



AU COUCHER DU SOLEIL SUR MARS, le ciel de la planète se pare d'une couleur bleue. En effet, la taille des grains de poussière présents dans l'atmosphère martienne est telle que celle-ci laisse passer surtout la lumière bleue.

Estimons quelle vitesse de vent serait nécessaire pour faire basculer la navette. Pour ce faire, il faut tenir compte de la gravité martienne, 2,6 fois plus faible que celle de la Terre. Le rapport entre la force exercée par le vent et le poids du véhicule est donc, à vitesse de vent égale, environ 23 (la valeur de $60/2,6$) fois plus faible sur Mars que sur la Terre. La pression exercée par le vent étant proportionnelle au carré de sa vitesse, celle-ci devrait être, sur Mars, environ 4,8 fois supérieure ($\sqrt{23} \approx 4,82$) à celle qui, sur Terre, ferait basculer le MAV. Il faudrait donc des vitesses bien plus élevées que celles des vents les plus violents enregistrés sur la planète rouge, de l'ordre de 30 mètres par seconde. Comme souvent, le cinéma a ses exigences que la nature ne partage pas.

Ainsi, le vent martien ne pourrait soulever qu'une fine poussière, composée de grains mesurant quelque 50 à 100 micromètres. Les particules transportées sont plutôt de fines argiles. Or, dans le film, on voit passer des aiguilles de silice et des graviers lors de la tempête initiale !

Pour survivre, Watney cultive des pommes de terre dans un sol martien enrichi de ses excréments, mais il a besoin d'eau. Et pour faire de l'eau, il suffit de faire brûler du dihydrogène dans le dioxygène de l'air et de condenser la vapeur d'eau ainsi produite. Il faut aussi être prudent, car la réaction est très exothermique. Le problème est de disposer de dihydrogène, absent de l'air martien.

Dans le film, Watney utilise de l'hydrazine, carburant utilisé dans les moteurs à faible poussée qui assurent le positionnement sur orbite des satellites et des sondes spatiales. Dans ce cas, l'hydrazine est employée seule. En présence d'un catalyseur, elle se décompose en diazote et dihydrogène. Cette réaction exothermique se produit en quelques millisecondes, ce qui permet de doser précisément la poussée de la sonde. Sur Mars, Watney utilise cette réaction pour produire l'hydrogène dont la combustion avec l'oxygène de son habitat lui permet d'obtenir de l'eau.

Récolte de patates martiennes

Mars n'est pas dénuée d'eau : elle existe sous forme de glace (que Watney pourrait fondre avec son réacteur nucléaire). Se trouvant dans une région proche de l'équateur, le héros aurait dû se déplacer à des latitudes plus élevées, au-delà de 25 degrés, pour en trouver sous quelques centimètres de sable martien, sur des pentes orientées vers les pôles. Mais même avec de l'eau pour arroser ses plants, une alimentation à base de pommes de terre uniquement conduirait, à terme, à d'importantes carences.

Même s'il a des défauts, ce film permet au moins de poser la question des vols habités vers Mars. Explorer Mars pour tenter de savoir si un processus d'évolution prébiotique, voire l'émergence de la vie, a pu s'y dérouler est un enjeu scientifique majeur. Mais il n'est

nullement urgent d'envoyer des humains pour conduire cette exploration, tant il reste à faire avec des robots. En plus, il sera très difficile – et donc coûteux – de poser à la surface de Mars les lourdes charges nécessaires à la construction d'une base, même modeste. L'atmosphère y est trop ténue pour freiner correctement avec un parachute, comme sur Terre, et trop épaisse pour arriver à pleine vitesse jusqu'à la surface (les frottements produiraient des échauffements qui détruiraient l'appareil) et décélérer avec de simples rétrofusées, comme sur la Lune.

En revanche, il pourrait être intéressant d'envoyer des humains en orbite autour de la planète rouge. Cela économiserait l'infrastructure au sol pour organiser la survie de l'équipage tout en permettant de piloter en temps réel ou presque des robots perfectionnés déposés sur la planète (les signaux radio émis de la Terre mettent 5 à 22 minutes pour atteindre Mars). Et de plus, les astronautes pourraient facilement aller se poser sur les petites lunes Phobos ou Deimos, dont la très faible gravité facilite l'accès.

Finalement, *Seul sur Mars* montre en creux que les vols habités vers Mars sont d'abord une volonté politique. Et aucune autre raison, certainement pas l'exploration scientifique de Mars, ne peut justifier les budgets qu'ils exigent. ■

Roland LEHOUCQ est astrophysicien au CEA, à Saclay. Jean-Sébastien STEYER est paléontologue au CNRS-MNHN, à Paris. Marc BOULAY est sculpteur numérique.

ART & SCIENCE

Un jardin qui coule de source

L'art du jardin oriental, de l'Alhambra au Taj Mahal, s'expose à l'Institut du monde arabe, à Paris. On y découvre l'ingéniosité mise en œuvre pour maîtriser l'eau et l'influence toujours actuelle d'un modèle de jardin persan apparu il y a plus de 2 500 ans.

Loïc MANGIN

En cette chaleur estivale, nous sommes tous à la recherche d'un peu de fraîcheur. Les solutions sont nombreuses : plonger dans la piscine ou la mer, s'approcher d'un ventilateur à pleine puissance, se gaver de glaces... Une autre a prouvé son efficacité depuis des millénaires, c'est de déambuler dans un jardin. L'art d'aménager ces espaces verts a atteint un haut degré de raffinement et d'ingéniosité dans le monde arabe. Une exposition offre l'occasion de s'en rendre compte. Pour mieux échapper à l'ardeur du Soleil, la gestion de l'eau sera ici notre guide.

Depuis l'apparition de l'agriculture, il y a quelque 10 000 ans dans le Croissant fertile, l'un des principaux défis a été de dompter l'eau, souvent rare dans les contrées du monde arabe. Les oasis sont longtemps restées les seuls systèmes où plantes et eau cohabitaient en harmonie.

Puis on entreprit de maîtriser le cours des fleuves tels que le Nil, le Tigre et l'Euphrate grâce à de grands ouvrages (ponts, aqueducs, canaux, barrages, digues...). Ces travaux d'envergure ont amélioré l'agriculture et accompagné la sédentarisation, puis la croissance démographique dans les grandes villes. Enfin, on vit apparaître les premiers jardins d'agrément dans l'Égypte des pharaons.

Au cours de cette histoire, de nombreux dispositifs hydrauliques ont été mis au point. Citons la machine à godets actionnée par des animaux, la noria (une grande roue mue par le courant d'une rivière et qui hisse l'eau en

haut d'un aqueduc) et le chadouf. Cet appareil à bascule aide à remonter l'eau d'un point d'eau, une rivière ou un puits. Il est utilisé depuis le III^e millénaire avant notre ère et existe toujours, en Égypte notamment. On le retrouve dans plusieurs toiles françaises, par exemple chez Eugène Fromentin et Louis Hippolyte Mouchot au XIX^e siècle.

Les Perses ont excellé dans l'art du jardin et ont créé un modèle en quatre parties toujours en vigueur aujourd'hui. L'histoire débute lorsque le roi Cyrus, fondateur de l'empire achéménide au VI^e siècle avant notre ère, fait construire dans sa cité de Pasargades un immense jardin

Le modèle du jardin persan est perceptible dans les jardins italiens de la Renaissance, dans ceux des urbanistes du début du XX^e siècle...

de 100 hectares. Dans la région, l'eau abonde (fonte des neiges, pluies saisonnières...), mais est irrégulière. Le problème est donc d'assurer un approvisionnement constant.

Il a été résolu par d'imposants travaux d'adduction, ainsi que l'édification de barrages et de systèmes de régulation du débit au fonctionnement encore inconnu. Le jardin qui en résulte est organisé autour d'un grand bassin qui fait office de réservoir se déversant via des vannes dans un grand canal transverse. Ce dernier croise perpendiculairement une grande allée. C'est la naissance du jardin classique persan Chahâr-bâgh (soit « Quatre jardins »).

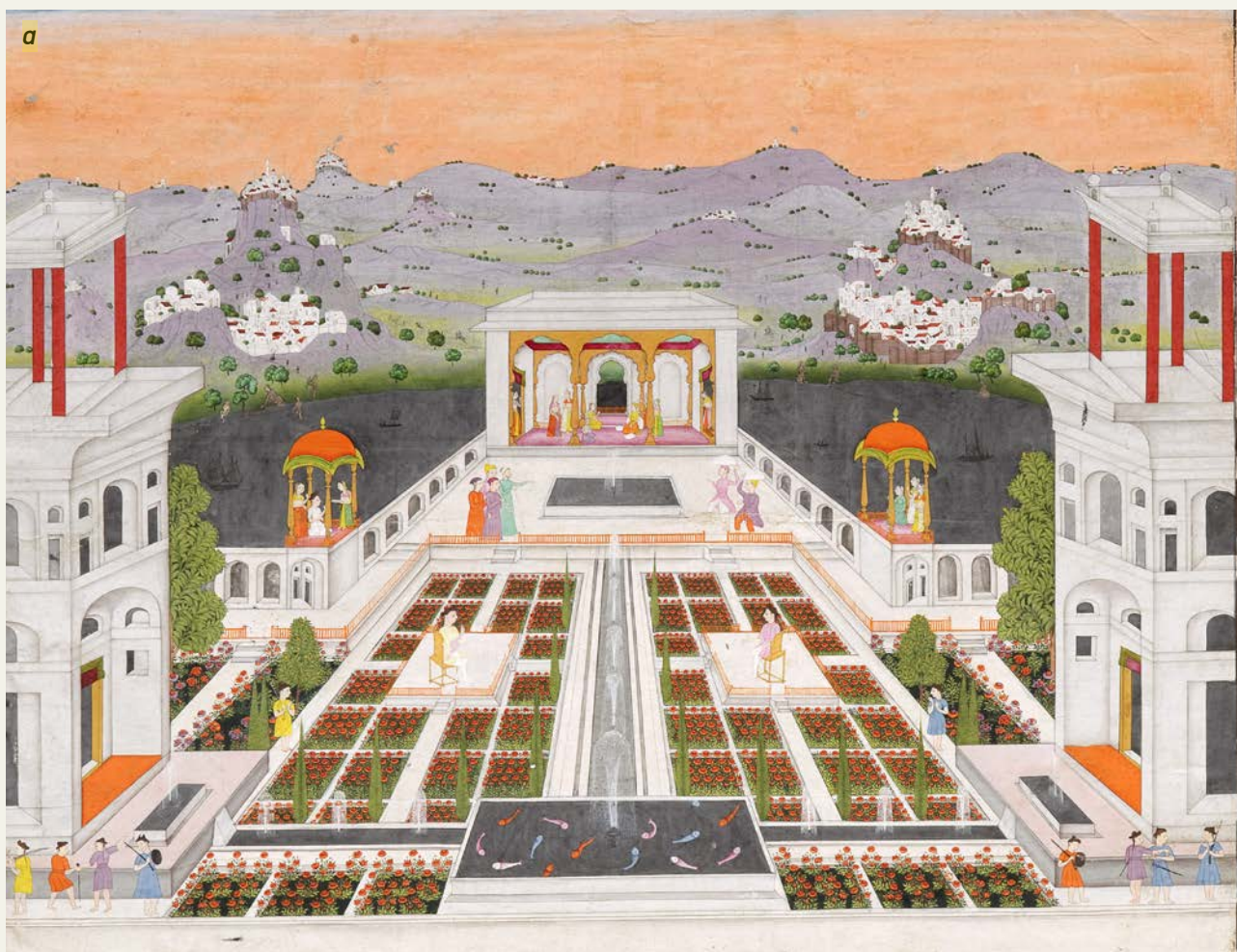
Le modèle est devenu la référence du jardin oriental. On le retrouve vingt siècles plus tard en Inde, où il a été introduit par Bâbur (1483-1530), fondateur de la dynastie des Moghols (1526-1857). Le dessin original subit quelques variations, mais la structure principale reste identique au modèle persan (*ci-contre, a*). Les descendants de Bâbur suivent l'exemple et l'appliquent avec un raffinement inégalé pour leurs mausolées, situés au centre d'un jardin évoquant le paradis. Le Taj Mahal en est l'illustration emblématique.

On repère l'influence du Chahâr-bâgh dans les jardins italiens de la Renaissance, puis dans ceux des urbanistes du début du XX^e siècle. Plus récemment encore, des parcs édifiés à Beyrouth et au Caire se réclament de cet héritage. Le jardin et l'eau sont également au centre des préoccupations d'artistes contemporains, telle l'Émiratie Lateefa bint Maktoum (*c*). Et

l'on trouve un hommage au Chahâr-bâgh au pied de l'Institut du monde arabe dans le jardin éphémère associé à l'exposition. Là, des parterres suspendus, référence à Babylone, constituent une anamorphose (*b*) en forme de zellige, un motif typique du monde arabe.

À l'heure de la lutte contre le réchauffement climatique et de la volonté de faire de Paris une ville plus végétalisée, les jardins d'Orient sont une source d'inspiration... rafraîchissante. ■

Jardins d'Orient. De l'Alhambra au Taj Mahal, du 19 avril au 30 septembre 2016 à l'Institut du monde arabe, à Paris.



© Fondation Cusubodia, Collection Frits Lugt, Paris

Un jardin de l'Inde Moghole (ici, à Hyderabad, au-dessus d'un lac et face à un paysage de collines) est construit selon le modèle persan mis au point près de vingt siècles plus tôt. Il est découpé en quatre parties par des canaux rectilignes alimentés par un bassin.



© Thierry Rambaud

© Image courtesy of Burjel Art Foundation, Sharjah

L'anamorphose qui transforme des jardins suspendus en motif octogonal.



Reflecting, de Lateefa bint Maktoum, pour réfléchir sur notre rapport aux jardins en ces temps d'urbanisation intensive.

Tous les papiers se recyclent,
alors trions-les tous.

**C'est aussi
simple à faire
qu'à lire.**

La presse écrite s'engage pour le recyclage
des papiers avec Ecofolio.



IDÉES DE PHYSIQUE

Dompter la vague avec une planche

La pratique du surf s'apparente à celle du snowboard, mais avec une différence notable : la piste est en perpétuel mouvement !

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

« **E**t tout à coup, là-bas, d'une énorme vague qui jaillit vers le ciel [...], un homme à tête noire surgit au-dessus d'une crête neigeuse [...], il vole à travers les airs, aussi vite que la houle qui le porte [...]. Du fond de la mer, il a bondi sur le dos d'une lame rugissante sur laquelle il s'accroche, malgré les efforts de celle-ci pour se débarrasser de lui. » En quelques phrases, Jack London saisit bien notre fascination pour le surf. Et pour mieux apprécier les performances de ces sportifs, tentons de comprendre comment ils jouent si habilement avec les vagues.

La première difficulté à laquelle est confronté une surfeuse ou un surfeur est d'« attraper » la vague. Celle-ci s'apparente en effet à une *ola* : une onde qui se propage de proche en proche, mais qui ne transporte pas de matière.

Attraper la vague

Observons en effet le mouvement d'un flotteur ou d'un nageur immobile qui se trouve sur le chemin d'une vague se propageant de gauche à droite vers le rivage. Il commence par avancer vers la droite lorsqu'il prend la

crête de la vague, mais recule vers la gauche lorsqu'il se retrouve dans le creux : pour l'essentiel, il fait du surplace. L'onde ne l'emporte pas dans son mouvement.

Et inutile d'attendre les vagues successives : pour se déplacer, la seule solution dont dispose le surfeur est de ramer ! C'est pourquoi on voit les surfeurs s'éloigner de la côte et attendre, allongés sur leur planche, en guettant les vagues qui arrivent. Lorsque le surfeur juge prometteuse une vague, tout devient une question de *tempo*. Il rame rapidement avec ses bras afin que, lorsque le sommet de la vague l'atteint, il ait acquis une vitesse égale à la vitesse de propagation de l'onde.

Quelle est cette vitesse de propagation, que l'on notera c ? Une règle empirique en donne une estimation au moment où la vague se brise et dans le cas où la pente du fond

UN FLOTTEUR INITIALEMENT IMMOBILE effectue un mouvement de va-et-vient vertical à l'arrivée d'une vague ou d'un train de vagues. Un surfeur, lui, fait en sorte d'acquérir une vitesse (*ici vers la droite*) égale à la vitesse de propagation de l'onde. Il reste ainsi dans la même position relativement à la vague.

