de la relativité générale d'Einstein. Par ailleurs, GRAVITY observera en détail les phénomènes d'accrétion et de jets de matière qui se produisent à proximité des trous noirs super-massifs au centre des galaxies ainsi que dans l'environnement des étoiles nouvelles. Il excellera également dans l'étude des mouvements des étoiles binaires, des exoplanètes et des disques autour des étoiles jeunes, et dans l'imagerie de la surface des étoiles.

Jusqu'à présent, GRAVITY n'a été testé qu'avec les quatre Télescopes Auxiliaires. Les premières observations avec les quatre grands télescopes de 8 mètres du VLT sont prévues pour 2016.

Le quasar W2246-0526

Basé sur un communiqué ESO

Les quasars sont de lointaines galaxies dont le cœur abrite un trou noir supermassif très actif d'où s'échappent de puissants jets de matière et d'énergie. La plupart des quasars brillent intensément. Quelques-uns de ces objets énergétiques figurent toutefois parmi les « Hot DOGs » (Dust-Obscured Galaxies) – des galaxies chaudes, obscurcies par la poussière – et, parmi elles, W2246-0526, la plus brillante des galaxies connue à ce jour. La dénomina-

Impression d'artiste de W2246-0526, une galaxie luisant dans l'infrarouge avec l'intensité de 350 milliards de soleils. Elle est si agitée qu'elle pourrait se débarrasser de tout son gaz. (NRAO/AUI/NSF; Dana Berry / SkyWorks; ALMA/ESO/NAOJ/NRAO)



tion complète de cet objet remarquable est WISE J224607.57-052635.0. Il fut découvert par le télescope spatial de sondage infrarouge à grand champ WISE de la NASA. Le reste de son appellation indique la localisation précise du quasar sur le ciel.

Les astronomes ont pour la première fois utilisé le potentiel unique d'ALMA pour sonder l'intérieur de W2246-0526 et suivre le mouvement des atomes de carbone ionisés entre les étoiles de la galaxie. ALMA se distingue des autres instruments par sa capacité à détecter le faible rayonnement du carbone dans le domaine millimétrique.

De vastes quantités de matière interstellaire ont ainsi été découvertes dans un état de turbulence extrême, se déplaçant au travers de la galaxie à deux millions de kilomètres par heure.

Les astronomes pensent que cette turbulence pourrait être liée à la grande luminosité de la galaxie. W2246-0526 émet autant de lumière que 350 milliards de soleils réunis. Cette exceptionnelle luminosité résulte de l'échauffement que subit un disque de gaz à mesure qu'il décrit une spirale autour du trou noir supermassif situé au centre de la galaxie. L'extraordinaire rayonnement émis par le disque d'accrétion au centre de ce Hot DOG ne

s'échappe pas directement : il est absorbé par une épaisse couche de poussière qui le ré-émet sous forme de lumière infrarouge. En raison de l'expansion de l'Univers, ce rayonnement est détecté depuis la Terre dans le domaine millimétrique auquel ALMA est sensible.

Cette puissante source de lumière infrarouge a un impact direct et violent sur la galaxie toute entière. La région située à proximité du trou noir apparaît 100 fois plus lumineuse que tout le reste de la galaxie, libérant un rayonnement intense mais localisé à l'intérieur de W2246-0526 qui exerce une incroyable pression sur la galaxie toute entière. La plupart des autres quasars affichent un rapport de luminosité bien plus modeste. Ce processus d'interaction mutuelle entre le trou noir central de la galaxie et le reste de la matière qu'elle contient a été baptisé rétroaction par les astronomes.

Si ce régime turbulent se poursuit, l'intense rayonnement devrait expulser l'intégralité du gaz interstellaire de cette galaxie. Des modèles galactiques reposant sur ces nouvelles données d'ALMA indiquent que du gaz interstellaire s'échappe déjà de la galaxie, dans toutes les directions.

À terme, il se peut que W2246 se transforme en un quasar plus traditionnel.

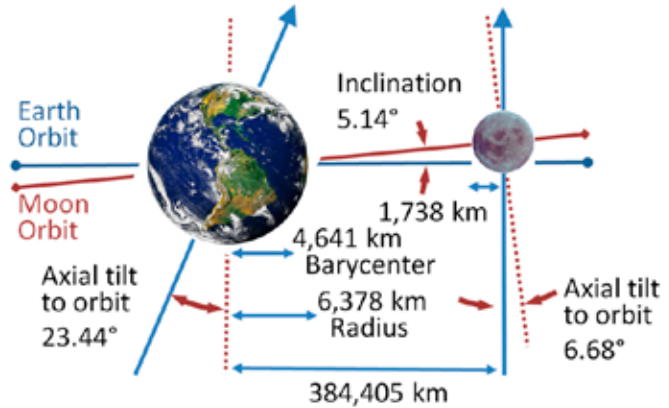
Lune

Si l'origine de la Lune est bien à rechercher dans l'agrégation d'un nuage de débris suite à une collision planétaire, le plan de son orbite devrait être très peu incliné sur celui de l'écliptique, tout au plus d'un angle d'un degré – et l'on pourrait admirer des éclipses beaucoup plus régulièrement. Or l'inclinaison de l'orbite lunaire est actuellement de cinq degrés, et elle a dû être encore plus grande, de l'ordre de dix degrés, à l'origine, avant que les effets de marée ne la ramènent un peu dans le rang.

Des simulations numériques montrent que l'interaction gravifique avec les nombreuses petites planètes qui peuplaient le Système solaire et passaient à proximité de la Terre et de la Lune a dû pousser l'inclinaison de l'orbite à dix degrés ou plus, en excellent accord avec les idées actuelles. Après une centaine de millions d'années, ces planètes perturbatrices ont disparu, s'étant abîmées dans le Soleil, sur la Terre, la Lune ou une autre planète, ou s'étant échappées du Système solaire.

Ce modèle explique non seulement la curieuse inclinaison de l'orbite lunaire, mais il permet aussi de comprendre l'abondance à la surface de notre planète de métaux lourds, comme l'or, l'iridium ou le platine.

*Vue d'artiste de la jeune Terre frôlée par des planètes.
(Laetitia Lalila)*



*Inclinaisons dans le système Terre-Lune.
(NASA)*

Ces métaux sidérophiles – qui marquent une affinité particulière avec le fer – auraient dû s'enfoncer dans le noyau de notre planète en même temps que le fer. Le fait qu'il en reste encore beaucoup en surface demande une source de renouvellement après le refroidissement de la Terre. Cette source a pu être les petites planètes qui ont fini par heurter la Terre.



Les ravines de Mars

Basé sur un communiqué CNRS

Depuis 2000, les caméras embarquées sur les satellites en orbite autour de la planète Mars nous ont envoyé de multiples images montrant la présence de chenaux et de cônes de débris, semblables à ceux créés sur Terre par l'action de l'eau liquide sur les pentes d'éboulis, avec parfois un parcours sinueux. La formation de ces ravines semblait récente, âgées de quelques millions d'années à seulement quelques années. Elles relançaient l'idée que des quantités non négligeables d'eau liquide potentiellement propice à une forme de vie pouvaient couler sur la planète Mars aujourd'hui.

Le rôle de l'eau liquide dans la genèse des ravines a récemment été remis en question par des clichés de la sonde Mars Reconnaissance Orbiter de la NASA. Ils ont révélé la formation de nouveaux chenaux, à des saisons où les températures sont beaucoup trop basses pour imaginer que de l'eau, même salée, puisse contribuer à un écoulement liquide. Par contre, le creusement des nouveaux chenaux semblait se dérouler lorsque de la glace carbonique (formée par la condensation de l'atmosphère de CO_2 sur la surface pendant l'hiver martien) était présente. Peut-on lier les deux phénomènes ? Si oui, comment expliquer qu'une fine couche de glace carbonique de quelques dizaines de centimètres d'épaisseur puisse créer des coulées de dix à vingt mètres

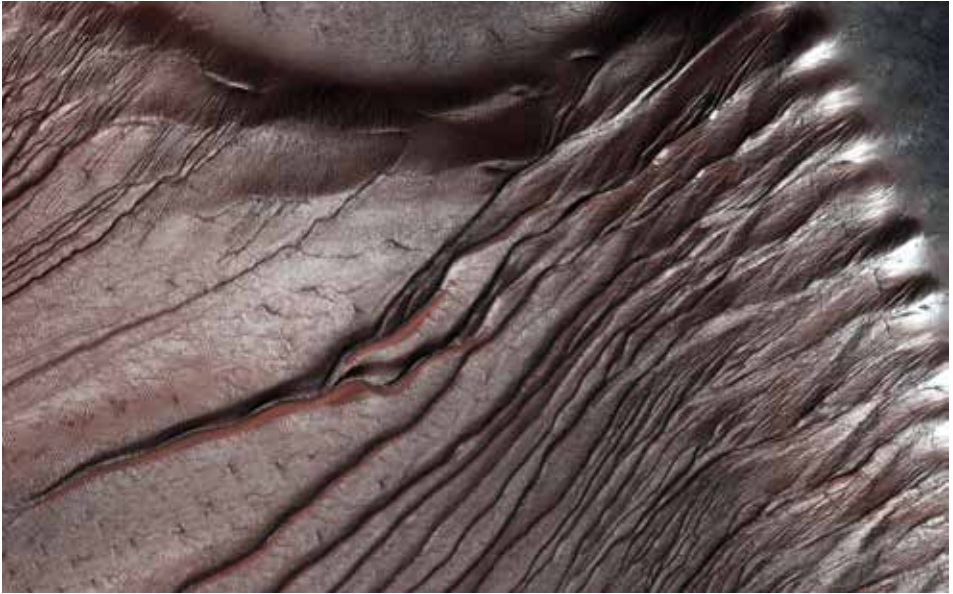
de largeur, bordées par des amoncellements d'éboulis atteignant un mètre de haut ?

Pour mieux comprendre les processus physiques liés à la condensation et la sublimation du CO_2 , les chercheurs ont créé un simulateur numérique de l'environnement sur différentes pentes de la planète Mars. Du sous-sol à l'atmosphère, ce modèle prend en compte les échanges thermiques par rayonnement, par conduction, ou induits par les changements de phase du CO_2 . Ceci permet de simuler l'évolution du CO_2 sous toutes ses phases au cours d'une année martienne, notamment sur la surface et dans les pores et les interstices du sous-sol.

À quelques centimètres sous les pentes martiennes sur lesquelles le CO_2 se condense, on trouve toujours un permafrost formé de grains cimentés par de la glace d'eau. Ainsi lorsque la glace de CO_2 se condense sur le sol en hiver, l'air présent dans les pores et interstices du sous-sol immédiat se retrouve confiné, pris en sandwich entre le permafrost étanche et la couche superficielle de glace de CO_2 .

Exemples de ravines martiennes, dont l'origine a été longtemps attribuée à l'action de l'eau liquide, mais qui seraient en fait générées par les effets de la glace de CO_2 à la fin de l'hiver. Il s'agit ici des ravines sinueuses sur les flancs d'un cratère dans le bassin de Newton (41°S, 202°E). (NASA/JPL/University of Arizona)

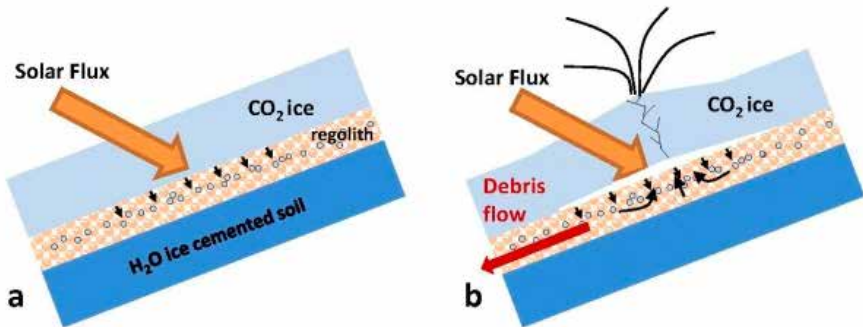




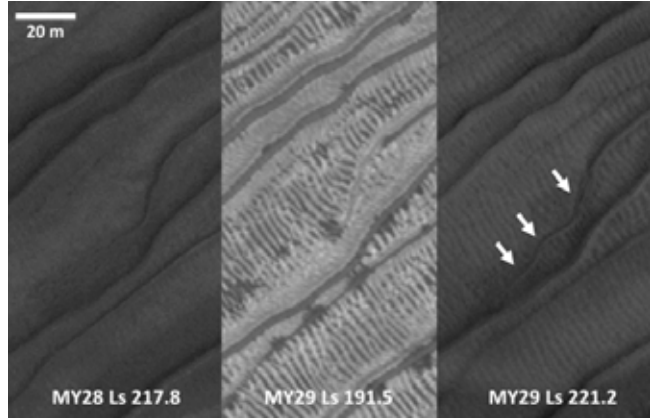
Autre exemple de ravines martiennes. Les dunes du cratère de Russell (54.3°S, 12.9°E) sont ici partiellement couvertes de glace de CO₂. (NASA/JPL/University of Arizona)

Les simulations ont révélé des phénomènes étonnants. À la fin de l'hiver et au printemps, les rayons du Soleil passent au travers de la couche de glace de CO₂ translucide et la chauffent par la base. La glace ne fond pas mais se sublime en passant directement en phase gazeuse. Le gaz produit se diffuse dans le proche sous-sol poreux. Une partie peut s'y recondenser tandis que le reste du

Les effets de la glace de CO₂ à la fin de l'hiver ou au printemps (voir texte).



Gros plan sur des ravines en formation sur les dunes du cratère Russell (54.5°S, 12.7°E), au cours d'une année martienne. À gauche : les ravines au printemps pendant l'année martienne 28 (« MY28 »). Au milieu : à la fin de l'hiver suivant (« MY29 »), les dunes sont couvertes de glace carbonique. Les jets de gaz sous pression – engendrés par le chauffage de la base de la glace par le Soleil – entraînent les grains de sable sous-jacents. Ils forment des taches sombres sur la glace. À droite : au printemps de l'année suivante, on constate qu'un nouveau chenal a été creusé par cette activité. (NASA/JPL/University of Arizona)



gaz s'accumule dans l'espace poreux restant, augmentant considérablement la pression dans le proche sous-sol, jusqu'à plusieurs fois la pression atmosphérique. Cette surpression finit par fracturer la glace de surface, ce qui génère une violente décompression. Les pores du sous-sol sont alors traversés de puissants flux d'air liés à l'évacuation du surplus de gaz et à la sublimation rapide de la glace de CO₂ du sous-sol. En quelques minutes, voire quelques secondes, des mètres cubes de gaz (ou des dizaines de mètres cubes au niveau des fractures) diffusent verticalement vers la surface. De tels flux sont capables de déstabiliser les grains situés sur les pentes et ainsi de provoquer des éboulements et des coulées. Surtout, la pression du gaz peut entraîner une véritable fluidification de l'avalanche, et lui donner les propriétés d'un écoulement liquide.

Un tel phénomène est sans équivalent sur Terre. On peut cependant le rapprocher de certaines coulées pyroclastiques générées pendant les éruptions volcaniques lorsque des avalanches de blocs et de débris sont déclenchées et fluidifiées par les gaz de l'éruption. On a observé que sur des pentes parfois très faibles ces écoulements pouvaient parcourir plusieurs kilomètres en transportant des blocs

de plus d'un mètre de diamètre, et en formant des levées latérales de tailles analogues à celles des ravines martiennes. Les chercheurs estiment que les ravines martiennes ne se forment que lorsque les conditions sont réunies pour déclencher l'instabilité, de même que sur Terre chaque pluie ne déclenche pas un éboulement de débris.

Le modèle explique également pourquoi les ravines martiennes sont observées entre 30° et 60° de latitude, sur quelques pentes jusqu'aux pôles, et qu'en deçà de 45° les ravines ne se trouvent quasiment que sur les pentes orientées vers les pôles : le phénomène de surpression et de fluidification a précisément lieu là où les ravines sont observées.

Tout indique donc que l'exposition au Soleil de la glace de CO₂ déposée en hiver par la condensation de l'atmosphère sur les reliefs martiens est à l'origine d'une partie des ravines de la planète Mars – et peut-être de toutes – via un phénomène sans équivalent sur notre planète. L'eau liquide ne serait pas impliquée dans la formation des ravines. Ces travaux remettent donc en question l'idée que ces régions aient pu être propices à la vie dans un passé récent.