

rait pendant plusieurs jours d'affilée. La NASA développe déjà un véhicule d'exploration spatiale qui pourra être utilisé comme capsule autour des astéroïdes, et le même modèle serait ensuite adapté pour un rover de surface pour la Lune ou Mars.

Les avantages des capsules

Les astronautes commenceront alors leur mission scientifique à la recherche de minéraux inhabituels et d'échantillons qui pourraient dater des premiers jours du Système solaire. Dans la mesure du possible, l'équipage sera composé d'astronautes qui auront à la fois les connaissances scientifiques et les compétences techniques indispensables pour résoudre les difficultés auxquelles ils risquent d'être confrontés pendant le voyage.

À la fin du mois, une petite impulsion du moteur ionique suffira pour éloigner le vaisseau de l'astéroïde et le voyage vers la Terre, d'une durée de six mois, com-

mencera. Quelques jours avant d'atteindre la Terre, l'équipage montera à bord d'une capsule, se séparera du vaisseau principal et mettra le cap vers le site d'amerrissage. La manœuvre pour se mettre directement en orbite autour de la Terre étant très coûteuse en énergie, le vaisseau, vide, continuera sur son orbite autour du Soleil. Son énergie diminuera progressivement de façon à ce qu'il revienne en orbite terrestre un an plus tard pour attendre sa prochaine mission. Son moteur ionique et son module d'habitat seront réutilisés plusieurs fois.

Après plusieurs missions d'un an vers des astéroïdes, des améliorations des équipements et des boucliers de protection contre les rayonnements ouvriront la voie vers Mars. La première mission martienne pourrait en fait ne pas se poser sur la planète rouge : elle explorerait ses deux lunes, Phobos et Deimos. Une telle mission durerait deux ans et demi au total. Mais pourquoi donc se donner tout ce mal pour aller jusqu'à Mars sans s'y arrêter ?

Parce que se poser et redécoller sont des tâches extrêmement complexes. Des missions vers les lunes martiennes permettraient aux astronautes de se roder pour les voyages interplanétaires avant de tenter l'épreuve de se poser sur Mars, de s'y promener et de redécoller.

Les ingénieurs ont déjà proposé diverses stratégies pour optimiser la flexibilité et minimiser le coût d'une mission vers Mars. Dans les plus convaincantes, les habitats et les systèmes d'exploration seraient installés à l'avance pour servir de base opérationnelle dès l'arrivée des astronautes. Cet équipement serait acheminé par transport (ionique) lent. Sur Mars, il produirait du carburant soit à partir du dioxyde de carbone atmosphérique mélangé à de l'hydrogène apporté de la Terre, pour libérer du méthane et de l'oxygène, soit en électrolysant de l'eau du sous-sol gelé, pour donner de l'hydrogène liquide et de l'oxygène. En évitant de décoller de la Terre avec le carburant nécessaire au retour (il serait produit sur Mars), on réduirait notablement la masse lancée de la Terre (scénario *Mars Direct*).

Le mouvement relatif de la Terre et de Mars donnera aux astronautes environ une année (terrestre) et demie avant que les planètes ne retrouvent leur alignement : ils auront tout le temps d'explorer la planète rouge. À la fin de leur séjour, ils monteront à bord d'une fusée remplie du carburant produit sur place, se propulseront en orbite martienne, rejoindront un véhicule interplanétaire utilisé pour la campagne vers les astéroïdes et reviendront sur Terre. Le véhicule pourra même être placé sur une trajectoire cyclique qui fera la navette entre la Terre et Mars, utilisant la gravitation pour se propulser sans énergie.

Même en déposant à l'avance du matériel, un vaisseau martien et sa fusée de retour seront extrêmement lourds et auront besoin pour décoller du plus gros des lanceurs SLS prévus. L'approche par étapes que nous recommandons permettra à la NASA de se concentrer sur la résolution des problèmes véritablement ardu, tels que la protection contre les rayonnements.

Aujourd'hui, les principaux obstacles à l'exploration ne sont pas techniques, mais financiers : il s'agit de trouver comment en faire toujours plus avec toujours moins. C'est la condition pour que l'exploration spatiale trouve son second souffle. Avec pour objectif passionnant d'aller flâner parmi les planètes. ■

rer le vaisseau sur une orbite martienne. Dans ce type de scénario, les astronautes ne sont envoyés qu'une fois le véhicule arrivé sur une orbite terrestre très haute, juste avant le grand arc de poussée interplanétaire.

Combiner propulsion solaire électrique pour la montée en orbite elliptique et propulsion chimique pour le trajet vers Mars est une idée qui n'est pas nouvelle (elle était déjà la solution de référence de la NASA en 1998), mais qui est pertinente pour — une fois encore — réduire la masse à placer en orbite terrestre.

Si on envisage d'effectuer tout le trajet en propulsion électrique en restant à des valeurs de puissance accessibles avec des panneaux solaires, comme cela est suggéré dans l'article, les temps de trajet seront plus longs qu'avec la propulsion chimique classique, augmentant ainsi la durée d'exposition de l'équipage aux conditions difficiles de cette phase. Il existe une autre approche d'utilisation de la propulsion électrique, qui

consiste au contraire à réduire le plus possible la durée des voyages. La clef de la réduction du temps de trajet réside dans la substitution des panneaux solaires, qui ne peuvent pas fournir plus de quelques centaines de kilowatts, par un réacteur nucléaire qui alimentera les propulseurs électriques avec une puissance de plusieurs mégawatts.

En poussant ce raisonnement à l'extrême, certains pensent même que la durée du trajet pourrait être réduite à moins de 40 jours. C'est le cas de l'astronaute américain Chang-Diaz, dont la Société *Ad-Astra* étudie la possibilité d'une mission de 39 jours s'appuyant sur quatre réacteurs de 50 mégawatts électriques pour déposer un module de 20 tonnes en orbite martienne ! Les études que nous menons depuis plusieurs années sur ce sujet, notamment avec l'ONERA, montrent qu'une mission si courte ne serait pas faisable avec une masse réaliste au départ de l'orbite terrestre. Cependant, d'autres pistes intéressantes se déga-

gent. Ainsi, avec un seul réacteur de 20 mégawatts, il serait possible de véhiculer des astronautes vers Mars en quatre mois tout en ayant une masse au départ accessible en trois à cinq tirs de lanceurs lourds. Nous étudions aussi des scénarios intermédiaires pour lesquels la durée de mission serait la même qu'en propulsion chimique, mais où la propulsion électrique à forte puissance permettrait de réduire le nombre de lanceurs nécessaires, de bénéficier d'options de retour prématuré intéressantes et surtout d'avoir des fenêtres de départ nettement plus flexibles que celles accessibles en propulsion chimique, qui durent en général un mois au maximum, et n'existent que tous les deux ans environ.

Pour le moment, le scénario de référence n'est pas encore établi. La diversité et la richesse des solutions possibles promettent encore de longues heures de réflexion aux ingénieurs !

Élisa Cliquet

CNES — Direction des lanceurs

Biologie animale

Le **RETOUR** de la punaise



des lits

Kenneth Haynes

Depuis quelques années, les punaises des lits, des parasites suceurs de sang, sont de retour dans des pays où on les avait oubliées. Les scientifiques recherchent leur talon d'Achille.

L'ESSENTIEL

✓ Après un répit de plusieurs décennies, les punaises des lits sont en recrudescence dans les pays occidentaux.

✓ Une conjonction de facteurs, qui vont de la résistance aux insecticides aux déplacements internationaux, semble avoir conduit au retour du parasite.

✓ Des scientifiques ont récemment identifié, chez la punaise des lits, des traits biologiques et comportementaux pouvant conduire à de nouveaux moyens de lutte contre ces insectes.

Avec l'aimable autorisation de Graham Snodgrass, Service de santé des Forces armées américaines

Le vieil homme vivait seul dans un HLM près de Cincinnati (Ohio, États-Unis). Enfin, pas tout à fait seul. La nuit tombée, les punaises commençaient à sortir de son matelas en piteux état pour se repaître du sang de leur hôte. À en juger par les milliers de bestioles que j'ai découvertes chez lui, cela durait sans doute depuis des mois. Handicapé et pauvre, le vieil homme était devenu la proie des punaises qui s'étaient mises à pulluler, tandis que lui endurait, nuit après nuit, leurs piqûres.

Après avoir quasiment disparu pendant presque 50 ans, grâce à l'utilisation du DDT et autres pesticides à large spectre, la punaise des lits, *Cimex lectularius*, fait un retour inquiétant aux États-Unis, en Australie et en Europe ; et pas seulement dans les endroits insalubres et surpeuplés. Le parasite peut infester les hôtels de luxe, les résidences universitaires, les centres commerciaux, les immeubles de bureaux, les salles de spectacle, les hôpitaux et les domiciles des riches comme ceux des pauvres.

Le fléau a un coût économique. C'est le cas, par exemple, lorsqu'un hôtel doit temporairement fermer des chambres infestées. Dans l'Ohio, près de 400 000 euros ont dû être déboursés pour en finir avec les punaises qui avaient envahi des logements sociaux. Après avoir tenté de les éradiquer par des moyens plus classiques, la fumigation de l'ensemble du bâtiment s'est révélée la seule solution efficace.

Heureusement, les punaises des lits ne semblent pas entraîner d'autres nuisances directes que leurs piqûres et les démangeaisons. Elles ne véhiculent pas de maladies. Certes, une étude publiée en 2011 a révélé la présence chez ces insectes de bactéries SARM (*Staphylococcus aureus* [staphylocoque doré] résistant à la *méticilline*), qui provoquent des lésions graves de la peau ; mais des recherches plus approfondies devront déterminer si les punaises contribuent à la propagation du staphylocoque doré.

Pour venir à bout des punaises des lits, les scientifiques ont cherché à comprendre comment elles avaient réussi à revenir en force. Apparemment, elles ont bénéficié d'une combinaison idéale de facteurs : l'apparition de gènes de résistance aux insecticides, des changements de stratégie visant à éradiquer d'autres insectes nuisibles en milieu urbain et la multiplication des voyages internationaux et des



1. UNE PUNAISE DES LITS EN TRAIN DE PIQUER ET S'ALIMENTER. *Cimex lectularius* est un insecte dépourvu d'ailes et dont la taille maximale est de sept millimètres. Sa durée de vie est comprise entre quatre mois et une année environ. Les deux sexes se nourrissent de sang humain.

Toute une famille

✓ La punaise des lits désigne à proprement parler l'espèce *Cimex lectularius*, qui fait partie de la famille des *Cimicidae*. Cette famille réunit une centaine d'espèces de punaises parasites qui se nourrissent aux dépens d'animaux à sang chaud, principalement les oiseaux, les chauves-souris et, pour deux d'entre elles, l'homme. Ces dernières sont la punaise des lits *Cimex lectularius*, espèce cosmopolite, et *Cimex hemipterus*, qui sévit dans les régions tropicales. Les autres espèces, telles *C. columbarius*, *C. dissimilis* ou *Oeciacus hirundinis*, ne piquent qu'accidentellement l'homme.

migrations. Heureusement, des études récentes proposent de nouvelles approches pour détecter les premiers signes de colonisation d'un lieu par ces insectes hématophages, avant qu'ils ne se mettent à proliférer. Certains aspects de leur biologie, mis au jour lors de ces travaux, pourraient constituer des cibles appropriées dans la lutte contre les punaises des lits.

Comprendre comment s'est produite cette nouvelle invasion nécessite de bien connaître la biologie des insectes en question. Les punaises des lits sont attirées par la chaleur et le dioxyde de carbone (et peut-être aussi les odeurs corporelles) que dégagent tous les êtres humains. Elles vivent en groupes, dans les lits ou à proximité; elles se cachent le jour dans les recoins et les fissures et, la nuit venue, sortent pour se nourrir du sang des dormeurs. Une femelle adulte pond environ deux œufs par jour lorsqu'elle a des repas de sang réguliers; on estime ainsi qu'elle pond en moyenne 150 à 500 œufs au cours de sa vie. Dans des conditions optimales, les punaises des lits peuvent vivre six mois ou plus sans se nourrir. Elles se disséminent aisément en marchant prestement d'une pièce à l'autre, et en s'accrochant aux vêtements, chaussures ou autres accessoires.

La lutte acharnée que livre l'humanité contre la punaise des lits ne date pas d'hier. Les archéologues ont retrouvé des restes de ces parasites datant de 3500 ans, à l'époque des pharaons de l'Égypte ancienne. Cette cohabitation remonterait

même encore plus loin. Certains experts avancent que l'ancêtre de la punaise des lits serait un parasite de la chauve-souris qui aurait migré sur l'homme quand ce dernier a commencé à séjourner dans les cavernes. Ce compagnonnage se serait scellé quand nos ancêtres ont abandonné leur mode de vie nomade pour devenir sédentaires. Dans les régions tempérées, le début de l'hiver permettait au moins de contenir les hordes d'insectes. Les punaises étant sensibles au froid, leur population croissait pendant les mois les plus chauds et diminuait aux premiers frimas.

Des insectes tenaces

Avant l'arrivée des pesticides, nos pré-décesseurs avaient tout essayé pour réduire les effectifs des punaises, prenant parfois certains risques que nos sociétés modernes ne s'autoriseraient pas. En 1777, un manuel pour le contrôle de la vermine suggérait de placer de la poudre à canon dans les fissures autour du lit et d'y mettre le feu (j'ignore si c'était là une solution pratique ou une forme de vengeance). Sinon, certaines plantes – l'armoise ou l'ellébore – bouillies avec « la quantité appropriée d'urine » étaient censées venir à bout des punaises (ou peut-être cela obligeait-il tout simplement les gens à aller dormir ailleurs...). On utilisait aussi l'arsenic, le cyanure et autres composés fort dangereux, sans grand succès. Plus communément, les gens s'attaquaient au problème en nettoyant la pièce concernée de fond en comble, en lessivant les parties fixes du lit à l'eau bouillante et au kérosène et en se débarrassant de la toile recouvrant la paillasse. Un bref répit s'ensuivait.

Avec la généralisation du chauffage central en Europe et aux États-Unis, à partir du début du XX^e siècle, la punaise des lits s'est mise à prospérer tout au long de l'année. Seule la mise au point du DDT a permis une réelle accalmie, à partir des années 1940. Utilisé pour la première fois pendant la Seconde Guerre mondiale, afin de protéger les forces armées américaines contre les moustiques et les poux, le DDT s'est aussi révélé un bon moyen pour éliminer la punaise des lits. Contrairement à d'autres traitements présents sur le marché, une seule application suffisait en général, l'effet du DDT étant durable. En quelques années, la punaise des lits a complètement disparu des pays d'Amérique du