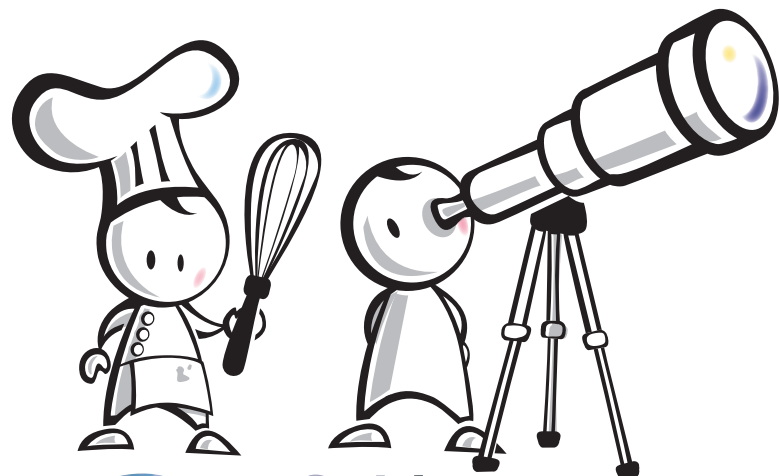


La cuisine du Cosmos



(g) **Cahier de**
astronomie

Yaël
NAZÉ

Réjouissciences - Université de Liège



2



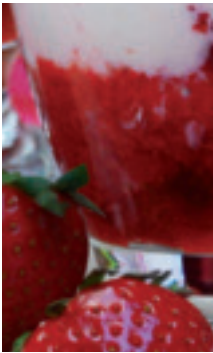
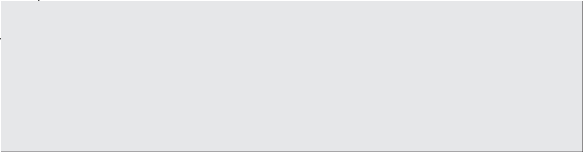


Table des matières

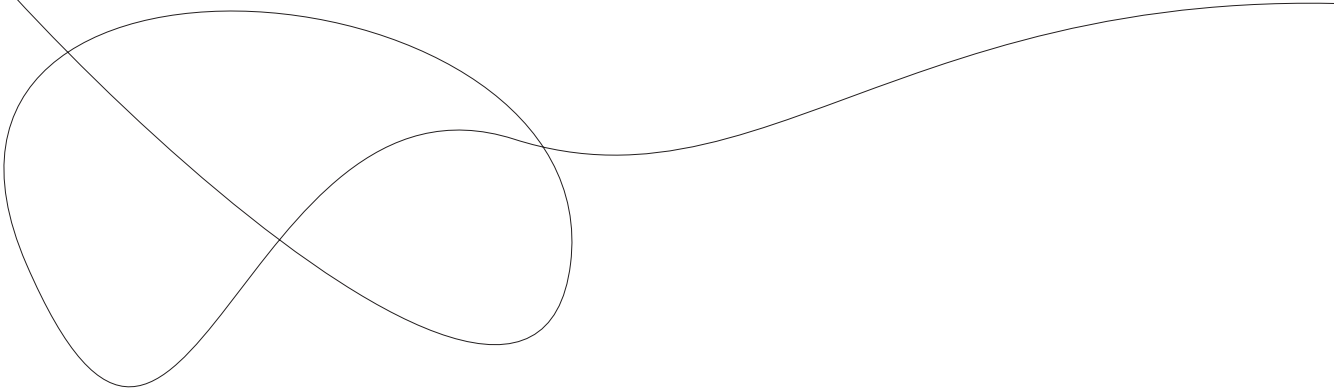
- La cuisine du cosmos : introduction
- Stoemp céleste
- Dip martien
- Pizza lo
- Coupe rose aux saveurs européennes
- Tarte Titan
- Comète glacée
- Barres météoritiques
- Biscuits étoilés
- Smoothie interstellaire
- Brioche Voie Lactée
- Soufflé structurel
- Brownie universel
- Big Bang cookie
- Et les astronautes, ils mangent quoi ?
- Faut pas jouer avec la nourriture... quoique...
 - Cratères à gogo
 - Atterrir sans problème
- Remerciements
- Bibliographie

- 5
- 7
- 13
- 19
- 24
- 27
- 31
- 35
- 40
- 44
- 48
- 53
- 57
- 62
- 65
- 73
- 74
- 78
- 80
- 81





4





5

Introduction

Astronomie. Gastronomie.

Juste une lettre de différence...

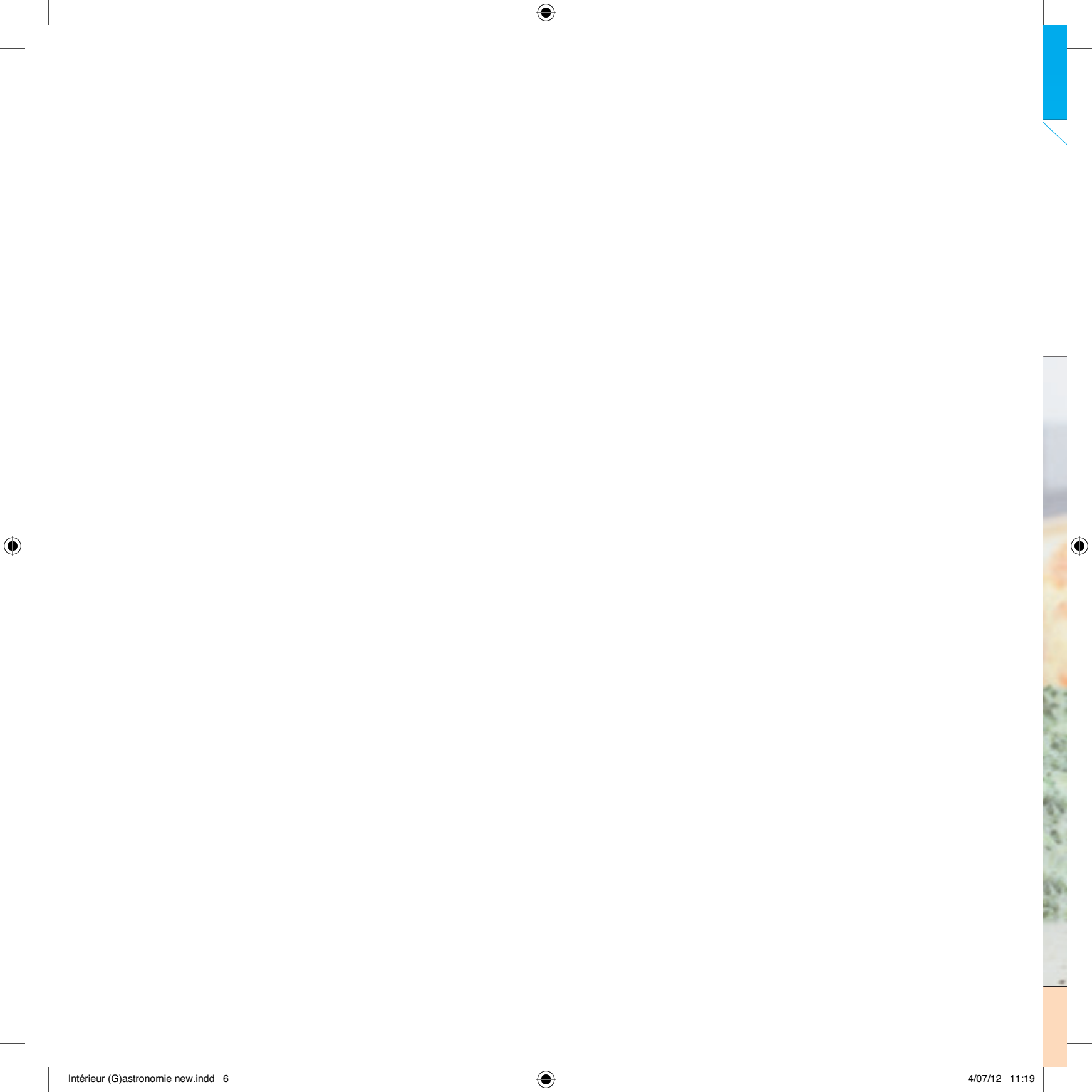
Un hasard ? Certes, mais pourquoi pas des points communs ?

Cette idée peut sembler a priori farfelue... Qui a déjà mangé un émincé de comètes ou une ratatouille de galaxies ? Absurde !

Pourtant, des recettes, même simples, peuvent faire prendre conscience de la **beauté du Cosmos**, aider à l'appréhender sans crainte et même à mieux le comprendre. Ce livre utilise donc vos papilles et vos yeux gourmands pour vous balader de notre voisinage céleste jusqu'aux confins de l'Univers. Il se conclut avec deux chapitres culino-ludiques, l'un consacré à la nourriture des astronautes, l'autre à quelques expériences culinaires toujours amusantes et surprenantes, quoique peu comestibles.

C'est sûr, à la fin, vous ne regarderez plus une étoile du même œil, une météorite vous fera saliver, et la Voie Lactée prendra pour vous d'alléchants airs briochés... et tant mieux ! La Science n'est-elle pas une **aventure incroyablement appétissante** pour l'esprit curieux ?

Bon appétit à la **dégustation-découverte** de notre Univers !



Stoemp céleste

Je cuisine



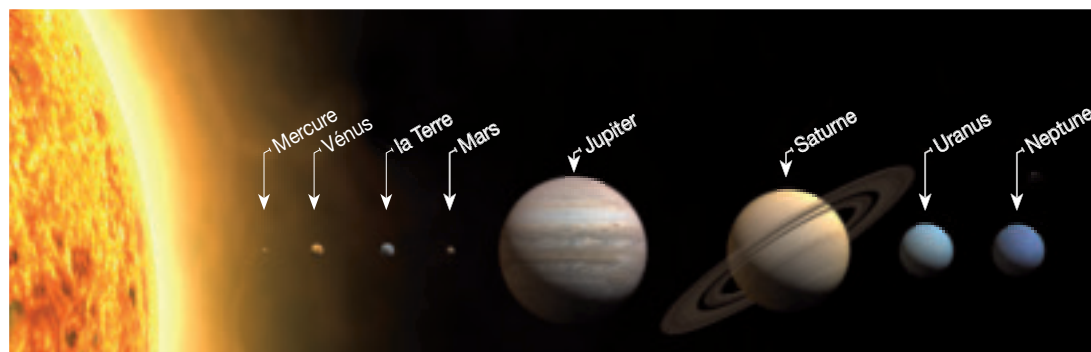
Je m'instruis



7



*Le Système solaire est
notre grande famille céleste.
Peuplé de planètes,
astéroïdes, comètes et lunes,
il offre une diversité de couleurs
et de phénomènes
absolument extraordinaire.
Une spécialité bruxelloise,
le stoemp,
offre l'occasion
de partir à la découverte
de notre voisinage cosmique...*



ingrédients

(pour 4 grandes portions)

- ⑥ 1,4kg de pommes de terre farineuses
- ⑥ 400g de carottes
- ⑥ 400g de céleri-rave
- ⑥ Une demi-botte de cerfeuil
- ⑥ 3 tomates
- ⑥ Un poivron rouge
- ⑥ 3 oignons rouges
- ⑥ 200g de haricots rouges
- ⑥ 400g de viande hachée
- ⑥ 2 tranches de pain blanc carré
- ⑥ 50cl de crème fraîche
- ⑥ 3 noix de beurre
- ⑥ 3 bouillon-cubes
- ⑥ Épices (sel, poivre, curry, muscade, poivre de Cayenne, cumin, un grain de poivre noir, un grain de genévrier ou de poivre rose, deux raisins secs blonds)

préparation



Le Système solaire, c'est quoi ? Comme le nom l'indique, tout commence par le Soleil, forcément. C'est la seule source de lumière de tout le système, mais aussi l'objet le plus chaud (environ 5500°C en surface) et le plus gros (plus de 100 fois le diamètre terrestre). Tout le reste tourne autour de ce seigneur... Ce n'est pourtant qu'une étoile parmi des milliards d'autres, pas spécialement plus grosse ou plus belle, mais c'est quand même la seule assez proche pour nous réchauffer le cœur !

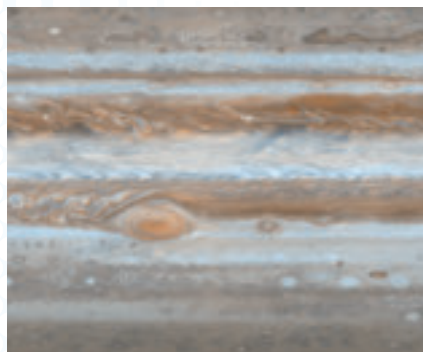
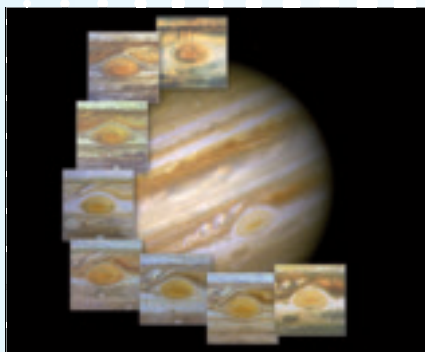


Préparer un grand plat par portion. Cette base-soleil devrait idéalement faire 70cm de diamètre, pour respecter les tailles relatives des objets présentés, mais une grande assiette fera l'affaire, à défaut. Préchauffer les plats avant de servir.



Après le Soleil, il y a bien sûr les huit planètes (par ordre d'éloignement du Soleil : Mercure, Vénus, la Terre, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune) mais il faut en outre compter avec des myriades de petits corps célestes (comètes, astéroïdes) et les lunes, petits bouts de roches tournant autour de tous ces objets, qu'ils soient planétaires ou non.

Jupiter est la plus grande planète de notre famille céleste : sa taille est dix fois supérieure à celle de la Terre. D'apparence exotique, elle se compose en fait presque uniquement de gaz : tout ce que l'on voit sur l'image page 9 n'est donc qu'une gigantesque atmosphère. Les nuages joviens se présentent en bandes parallèles à l'équateur, des zones étirées par la rotation planétaire. Il existe également des structures rondes, qui sont en fait des anticyclones (sortes d'ouragans inversés) : le plus célèbre est la Grande Tache Rouge, dont le diamètre atteint 20000km, soit presque deux fois le diamètre terrestre !



L'atmosphère jovienne est très dynamique : on observe de la turbulence entre bandes (car elles se déplacent à des vitesses différentes), d'énormes orages, et même des fusions de tourbillons anticycloniques. Les mouvements des nuages sont extrêmement complexes – on plaint d'avance les météorologues joviens! Outre la circulation chahutée de cette atmosphère, les spectateurs peuvent être surpris par les superbes teintes chamarrées des nuages. Celles-ci ne sont en fait pas très bien comprises. En principe, les composants atmosphériques, hydrogène, hélium et les autres qui les accompagnent (ammoniac, particulièrement), devraient produire des nuages uniformément blancs mais il semble qu'à haute altitude, certains se transforment et se combinent sous l'effet du rayonnement solaire, donnant alors naissance à des composés chimiques complexes, probablement phosphorés ou sulfurés, à teinte rouge-orange. Comme chaque bande nuageuse correspond à des zones situées à des altitudes différentes, on voit apparaître un effet « zèbre » sur la planète géante.



Préparer le stoemp Jupiter.

Couper 400g de carottes en rondelles. Faire cuire 400g de pommes de terre dans de l'eau aromatisée d'un bouillon cube. Après un quart d'heure, ajouter les carottes à l'exception de quatre rondelles. Quand l'ensemble est cuit (10 minutes plus tard environ), égoutter soigneusement et écraser l'ensemble grossièrement. Ajouter une noix de beurre, 20cl de crème fraîche, et des épices (sel, poivre, curry). Bien mélanger et disposer en quatre disques de 7cm de diamètre, un sur chaque plat (s'aider d'un emporte-pièce ou mettre dans un ramequin). Les plus artistiques essayeront de reproduire les bandes nuageuses en alternant de la purée plus ou moins orange et en déposant une « grande tache rouge » (rondelle de carotte) sur chaque Jupiter ainsi créé.

9



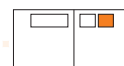
Portrait de famille du Système solaire, montrant le Soleil et les planètes à l'échelle (pour les tailles, pas les distances).

© Martin Kommesser



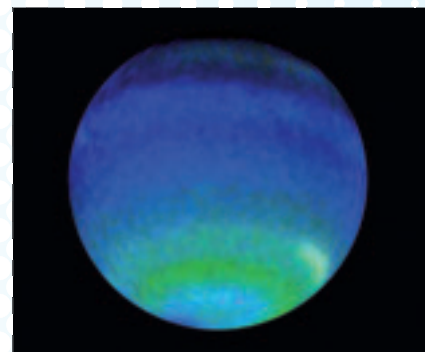
Jupiter : Évolution de la Grande Tache Rouge et de ses abords au cours du temps

© Cassini & HST

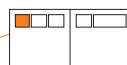


Les bandes nuageuses de Jupiter

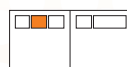
© Cassini



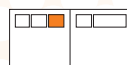
10



Saturne
© Cassini



Uranus
© HST



Neptune
© HST



Mars, la planète rouge...
© HST



Comparaison des tailles des planètes telluriques,
Mercure, Vénus, la Terre et Mars
© NASA



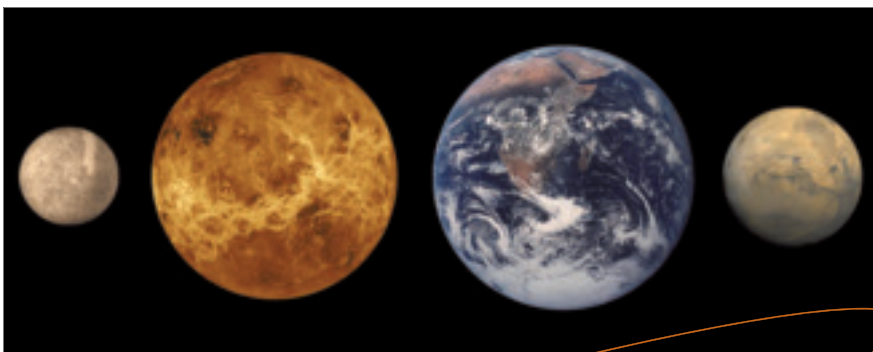
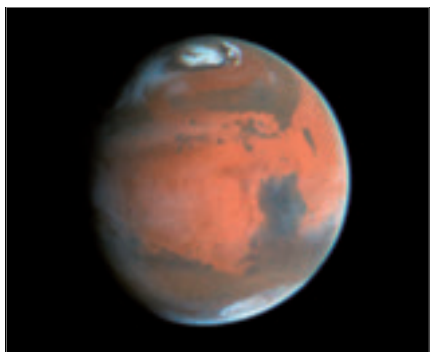
Saturne est un peu plus petit que Jupiter, mais somme toute assez semblable à son grand frère. Les sondes spatiales nous ont ainsi révélé bandes nuageuses, anticyclones, et tempêtes de foudre : l'atmosphère y est donc tout aussi turbulente. Détail amusant : sa densité est moindre que celle de l'eau – Saturne flotterait donc si l'on trouvait une piscine assez grande pour l'accueillir ! Côté couleur, malgré une composition semblable, Saturne apparaît beaucoup moins chatoyant que Jupiter, l'effet combiné de nuages situés plus profondément et d'une brume blanchâtre de haute altitude rendant la planète quasi uniformément beige. Ce manque de couleurs ne doit pas faire oublier l'attrait principal de la planète : ses superbes anneaux¹, de couleur plus foncée. Il s'agit en fait d'un ensemble de roches glacées, de taille variant entre un grain de sable et une maison. Ces anneaux sont fins : réduits à la taille de la place de la Concorde à Paris, ils auraient l'épaisseur d'une feuille de papier. Ils sont même si fins qu'ils semblent disparaître quand ils sont vus par la tranche.

Leur origine reste controversée, car on ignore encore s'il s'agit d'une structure pérenne (qui existerait depuis la formation de la planète) ou transitoire (par exemple liée à la désintégration « récente » d'une grosse lune par l'effet de la gravité planétaire).



Préparer le stoemp Saturne.
Faire cuire dans de l'eau aromatisée d'un bouillon-cube 600g de pommes de terre et 400g de céleri-rave coupé en dés. Égoutter les légumes cuits, les écraser, et leur ajouter 5cl de crème fraîche, une noix de beurre ainsi que l'assaisonnement (sel, poivre, muscade). Bien mélanger, puis construire quatre disques-Saturne de 7cm de diamètre (s'aider d'un emporte-pièce) – un pour chaque plat (à disposer à côté de Jupiter). Toaster deux tranches de pain carré (le toast doit être bien brun et non blanc-beige clair), y découper les « anneaux » et les disposer sur chaque Saturne pour les parfaire.

¹ Il faut cependant préciser que toutes les planètes géantes possèdent des anneaux, même si ceux de Saturne sont certainement les plus beaux. Une autre caractéristique commune aux planètes géantes est leur grand nombre de lunes : au moins une dizaine !



11



Alors que les autres planètes étaient connues depuis l'Antiquité, les deux dernières, Uranus et Neptune, ont été découvertes après l'invention du télescope, en 1781 et 1846. En effet, elles sont si loin qu'on ne peut les voir à l'œil nu². Bien qu'il s'agisse également de planètes gazeuses, leur apparence contraste avec celle de Jupiter et Saturne car elles arborent de superbes teintes... vert-turquoise. Ces colorations sont dues à la présence de nuages de méthane (le gaz naturel ou gaz de ville) à haute altitude. Ce composé absorbe en effet la lumière rouge ou jaune et ne renvoie que la lumière vert-bleu vers l'extérieur. Le méthane est pourtant aussi présent sur Saturne et Jupiter mais il ne peut y former les flocons glacés indispensables à l'existence de nuages car ces deux autres géantes sont trop chaudes. Malgré cette différence, on retrouve sur Uranus et Neptune les caractéristiques habituelles des planètes géantes : nuages, « ouragans », vents rapides...



Préparer le stoemp urano-neptunien. Hacher finement une demi-botte de cerfeuil. Faire cuire 400g de pommes de terre dans de l'eau aromatisée d'un bouillon-cube, les égoutter et les écraser ensuite. Ajouter 25g de beurre, 25cl de crème fraîche, le cerfeuil, et l'assaisonnement (muscade, sel et poivre). Bien mélanger le tout et disposer en huit disques de 3-4cm de diamètre, deux sur chaque plat à côté de Saturne et Jupiter (s'aider d'un emporte-pièce ou d'une cuillère à soupe).



À côté de ces quatre planètes géantes gazeuses, l'atmosphère des quatre autres planètes semble bien plus ténue. En fait, ces planètes se composent principalement de roches : elles possèdent donc un « sol » sur lequel on peut atterrir, contrairement aux planètes géantes.

Il y a Mercure, à la face grise criblée de cratères (voir p74), Vénus, dont les nuages épais cachent une surface bouillante et des volcans innombrables, la Terre, que nous connaissons bien, et Mars, la planète rouge aux rivières asséchées (voir p23). Toutes sont petites et possèdent peu de lunes (une pour la Terre, deux pour Mars). Bien qu'il n'y ait pas ici de gaz exotique, la couleur est aussi au rendez-vous : gris des rochers mercuriens, bleu des océans terrestres, rouge du sol rouillé de Mars...



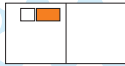
Ajouter les planètes telluriques en disposant dans chaque plat, de l'autre côté de Jupiter, un ensemble composé d'un petit grain de poivre noir représentant Mercure, de deux petits raisins blonds secs pour les jumelles Terre et Vénus, et d'une baie de genévrier ou de poivre rose pour Mars.

² Quoiqu'il soit parfois possible de voir Uranus, mais c'est très difficile.



12

La drôle de forme de l'astéroïde Itokawa
© Hayabusa/JAXA



Les comètes (voir p31) et astéroïdes sont des agrégats plus ou moins lâches de roches et de glaces en proportions variables. Les astéroïdes comptent plus de roches et les comètes plus de glace, mais il n'existe pas de frontière bien définie entre les deux : on a ainsi vu des astéroïdes émettre une queue de gaz comme les comètes ou des comètes, ayant épuisé leur stock de glace, devenir des astéroïdes. Seule certitude : plus on s'éloigne du Soleil, plus l'objet se forme avec beaucoup de glaces... mais il peut bien sûr migrer avec le temps, pour se rapprocher du voisinage solaire. En général, ces objets se déplacent en bandes, et on les trouve donc plus particulièrement dans l'une des trois zones suivantes : la ceinture d'astéroïdes, positionnée entre Mars et Jupiter, la ceinture de Kuiper, localisée au-delà de Neptune et le nuage d'Oort, situé aux confins de notre Système solaire.



Terminer vos systèmes solaires en créant le mélange astéroïdo-cométaire. Faire revenir 3 oignons rouges hachés dans une grande poêle. Quand ils sont transparents comme la glace cométaire, ajouter 400g de viande hachée, en remuant bien pour éviter les grosses mottes (mais pas les petites – les petits astéroïdes étant souvent des agrégats plus ou moins lâches de rochers divers). Une fois la viande légèrement brunie, ajouter un poivron rouge et trois tomates coupés en dés, 200g de haricots rouges et l'assaisonnement (sel, poivre de Cayenne, cumin). Laisser mijoter 30 minutes à feu doux. Disposer trois «bandes» de ce chili astéroïdo-cométaire sur chaque plat : une entre Mars et Jupiter (avec beaucoup de haché astéroïdien), et deux bandes séparées au-delà de Neptune (la dernière avec plus d'oignons cométaires). Noter qu'il existe du jus (de tomate) poussièreux, laissé par le dégazage des comètes et les collisions entre astéroïdes, et des objets intermédiaires, ni purement glacés, ni purement rocheux (les haricots et les poivrons)...

Dip martien

Je cuisine



Je m'instruis



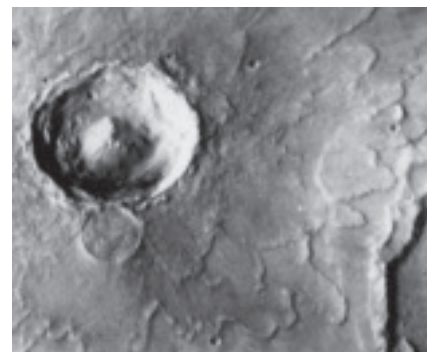
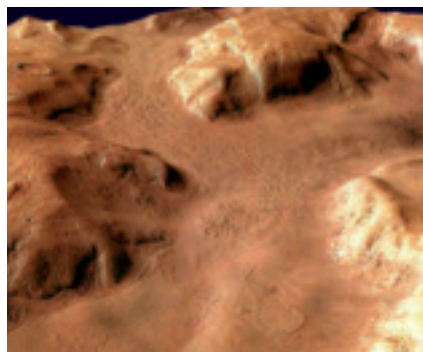
13

Mars... sans conteste
la planète qui a fait le plus couler
d'encre! Encore aujourd'hui,
Mars la rouge
reste une cible privilégiée
des observations.
La possibilité que la vie ait pu y
naître – les fameux Martiens –
n'est certainement pas étrangère
à cette fascination
et la quête de l'eau,
élément indispensable à la vie,
fait donc partie intégrante
des programmes
de recherche actuels.

ingrédients

(pour quatre personnes en plat principal
ou au maximum 10 personnes en entrée
conviviale)

- ⑥ 700g de viande hachée
- ⑥ 2 oignons rouges, émincés
- ⑥ 2 tomates, coupées en dés
- ⑥ 5 olives noires, coupées en petits morceaux
- ⑥ 5dl d'eau
- ⑥ Un bouillon-cube
- ⑥ Une boîte de concentré de tomates (70g)
- ⑥ Une cuillère à soupe de sauce Worcester
- ⑥ 1 kg de pommes de terre
- ⑥ 15cl de lait
- ⑥ 25g de beurre
- ⑥ 100g de cheddar rapé
- ⑥ Des chips-doritos à volonté
- ⑥ 2 cuillère à soupe de farine
- ⑥ Épices (sel, poivre, piment de Cayenne ou paprika et muscade)

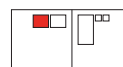
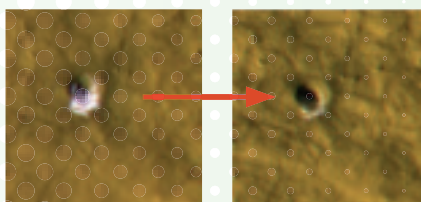


préparation

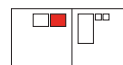


On soupçonne depuis longtemps la présence d'eau sur Mars, et nos robots sur place en montrent tous les jours des preuves. Rivières, cascades, et lacs – aujourd'hui asséchés – sont monnaie courante et l'on estime même qu'au temps de leur splendeur, tous leurs liquides combinés auraient pu couvrir la planète d'une couche d'eau uniforme de 100m d'épaisseur. Aucun doute, donc : l'eau a bien coulé sur Mars par le passé. Aujourd'hui, par contre, la situation est différente, Mars présentant plutôt une face désertique, extrêmement aride. Cela s'explique par sa pression atmosphérique minuscule (quelques millibars contre un bar à la surface de la Terre) : dans ces conditions, l'eau ne peut subsister sous forme liquide. Que sont alors devenues les énormes quantités d'eau primordiales ?

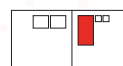
Une partie a quitté la planète à jamais, le vent solaire érodant continuellement l'atmosphère de la planète rouge, arrachant ainsi l'eau qui y est naturellement présente sous forme de vapeur... Ainsi, il y a de la vapeur d'eau dans l'atmosphère, mais en faible proportion : répartie sur l'ensemble de la planète comme un océan global, cette eau ne couvrirait Mars que d'une couche d'un centième de millimètre d'épaisseur. Pour le reste, il y a aussi de la glace, en plus grandes quantités. Où la trouver ? Dans les calottes polaires, bien sûr (où elle est mélangée à beaucoup de « glace sèche », c'est-à-dire de dioxyde de carbone gelé), mais aussi dans le sous-sol martien, bien cachée sous la poussière rouge caractéristique de la planète.



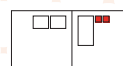
Confluent de rivières observé par Mars Express
© ESA/Mars Express



Sous l'impact d'une grosse météorite, le sol se réchauffe brusquement. Si celui-ci contient beaucoup de glace, elle se met à fondre, transformant le sol en une mare de boue. Or un caillou tombant dans la boue éclabousse les environs : c'est comme cela que se forment les cratères « splotch »... (voir aussi photo p 75)
© NASA



Lorsque le sol semble formé de plaques hexagonales, on parle de « terrains polygonaux ». Ces plaques aux bords surélevés s'expliquent par des cycles de gel et dégel successifs d'un sous-sol glacé. On les retrouve sur Terre dans les régions arctiques... et sur Mars!
© Phoenix



Un petit impact de météorite peut dévoiler les mystères du sous-sol martien dont parfois... une plaque de glace qui, chauffée par le rayonnement solaire, se vaporise (se sublime) et disparaît en quelques mois.
© MRO

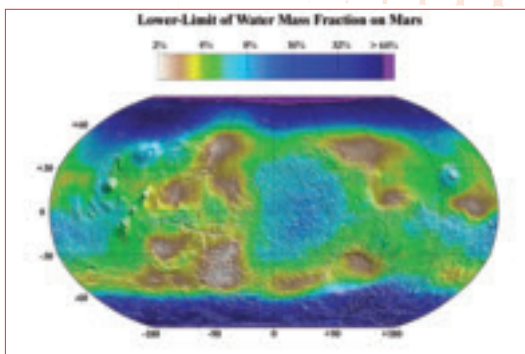


La présence de glace dans le sous-sol martien n'est pas qu'une hypothèse de travail : les preuves s'amoncellent de jour en jour ! Tout d'abord, Mars présente diverses structures géologiques un peu particulières, qui ne s'expliquent que par la présence de glace comme par exemple les cratères « splotch », les pingos (des collines de glace recouvertes de poussières), et autres terrains polygonaux. En outre, des robots ont pu sonder le sous-sol à distance, y trouvant des quantités importantes de glace. Enfin, quelques impacts de météorites ont naturellement dévoilé des plaques de glace sous-jacentes. Mais le must, évidemment, c'est d'aller voir directement sur place !



Préparer d'abord la base rocheuse du sol martien. Faire revenir à feu vif la viande hachée avec un des oignons émincés ; casser régulièrement la masse de viande avec une spatule. Quand la viande est cuite, saupoudrer de farine, ajouter l'eau, le cube de bouillon, le concentré de tomates, la sauce Worcester et du thym. Laisser mijoter pendant 15 minutes à découvert.





16

La sonde Mars Odyssey a dressé des cartes martiennes qui donnent la concentration du sous-sol en hydrogène, un des composants de l'eau. Sous forme de glace, cette eau est présente près des pôles mais aussi à des latitudes moyennes. On en trouve par contre beaucoup moins du côté de l'équateur car même si le sol martien est gelé en permanence (on parle de permafrost ou de pergélisol), les températures équatoriales sont trop élevées pour que puisse y subsister la glace. Récemment, c'est la sonde MRO qui a trouvé, grâce à son radar, d'importantes plaques de glace dans le sous-sol martien.

© Mars Odyssey

Vue d'artiste de la sonde Phoenix en plein travail, avec son bras robotique (de plus de deux mètres) déployé. Ce robot remplit parfaitement ses objectifs, doublant presque la durée initialement prévue de la mission. Phoenix a dû toutefois s'arrêter en novembre 2008 car l'hiver approchait.

La sonde ne semble pas avoir survécu à cette saison, car les tentatives de contact en janvier 2010 sont restées vaines.

© NASA



Préparer ensuite la couche de glace sous-jacente. Cuire à l'eau les pommes de terre épluchées, puis les écraser et assaisonner généreusement de muscade. Ajouter le lait et le beurre, et mélanger jusqu'à l'obtention d'un mélange homogène.



Aller creuser le sous-sol martien à la recherche de glace ressemble à une mission impossible, et pourtant, on l'a fait ! Ce n'est pas simple, évidemment : la sonde Mars Polar Lander, entièrement dédiée à cette tâche, s'est malheureusement écrasée sur la planète rouge en décembre 1999. Toutefois, ressuscitée sous le nom de Phoenix, la mission a réussi neuf ans plus tard.



Créer votre sol martien, composé d'une couche de roches, d'une strate de glace plus ou moins pure et de poussières et rochers en surface. Pour ce faire, déposer dans un grand plat à four (20cm x 30cm) le mélange à la viande, puis le recouvrir avec la purée de pommes de terre (si vous voulez un mélange moins « pur », mélanger un peu de la viande hachée avec de la purée). Recouvrir le tout de manière uniforme (il faut bien cacher la couche sous-jacente) de cheddar mélangé à une bonne dose de piment de Cayenne ou de paprika. Enfin, parsemer cette couche superficielle des morceaux d'olives, d'oignons, et de tomates, rochers tout à fait mangeables. Faire dorer le tout 30 minutes au four (180°C). Pour faire un dip moins épais, vous pouvez diminuer par deux les quantités du mélange à la viande et de la purée de pommes de terre, mais il faut alors cuire moins longtemps.



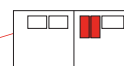
Lancée en août 2007, Phoenix a atterri sur Mars fin mai 2008 à la latitude de 68°N (sur Terre, cela correspondrait à la latitude du nord de la Scandinavie). La sonde a ensuite passé tout un été martien à étudier le sol, avec l'eau en ligne de mire.



Le long bras robotique de Phoenix lui a permis de recueillir divers échantillons de sol. La couche superficielle, assez collante, forme des mottes : elle se compose de fines particules rougeâtres mélangées à des particules magnétiques un peu plus grosses et de couleur brun-noir. L'analyse des tranchées creusées dans le sol révèle des contenus en glace assez variables d'un endroit à l'autre, avec notamment une tranchée à la glace particulièrement pure et une tranchée de glace assez « sale » (baptisées respectivement « Dodo-Goldilocks » et « Snowwhite », soit « boucle d'or » et « Blanche-Neige » en français, en hommage aux contes pour enfants). Plus amusant, Phoenix a pu observer le givre matinal, un classique de la météo martienne, ainsi qu'une superbe plaque de glace sous son corps principal – les rétrofusées utilisées à l'atterrissage ayant dégagé la couche superficielle...

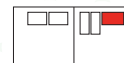


Commencer votre exploration martienne tant que le sol est encore chaud : à l'aide des chips ou doritos, creuser la surface martienne pour en découvrir la composition... Analyser les échantillons prélevés à l'aide de votre estomac.



Zoom sur la tranchée Dodo-Goldilocks : à quelques centimètres de profondeur apparaît une plaque de glace. Des petits morceaux qui s'en étaient détachés ont disparu en quelques jours, réchauffés et sublimés par les rayons du Soleil.

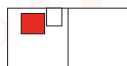
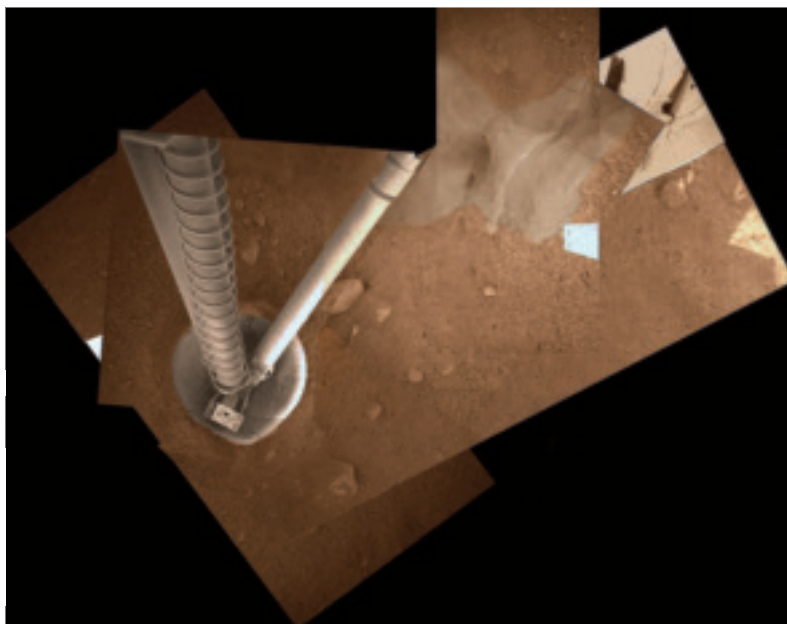
© Phoenix



Zoom sur des échantillons ramassés par Phoenix avec la pelle du bras robotique

© Phoenix

17



Plaque de glace sous la sonde.
© Phoenix

Phoenix s'est donc retrouvé «assis» en plein sur ce qu'il était venu chercher! Et ce n'est pas tout : si l'eau liquide pure ne peut subsister sur Mars bien longtemps avant de s'évaporer ou de se solidifier, il semble pourtant que les supports de Phoenix aient quand même été éclaboussés... De l'eau liquide pure ne serait pas en cause, mais bien de la saumure, eau salée qui est un antigel naturel! Mars réussit donc encore à nous étonner, après des décennies d'observation intense.



Pour ceux qui préfèrent un dip martien sucré et frais. Remplacer le mélange à la viande par 500g de fruits rouges frais (cerises, fraises, framboises, fruits des bois – au choix) coupés en dés et mélangés à 15cl de jus de fruits rouges. Remplacer la purée par une bonne couche de crème chantilly. Une fois les deux couches placées dans un plat, saupoudrer le tout de granulés rouges en sucre (ou de pralin, selon les goûts). Déposer quelques myrtilles et dés de fraises sur le dessus, en guise de rochers. Pour creuser le sol, utiliser des biscuits pas trop friables, comme des tuiles aux amandes ou des «petits beurrés».

Pizza Io

Je cuisine



Je m'instruis



19

Pizza quoi ?

Io, i puis o, c'est simple, non ? C'est le nom d'une nymphe séduite par ce grand Don Juan de Jupiter, mais aussi d'une lune associée à la planète Jupiter. Des quatre satellites joviens découverts en 1610 par Galilée (entre autres), c'est le plus proche de la planète. Il tourne en effet autour de son maître à seulement six rayons joviens et ce en seulement 1,77 jours. Si sa taille et sa densité sont proches de celle de la Lune – notre lune, compagne récurrente de nos nuits – la comparaison s'arrête là. Io est un monde extraordinaire, bien plus actif et coloré que notre bonne vieille compagne. Ses couleurs chamarrées lui vaudraient bien le surnom de « satellite pizza » !

ingrédients

(pour 8 pizzas environ)

Pour la pâte :

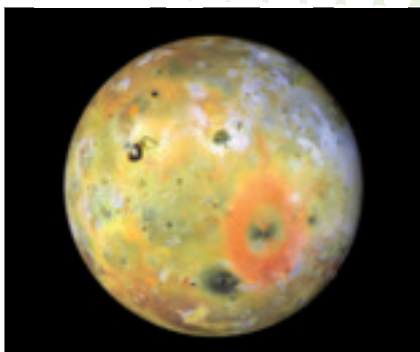
- 1 kg de farine
- Un cube de levure fraîche
- Du sel (remplir le creux de la main)
- De l'eau (60 cl environ)
- Un petit verre d'huile d'olive

Pour la sauce :

- 1,5kg de tomates ou 3 boîtes de tomates pelées entières
- 2 échalotes ou oignons au choix
- Une demi-gousse d'ail

Pour la décoration :

- 150g d'olives noires, en partie coupées en deux et en partie coupées en lamelles
- Une dizaine d'anchois
- De l'origan
- 500g de gruyère et de cheddar râpés (proportions à choisir en fonction du goût personnel)
- 2 boules de mozzarella coupées en morceaux



préparation



Il faut d'abord préparer la pâte, qui sert de base à cette préparation cosmique. Chauffer l'eau et y dissoudre la levure. Dans un grand saladier, poser la farine en y creusant une fontaine, ajouter au milieu le sel, l'huile, et l'eau tiède mélangée à la levure. Malaxer le tout plusieurs minutes jusqu'à obtenir une pâte molle, non collante – ajouter un peu d'eau si nécessaire. Laisser lever une heure environ (c'est prêt si la pâte file quand on retire un petit morceau). Huiler les platines, y déposer une petite boule de pâte de la taille d'un poing, et malaxer pour étendre la pâte.

En parallèle, préparer la sauce tomate. Dans une casserole, faire revenir dans un peu d'huile l'ail et les oignons (ou échalotes) coupés en fins morceaux. Attendre qu'ils brunissent légèrement puis verser les tomates, saler et poivrer. Écraser les tomates quand elles sont bien chaudes, les amener à ébullition puis laisser mijoter à petit feu une bonne dizaine de minutes.

Une fois la pâte et la sauce terminées commence le travail de décoration. C'est ici que se met en place le décor ionien...



Volcans, volcans, c'est par dizaines qu'on trouve des centres actifs sur Io – Très actifs : chaque année, ils évacuent cent fois plus de lave que tous les volcans terrestres réunis. Il y a des volcans très stables, dont la lave coule tranquillement des dizaines d'années durant, comme Prométhée, un lointain cousin du volcan Kilauea d'Hawaï.



21

Il existe aussi des volcans au caractère explosif, comme Pillan, dont les éruptions sont spectaculaires mais courtes (quelques jours à quelques mois), et les épanchements de lave démesurés. Enfin, on trouve également des paterae, des trous circulaires de plusieurs kilomètres de profondeur accueillant des lacs de lave. Le tout s'accompagne de coulées de lave, de geysers, et de panaches volcaniques. Bien que rares (ils n'accompagnent qu'une éruption sur dix), ces derniers sont les structures les plus impressionnantes d'Io : ils peuvent atteindre plusieurs centaines de kilomètres de haut et évacuent les composés à des vitesses de plusieurs milliers de kilomètres par heure.

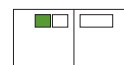
Tout ce petit monde est accompagné de couleurs bigarrées (rouge, jaune, blanc, noir – parfois avec une touche verdâtre). À quoi correspondent-elles ? Au soufre ! Même si le volcanisme ionien est somme toute assez semblable au volcanisme terrestre, ce sont les composés soufrés, composants mineurs des gaz volcaniques, qui tiennent ici la vedette...

Le **blanc**, c'est du dioxyde de soufre (SO_2) : en coulant, la lave chaude vaporise ce minéral couvrant la surface ; il retombe ensuite sous forme de givre – car il ne faut pas oublier qu'il fait -180°C degrés sur Io, la nuit, là où il n'y a pas de volcans...

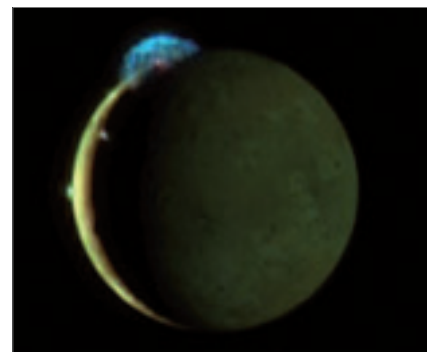
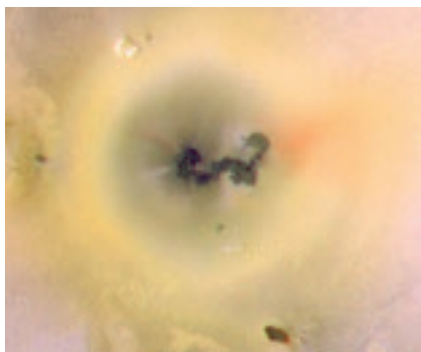
Le **rouge**, ce sont de petites chaînes de soufre (S_3 ou S_4) : ces composés sont déposés par les panaches éruptifs chauds (à quelques 150°C) ; instables, ils changent de nature avec le temps, faisant disparaître le beau vermillon ionien au profit du jaune clair.

Le **jaune**, c'est du soufre ordinaire (boucles de S_8) : ce composé, que l'on retrouve au bout des allumettes traditionnelles, donne sa couleur dominante à Io.

Le **noir**, c'est la lave la plus récente : assez semblable à la lave terrestre, on la trouve ici dans les lacs et geysers, mais aussi sous forme de fontaines ou de coulées ; sa température vaut 250°C en moyenne, mais certaines laves riches en magnésium peuvent atteindre 1400°C ! S'y ajoute parfois une pointe de **vert**, lorsque les laves chaudes altèrent les composés rougeâtres...



Vue d'Io prise par la sonde Galileo. Quelques cratères d'impact (voir p 74) et quelques hautes montagnes (dont certaines plus hautes que l'Everest!) ne peuvent cacher la caractéristique principale de cette lune : les volcans, par centaines. Io est tout simplement l'objet le plus volcanique de tout le Système solaire!
© NASA



22

Chaque mission passant près d'Io découvre de nouvelles éruptions.

Voici en vrac quelques exemples du volcanisme ionien



- Le volcan Prométhée et sa coulée de lave
© NASA



- Le panache du volcan Tvashtar pris en flagrant délit d'éruption (en bleu)
© NASA



Trois photos du volcan Pele, du nom de la déesse hawaïenne des volcans, prises en avril 1997, septembre 1997 et juillet 1999 – un nouveau volcan, Pillan, est né à sa périphérie et le sol a manifestement évolué au cours du temps.
© NASA

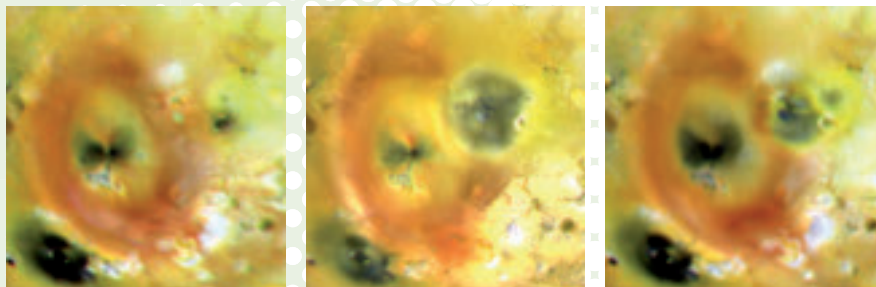


Pour ne pas déroger à la tradition des pizzaiolos, la pâte sera d'abord couverte de sauce tomate (les puristes ioniens préféreront déposer sur la pâte une sauce béchamel ou plus simplement un peu de crème fraîche). Couvrir ensuite uniformément la pâte du mélange jaune gruyère-cheddar ; parsemer d'olives noires et d'anchois pour former les centres actifs et les coulées de lave ; disperser des morceaux de mozzarella blanche loin des « points chauds » sombres ; ajouter les panaches de sauce tomate, de préférence sous forme de cercles autour des demi-olives ; parsemer les olives et les anchois d'origan vert ; enfourner une dizaine de minutes dans le four chauffé à 200°C (c'est prêt quand la surface d'Io frémit sous la chaleur). Recommencer l'opération tant qu'il reste de la pâte. Manger sans attendre – en faisant attention aux laves noires très chaudes !



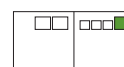
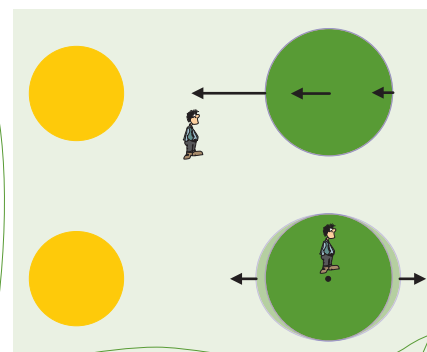
Mais qu'est-ce qui fait chauffer Io ?

Au départ, à leur formation, tous les gros objets du Système solaire étaient très chauds : c'étaient de grosses boules de liquide dont la surface s'est refroidie, formant une croûte. Sur Terre, des restes de cette chaleur primitive sont encore emprisonnés sous la surface et tentent de s'échapper via les volcans, notamment. En plus, les matières naturellement radioactives présentes dans notre planète et ses consœurs chauffent elles aussi leur cœur en se désintégrant, ajoutant à la chaleur primordiale. Au cours du temps, cette chaleur s'échappe petit à petit et la planète ou la lune se refroidit, devenant alors une grosse boule de roches solides.



Toutefois, sur la petite Io, ces deux sources de chaleur ne jouent qu'un rôle secondaire. Sa source d'énergie, ce sont les marées. Pas n'importe quelles marées : celles provoquées par l'énorme planète qu'est Jupiter. Une marée, cela implique de la friction, et donc... de la chaleur. C'est un peu comme quand vous vous frottez les mains l'une contre l'autre – ça chauffe ! Ici, ce sont évidemment les couches au cœur d'Io qui chauffent en se frottant, créant un magma brûlant qui ne désire qu'une chose : s'échapper de la cocotte-minute qu'est devenue la lune... d'où le volcanisme très actif observé sur Io.

En principe, ces marées ne devraient rien provoquer du tout car Io présente toujours la même face à sa planète : le bourrelet de matière créé par les forces de marée ne devrait pas changer de position ni d'épaisseur. Or s'il n'y a pas de changement, il n'y a pas de mouvement, donc pas de chaleur... C'est oublier qu'Io ne tourne pas « en rond » autour de Jupiter : Ganymède et Europe, deux autres lunes joviennes, forcent la pauvre Io à suivre une orbite elliptique. Par conséquent, les marées sont plus ou moins fortes selon qu'Io s'approche ou s'éloigne de Jupiter, le sol se soulevant d'une centaine de mètres de plus lors des marées les plus intenses ! En outre, Io ne se déplace pas à vitesse constante sur son orbite et les marées ne se produisent donc pas toujours exactement au même endroit. Tout cela provoque un échauffement de lune, qui crée un océan de magma de 50 km d'épaisseur (à environ 50 km de profondeur) !



Mécanisme des marées :

Les marées sont liées à la gravité, qui est d'autant plus forte que l'on est proche d'un objet massif.

Le côté d'Io proche de Jupiter est très attiré par la planète, plus que le centre de la lune qui l'est lui-même encore plus que le côté opposé (en haut).

Si l'on compare les forces ressenties à la surface à celle subie au centre de la lune, on observe un étirement dans la direction Io-Jupiter : c'est ce qui crée le bourrelet de marée (en bas).

Le même mécanisme est à l'œuvre sur Terre, sous l'influence de la Lune (responsable des deux-tiers des marées terrestres) et du Soleil (responsable du dernier tiers).



Je cuisine



Je m'instruis

24

Coupe rose aux saveurs européennes

Europe.

Plus qu'un continent bien connu,

il s'agit d'une maîtresse

de Jupiter devenue lune...

Cela vous rappelle lo ?

C'est normal !

Mais si lo est un monde de feu,

Europe est un **monde
de glace**

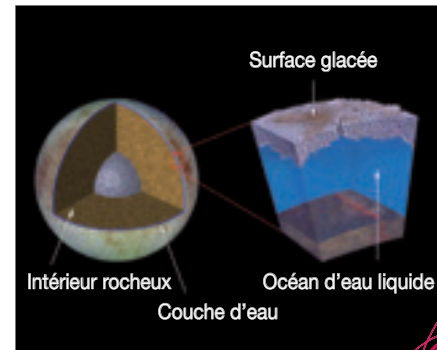
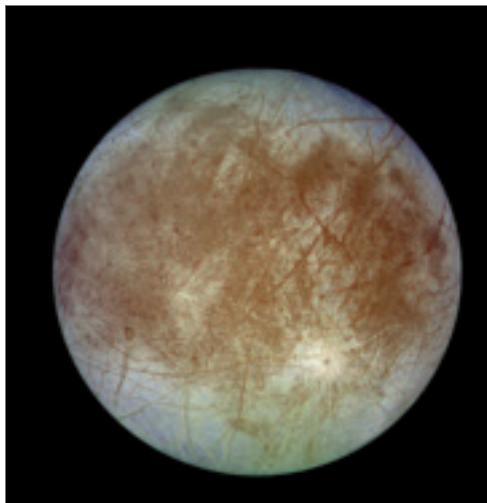
très surprenant !

Il y a là-bas deux fois plus d'eau

que sur notre planète...

et peut-être même de la vie.





préparation

Avec sa banquise fracturée, Europe ressemble à une coquille d'œuf cassée puis recollée à la va-vite.
© NASA

Structure d'Europe : si l'on sait qu'il y a sur Europe une centaine de kilomètres d'eau (quelle que soit sa forme, liquide ou glace) au-dessus du noyau rocheux, on ignore s'il faut creuser quelques centaines de mètres ou des dizaines de kilomètres pour prendre un bain européen.
© NASA

ingrédients

(pour 4 coupes)

- ② 500g de fraises
- ① 100g de meringues
- ③ 3dl de crème fraîche
- ② 40g de sucre impalpable
- ① 25g de sucre semoule



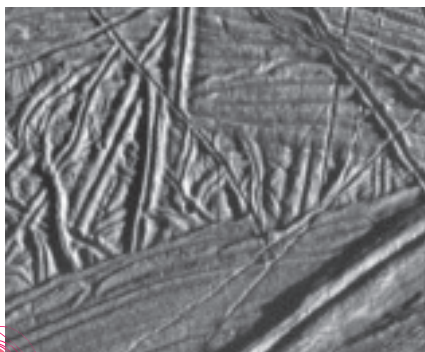
Le plus petit des quatre satellites galiléens, Europe reste quand même un « gros morceau » pouvant presque rivaliser avec la Lune. Sa surface, une des plus lisses et réfléchissantes de notre Système solaire, ne ressemble cependant pas à celle de notre satellite : normal, il s'agit d'une banquise... Europe est une lune couverte de glace!



Laver et équeuter les fraises, les couper en deux (pour les petites) ou en quatre (pour les grosses). Avec un mixer, réduire en purée la moitié des fraises et ajouter au coulis ainsi obtenu le sucre semoule. Hacher les meringues en morceaux. Monter la crème fraîche en chantilly et lui ajouter le sucre impalpable. Garder tous ces éléments au frais jusqu'au moment de servir. À ce moment, mélanger rapidement et grossièrement la chantilly, les meringues et trois cuillères à soupe de purée de fraises – attention, le mélange doit rester inhomogène.

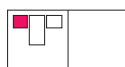


Si Europe est une « star » pour les astronomes, ce n'est cependant pas à cause de sa glace... mais bien à cause de son océan! Comme sa cousine Io, Europe subit de fortes marées : ici, elles triturent et échauffent la base de la banquise glacée, qui se liquéfie. Cela peut sembler théorique (après tout personne n'a jamais vu l'océan européen) mais diverses propriétés de cette lune – perturbation du champ magnétique jovien, forme de certaines structures observées en surface, ... (voir p 26) – ne peuvent s'expliquer que s'il existe de l'eau liquide sous la banquise de surface! Europe ressemble donc à une poupée russe : noyau rocheux surmonté d'un océan liquide, lui-même coiffé d'une banquise. Il reste cependant encore à déterminer la taille exacte de cet océan...

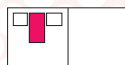


Avec les températures sibériennes régnant à la surface (-160°C à l'équateur et -220°C aux pôles), la glace d'Europe a la consistance du granit ! Toutefois, de fortes tensions sont capables de briser cette glace (voir à droite), créant les fractures que l'on observe sur cette image (taille : 15 km sur 12 km).

© NASA



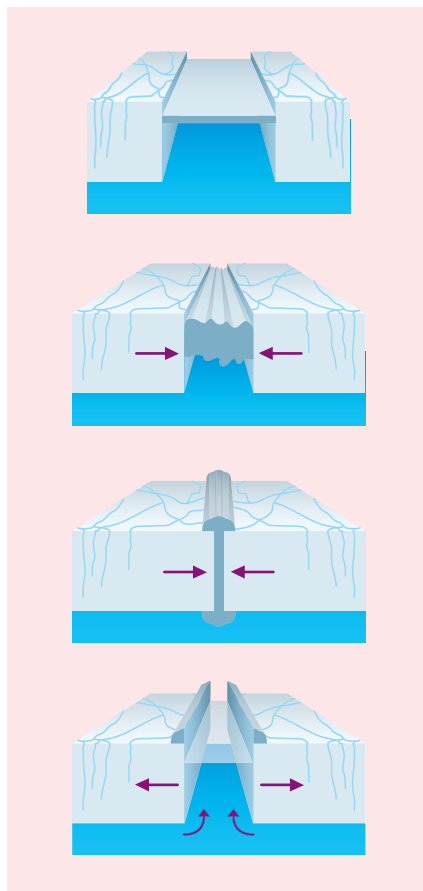
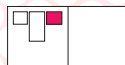
Les sillons avec crêtes vus à gauche se forment des compressions et étirages successifs de la glace européenne. Inspiré d'« Europa » de R. Greenberg (Springer)



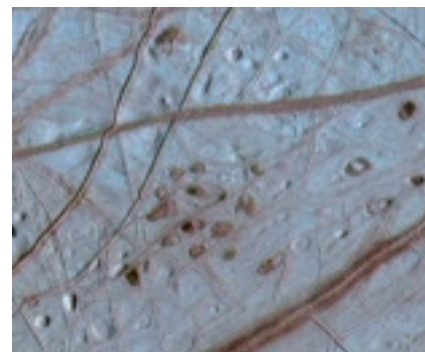
Zoom sur la surface d'Europe (côté = 10 km) : en augmentant le contraste, on constate la présence de composés rosés. On pense qu'il s'agit de sels arrivés en surface, mais certains y voient la trace de bactéries...

Pour trancher la question, il faudra aller vérifier sur place !

© NASA



Préparer les structures européennes. Répartir au fond des coupes la roche de base, fraises coupées en morceaux. Ajouter au-dessus l'océan-jus de fraises, et surmonter le tout de la banquise-chantilly marbrée. Déguster sans attendre qu'Europe ne se réchauffe.



De l'eau sous forme liquide... Ce n'est pas anodin car cela fait d'Europe le meilleur candidat du Système solaire pour abriter une vie extra-terrestre ! En effet, la vie a besoin de trois choses :

- de « **briques** » de **base de la vie**, soit des minéraux simples (comme l'azote ou l'oxygène) et des composés organiques plus complexes : ils sont présents partout dans l'Univers, y compris bien évidemment sur Europe !
- un solvant, de l'**eau liquide** par exemple...
- une **source d'énergie**, par exemple les marées (le noyau rocheux pouvant abriter du magma, à l'instar d'Io), mais aussi le bombardement de la surface par des particules très énergétiques...

Si elle existe, la vie d'Europe ressemble peut-être à celle des lacs coincés sous la banquise antarctique (comme le lac Vostok) ou à celle présente dans les fonds marins, près des sources hydrothermales chaudes... Le mystère plane encore : pour percer les secrets d'Europe, il n'y aurait qu'une chose à faire – aller voir sur place !

Tarte Titan

Je cuisine



Je m'instruis



27

Loin, très loin
dans le Système solaire
se trouve la lune
la plus intrigante
de notre voisinage céleste :
Titan.

Derrière ses nuages
s'amoncellent des mystères
que tentent de percer
les astronomes.

En ligne de mire :
la question de l'habitabilité
du Système solaire
et de l'origine
de la vie sur Terre...



préparation



Comme son nom l'indique, Titan ne fait pas partie des « nains » du Système solaire. De fait, c'est la plus grosse lune de Saturne, un satellite plus gros que la planète Mercure et à peine plus petit que la planète Mars ! Cette rivale des planètes est en outre la seule lune à posséder une véritable atmosphère – et quelle atmosphère ! Il ne s'agit pas ici de quelques atomes égarés formant une couche ténue, bien au contraire. L'atmosphère de Titan est dense, si dense qu'elle cache totalement la surface à tout observateur extérieur.



Déposer la pâte brisée sur un moule et la précuire 10 minutes à 180°C. Battre un œuf et 3 jaunes vigoureusement avec le sucre, ajouter ensuite le jus des citrons et la crème.

Intrigués par les images des sondes Voyager, les astronomes ont cherché à percer le voile des nuages opaques de Titan. En 2005, un robot européen nommé Huygens atterrissait sur cette lune. C'était la première fois qu'on atterrissait sur une lune autre que la nôtre ou si loin du Soleil. De plus, l'exploit technique s'est doublé de nombreux résultats scientifiques.



Une fois la pâte précuite, y déposer le mélange citronné, et faire cuire l'ensemble 25 minutes à 150°C.

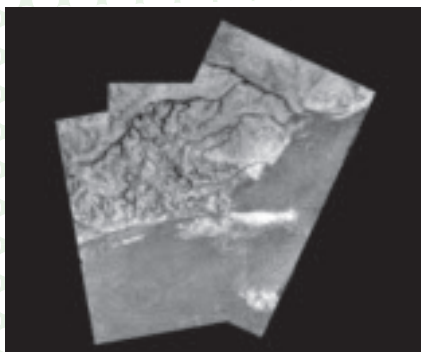
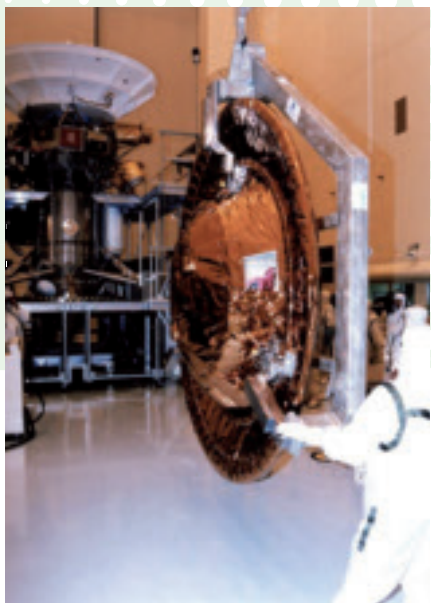


L'atmosphère a ainsi livré quelques secrets. Agitée de vents forts (la sonde Huygens fut entraînée sur 160 km !), elle est si dense que la pression atmosphérique à la surface atteint une fois et demie celle mesurée sur Terre ! Cette atmosphère se compose principalement d'azote, comme sur Terre, mais avec des traces importantes de méthane, le gaz naturel.

ingrédients

(pour une tarte pour 8 personnes)

- ① Une pâte brisée
- ② 2 citrons verts
- ③ 2 citrons jaunes
- ④ 4 œufs
- ⑤ 25 cl de crème fraîche
- ⑥ 200 g de sucre
- ⑦ Du caramel liquide

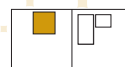


Préparer une atmosphère mousseuse et opaque en battant les 3 blancs d'œufs.



Dans la haute atmosphère, ce méthane interagit avec l'azote, les rayons solaires et les particules énergétiques se trouvant à proximité : il donne alors naissance à de nombreux composés organiques complexes (hydrocarbures, nitriles, etc.) qui finissent par tomber au sol vu leur poids. La présence de ces molécules carbonées en quantités importantes font de Titan la plus grosse réserve d'hydrocarbures du Système solaire – on en trouve ici dix fois plus que ce qu'il existe dans l'ensemble des réservoirs terrestres! Plus intéressant encore : certaines de ces molécules sont dites « prébiotiques », c'est-à-dire servant de base aux molécules des êtres vivants. Il reste cependant un problème : d'où vient ce méthane ? En principe, il aurait dû disparaître dans les trente millions d'années suivant la formation de Saturne et de ses lunes, soit il y a belle lurette! Il doit donc y avoir une source de méthane, mais laquelle ? Le mystère reste entier...

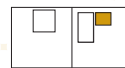
Côté surface, la sonde Huygens a révélé une ressemblance étonnante entre Titan et la Terre, avec des rivières, des lacs, et des mers sombres striant le sol. Cette couleur sombre provient des hydrocarbures générés dans la haute atmosphère et retombés au sol : lourds et poisseux, ils couvrent la surface d'une couche sombre... qui serait uniforme s'il ne pleuvait pas sur Titan! En effet, sur cette lune glacée (-180°C en surface!), le méthane joue le même rôle que l'eau sur Terre. Il peut se présenter sous trois phases, solide, liquide, gazeux, et l'on retrouve un « cycle du méthane » semblable au « cycle de l'eau » terrestre. Il pleut donc régulièrement sur Titan, et ces flots liquides nettoient les sommets, accumulant dans les vallées les composés carbonés noirâtres, ce qui explique l'apparence du sol titanien.



Titan cache sa surface sous une dense atmosphère orangée. Cette couleur est due aux nombreux composés hydrocarbonés qui absorbent la lumière bleue.
© Cassini



La sonde Huygens
© ESA



Vue du sol titanien prise par Huygens lors de sa descente.
On y distingue facilement des rivières.
© ESA

Paysage titanien sur le site d'atterrissage de la sonde Huygens. Les rochers sont en fait des glaçons, et la teinte orangée est bien réelle, les hydrocarbures formés en altitude ne laissant pas passer les rayons solaires bleus.

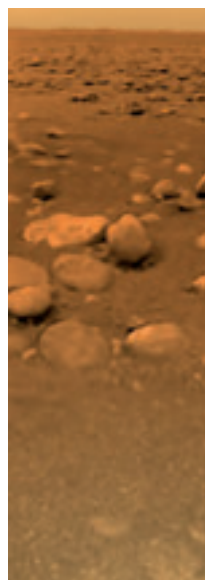
© ESA



Dessiner au caramel des lacs, rivières et autres structures «hydrographiques» sur la surface de la tarte Titan. Déposer l'atmosphère meringuée sur la surface, et cuire le tout à 100°C pendant au moins une demi-heure. Déguster quand la Tarte est bien refroidie, en traversant d'abord l'atmosphère pour découvrir les structures en surface. Ne pas s'étonner du goût acidulé du sol, différent de celui de notre planète...



Et ce n'est pas tout ! La sonde Cassini, compagne d'Huygens, a trouvé sur Titan très peu de cratères, quelques «points chauds», et même quelques changements de terrain : tout cela indique que la surface est jeune et active... On parle ici de **cryovolcanisme**, un volcanisme froid et un peu particulier, puisque la lave est... de l'eau liquide !



Ces volcans étranges pourraient être la source de méthane tant cherchée. En outre, on aurait observé des changements bizarres de la rotation titanienne. Tout se passe comme si le cœur de cette lune, qui présente toujours la même face à son maître Saturne, était découplée de la surface, qui ne tourne donc pas toujours au même rythme. Ces observations, si elles se confirment, suggèrent pour Titan une structure en pelure d'oignon très «européenne» : noyau rocheux, océan d'eau liquide de quelques centaines de kilomètres d'épaisseur, et croûte glacée d'environ cent kilomètres d'épaisseur.

Avec des molécules organiques en quantité, un solvant (le méthane) bien présent, et même une source d'énergie (le cryovolcanisme), tous les ingrédients de base de la vie sont réunis sur Titan. On compare souvent cette lune à une Terre primitive gelée, mais il faut avouer que jusqu'ici, aucun Titanien n'a pointé le bout de son nez devant nos caméras... Reste que la chimie organique complexe qui s'y déroule fait de Titan une cible de choix pour les études astrobiologiques.

Comète glacée

Je cuisine



Je m'instruis



31

Dans tout le Système solaire, s'il existe un spectacle qui impressionne petits et grands depuis la nuit des temps, c'est bien le « **show** » cométaire. Astres d'une beauté inégalée, les lointaines comètes se parent en effet de jolis « cheveux », déployés au gré du vent solaire quand elles passent dans notre voisinage, comme pour mieux nous saluer. Pour le scientifique, elles revêtent une importance aussi cruciale que pour l'artiste : non seulement ce sont , avec les astéroïdes, les fossiles de notre Système solaire, mais il s'agit aussi de sources importantes d'eau, voire de « briques » essentielles à la vie. Les comètes ont d'ailleurs probablement ensemencé les océans terrestres...

ingrédients

(pour 6 personnes)

- ❶ 600 ml de glace vanille
- ❷ 1 yaourt nature
- ❸ 100 g de noix ou noisettes broyées, ou 100 g de brésilienne
- ❹ 200 g de chocolat fondu
(selon les goûts, il peut être remplacé par 20 cl de coulis de framboise ou 20 cl de sirop caramel)
- ❺ De la chantilly à volonté
- ❻ 15 cl de crème anglaise
- ❼ Un peu de sucre et d'eau
- ❽ Quelques gouttes de colorant alimentaire bleu

préparation



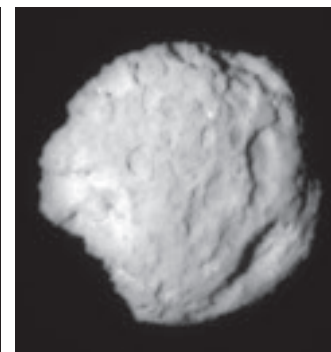
Lors de la formation de notre Système solaire, il y avait de nombreux petits rochers et de nombreux morceaux de glace. La plupart se sont agglomérés pour donner naissance aux planètes et aux lunes mais pas tous. Les restes ont formé les astéroïdes et les comètes, véritables fossiles célestes. On retrouve aujourd'hui les comètes dans deux réservoirs. Le premier est le lointain « nuage d'Oort », structure sphérique située à plus d'un million de millions de kilomètres du Soleil et contenant au moins mille milliards de comètes ! Le second est la « ceinture de Kuiper », structure annulaire située au-delà de Neptune et envoyant même parfois des comètes se balader du côté de Jupiter.



Faire chauffer un peu de sucre avec très peu d'eau, attendre que le mélange ramollisse en un sirop épais et retirer du feu avant qu'il ne brunisse. Colorer en bleu avec quelques gouttes de colorant alimentaire. Réserver.



Les comètes se composent principalement de glaces – de la glace d'eau, bien sûr, mais aussi, en quantités environ cinq fois moindres, de la glace plus exotique : il s'agit de glace sèche (provenant du monoxyde ou du dioxyde de carbone), mais aussi de glace d'ammoniac et de méthane. À cela, il faut ajouter des poussières ou petits rochers, ainsi que des composés organiques, c'est-à-dire de plus ou moins longues chaînes de carbone pouvant servir de « briques » de base à la vie. C'est pourquoi l'on compare souvent les comètes à des « boules de neige sales »...



33



Préparer le mélange de glaces en mêlant la crème glacée à la vanille ramollie (pour représenter la glace d'eau) et le yaourt (pour les glaces « exotiques »). Ajouter les rochers (la majorité des noix broyées – conserver une bonne cuillère à café de petits morceaux) et les sombres composés organiques (la moitié du chocolat liquide). Bien mélanger et surgeler le tout.



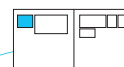
Les comètes sont parfois des astres fragiles : on en a vu se briser en plein vol ! Certaines pourraient donc ne pas être de gros blocs bien solides mais plutôt des amoncellements lâches de petits morceaux, peut-être poreux.



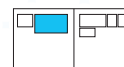
Après quelques heures au surgélateur, servir une grosse boule ou quelques morceaux négligemment agglomérés par assiette (utiliser de préférence de petits plats rectangulaires où le mélange glacé sera déposé à une extrémité).



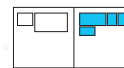
Les noyaux de comètes que l'on a pu aller prendre en photo se sont tous révélés être extrêmement sombres. Ils ne réfléchissent en effet que quelques pourcents de la lumière – ils sont donc deux fois plus sombres que l'asphalte, pourtant peu connu pour sa couleur claire ! Cette teinte sombre serait due aux lourds composés organiques, laissés derrière elles une fois les composés légers et glacés vaporisés. Peut-être faudrait-il plutôt parler de « boules de saleté enneigées » pour désigner les comètes ?



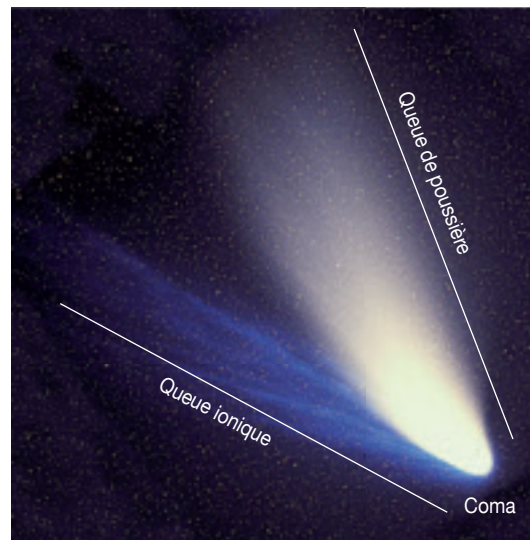
En 2006, la comète Schwassmann-Wachmann 3 s'est disloquée en partie sous les yeux ébahis (et ravis de l'aubaine) des astronomes.
© HST



La comète Mc Naught a enchanté les nuits australes en 2007...
© ESO



Les Européens ont été les premiers à photographier un noyau cométaire – celui de la comète de Halley en 1986 (en haut, à gauche). Les Américains ont depuis étudié quelques comètes peu actives : Borrelly (en haut, milieu), Wild2 (en haut, à droite) et Tempel-1 (en dessous, à gauche). Cette dernière est ici photographiée après avoir été bombardée par les américains. Dès 2014, la sonde européenne Rosetta sera la première à « goûter » une comète : son petit robot Philae devrait se poser sur le noyau de Churyumov-Gerasimenko et l'analyser en détails.
© ESA, NASA



La comète Hale-Bopp
© Ph. Demoulin

Structure d'une comète «classique» :
la coma cache bien le timide noyau
tandis que les queues cométaires
assurent le spectacle.
Certaines queues de poussières s'étendent
sur dix millions de kilomètres!



Disposer le reste du choco-
lat fondu sur le mélange glacé pour termi-
ner vos noyaux cométaires.



Toutefois, ce que l'on entend
généralement par «comète», ce n'est
pas tant le noyau cométaire lui-même,
pourtant à l'origine de tout ce fabuleux
spectacle céleste, que ses ornements
couvrant des kilomètres. Cette parure
n'est pourtant que temporaire : elle naît
lorsque les rayons du Soleil réchauffent
la glace cométaire, la transformant en
gaz qui ne demande qu'à s'échapper.
Selon la sagesse populaire, une comète
se doit donc d'avoir :

- une **coma**, atmosphère étendue entou-
rant le noyau (et le cachant au reste du
monde)
- deux longues **queues** cométaires –
une bleue rassemblant le gaz ionisé et
une jaunâtre qui contient de la poussière
et du gaz neutre.



Cacher le noyau à l'aide
d'une bonne dose de coma-chantilly.
Terminer votre comète en ajoutant à
l'arrière les deux queues, soit un trait de
crème anglaise et un trait de sirop de
sucre bleuté. Déposer quelques pous-
sières, les petites noix broyées, dans la
crème anglaise. N'oubliez pas de dégus-
ter votre comète rapidement, pour éviter
que la chaleur du Soleil ne la détruise!

Barres météoritiques

Je cuisine



Je m'instruis



35



*C'est bien connu :
les Gaulois n'ont peur
que d'une chose :
que **le ciel**
leur tombe
sur la tête...*

*On peut en sourire,
mais il est pourtant vrai que
des objets célestes s'invitent
régulièrement sur notre planète !*

ingrédients

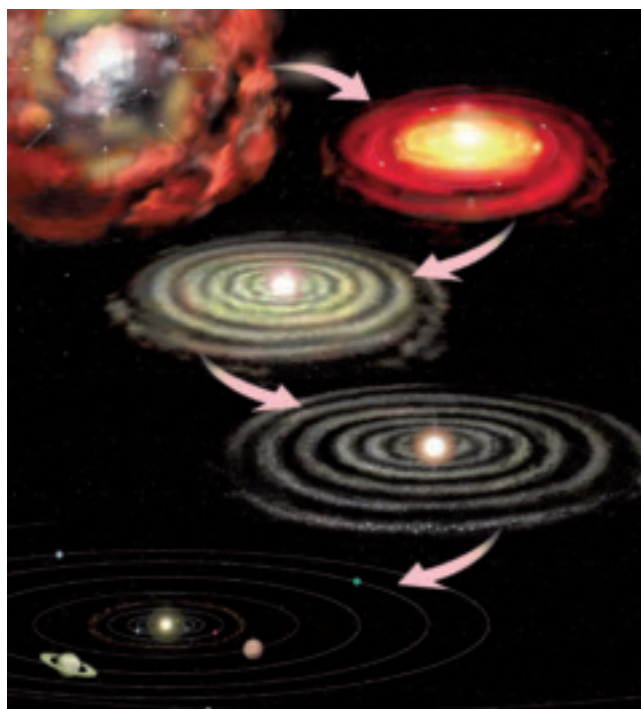
(pour une quinzaine de petites météorites)

Pour les chondrites :

- 150g de chocolat au lait
- 50g de chocolat noir
- 120g de minis marshmallows ou marshmallows coupés en petits cubes
- Quelques noix coupées en morceaux ou noisettes coupées en deux

Pour les pallasites :

- 100g de beurre
- 150g de minis marshmallows
- 100g de riz soufflé
- 150g de chocolat noir

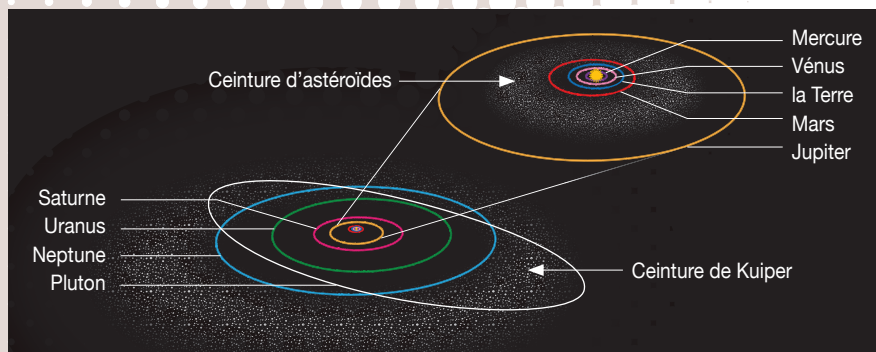


préparation



Le Système solaire est né dans un tourbillon de gaz, de glaces, et de poussières. Au centre, le gaz comprimé donna finalement naissance au Soleil, notre étoile. Tout autour, les poussières et les flocons de glace s'assemblèrent petit à petit. De grains microscopiques, ils passèrent successivement au stade de petits cailloux, puis de gros rochers, et enfin d'embryons planétaires – les planétésimaux. Par collisions successives, ceux-ci s'agglomérèrent en planètes.

Cette transformation graduelle n'est évidemment pas un processus parfait : à chaque étape, il y a des «restes», plus ou moins gros, qui naviguent, esseulés, à travers notre Système solaire : ce sont les comètes, les astéroïdes, voire des poussières et grains interplanétaires. En outre, sous l'action perturbatrice des planètes (surtout Jupiter), les astéroïdes peuvent entrer en collision, générant alors de nouveaux petits morceaux. Les comètes, quant à elles, laissent derrière elles des traînées de la poussière qui quitte leur surface, emportée par les glaces vaporisées à l'approche du Soleil. Cela fait finalement beaucoup de monde dans l'espace interplanétaire !



Que devient tout ce bric-à-brac ? Très simple : il nous tombe dessus... enfin, en partie. Chaque jour, ce sont en effet cent tonnes de matière « extraterrestre » qui arrivent sur Terre. Cette matière arrive en majeure partie sous forme microscopique, mais on constate quand même chaque année la chute de dizaines d'objets de taille respectable (quelques dizaines de centimètres à quelques mètres, soit une masse de quelques kilos à quelques tonnes)³.

Quel est le destin de ces objets ? Un début flamboyant et parfois une vie calme dans une collection ensuite... Commençons par le début. Les **météoroïdes**, nom scientifique des « restes » en tous genres, rencontrent tout d'abord notre atmosphère. Ils y pénètrent à des vitesses supersoniques (typiquement 70 000 km/h), ce qui comprime l'air sur leur passage. Cet air perturbé se met à chauffer et les températures atteintes, énormes (environ 2 700°C), liquéfient puis vaporisent l'avant du météoroïde.

Cette vapeur chaude est capable de briller, laissant sur le passage du météoroïde une traînée lumineuse que l'on appelle **météore** ou plus communément étoile filante. Les « pluies » d'étoiles filantes sont en fait associées aux comètes : elles se produisent à chaque fois que la Terre traverse la nuée de poussières laissée par l'un de ces astres chevelus.

Dans la plupart des cas, les météoroïdes « brûlent » complètement dans l'atmosphère : il ne reste rien de ces voyageuses célestes faisant au plus quelques centimètres. Les plus gros objets, toutefois, atteignent le sol⁴ : on parle alors de **météorites**. L'idée de « pierres tombées du ciel » a mis du temps à être acceptée : cela ne fait que deux siècles que les hommes modernes se sont faits à cette idée, principalement grâce aux travaux de l'Allemand Chladni, de l'Anglais Howard, et du Français Biot... Nos ancêtres gaulois avaient déjà bien compris la chose, si l'on en croit Astérix...

³ On ne parlera pas ici des objets énormes, dont la chute provoque des dégâts titanesques – voir à ce sujet p 74.

⁴ Notons que, contrairement à une idée reçue, ces roches ne sont pas nécessairement brûlantes à leur arrivée. En effet, elles sont restées exposées au froid spatial pendant très longtemps et seule leur croûte a été chauffée – et a disparu, vaporisée... Il n'est donc pas exceptionnel de trouver des météorites couvertes de givre juste après leur impact au sol !



37



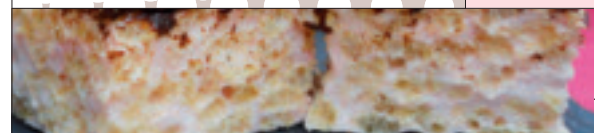
Formation du Système solaire à partir de la nébuleuse solaire primitive.
© Plymouth State Univ./M.P. Turski

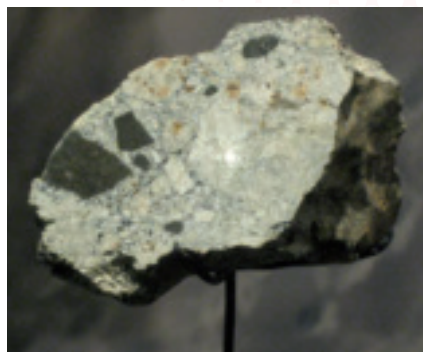
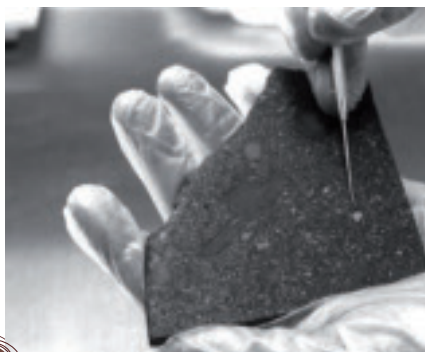


Structure du Système solaire actuel, remarquez la ceinture d'astéroïdes entre Mars et Jupiter
© NASA



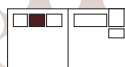
Pluie d'étoiles filantes.
© APÖD



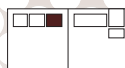


Gros plan sur une chondrite :
remarquez les chondrules,
petites sphères millimétriques.

© LPI



Exemple d'achondrite
© Wikipedia



Exemple de sidérite
© LPI



Gros plan sur une pallasite :
on y voit des cristaux de minéraux
(de l'olivine surtout) de taille centimétrique
enchâssés dans une matrice métallique.

Une croûte de fusion, noire,
recouvre la surface de la météorite.

© Wikipedia

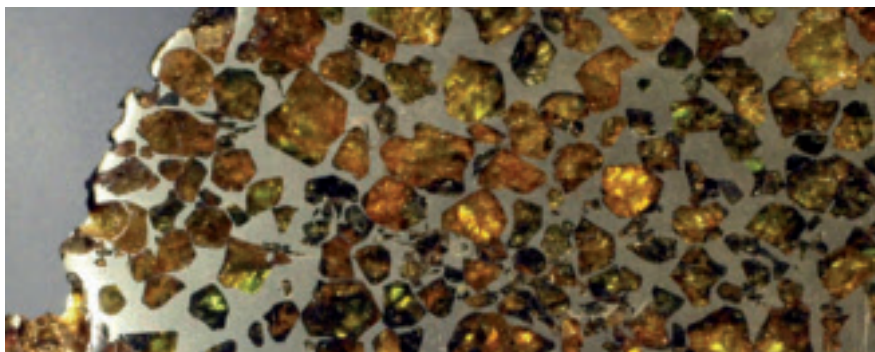


Il existe plusieurs types de météorites. La grande majorité, 94%, est pierreuse. On retrouve dans cette catégorie les chondrites (86%) et les achondrites (8%). Les **chondrites** sont des roches extrêmement primitives, qui datent de la formation du Système solaire. Elles contiennent des chondrules, petites sphères de silicates ainsi que, en quantités variables, quelques paillettes de métal et des inclusions blanches de matériaux réfractaires (minéraux contenant du calcium ou de l'aluminium) ; le tout est enchâssé dans une matrice grise. Une croûte sombre, due à l'ablation subie au contact de l'atmosphère, vient compléter le tableau. Les chondrites, véritables fossiles du Système solaire, proviennent de grains ne s'étant jamais agglomérés ou sont des morceaux de petits astéroïdes. Certains, contenant beaucoup de carbone, renferment des composés assez complexes dont... des acides aminés. Les météorites auraient donc pu amener sur Terre les « briques » de base de la vie !



Faire fondre séparément
les deux chocolats. Déposer le chocolat au
lait dans un plat rectangulaire pour produire
la matrice. Ajouter rapidement les chon-
drules-marshmallows (coupées en petits
cubes) et bien mélanger pour qu'ils soient
recouverts de chocolat. Disperser ça et là
les quelques inclusions de noix. Déposer
par-dessus la croûte de chocolat noir, éga-
liser et réfrigérer. Déguster les chondrites
ainsi créées en petits cubes pour ne pas
faire d'indigestion météoritique.

Les **achondrites**, elles, ne contiennent pas de chondrules. En fait, elles ressemblent à s'y méprendre aux roches ignées terrestres, comme les basaltes, ce qui les rend difficile à identifier. On pense qu'elles proviennent des couches supérieures des gros astéroïdes. En effet, les plus gros objets du Système solaire se sont formés par collision. La chaleur de l'impact, associée à celle dégagée par la désintégration de leurs composés radioactifs naturels, a fondu ces objets. Le magma liquide ainsi formé a décanté, conduisant les éléments lourds, comme le fer, au centre et laissant les autres en surface.



39

Parmi les achondrites, on a pu ainsi identifier des morceaux de l'astéroïde Vesta ainsi que... de la Lune et de Mars! Ces morceaux se seraient détachés au cours d'un gros impact, suffisamment énergétique pour les envoyer valdinguer dans l'espace et finalement... atterrir sur notre planète.

Toujours en provenance de ces gros objets, on trouve également les **météorites métalliques ou sidérites** (5% des météorites), composées quasi exclusivement de fer et de nickel – et donc très faciles à identifier. Celles-ci proviennent du cœur d'astéroïdes détruits lors de très grosses collisions. Longtemps, elles furent une source de métal pour les peuples primitifs – les Inuits, notamment, les utilisaient pour leurs outils tranchants. Messagères célestes, elles furent aussi des objets de culte dans divers endroits du monde.

Enfin, il reste des cas intermédiaires (peu nombreux) : les **lithosidérites ou météorites mixtes** métal-pierre (1% des cas), qui comme leur nom l'indique, contiennent un mélange de roches et de métaux. On y trouve les pallasites et les mésosidérites.

Les premières sont des morceaux de gros astéroïdes, cette fois en provenance de la zone située entre le cœur métallique et le manteau rocheux ; les secondes sont probablement le résultat de l'agglomération de fragments divers, se produisant après une collision entre un astéroïde métallique et un rocheux.



Faire fondre le beurre puis lui ajouter les marshmallows. Laisser fondre l'ensemble (à feu doux ou 2 minutes au micro-ondes). Bien mélanger et retirer du feu. Ajouter le riz soufflé, et bien mélanger. Déposer dans un plat rectangulaire, préalablement beurré, en pressant bien le tout. Faire fondre le chocolat et l'ajouter par-dessus pour former la croûte de fusion typique du passage dans l'atmosphère. Laisser refroidir, mais pas complètement : il faut couper les pallasites avant la complète solidification du mélange.



Ces météorites sont-elles dangereuses ? En général, ces petits rochers tombent dans des endroits peu fréquentés, ne causant aucun dégât, mais il arrive parfois qu'ils tombent sur des centres urbanisés. Généralement, on se retrouve alors avec un trou dans le toit ou dans la carrosserie, et la revente de la météorite (ou de l'objet accidenté) rembourse plus que généreusement les dommages causés. On ne connaît que peu de cas où « le ciel est tombé sur la tête » de quelqu'un. Le 30 novembre 1954, en Alabama, une chondrite de quatre kilos a traversé le toit de la maison d'Ann Hodges. La pierre céleste s'est retrouvée dans le salon où, après avoir rebondi sur une radio, elle a frappé la propriétaire... qui s'en est sortie avec quelques bleus et une célébrité internationale!



Je cuisine



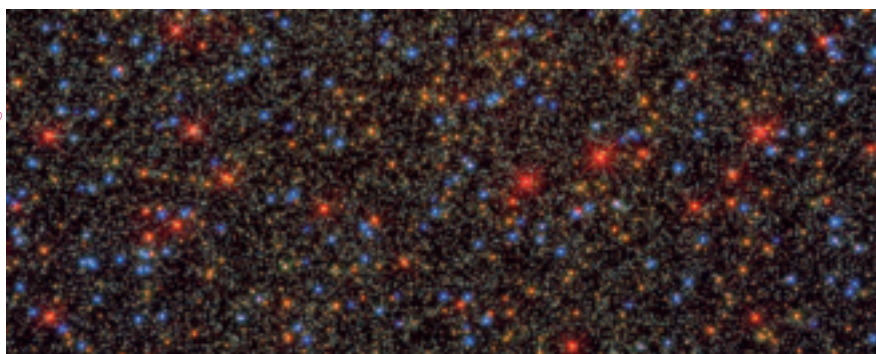
Je m'instruis

40

Biscuits étoilés

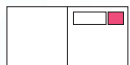
En levant les yeux vers le ciel,
par une belle nuit sereine,
vous serez sûrement fascinés
par l'éclat cristallin
des **étoiles**.
Tout à votre contemplation,
vous ne remarquerez
peut-être pas un détail
qui a son importance :
toutes les étoiles n'ont **pas**
la même couleur !





Des étoiles de l'amas oméga du Centaure prises en photo par le télescope spatial Hubble au naturel, c'est-à-dire sans fausses couleurs !

© HST



Albiréo, joli couple coloré de la constellation du Cygne...

© NASA

ingrédients

(pour environ 60 petits biscuits)

- ② 300g de farine fermentante
- ① 200g de cassonade
- ③ 125g de beurre
- ① 2 œufs
- ② 100g d'amandes en poudre
- ① 200g de sucre impalpable

préparation



La Nature s'amuse parfois à nous rappeler nos limites. Ainsi, la rétine de nos yeux possède deux types de cellules : les cônes, qui distinguent facilement les couleurs des sources brillantes, et les bâtonnets, très sensibles à la lumière mais peu réceptifs au concept de « couleur ». Le jour, quand il y a suffisamment de lumière, les cônes nous permettent de voir le monde multicolore auquel nous sommes habitués. Hélas, on ne peut pas tout avoir : quand la lumière décline, les bâtonnets occupent le rôle principal, nous plongeant dans un monde aux teintes grisâtres. Ne dit-on pas « la nuit, tous les chats sont gris », même s'il existe des matous blancs, roux ou tigrés ?

C'est évidemment pareil pour les étoiles : nos yeux, instruments optiques imparfaits, ne nous permettent pas d'en distinguer les couleurs... sauf pour quelques rares exceptions très brillantes. Ainsi, Bételgeuse, Antarès ou Aldébaran nous décochent un regard rouge-orange, alors que Véga ou Rigel dardent le spectateur de rayons blanc-bleu perçants.



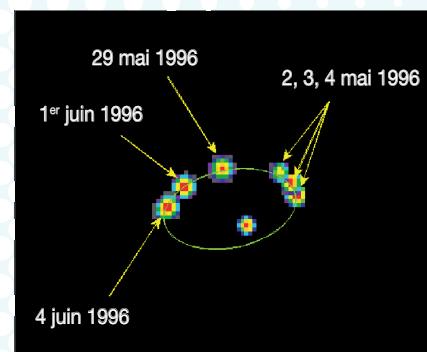
41

Au télescope, les astronomes amateurs adorent montrer des couples stellaires colorés, comme l'étonnant Albiréo, composé d'un astre turquoise et d'un compagnon orangé.

Pourtant, au départ, toutes les étoiles sont faites de la même « pâte » : trois-quarts d'hydrogène, un quart d'hélium et quelques pourcents des autres éléments, principalement du carbone, de l'azote, et de l'oxygène.



Préparer les ingrédients stellaires : l'hydrogène (ici représenté par la farine), l'hélium (la cassonade) et les autres éléments (le beurre, les œufs, les amandes) – noter que les proportions stellaires ne sont pas respectées ici, sinon les biscuits n'auraient pas très bon goût ! Mélanger ces ingrédients pas à pas, en commençant par le beurre mou avec la cassonade, puis les œufs, et enfin la farine accompagnée des amandes. Bien mélanger jusqu'à l'obtention d'une pâte homogène. Laisser reposer la pâte une nuit au frigo.



Au passage, signalons que, comme dans une fournée de biscuits, les étoiles naissent rarement seules. D'un nuage de matière, il se forme souvent des milliers d'objets, c'est ce que l'on appelle un **amas d'étoiles**. Cette grande famille se disperse avec le temps, ce qui fait que notre Soleil, né il y a quatre milliards et demi d'années, a l'air bien solitaire... Cependant, certains astres ne restent pas seuls car ils naissent en couple, on parle alors de binaires. C'est le cas de plus de la moitié des étoiles : le Soleil fait ici figure d'exception !

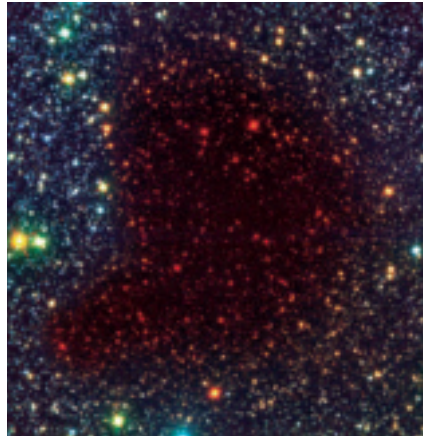


Étaler la pâte sur le plan de travail avec un rouleau à tarte, jusqu'à avoir une plaque d'un demi-centimètre d'épaisseur. Découper des étoiles dans cette pâte avec un emporte-pièce adéquat. Déposer les étoiles crues sur une plaque à pâtisserie recouverte de papier cuisson, en évitant qu'elles ne se touchent. Cuire cette première fournée 15 minutes à 180°C (la pâte cuite est dorée sur le dessus et brun clair sur le dessous). Recommencer l'opération jusqu'à épuisement de la pâte.



La couleur des étoiles a provoqué des débats aussi passionnés que ceux sur le sexe des anges... Il faut dire que tout n'est pas simple.

En effet, la couleur initiale d'une étoile dépend en fait uniquement de la température de l'astre. Pour mieux comprendre cette relation couleur-température, imaginez chauffer une barre de fer : elle prend d'abord une teinte rouge sombre, puis rouge plus clair, jusqu'à atteindre des teintes jaunâtres, et tourner finalement à un blanc éclatant. C'est donc le contraire des robinets : les étoiles rouges sont froides et les étoiles bleues sont chaudes. Tout est relatif, bien sûr : « rouge » implique quand même quelques milliers de degrés en surface, ce qui n'est pas si froid pour un humain... mais « bleu » indique une surface stellaire chauffée à plusieurs dizaines de milliers de degrés ! Notre Soleil, teinté de blanc-jaune, arbore quant à lui un bon 5500°C en surface.



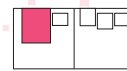
43

Hélas, la couleur observée n'est pas toujours la même que la couleur de départ... Sur Terre, le Soleil couchant prend souvent de merveilleuses teintes vermillon... et pourtant, notre Soleil n'a pas changé de nature! Le même phénomène se reproduit d'ailleurs avec des étoiles bleu-blanc brillantes comme Sirius : à l'approche de l'horizon, leur couleur se modifie. La responsable de ces variations est l'atmosphère qui disperse les rayons bleutés. Dans l'espace, la même chose se produit avec les nuages de gaz situés entre les étoiles : ils dispersent et absorbent les rayons bleus, les plus gros nuages allant parfois jusqu'à cacher une étoile turquoise sous un manteau pourpre – on parle alors de rougissement interstellaire!

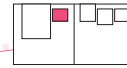
Enfin, les étoiles évoluent, et donc leur couleur aussi. Ainsi, notre Soleil prendra des teintes rosées dans environ quatre milliards d'années, puis terminera sa vie d'étoile en laissant derrière lui un petit cadavre blanc étincelant.



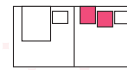
Délayer le sucre impalpable dans 2 cuillères à soupe d'eau, et séparer le mélange dans plusieurs bols ; teinter chaque bol avec quelques gouttes de colorant alimentaire (prévoir au minimum un bol rouge et un bol bleu). Une fois les biscuits refroidis, les badigeonner avec le glaçage coloré (par ex. : laisser un tiers non teinté, un tiers avec le glaçage bleu, et un dernier tiers avec le glaçage rouge). Bien laisser sécher avant de déguster ces friandises stellaires.



Un petit amas d'étoiles, baptisé la « boîte à bijoux »
© ESO



Mizar, dans la Grande Ourse, est un système multiple – on voit ici clairement le mouvement d'une étoile autour de l'autre.
© APOD



Gauche : Ce nuage de matière, très dense, bloque la lumière visible des étoiles situées derrière, ce qui se traduit par un « trou » apparent dans l'image.

Droite : Si l'on regarde cette région avec une caméra infrarouge, on arrive à capter la lumière de ces astres lointains, mais extrêmement rougie suite à la traversée du nuage.
© ESO



Je cuisine



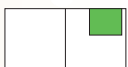
Je m'instruis

44

Smoothie interstellaire

*En regardant le ciel,
on imagine souvent que
les étoiles flottent librement
dans un vide quasi-parfait.
Cette impression est
tout à fait fausse !
Il existe en réalité pas mal
de matière entre les étoiles
et ce « **milieu
interstellaire** »,
comme on l'appelle,
joue un rôle vraiment crucial.*





La nébuleuse d'Orion
© ESO

ingrédients

(pour 2 petits smoothies)

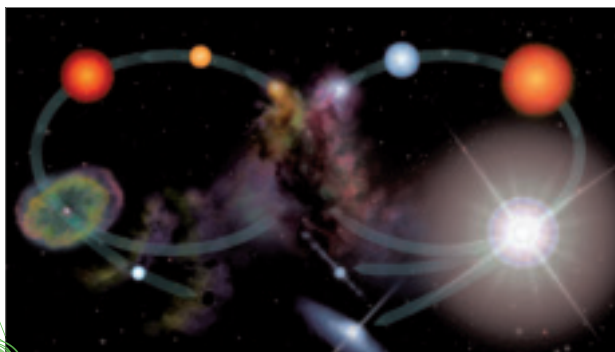
- ⑤ 2 kiwis
- ⑥ 1dl de jus de pommes
- ⑤ 1 boule de glace vanille (ou quelques glaçons pour les puristes)
- ⑥ Un sachet de sucre vanillé



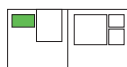
La matière interstellaire se présente sous forme de nuages aux propriétés variées : la température, par exemple, peut varier de quasiment le zéro absolu jusqu'à plusieurs millions de degrés! Les nuages les plus petits et denses ont reçu le nom de nébuleuses : il y a des nébuleuses sombres, si denses et froides que la lumière ne les traverse pas, des nébuleuses brillantes, chauffées par les étoiles les plus chaudes, et des nébuleuses "à réflexion", qui se comportent comme des miroirs.

⁵ Précisons immédiatement que la densité dont il est question ici n'a aucune commune mesure avec les densités auxquelles nous sommes habitués. Le meilleur vide que l'on puisse produire sur Terre est cent millions de milliards de fois moins dense que l'atmosphère terrestre. Les nuages les plus « denses » dont il est question ici se rapprochent de ce "vide de laboratoire" au niveau densité, et les régions interstellaires les plus ténues sont encore un million de fois moins denses !



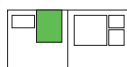


46



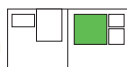
Éternel recyclage : les étoiles peu massives, comme le Soleil (côté gauche), et les étoiles massives (côté droit) naissent au sein de nuages interstellaires. Après une vie bien remplie, leur mort permet de récupérer cette matière...

© NASA



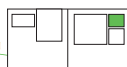
La tête de cheval, une célèbre nébuleuse sombre

© ESO



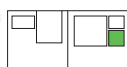
La nébuleuse brillante de l'Aigle

© NOAO



Une nébuleuse planétaire, issue de la mort d'une étoile semblable au Soleil.

© HST



Un nuage-miroir situé dans les Pléiades

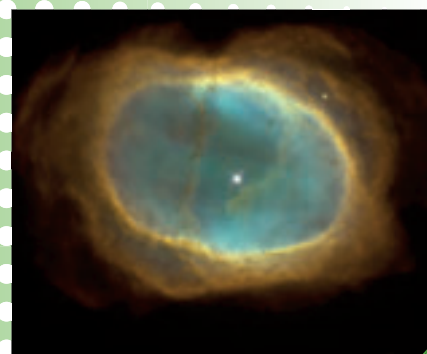
© HST



Éplucher les fruits, les couper en morceaux, et observer leur composition : grains noirs stellaires, composant vert majoritaire (représentant donc l'hydrogène) et composant blanc minoritaire (c'est-à-dire l'hélium). Mixer ces morceaux avec les composés organiques complexes, soit le jus de pommes bien frais. Ajouter les composés simples glacés puis les poussières sucrières.



Ces nuages ne restent pas isolés, bien au contraire, ils interagissent continuellement avec les étoiles. Pour comprendre pourquoi, il faut d'abord se pencher sur les astres eux-mêmes. Pour briller, une étoile consomme un « carburant », l'hydrogène. Une fois celui-ci épuisé commence alors la phase finale de l'étoile. Elle finit par mourir en éjectant assez violemment ses couches extérieures. Cette matière éjectée rejoint alors la matière interstellaire, en l'ensemencant des éléments chimiques lourds synthétisés par les étoiles au cours de leur vie.



47



Si une étoile meurt, elle a bien dû naître un jour ! Alors comment naissent les étoiles ? Tout simplement... à partir de la matière interstellaire ! En effet, suite à une perturbation quelconque, une onde de choc par exemple, les nuages froids et denses se compriment spontanément. Leur cœur chauffe petit à petit, jusqu'à atteindre dix millions de degrés : une étoile naît alors. Souvent, la formation des astres n'épuise pas le réservoir nuageux : on trouve donc fréquemment étoiles et matière interstellaire mélangés.



Mixer de nouveau l'ensemble et rectifier l'assaisonnement poussiéreux en ajoutant du sucre semoule si nécessaire. Répartir dans deux verres et déguster la fraîche matière interstellaire – remarquer que les étoiles ont souvent tendance à se regrouper en amas (voir. p 42). À noter qu'il existe également de la matière interstellaire très chaude et ténue, ici représentée par l'air ambiant...



Étoiles et milieu interstellaire sont donc au cœur d'un recyclage éternel. C'est un cycle de vie et de mort dont nous faisons tous partie car nous sommes tous enfants du cosmos. En fait, pour contenir autant d'éléments chimiques différents, notre matière est même passée par ce « recyclage » plusieurs fois : il a fallu que plusieurs générations d'étoiles naissent et meurent pour que nous puissions apparaître !



Je cuisine



Je m'instruis

48

Brioche Voie Lactée

À mesure que l'on s'éloigne
du Soleil, on voit
les centaines de milliards
d'étoiles et la nombreuse matière
interstellaire s'organiser
petit à petit
en une grande structure,
une « **galaxie** » baptisée
la **Voie Lactée**.





49

ingrédients

(pour une vingtaine de brioches)

- ⑤ 500g de farine
- ⑤ 2 œufs
- ⑤ 2 cuillères à soupe de sucre
- ⑤ 20 cl de lait tiède
- ⑤ 175g de beurre ramolli
- ⑤ 20g de levure fraîche
- ⑤ 3 pincées de sel
- ⑤ 75g de cassonade
- ⑤ 100g de raisins secs (blonds et noirs – à faire gonfler dans de l'eau ou du thé)

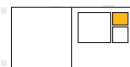
préparation



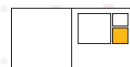
Notre Galaxie n'est évidemment pas la seule dans l'Univers. Il en existe en fait des milliards, mais elles ne sont pas toutes identiques : les irrégulières ne présentent pas de forme bien définie ; les elliptiques sont de grosses boules quasi exclusivement composées d'étoiles ; enfin, les plus belles et les plus nombreuses sont les spirales – c'est le cas de notre Galaxie.



Une galaxie irrégulière
© HST



Une galaxie elliptique
© HST



Une galaxie spirale
© HST



Image de la Voie Lactée
prise depuis Cerro Paranal (Chili)
© ESO

Lorsque l'on se trouve dans une galaxie spirale et que l'on regarde autour de soi, on verra évidemment plus d'objets si l'on regarde dans la « tranche » : c'est cela qui crée l'impression de traînée brillante dans le ciel d'été, identifiée par nos ancêtres comme la « Voie Lactée ».

© ESO

Une galaxie spirale de type « grand design »
© HST

Une galaxie spirale de type floconneuse
© HST

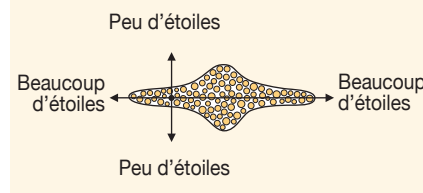
Une galaxie spirale barrée
© NOAO



Préparer la matière interstellaire en commençant par les composants principaux : matière organique, molécules simples, et hydrogène majoritaire. Pour ce faire, mélanger la levure fraîche émiettée avec un peu de lait et un peu de farine, laisser reposer quelques instants. Incorporer ensuite ce mélange organique aux œufs battus, le reste du lait, le sel et 100g de beurre. Déposer le tout au creux d'un puits creusé dans le composé principal, la farine-hydrogène. Pétrir jusqu'à ce que la pâte ne colle plus aux doigts. Laisser lever 1h. Étaler la pâte pour former un grand rectangle.



Les galaxies spirales sont constituées d'un disque complété par un bulbe central – en gros, de profil, elles ressemblent un peu à des soucoupes volantes. Comme leur nom l'indique, on les reconnaît grâce à la présence de morceaux de segments spiralés (appelés « bras spiraux ») plus ou moins nombreux.



On distingue facilement deux extrêmes : d'un côté, les « grand design » sont les plus rares (une galaxie spirale sur dix) mais les plus impressionnantes avec deux bras spiraux très imposants qui se déploient presque sur un tour complet ; de l'autre, les floconneuses sont plus nombreuses (trois spirales sur dix) mais présentent des structures moins marquées (bras nombreux quoique d'ouverture limitée).



Ne pas oublier d'ajouter les poussières interstellaires. Pour les créer, mélanger le beurre restant avec la casonade et tartiner la pâte avec. Disposer ensuite sur cet ensemble interstellaire des raisins-étoiles au gré de votre humeur.



51



Bien sûr, une forme spirale fait immédiatement penser à la rotation. Il est vrai que, dans une galaxie, toutes les étoiles ne se déplacent pas à la même vitesse : les étoiles proches du centre, plus rapides, font plusieurs tours alors que les plus éloignées n'en ont pas encore fait un seul ! C'est un peu comme faire tourner une boule sur laquelle on a collé de petits rubans : ils s'enroulent facilement. Cependant, cela n'explique pas tout. Comme pour les rubans, on devrait alors observer des structures spirales très serrées, s'enroulant plusieurs fois autour du centre, ce qui n'est pas le cas.

En fait, avant d'expliquer la structure en spirale, il faut comprendre pourquoi l'on voit si bien ces bouts spiralés ! Si l'on se penche sur la question, on trouve rapidement qu'il s'agit de zones denses, rassemblant de grandes quantités d'étoiles et de nuages interstellaires : c'est là le cœur du phénomène. Pour bien comprendre ce qui se passe, l'analogie avec un bouchon sur une autoroute s'avère utile. On le sait tous : là où il y a de nombreuses voitures, il y a un ralentissement, d'où accumulation de véhicules.

Bien sûr, ce ne sont pas toujours les mêmes voitures qui forment le bouchon : elles arrivent, subissent le ralentissement puis repartent. Il en va de même pour les étoiles : elles se déplacent chacune à leur rythme, mais si l'autoroute galactique est engorgée, elles ralentissent... et du coup, on en voit beaucoup au même endroit ! Un autre phénomène vient compléter l'affaire car, pour les nuages interstellaires, la situation est un peu différente. Au contraire des étoiles qui se frôlent sans jamais se toucher, ces nuages étendus vont entrer en collision, donnant naissance à de nouvelles étoiles. Parmi ces jeunettes, il existe des objets très brillants et bleus. Ce sont eux qui soulignent élégamment les structures spirales dans les photos célestes.



Les étoiles bleues soulignent particulièrement bien les bras spiraux de cette galaxie, baptisée NGC1232

© ESO



Former le motif spiralé «grand design» en roulant le tout dans le sens de la longueur. Couper en tranches de quelques centimètres de diamètre et déposer les tranches galactiques sur une plaque à pâtisserie. Laisser gonfler encore une bonne demi-heure, puis terminer vos galaxies en les enfournant 25 minutes à 175°C. Attendre que les galaxies refroidissent avant de les déguster.



Pour obtenir ces zones denses, deux théories sont avancées. La première est la détonation en cascade : une étoile, en mourant, envoie une onde de choc dans la matière interstellaire, ce qui provoque la formation de nouvelles étoiles, qui à leur tour mourront un peu plus tard...



Ces explosions en chaîne peuvent expliquer la présence de nombreux petits bras. La seconde théorie est celle de la perturbation : une asymétrie initiale ou un frôlement avec une consœur galactique peuvent perturber suffisamment une galaxie pour que de grands bras spiraux se forment, mais en nombre plus faible. On peut ainsi expliquer les deux grands types de spirales, et les cas intermédiaires suivent alors naturellement en mélangeant les deux processus...



Pour une version salée de la «brioche Voie Lactée» : mélanger la population stellaire bigarrée (poivron, jambon et mozzarella en petits cubes) à la poussière interstellaire (140g de concentré de tomates et un peu d'origan) ; répartir cette préparation sur la matière interstellaire gazeuse – une pâte feuilletée découpée en rectangle ; enrouler le tout suivant le petit côté et découper de petites tranches de 2 cm d'épaisseur environ ; enfourner 15 minutes à 150°C.

Soufflé structurel

Je cuisine



Je m'instruis



53



Homogène
et **isotrope**,
voilà les qualificatifs
que l'on retrouve en tête
de tous les livres de
cosmologie...
Pourtant,
quand on regarde en détail,
ce n'est pas la **structure**
qui manque dans notre Univers !

ingrédients

(pour 4 soufflés)

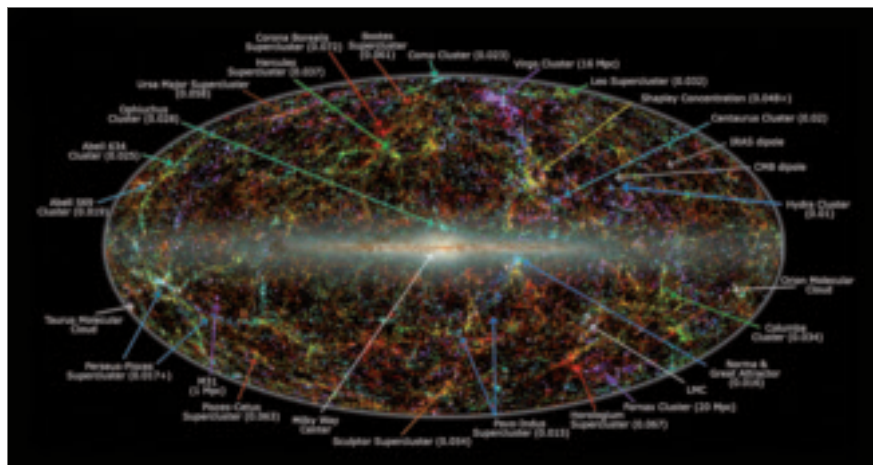
- ① Une gousse d'ail coupée en deux
- ② 3 cuillères à soupe de beurre
- ③ 2 cuillères à soupe de farine
- ④ 4 dl de lait
- ⑤ Une pincée de noix de muscade, sel et poivre
- ⑥ 200 g de fromage râpé (fromage d'ab-baye, emmental, gruyère – agrémenté d'un peu de parmesan si on le désire) ou de fromage de chèvre
- ⑦ 4 œufs
- ⑧ 3 cuillères à soupe de persil haché

préparation

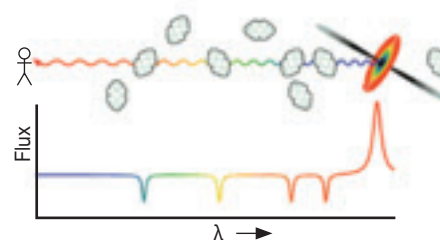
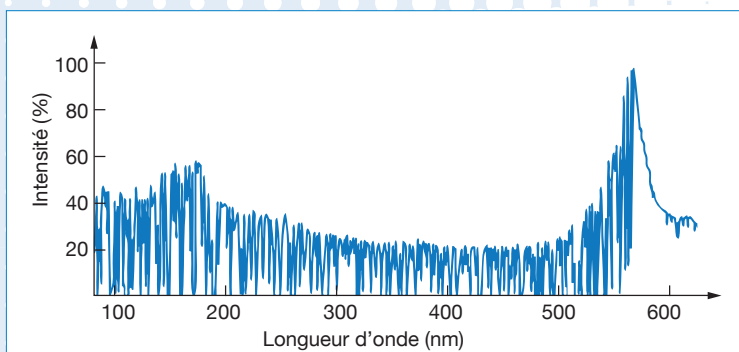


Trouver de la «structure» dans notre Univers n'est pas surprenant... On le voit tous les jours : des planètes aux galaxies, en passant par les étoiles, la matière ne semble en effet pas être organisée de manière très uniforme ! Cependant, on a longtemps cru qu'à plus grande échelle, le cosmos était assez lisse, sans grande structuration. Depuis un quart de siècle environ, il a néanmoins fallu fortement réviser cette hypothèse.

On a tout d'abord repéré que les galaxies ne se distribuaient pas totalement au hasard. Elles forment en effet des petits groupes, qui servent de «briques» pour les amas de galaxies, qui à leur tour viennent construire des «superamas». Est-ce là la dernière étape avant la grande uniformité ? Non ! Il existe bien des «structures à grande échelle».



Frotter quatre ramequins-univers avec la gousse d'ail et les beurrer en utilisant un tiers du beurre. Préparer la matière cosmique : chauffer le reste du beurre puis, quand il est mousseux, ajouter la farine en remuant continuellement. Laisser épaissir le tout deux minutes puis ajouter le lait et faire bouillir l'ensemble. Cuire ensuite deux minutes à feu doux. Assaisonner à volonté puis ajouter le fromage et attendre qu'il fonde. Incorporer alors les jaunes d'œufs et le persil. Monter les blancs d'œufs en neige, les ajouter ensuite délicatement, en plusieurs fois, au mélange fromager.



Comment les a-t-on repérés ? Deux techniques permettent en fait de montrer ces « grumeaux » universels. La première est l'observation précise d'un grand nombre de galaxies, ce que l'on appelle un survey. Après avoir déterminé la distance de ces galaxies, on construit des cartes 3D de notre cosmos et là, surprise : au lieu d'une belle peinture bien lisse, on a droit à ce qui ressemble à une toile d'araignée !

Une autre technique repose sur l'analyse de quasars lointains, des galaxies particulièrement lumineuses. Avant de nous parvenir, leur lumière parcourt d'énormes distances, et il n'est pas rare qu'elle rencontre des nuages de matière intergalactique. Chacun y imprime sa signature, et la lumière reçue sur Terre porte ainsi la trace de tous ces nuages : là aussi, la reconstruction 3D montre la présence de vides et de filaments enchevêtrés.

L'observation de cette toile cosmique, superbe et complexe, nous a livré quelques surprises. Ainsi, on a repéré en 1989 une « grande muraille » cosmique : situé à 200 millions d'années-lumière, ce mur de galaxies est épais de « seulement » 15 millions d'années-lumière mais il couvre une zone de 500 sur 300 millions d'années-lumière carrées. Longtemps considéré comme un record, cet assemblage a été dépassé en 2003 du titre de « plus grande structure connue de l'Univers » par la « grande muraille Sloan » (du nom du survey qui l'a déniché), environ 5 fois plus loin mais surtout presque 3 fois plus large.

En août 2007, changement de cap avec la découverte d'un « supervide ». Si son existence reste controversée encore aujourd'hui, ce « trou » dans la toile cosmique pourrait atteindre un milliard d'années-lumière !

Détail amusant : cette « toile » évolue. En effet, si l'on regarde bien les cartes 3D, on remarque que, plus on s'éloigne de la Terre, plus les structures semblent s'effacer. Cela se comprend aisément si l'on se souvient qu'en astronomie, « plus lointain » veut également dire « plus vieux »⁶.

⁶ La lumière met en effet un certain temps à nous parvenir. On voit ainsi le Soleil tel qu'il était il y a huit minutes, l'étoile la plus proche telle qu'elle était il y a quatre ans, et la galaxie d'Andromède telle qu'elle était il y a deux millions d'années ! L'Univers est une véritable machine à remonter le temps !



Carte montrant la distribution des galaxies
© 2MASS



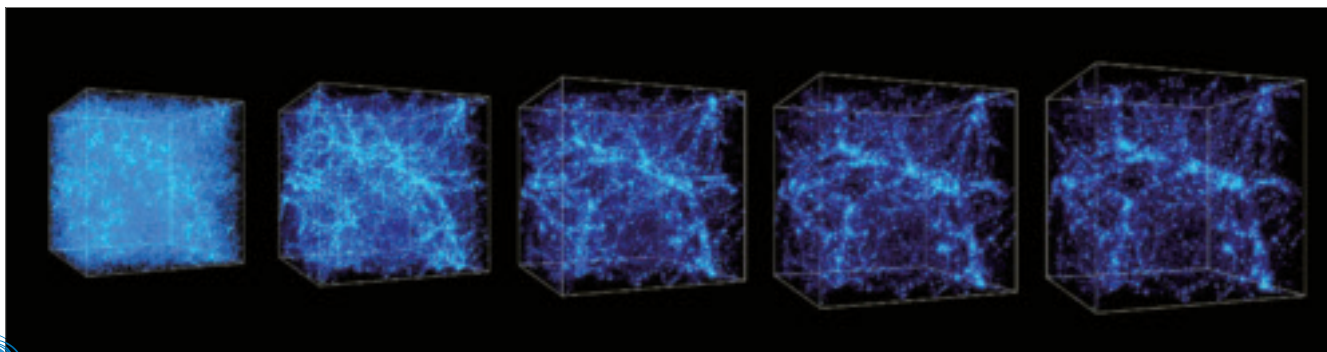
Observation du spectre (c'est-à-dire la distribution de l'intensité lumineuse avec l'énergie) d'un quasar lointain.

La « forêt de Lyman » est cet ensemble de lignes verticales chacune étant la trace d'un nuage intergalactique.



Ces signatures ne sont pas toutes à la même position car, à cause de l'expansion de l'Univers, on les observe à différentes vitesses – faibles pour les nuages proches, grandes pour les nuages éloignés.

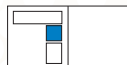




56

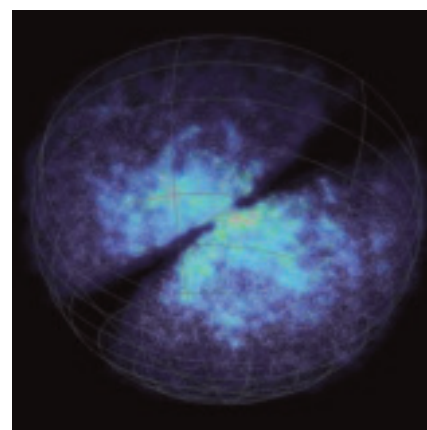


Reproduction des structures à grande échelle
par un modèle cosmologique
© NCSA/A. Kravtsov (Univ. of Chicago)



Tranche d'Univers observée lors d'un survey :
le point central est la Terre
et les points bleus, situé de part et d'autre,
représentent chacun une galaxie.
On repère facilement les filaments
et les vides de la toile cosmique.
Notez l'évolution de ces filaments,
qui semblent se dissoudre
avec la distance à la Terre.
© 6dF

Les structures se construisent donc petit à petit, ce qui est tout à fait normal puisque, la gravité étant une force uniquement attractive, elle ne peut en effet agir que dans un sens : rapprocher les masses ! Des grumeaux petits au départ attireront de plus en plus de matière voisine, construisant des filaments de plus en plus denses et faisant en même temps grandir les vides qui les séparent. Ce processus peut d'ailleurs aujourd'hui être reproduit par les meilleurs modèles cosmologiques.



Bien mélanger le tout et remplir les ramequins avec cette matière primordiale. Faire cuire 12 à 15 minutes à 200°C et servir de suite. Déguster en découvrant l'enchevêtrement de structures (filaments et trous) de ces univers miniatures. Attention, si l'on attend trop longtemps, les structures disparaîtront, reprenant leur forme « lisse » primordiale...



Brownie universel

Je cuisine



Je m'instruis



57

Qui a éteint la lumière ?

Il fait tout noir !

*C'est la question en apparence saugrenue que pourrait se poser tout amateur d'astronomie en découvrant que **95%** de l'Univers est « **noir** », soit non perceptible directement. Ce mystère, loin d'être résolu, occupe à temps plein les cosmologistes actuels, les transformant en détectives.*

ingrédients

(pour une trentaine de brownies)

- ② 200 g de chocolat noir
- ② 100 g de noix broyées grossièrement
- ② 150 g de beurre salé
- ② 125 g de sucre
- ② 4 œufs
- ② 75 g de farine fermentante

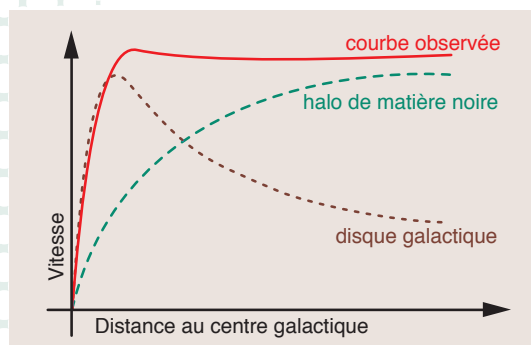
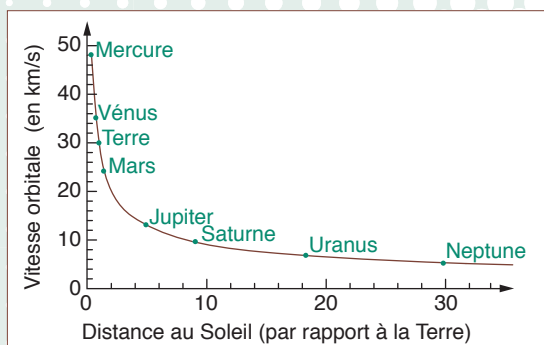
préparation



Notre premier contact avec le cosmos se fait généralement via l'observation des étoiles. Il est alors normal de s'imaginer qu'elles constituent le composant essentiel de notre Univers. Pourtant, une bonne partie du contenu « normal » de cet Univers est en fait un mélange gazeux caché à nos yeux, piètres instruments optiques.

Il faut ainsi explorer les couleurs invisibles de la lumière⁷, rayons X ou ondes radio, pour débusquer le gaz très chaud ou très froid situé entre les étoiles ou entre les galaxies. Une fois épuisé tout l'arc-en-ciel lumineux, tant visible qu'invisible, il reste néanmoins un problème : toute cette matière ne représente que 5% du contenu du cosmos ! Cette conclusion surprenante repose sur des faits concrets et, tout comme on devine une présence cachée en observant un spectacle de marionnettes, on devine ici aisément qu'il manque quelque chose à notre compréhension de l'Univers.

⁷ Voir à ce sujet « Les couleurs de l'Univers », Belin, du même auteur.



Quelles sont ces observations dérangeantes ? Tout d'abord, des mouvements anormaux. Prenons l'exemple du Système solaire : les planètes éloignées du Soleil, comme Neptune, se déplacent bien plus lentement que les planètes proches, comme Mercure. C'est une simple conséquence de la masse énorme du Soleil (qui centralise à lui seul 99,86% de la masse totale du Système solaire), une chose que l'on peut expliquer facilement depuis des siècles avec nos théories physiques. Si l'on regarde les mouvements des astres dans les galaxies, on s'attend à une observation similaire, car le centre des galaxies est brillant, donc concentre la majorité du gaz et des étoiles. Pourtant, tous les astres, qu'ils soient proches ou éloignés du centre, se baladent à la même vitesse ! Pour réconcilier cette observation avec nos théories actuelles, il faut faire appel à un halo de matière invisible, dite « matière noire » ou « matière sombre », qui serait jusqu'à dix fois plus massif que l'ensemble de la matière normale ! De même, les mouvements des galaxies dans les groupes ou amas de galaxies sont trop rapides : ces structures devraient rapidement se disloquer, sauf s'il existe une importante masse additionnelle, invisible donc « noire ».



Préparer d'abord la matière sombre. Faire fondre le chocolat et le beurre (soit au bain-marie, soit à feu très doux dans une poêle antiadhésive, soit au four à micro-ondes – 2 à 3 min à 800 W). Ajouter le sucre, puis les œufs un par un, en mélangeant bien à chaque ajout, et enfin la farine.



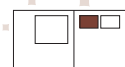
D'autres problèmes ont été repérés dans ces amas de galaxies. Ainsi, le gaz enflammé baignant ces mêmes amas ne peut rester en place, sans se disperser, que s'il existe de la masse supplémentaire (quoiqu'invisible) pour le retenir. La position de ce gaz chaud pose également problème lorsque l'on observe des collisions d'amas, avec toujours la même conclusion : il manque de la matière, qu'on ne « voit » par aucun moyen actuel.

Un résultat similaire est obtenu quand on peut estimer directement la masse d'une galaxie ou d'un amas, sans passer par les mesures de vitesse ou autre.



Le ciel, par une belle nuit...

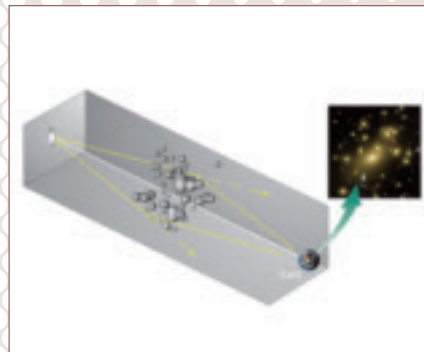
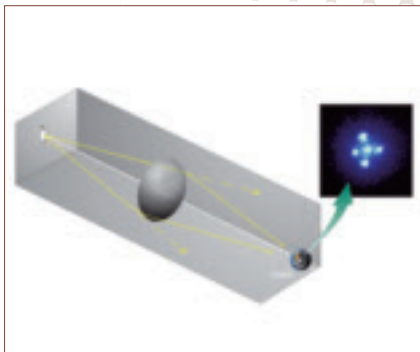
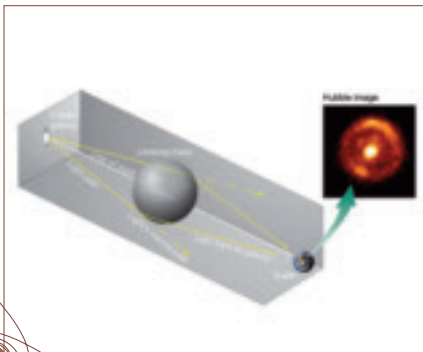
© APOD



Mouvements des planètes dans le Système solaire



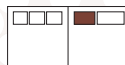
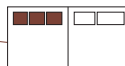
La courbe de vitesse observée ne correspond pas à celle que l'on attend sur base des observations du disque galactique : il faut ajouter la contribution d'un halo de matière inconnue et invisible, ou changer les théories.



60

La lumière d'un objet lointain peut nous apparaître distordue, à cause de la déviation de la lumière par les masses rencontrées sur son chemin.

C'est l'effet de lentille gravitationnelle
© ESA

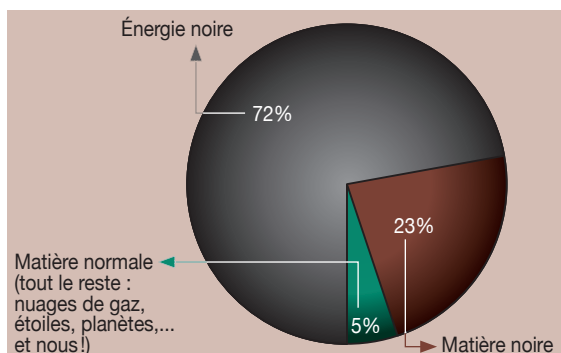


Notre Univers est très sombre !

C'est notamment le cas des lentilles gravitationnelles. Contrairement à ce que l'on apprend à l'école, la lumière ne se propage pas en ligne droite. Toute masse est en effet capable de la dévier du « droit chemin ». Plus les masses en jeu sont importantes, plus les déviations augmentent. Elles deviennent même capables de jouer un rôle de lentille, comme dans un système optique ! Ces effets, aujourd'hui bien connus, peuvent être mesurés précisément. Comme déviation et masse en jeu sont liées, la masse de la lentille peut alors être facilement déduite de l'observation de ces objets... et là encore, la valeur dépasse de loin la masse estimée sur base de la brillance de l'objet-lentille !

L'analyse du rayonnement de fond cosmologique (voir p64) et des grandes structures de notre Univers (voir p53) vient aussi appuyer ces conclusions. Tout d'abord, la taille caractéristique des « grumeaux » du rayonnement fossile est étroitement liée à la distribution de matière primitive. Pour le comprendre, tentons une comparaison avec le son : si l'on frappe une cloche, une onde sonore se propage, via une succession de surdensités et de raréfactions qui s'estompent au fil du temps.

La vitesse de ce son dépend de la densité du milieu : le son se propage plus vite dans un métal que dans de l'air raréfié et l'affaiblissement de l'onde sonore dépend de la densité du milieu rencontré ! Il en va de même dans l'Univers primitif : la matière, au gré de la gravité, forme des petites surdensités (des « grumeaux » primitifs) mais la pression exercée par la lumière a tendance à les lisser – donc à les faire disparaître. Grâce au rayonnement fossile, on possède une « photo » de la configuration « grumeleuse » de l'Univers en l'an 380 000 après le Big Bang. La taille caractéristique des « grumeaux » dépendant de la densité de matière primitive, on peut déterminer combien il y avait de matière au départ. Là encore, on trouve un résultat bien supérieur à la valeur mesurée aujourd'hui pour la matière « normale ».



61

En outre, le problème de matière manquante se fait également sentir lorsqu'on compare ces «grumeaux» primitifs et les grandes structures de l'Univers. Les premiers ont donné naissance aux seconds, mais il n'y a tout simplement pas eu assez de temps pour que les minis-grumeaux fossiles évoluent et forment les grandes structures observées actuellement ! Pour obtenir ces structures en une dizaine de milliards d'années, il faut qu'il existe de la matière en plus, matière assez insensible à la pression de la lumière et qui aurait donc pu commencer à se concentrer plus rapidement que la matière «normale»...



Pire encore : en étudiant des explosions appelées supernovae dans des galaxies lointaines, les cosmologistes ont montré que notre Univers était en expansion accélérée. Il existe donc «quelque chose» qui contrecarre la tendance naturelle de la gravité à regrouper les choses. Ce «répulsif» naturel, de nature encore inconnue, a été baptisé «énergie noire» ou «énergie sombre».



Déposer la matière céleste dans un plat rectangulaire recouvert de papier cuisson, et faire agir l'énergie sombre en cuisant l'ensemble au four préchauffé à 150°C durant 25 à 35 min. Après une phase d'expansion, laisser refroidir cet univers sombre (mais calorique) et le déguster par petits morceaux carrés. Remarquer la faible proportion de matière «normale» dans cette masse sombre.



Tous comptes faits, l'Univers se composerait ainsi de 72% d'énergie noire, 23% de matière noire et 5% de matière «normale»... à moins qu'il ne faille changer nos théories de la gravité ! Les recherches s'intensifient donc, soit pour dénicher les composants exotiques capables d'expliquer la matière et l'énergie noires, soit pour bâtir une nouvelle physique, qui se passerait de ces noirceurs effrayantes.



Bien mélanger le mélange sombre à la composition désormais difficile à discerner. Ajouter enfin le peu de matière normale de cet univers : les morceaux de noix.



Je cuisine



Je m'instruis

62

Qui n'a entendu parler du
fameux **Big Bang**,
« **explosion** »
originelle

ayant donné naissance

à notre Univers ?

S'il est difficile de reproduire

l'Univers dans son salon,

il est cependant possible d'en

faire une copie

à deux dimensions dans son four.

Elle aura en outre l'avantage

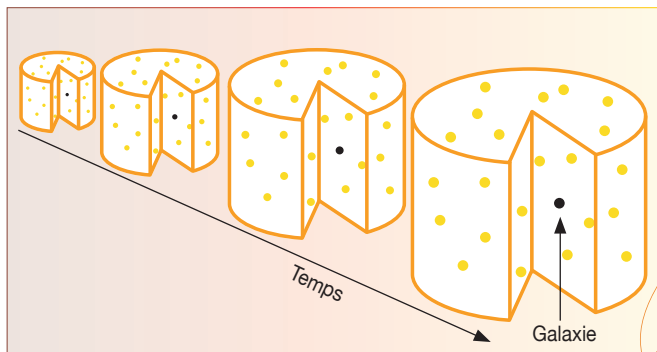
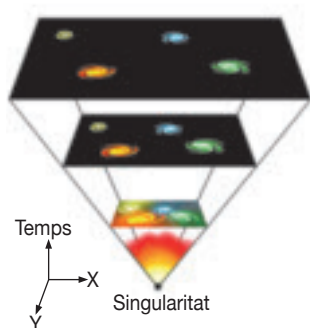
d'être mangeable, ce qui n'est pas

le cas de notre cosmos

(en tout cas pas dans sa totalité)...

Big Bang cookie





63

L'abbé Georges Lemaître, père du Big Bang
© Wikipedia

L'Univers en expansion est un peu comme
un gâteau qui gonfle, chaque morceau a
l'impression que tout s'éloigne de lui,
alors qu'aucun n'occupe une place particulière !
© Wikipedia

ingrédients

(pour une dizaine de grands cookies)

- ① 175g de farine
- ② 100g de beurre salé mou
- ③ 100g de cassonade
- ④ 70g de sucre semoule
- ⑤ Un sachet de sucre vanillé
- ⑥ Un œuf
- ⑦ 100g de noix broyées grossièrement
- ⑧ 100g de chocolat coupé en morceaux
- ⑨ Quelques smarties ou M&M's (couleurs au choix)

préparation



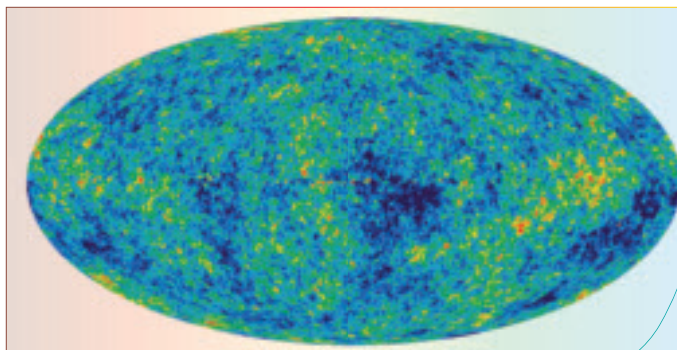
Il y a un siècle, un astronome américain appelé Vesto Slipher entreprend de mesurer les vitesses de quelques galaxies. Surprise : toutes les galaxies lointaines semblent s'éloigner de nous. C'est un Belge, Georges Lemaître, qui comprend l'importance de cette découverte. Triturant les équations de la Relativité Générale, il montre en 1927 que l'Univers ne peut être statique. Utilisant les vitesses de Slipher et la théorie d'Einstein, il montre que plus une galaxie est lointaine, plus elle s'éloigne de nous – autrement dit, l'Univers est en expansion ! Deux ans plus tard, Edwin Hubble et son assistant Milton Humason observent encore plus de galaxies et confirment l'intuition de Lemaître. Celle-ci est pourtant aujourd'hui connue sous le nom de « loi de Hubble », et non loi de Lemaître malgré l'antériorité de ses travaux...



Pour construire un espace-temps comestible. Mélanger le beurre et les sucres (vanillé, roux, semoule), ajouter l'œuf et bien mélanger. Ajouter graduellement la farine, puis les morceaux de noix et de chocolat. Une fois la pâte-espace-temps bien homogène, déposer des galettes rondes de 5 cm de diamètre minimum et d'un centimètre environ d'épaisseur sur une plaque à pâtisserie recouverte de papier cuisson. Déposer les galaxies-smarties sur le dessus, serrées mais sans être en contact. Mesurer les distances entre elles.



On peut évidemment rembobiner le film à l'envers : puisque les objets lointains s'éloignent aujourd'hui, cela implique qu'ils devaient être très proches par le passé... En 1931, Lemaître propose d'appeler cet état de départ « l'atome primitif », une théorie raillée par un confrère anglais qui lui donne le nom de « Big Bang » – appellation qui est restée depuis !



Difficilement détectable, le rayonnement de fond cosmologique fut découvert en 1965. Depuis, on a pu préciser sa distribution dans toutes les directions, comme le montre une carte récente reproduite ci-contre.

© WMAP



Cuire les cookies-univers une dizaine de minutes à 180°C, jusqu'à ce qu'ils soient légèrement brunâtres. Les laisser bien refroidir (la chaleur primordiale doit avoir disparu), de préférence sur une grille pour qu'ils soient bien croustillants. Mesurer de nouveau les distances entre les galaxies-smarties... Elles se sont bien éloignées les uns des autres : les cookies-univers ont subi une expansion !



Avec le temps, diverses observations sont venues renforcer cette théorie :

- Une lueur fossile, appelée « **rayonnement de fond cosmologique** », baigne notre Univers. Cette lumière indique que notre cosmos est passé par une phase très chaude, avant de se refroidir. Lumière et matière sont en fait nées ensemble, et elles sont restées intimement mêlées pendant 380 000 ans. Les ions, positifs et négatifs, de cette matière interagissaient alors constamment avec les grains de lumière, les emprisonnant. Une fois l'Univers suffisamment refroidi, la matière s'est assemblée en atomes neutres, libérant cette lueur fossile qui nous entoure encore aujourd'hui.

Preuves de l'interaction primitive matière-lumière, les « grumeaux » observés dans le rayonnement de fond reflètent les non-uniformités de masse de l'Univers primitif. Les zones plus denses ont donné naissance, avec le temps et l'expansion, aux grandes structures de l'Univers (voir p 53).

- Les éléments chimiques lourds se forment au cœur des étoiles et lors de leur mort, selon des processus nucléaires aujourd'hui bien connus. Toutefois, pour expliquer la **présence massive d'hélium** – un quart de la masse du cosmos, pour trois-quarts d'hydrogène et quelques infimes traces d'éléments plus lourds ! – les étoiles ne suffisent plus... Ces grandes quantités d'hélium se sont en fait constituées peu de temps après le Big Bang.
- L'étude de la **luminosité d'objets lointains**, comme les explosions de supernovae par exemple, permet de suivre l'expansion de l'Univers, de préciser sa forme et même son contenu (voir p 57).

Le Big Bang est devenu aujourd'hui un modèle « standard » pour expliquer l'Univers tel que nous le connaissons aujourd'hui : jusqu'ici, on n'a rien trouvé de mieux que ce modèle « belge ».



Et les astronautes, ils mangent quoi?

Je cuisine



Je m'instruis



65



Après le traditionnel problème
des toilettes dans l'espace,
la question la plus souvent
posée aux voyageurs spatiaux
concerne la **nourriture**
– on mange quoi
dans l'espace ?

La réponse risque
d'en surprendre plus d'un :
on mange de tout...
oui, mais pas n'importe comment !

© ESA



Spécial, l'espace !

C'est vrai que manger dans l'espace n'est pas une mince affaire !

Il y a tout d'abord le problème de l'apesanteur. Flotter sans entraves nous paraît certes très amusant, mais c'est tout de suite moins drôle s'il faut chasser son hamburger se baladant à travers l'habitacle... En effet, un simple geste un peu brusque, et voilà votre repas qui s'envole, les liquides prenant au passage la forme sphérique immortalisée par le whisky en lévitation du capitaine Haddock dans « Objectif Lune » ! En plus, les miettes et gouttelettes en tous genres causent de véritables problèmes car elles peuvent endommager le matériel ou, plus grave, encombrer les poumons des travailleurs de l'espace.

Ensuite, il y a les restrictions habituelles du spatial : plus c'est lourd et/ou encombrant, plus c'est cher à envoyer là-haut : ainsi, satelliser un kilogramme coûte environ 10 000 euros !

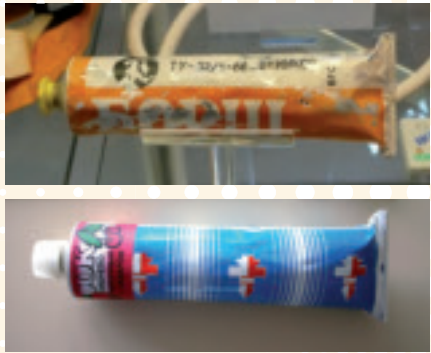
Il faut donc limiter la masse et le volume des paquets de nourriture destinés aux astronautes... sans oublier de minimiser les déchets ! Il n'y a évidemment pas ici de jardin avec bac à compost ou de service communal venant relever vos poubelles chaque semaine. Les déchets sont stockés dans l'habitacle jusqu'au retour sur Terre (pour les missions courtes, comme celles de la navette) ou jusqu'à l'arrivée du prochain vaisseau de ravitaillement⁸ (pour la station spatiale internationale ou ISS). Et quand on parle de déchets à limiter, cela concerne évidemment tous les déchets : par exemple, les toilettes primitives des premiers vaisseaux ne facilitaient pas tellement les « grosses commissions ». Ainsi, la proportion de fibres dans les menus spatiaux était volontairement maintenue la plus basse possible. Heureusement, l'amélioration du système d'évacuation mit rapidement fin à cette restriction.

Enfin, il y a deux problèmes spécifiques à la nourriture. Le premier, c'est l'absence d'aération – pas question d'ouvrir un hublot sous peine de mort immédiate ! L'espace confiné des habitacles spatiaux ne permet donc ni de griller son steak (bonjour la fumée... qui se transforme en brouillard persistant pour le reste de la mission !) ni d'emporter son Maroilles préféré, même si l'on est ch'ti (car Maroilles un jour, Maroilles toujours... Ça ne vous crée pas que des amis dans une navette !). Certains commandants de bord ont même un leitmotiv : « pas de banane à bord », l'odeur inoffensive de ce fruit tapant apparemment sur les nerfs quand on y baigne plusieurs jours d'affilée... Le second problème, c'est l'absence de réfrigération⁹. La nourriture doit donc « tenir » à température ambiante : tout menu spatial subit donc avant le départ un contrôle microbien strict. Par contre, on peut chauffer les aliments sans problème, ce qui permet un peu de casser la routine du « tout-tempéré ».

⁸ Une fois déchargé, le vaisseau cargo est rempli d'une dizaine de tonnes de déchets, et l'ensemble brûle ensuite dans l'atmosphère terrestre. Problème : le stockage, car le délai entre deux ravitaillements peut atteindre six mois !

⁹ La seule mission avec réfrigérateur fut Skylab. Cette amélioration ravit les astronautes, mais l'expérience ne fut pas renouvelée pour des questions de facilité et d'encombrement. Les astronautes profitent alors de la moindre occasion. Ainsi, s'ils doivent par exemple procéder à des expériences médicales prévoyant un retour d'échantillons réfrigérés au sol, ils en profitent pour réfrigérer leurs boissons ou stocker de la crème glacée et d'autres gâteries dans le container scientifique réfrigéré...





D'hier à aujourd'hui

Le problème de la nourriture spatiale est aussi vieux que l'exploration humaine du cosmos. En effet, dès le deuxième vol spatial (qui a duré une journée complète), le cosmonaute German Titov a testé un menu spécifiquement élaboré pour l'espace : soupe de légumes, pâté de foie, et jus de cassis... le tout dans de magnifiques tubes ressemblant à s'y méprendre à nos tubes de dentifrice ! Côté américain, ce n'était pas plus appétissant. John Glenn emportait dans son vaisseau Mercury quelques tubes, des petits cubes de nourriture agglomérée censés être roboratifs et des aliments lyophilisés. Il n'a finalement goûté qu'à un peu de sauce aux pommes en tube... En fait, tout cela n'était guère attrayant, et il n'était pas rare de voir revenir sur Terre des provisions intactes. Pire, certains astronautes se sont rebellés tel Gus Grissom qui a introduit un sandwich « ordinaire » en contrebande lors de la mission Gemini III...



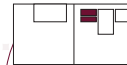
Petit à petit la variété (tant dans la forme que dans le contenu) est entrée dans les menus des astronautes. Aujourd'hui, les habitants de la station spatiale choisissent parmi 200 recettes américaines, une centaine de menus russes, et un assortiment plus exotique proposé par les astronautes non occidentaux. En accord avec des diététiciens, ils établissent leurs menus (soit, par jour, 3 repas et deux snacks), et ce plusieurs mois à l'avance. Finalement, le tout est chargé à bord peu de temps avant le départ. Par exemple, la nourriture américaine arrivait au centre Kennedy en Floride trois semaines avant le lancement et était stockée dans la navette deux ou trois jours avant le départ.



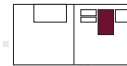
67



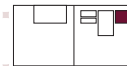
Des astronautes en plein repas sur une table pliante de l'ISS
© ESA



Les premières nourritures pour cosmonautes : un tube de borsch et un tube de jus pomme-cerise.
© ESA/Russia Space Agency



Sandra Magnus, qui visita la station spatiale en 2009, aimait préparer à manger - quitte à passer 4h à préparer des oignons ! On la voit ici avec une tortilla...
© NASA



L'astronaute Loren Shriver teste les M&M's à bord de la navette spatiale en 1992
© NASA



68

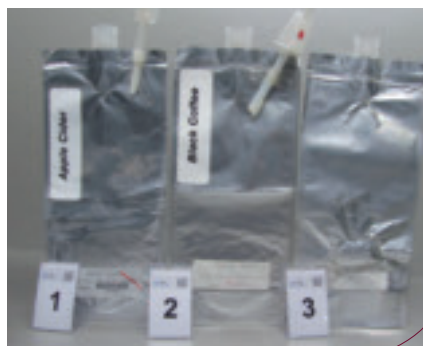
Un assortiment de nourritures spatiales...
© NASA

Les astronautes déposent généralement leurs aliments sur un plateau comme celui-ci. Remarquez les couverts : fourchette, couteau... et ciseaux, indispensables pour couper les pochettes alimentaires (il manque la cuillère, LE couvert spatial par excellence, utile pour manger le contenu des dites pochettes). Tout ce beau monde est attaché par du velcro et des élastiques pour éviter l'envol général.
© NASA

Sept types de nourriture sont disponibles :

- **Des aliments frais**, par exemple des fruits et légumes (oignons et ail sont très populaires) à manger dans les premiers jours de la mission ou du ravitaillement ; ainsi que des tortillas. Ces dernières remplacent avantageusement le pain qui se conserve mal, produit beaucoup de miettes et ne permet pas de jouer au frisbee...
- **De la nourriture dite «sous forme naturelle»**, non traitée : par exemple les bonbons (les M&M's sont très populaires pour la variété de jeux auxquels ils se prêtent), des noix, des cookies (assez petits pour être avalés en une bouchée, évitant les miettes), des sucreries en tous genres. Ici, pas de problème de conservation : les sucreries sont faites pour rester longtemps dans les distributeurs terrestres...

- **Des aliments séchés**, eux aussi non traités : par exemple des abricots secs, des dattes, du bœuf séché, qui ne demandent aucune préparation.
- **De la nourriture thermostabilisée**, c'est-à-dire stérilisée par chauffage pour éviter le développement de microbes. En clair, il s'agit de nos bonnes vieilles conserves, que l'on retrouve dans des boîtes métalliques chez les Russes et dans des poches plastiques souples chez les Américains. C'est le procédé qui offre la plus grande variété d'aliments : préparations de poissons, viandes, légumes et fruits – tout est possible ou presque.
- **Des aliments irradiés**, par exemple la dinde fumée ou des saucisses fumées, qui se conservent très longtemps à température ambiante. Les rayonnements ionisants permettent ici de tuer les bactéries, augmentant ainsi la durée de conservation.



- **De la nourriture réhydratable**, dont la préparation consiste à injecter de l'eau (chaude ou à température ambiante) avec une seringue. Cette catégorie comprend les boissons¹⁰ en poudre (jus de fruits, soupes, chocolat au lait) mais aussi les aliments lyophilisés (c'est-à-dire congelés puis déshydratés) comme le cocktail de crevettes et les macaronis au fromage. Ce genre de choses était surtout utilisé dans la navette américaine : les piles à hydrogène qui y assurent l'approvisionnement électrique rejettent naturellement de l'eau durant leur fonctionnement. Il est donc inutile de s'encombrer de ce liquide, lourd et encombrant, lors du décollage. Pour certains de ces aliments, la simple salive suffit à rajouter l'eau indispensable à la préparation (voir photo de crème glacée page suivante).

- **Des condiments**, par exemple sel, poivre, ketchup, mayonnaise. Les deux premiers ont droit à un traitement spécial : ils sont fournis sous forme liquide, le sel dissous dans un peu d'eau et le poivre en suspension dans l'huile. En effet, on imagine bien les dégâts d'un nuage de poivre venant titiller le nez des astronautes à un moment crucial, type «Houston, we have a problem»...

Dans la mesure du possible, les aliments vendus dans le commerce sont utilisés, pour diminuer le coût de la nourriture. En effet, les menus spécifiquement développés pour l'espace coûtent environ 350 euros par portion en Russie. Cependant, les repas vendus dans les supermarchés ne sont pas une panacée : il faut faire attention à la teneur élevée en sel et en graisses, qui ne cadre pas toujours avec le sain menu des voyageurs...

¹⁰ Les bulles sont évidemment à proscrire : les renvois (qui ne se font pas naturellement car les bulles ne «remontent» pas en microgravité) produiraient des nuages de gouttelettes pouvant provoquer des courts-circuits tandis que les gaz évacués «par l'arrière» seraient malvenus dans un endroit confiné... Bières et sodas ne font donc pas partie du menu «spatial», quoiqu'il y ait eu en 1985 un test de Coca et Pepsi sur la navette STS-51F – sans grand succès auprès des astronautes, d'ailleurs. La vodka ne présente pas ce genre de problème, mais il ne faut pas en abuser...

L'astronaute André Kuipers sur l'ISS, devant l'armoire à repas : les containers bleus sont américains, les rouges sont russes.
© ESA

Assortiment d'aliments déshydratés : de gauche à droite, thé, pudding chocolat, œufs brouillés, pudding vanille, nouilles au poulet
© Wikipedia

Assortiment de boissons : de gauche à droite, jus de pomme, café, thé.
© Wikipedia



De tous les aliments spatiaux lyophilisés, le plus connu est sans conteste la crème glacée. Il s'agit bien de nourriture développée pour des astronautes, suite à leur demande pressante.

Cette crème glacée a même volé en 1968 sur la mission Apollo 7, mais les astronautes ne furent pas très enthousiastes : si la chose avait bien le goût de la crème glacée, cela ressemblait plutôt à de la craie en bouche, la saveur glacée et crémeuse ayant bien évidemment disparu avec la lyophilisation...

Particulièrement inspiré, un responsable marketing de la société ayant produit cette glace eut alors l'idée de la vendre aux visiteurs des musées scientifiques : c'est aujourd'hui un des souvenirs muséaux les plus vendus au monde !

© Wikipedia

Si l'on ne fait pas attention, la nourriture se met à flotter dans l'habitacle !

© NASA



Et demain ?

Emporter sa nourriture, c'est bien, mais cela ne peut fonctionner que pour des missions courtes. Pour aller sur Mars, ou plus loin encore, pas question d'emporter son sandwich ! La seule solution dans ce cas, c'est de générer sa propre nourriture et de recycler. Des essais de culture ont été réalisés, et on estime qu'il faut compter environ 30 m² de surface cultivée par astronaute, en arrosant peu, en éclairant 24h/24 et en plongeant les plantes dans une atmosphère riche en dioxyde de carbone. Il est clair que les menus devront alors se passer de steak, poisson, et autre œuf – ils seront alors strictement végétaliens... Les diététiciens travaillent actuellement à l'élaboration de tels menus.



Une recette du futur ?

Le burger de haricots

(pour 6 personnes)

- ⑤ 800 g de haricots rouges, égouttés
- ⑤ 2 tasses de riz brun cuit
- ⑤ 1/4 de tasse d'oignons verts hachés
- ⑤ 2 cuillères à soupe de ketchup ou sauce tomate
- ⑤ 1/2 cuillère à soupe de poudre d'ail
- ⑤ 1 cuillère à soupe d'origan
- ⑤ 1/8 de cuillère à soupe de thym
- ⑤ 1/4 de cuillère à soupe de sauge
- ⑤ 1/2 cuillère à soupe poivre
- ⑤ 1/2 cuillère à soupe de sel

Bien mélanger tous les ingrédients puis les écraser finement. Former six burgers avec cette pâte et les cuire à la poêle antiadhésive jusqu'à ce que les deux côtés soient bien colorés.



71



L'espace à la maison

Quelques vraies recettes spatiales :

Cubes de bacon (pour les courageux)

Frir 500 g de bacon jusqu'à ce qu'il soit doré, placer le bacon dans une presse à hamburger et bien presser ; laisser refroidir le bacon pressé ; manger courageusement un petit morceau.

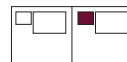
La NASA découpait ces barres de bacon en cubes, les recouvrait d'un film comestible permettant d'éviter les miettes, et les stockait dans des poches plastiques (cf. photo ci-dessus). Pour l'anecdote, le premier repas sur la Lune, pris par Aldrin et Armstrong après l'atterrissage et avant le fameux « premier pas », consistait en cubes de bacon, pêches au sirop, cubes de cookies, jus pamplemousse-ananas, et café...



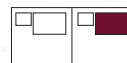
Céréales spatiales

(pour une personne)

Déposer dans un sac plastique refermable une tasse de vos céréales préférées, un tiers de tasse de poudre de lait, et 2 cuillères à soupe de sucre. Quand la faim vous démange, ouvrir le sac, lui ajouter une demi-tasse d'eau, refermer le sac et le secouer vigoureusement pour bien mélanger les ingrédients ; ouvrir ensuite le sac et manger immédiatement avec une cuillère – en espérant probablement ne pas devoir faire cela trop souvent.

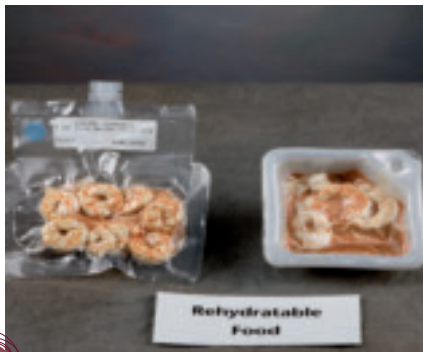


Cubes de bacon
© NASA



Le pilote Charles Fullerton réhydrate consciencieusement ses céréales.
© NASA





72

La nourriture préférée des astronautes :
le cocktail de crevettes, bien sûr déshydraté
© NASA

La préparation de repas à bord de l'ISS
exige une certaine concentration.
© NASA



Cocktail de crevettes

(pour 4 personnes)

Rincer 500 g de crevettes décortiquées, laisser tremper 10 minutes dans de l'eau salée (3/4 de cuillère à soupe de sel par litre d'eau), égoutter, réserver ; préparer un mélange d'épices composé de 1 cuillère à soupe de jus de citron, 1 cuillère à soupe de tabasco, 1/4 de cuillère à soupe d'oignons déshydratés, 1/4 de cuillère à soupe de sel de céleri, 1/4 de cuillère à soupe d'ail en poudre et 1/4 de cuillère à soupe de sel ; déposer ce mélange dans un litre d'eau et faire bouillir ; à l'ébullition, ajouter les crevettes et laisser cuire 6 à 8 minutes ; égoutter et réfrigérer.

Ajouter ensuite la sauce cocktail, façon américaine, soit le mélange d'une demi-tasse de ketchup, d'une cuillère à soupe de raifort, de deux cuillères à soupe de jus de citron vert, d'une cuillère à soupe de sauce Worcester, d'une cuillère à soupe de crème fraîche, de quelques gouttes de tabasco, du sel et du poivre à volonté. Les puristes européens préféreront un mélange mi-ketchup, mi-mayonnaise et une larme de whisky à la place du raifort.

Lors des missions spatiales, la NASA déshydrate les crevettes et la sauce cocktail. Pour la petite histoire, les cinq aliments les plus populaires chez les astronautes américains sont en premier le cocktail de crevettes – de préférence bien épicé – puis, dans l'ordre, la limonade (non pétillante), le steak, les M&M's et les brownies.

Faut pas jouer
avec la nourriture...
quoique...

Je cuisine



Je m'instruis



73

Enfant,

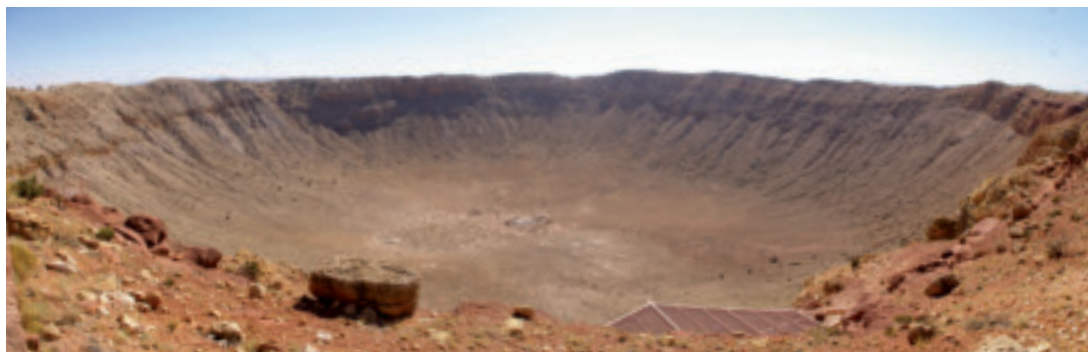
on nous a toujours répété

*qu'il ne fallait **pas** jouer
avec la **nourriture**.*

C'est vrai, mais c'est

si amusant...

Alors, comment résister ?



Il y a 40 000 ans, un objet de 50 m de diamètre (soit environ 300 000 tonnes) tombait au-dessus de l'Arizona. La moitié se vaporisa avant l'impact, mais le reste créa un cratère de 1,2 km de diamètre, 170 m de profondeur et dont le bord s'élève de 45 m au-dessus des plaines environnantes. Au centre du cratère, on trouve une couche de plus de 200 m de gravats. Il s'agit d'un des plus célèbres cratères terrestres : le Meteor Crater.

Un gros rocher est tombé dans une zone contenant de l'eau en sous-sol (voir aussi p 14-15) - un cratère s'est formé, entouré d'une couronne de boue et de mini-rivières créées par l'impact.

© ESA

La surface cratérisée de Mercure
© NASA

Inspiré de « Traces of Catastrophes »
par B.M. French (Lunar and Planetary Institute)



Cratères à gogo

S'il est une chose que l'on retrouve partout dans le Système solaire, ce sont ces structures rondes (ou ovales) appelées cratères ! Plus ou moins nombreux, et plus ou moins grands, ils criblent les surfaces rocheuses des planètes, lunes, et astéroïdes. Certains ont cru qu'il s'agissait de sommets de volcans – les cratères nommés *calderas* sur Terre – mais le magma n'a rien à faire là-dedans. Ces cratères sont en fait les traces des plus gigantesques cataclysmes du Système solaire : les impacts !

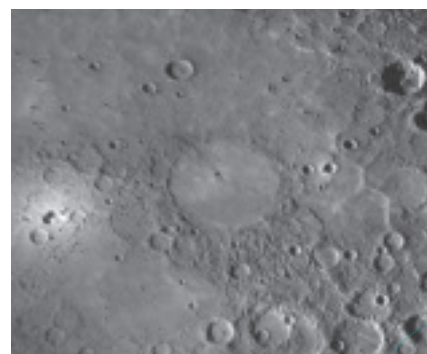
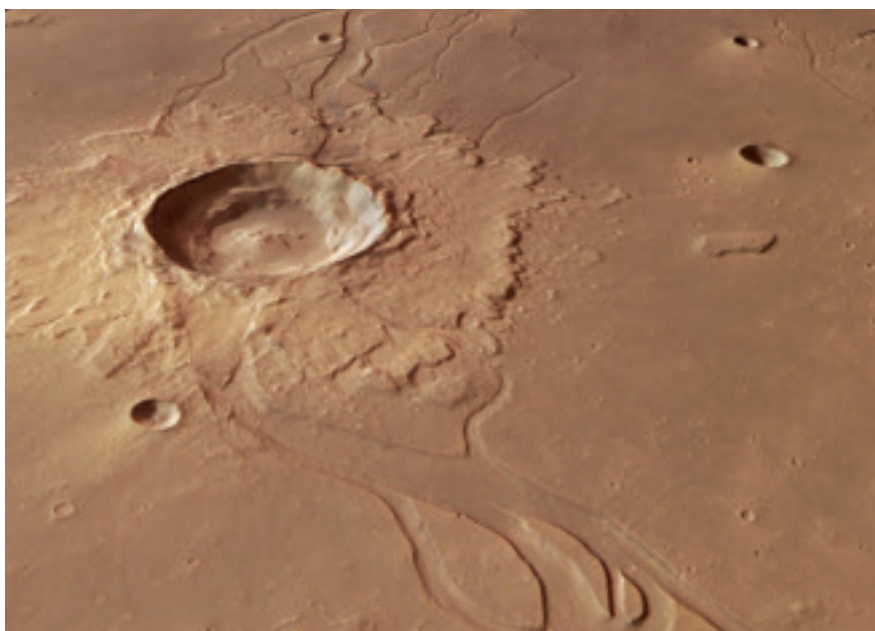
Sur Terre, on dénombre plus d'une centaine de ces cratères d'impacts (170 connus en 2010), vieux de deux milliards d'années au maximum et de taille comprise entre 10 mètres et 300 kilomètres. S'il y en a si peu, c'est parce que l'érosion a effacé les traces de nombre d'entre eux. Ailleurs dans le Système solaire, l'absence d'atmosphère (donc de pluie, vent, etc.) préserve ces signatures catastrophiques, il s'agit même d'un moyen assez aisé de dater une surface car plus le temps passe, plus les cratères s'accumulent.

Une surface criblée de cratères sera donc plus ancienne qu'une surface lisse : ainsi, le peu de cratères sur Europe ou Io (voir p 19 et p 24) permet de dire qu'il s'y passe actuellement d'étranges choses capables de modifier le visage de ces lunes !

Les impacts sont-ils dangereux ? Oui, car ces événements libèrent une énorme quantité d'énergie, capable de créer une catastrophe à l'échelle planétaire ! Ainsi, sur Terre, ce serait un impact qui, il y a 65 millions d'années, entraîna la chute des dinosaures (et de beaucoup d'autres espèces moins « glamour »). Le cratère associé à cet impact a été retrouvé dans le Golfe du Mexique et baptisé du doux nom de Chicxulub... Heureusement, de tels impacts se produisent très rarement (voir tableau page de droite) !

Que se passe-t-il exactement quand un très gros morceau débarque sans crier gare ? Tout d'abord, pour une planète comme la Terre, il rencontre l'atmosphère et... il ne se passe rien : contrairement au menu fretin¹¹, l'atmosphère ne ralentit pas ces gros rochers baladeurs ! Ils arrivent au sol avec la même vitesse que celle de départ... et c'est donc la rencontre avec le sol qui constitue le cœur du processus de cratérisation.

¹¹ La question de la chute de petits morceaux de roches a déjà été présentée p 35.

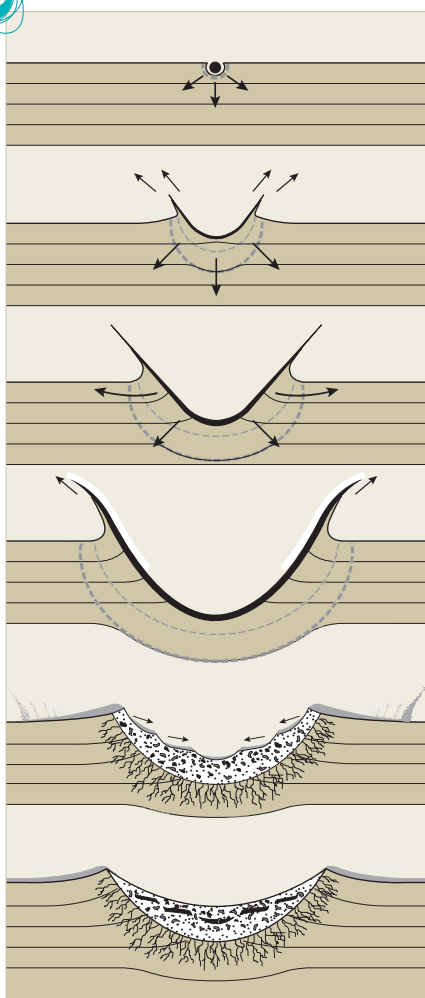
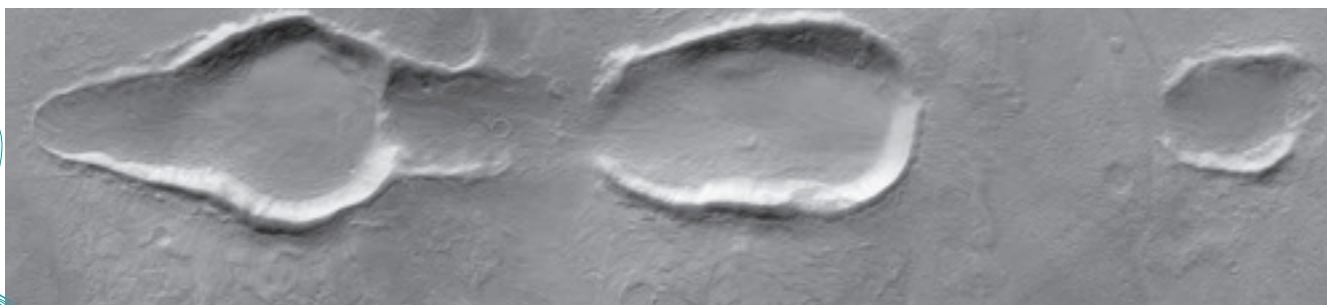


75

D'un petit à un gros impact...

Diamètre de l'impacteur	Diamètre du cratère créé	Énergie libérée (en tonnes de TNT)	Intervalle moyen entre deux impacts (années)	Événement comparable
2 m	35 m	500	4	Tremblement de terre de magnitude 5
6 m	120 m	20 000	35	Explosion d'Hiroshima
23 m	450 m	Un million	370	Explosion d'une bombe H
55 m	1,1 km	15 millions	1 900	Meteor Crater
350 m	6,9 km	3,6 milliards	51 000	Plus grand tremblement de terre connu (1960, Chili, magnitude 9,6)
1,5 km	31 km	310 milliards	720 000	Énergie totale émise chaque année par la Terre
10 km	200 km	87 000 milliards	150 millions	Cratère lié à l'extinction des dinosaures

Attention : les effets atmosphériques sur les petits impacteurs ont été négligés (ceux qui ont moins de quelques dizaines de mètres se désintègrent en fait dans l'atmosphère, voir p.35) ; les calculs ont été faits pour un impacteur sphérique, rocheux et arrivant avec une vitesse de 20 km/s (72 000 km/h), typique des météoroïdes.

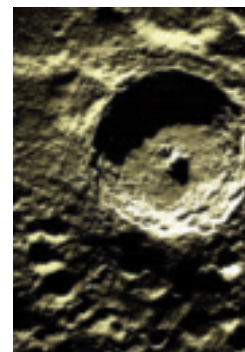
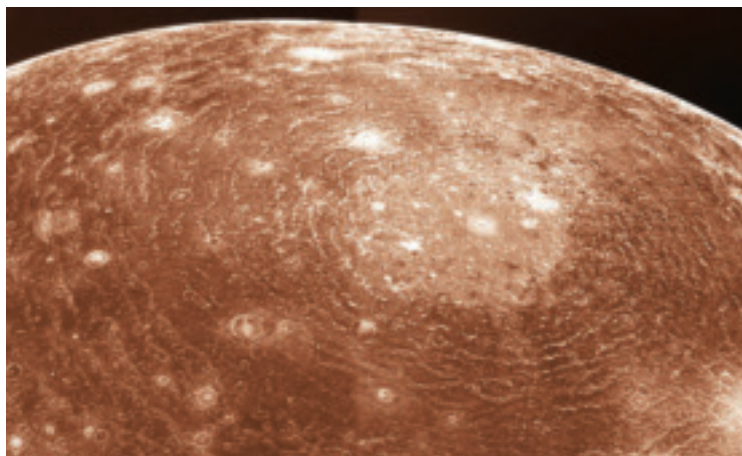


Le maître-mot de la première phase de formation du cratère est **compression**. Au moment du contact avec le sol, l'impacteur est brutalement freiné : son énorme énergie cinétique (c'est-à-dire liée à sa vitesse) donne naissance à une puissante onde de choc qui affecte tant le projectile que le sol qui le reçoit. Au niveau du sol, la compression est énorme près de la position de l'impact, faisant apparaître un creux. Plus on s'éloigne du point d'impact, plus la compression diminue et, près du futur bord du cratère, l'onde de choc est si affaiblie qu'elle ressemble à une « simple » onde sismique, bien plus bénigne. Quant à l'impacteur, il subit également une onde de compression, suivie d'une onde de raréfaction en retour qui le fond voire le vaporise : contrairement à ce que l'on pourrait penser, le projectile disparaît généralement après impact !

La seconde phase est celle de l'**excavation**. L'onde de compression se réfléchit sur le sol qui n'a pas été affecté jusque là, et donne naissance à diverses autres ondes (raréfaction, compression) qui interagissent de manière complexe. Le résultat global, c'est que la couche supérieure du sol se soulève – des rochers sont projetés dans toutes les directions – et que la couche inférieure descend encore un peu, évacuant la zone de l'impact. La profondeur finale vaut en général le tiers du diamètre du cratère.

Tout cela se produit en quelques secondes à peine, mais la dernière phase est plus longue, de quelques minutes à des heures : c'est le moment de la **modification**. Les bords du cratère, instables, s'effondrent, les rochers éjectés retombent...

À la fin, on se retrouve avec un cratère dont la forme va dépendre de la composition du sol et de la taille de l'impacteur. Les cratères simples, en forme de bol, ne dépassent pas quelques kilomètres de diamètre – la troisième phase est ici plus que réduite. Pour les gros cratères, la modification prend une place grandissante. Les cratères dits « complexes » comportent ainsi un pic central ou un anneau de « collines » entourant le centre.



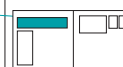
77

Pour comprendre comment une telle structure se forme, il suffit de faire couler goutte à goutte un peu d'eau dans une baignoire remplie : la surface de l'eau se creuse au moment où la goutte tombe, puis elle rebondit, créant un « pic central », qui ensuite retombe, donnant naissance à un anneau qui se propage vers l'extérieur avec une amplitude de plus en plus réduite. Le phénomène est identique pour les cratères complexes, mais le sol étant moins souple que l'eau, il s'est « figé » dans l'une ou l'autre de ces configurations. Enfin, les cratères les plus grands (jusqu'à 1 000 km de diamètre !) sont des cratères qui ne possèdent pas un bord mais plusieurs – on parle de multi-anneaux et leur formation n'est pas encore très claire.

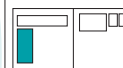


Dans un grand plat (en aluminium ou, mieux, un bac à litière en plastique), déposer 5 à 8 cm de farine, égaliser avec une latte, saupoudrez de cacao jusqu'à obtenir une couche uniforme.

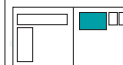
S'installer dehors ou dans un grand garage ou une cave. Prendre 3 billes différentes mais de même taille (billes en bois, en métal, en verre) et les laisser tomber l'une à côté de l'autre d'une même hauteur (par ex 50 cm). Observer le résultat. Tasser la farine et recommencer en utilisant cette fois 3 billes de verre de tailles identiques, mais en variant la hauteur (10 cm, 50 cm, 1 m). Tasser, recommencer en utilisant des billes de verre de tailles différentes et en les laissant tomber d'une même hauteur (1 m). Observer à chaque fois la profondeur du cratère, son bord, la forme des ejecta. On peut aussi essayer en jetant la bille en faisant varier l'angle : perpendiculaire au sol ou en tentant un « ricochet » (attention aux dégâts collatéraux). On peut aussi, dans un même plat, faire tomber diverses billes sans égaliser entre chaque « tir » : au fur et à mesure que les billes tombent, la surface se cratérise de plus en plus... L'apparence de la surface est donc bien liée au nombre d'événements, qui s'accumulent avec le temps : c'est la méthode de datation par comptage de cratères !



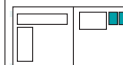
Un cratère avec triple ricochet sur Mars
© NASA



Formation d'un cratère
Inspiré de «Traces of Catastrophes»
par B.M. French (Lunar and Planetary Institute)



Un cratère multi-anneaux
(le cratère Valhalla sur Callisto)
© Wikipedia



Un pic central se forme au centre d'un cratère
(ici, le cratère Tycho sur la Lune)
de la même manière qu'une goutte d'eau qui tombe dans une flaque produit un rebondissement de la surface liquide.
© Wikipedia

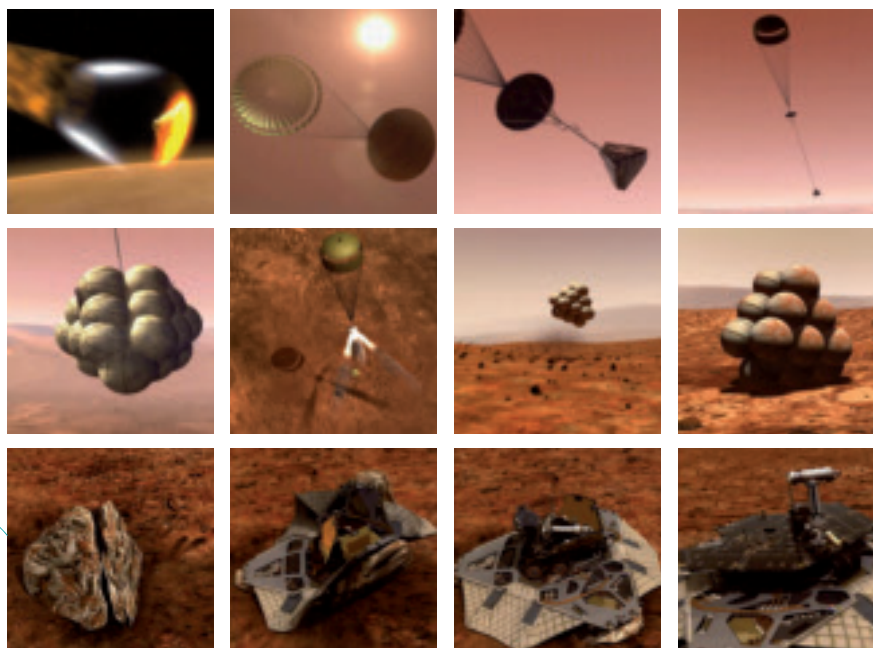


Représentation de l'atterrissage de la sonde Phoenix grâce à un système de rétro-fusées.

© Phoenix

L'ensemble de la séquence d'atterrissage d'un rover martien prend 4 à 6 minutes. Le module entre tout d'abord dans l'atmosphère martienne, à 125 km d'altitude, avec une vitesse de plus de 20 000 km/h. La friction avec l'air le ralentit jusqu'à 1 500 km/h et le chauffe à plus de 1 000°C (un bouclier le protège alors de la chaleur générée). Un parachute est déployé à ce moment-là, lorsqu'on se trouve à 9 km d'altitude, pour ralentir plus encore le module. Une fois son bouclier protecteur éjecté, le module se déploie et les airbags se gonflent tandis que de minuscules fusées ralentissent encore la chute avant de lâcher le module 10 m au-dessus du sol, où il rebondit. La sonde Pathfinder a ainsi effectué une quinzaine de rebonds – le premier amena la sonde à 20 m au-dessus du sol ! En 2004, les rovers Spirit et Opportunity ont eux rebondi presque une trentaine de fois, s'éloignant de plus de 200 m du premier point de contact. Une fois arrêté, le module peut alors dégonfler ses airbags, s'ouvrir, et déployer ses instruments.

© NASA



Atterrir sans problème

L'atterrissage est toujours un moment délicat, que ce soit pour un avion terrestre ou un robot explorant une autre planète. Dans ce dernier cas, évidemment, on ne bénéficie pas de l'aide d'une tour de contrôle et il faut tout faire au millimètre près, en prévoyant avant le lancement tous les accidents possibles. C'est donc loin d'être simple.

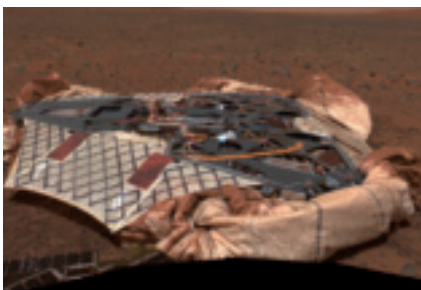
Au fil du temps, diverses solutions ont été trouvées. Les **parachutes**, par exemple, fonctionnent sur tout astre possédant une atmosphère. Ils sont légers, mais généralement insuffisants à stopper la chute, surtout si l'astre visé a une atmosphère ténue, comme Mars par exemple. Du coup, on les utilise souvent en complément d'autres systèmes.

Les **rétrofusées** constituent une autre solution. Il s'agit de fusées que l'on dirige vers le bas et que l'on allume juste avant d'atterrir.

Elles poussent le module vers le haut de manière à en ralentir fortement la chute et du coup, d'éviter l'écrasement sur la surface. C'est ce qui a été utilisé pour faire atterrir les astronautes sur la Lune durant les missions Apollo ou les robots Viking sur Mars dans les années 1970. Toutefois, ce système possède quelques inconvénients : il est lourd (et en aérospatiale, plus c'est lourd, plus ça coûte cher) et il perturbe la surface puisque l'évacuation des tuyères se fait vers le bas – du coup, c'est raté si l'on désire analyser le sol tel qu'il est sans trop s'éloigner.

Enfin, d'invention plus récente, il y a les **airbags**... Il suffit de gonfler un matelas autour du module d'atterrissage et de laisser tomber ce dernier. Les airbags permettent d'encaisser le choc et de faire atterrir la sonde tout en sécurité après quelques rebonds à la surface – cette solution est donc déconseillée pour toute mission habitée, quoiqu'en pensent certains réalisateurs hollywoodiens (cf. le film « Red Planet »).





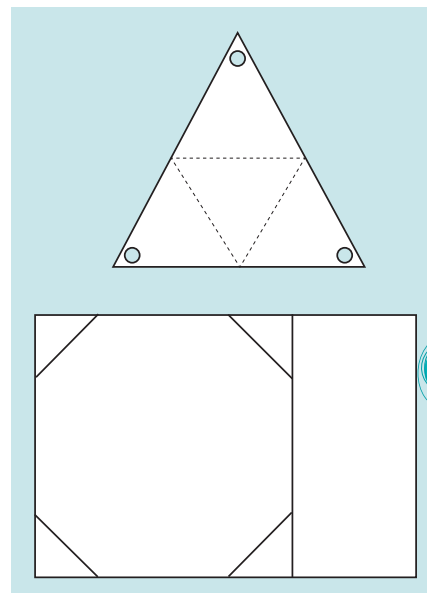
Ce système léger est accessible à toute mission pas trop lourde (moins d'une demi-tonne environ) et c'est elle qui a été mise en œuvre pour les rovers martiens, de la mission Pathfinder en 1997 à la paire Spirit-Opportunity en 2004. Chacun emportait un système de 24 airbags qui ont tous parfaitement fonctionné.



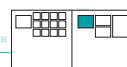
Construire votre module d'atterrissage. Découper dans le carton d'une boîte de céréales un grand triangle équilatéral de 22 cm de côté ; percer un trou à chaque sommet avec une perforatrice ; joindre les milieux des côtés par des segments de droite et plier le module suivant ces lignes de manière à former un tétraèdre. Déposer votre précieuse cargaison scientifique – un œuf cru – au cœur de ce module et l'enfermer en sécurité en collant les bords du tétraèdre à l'aide d'adhésif. Enfin, faire passer une corde de 50 à 100 cm dans les trous perforés et la nouer solidement.

Construire ensuite votre parachute. Découper un carré dans une grande feuille de papier journal, repérer sur chaque côté les points éloignés des sommets de 0,29 fois la longueur des côtés, les joindre par un segment de droite de manière à former un octogone que l'on découpe. Coller des ficelles d'un mètre de long sur quatre côtés non adjacents, et nouer ces quatre fils à la corde du module.

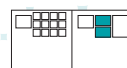
Terminer le module en déployant les airbags : gonfler quatre ballons jusqu'à ce qu'ils atteignent une taille de 25 cm et coller un ballon gonflé sur chaque face du module d'atterrissage. Monter au premier étage d'un immeuble (au deuxième pour les plus optimistes) et lâcher le module par la fenêtre. Redescendre et constater l'état du précieux chargement : si votre œuf est intact, votre mission est réussie!



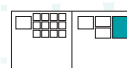
79



Test des 24 airbags de la sonde Pathfinder.
© NASA



Les modules d'atterrissage de Spirit et Opportunity, ouverts et avec les airbags dégonflés, pris en photo par les rovers eux-mêmes, une fois sortis de leur cocon.
© NASA



Plan du tétraèdre (module d'atterrissage) et de l'octogone (parachute)



80

Remerciements

Ce projet n'aurait pas été possible sans des relecteurs vigilants, aux conseils de lecture toujours appropriés. Je les remercie également chaleureusement – tout en précisant que les erreurs restantes doivent m'être attribuées.

Bertrand Bonfond, pour ses éclaircissements sur ses deux anciennes maîtresses, Io et Europe...

Athéna Coustenis, pour sa science titanienne...

Jean-Luc Dighaye pour ses corrections météoritiques...

Jean-Claude Gérard, pour ses connaissances planétaires...

Jean Manfroid, pour sa relecture discrète des comètes et astéroïdes...

Guy Munhoven et Philippe Claeys pour leur aide à l'impact...

Théo Pirard, pour son savoir astronautique...

Jean-Pierre Lebreton, pour son enthousiasme titanien et son inspiration gastronomique, Donald Lubowich pour ses discussions cuisino-astrales...

Ainsi que Philippe Mottet, chercheur de livres que j'embête régulièrement, pour son aide bibliothécaire sans faille depuis des années...

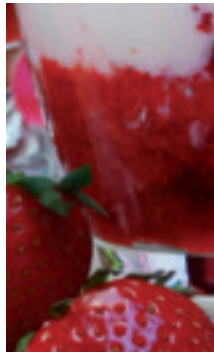
Sans oublier mes premiers lecteurs et « testeurs », parents et mari... ainsi qu'un petit bout qui m'a laissé le temps de terminer ce livre tranquillement.

Je tiens également à remercier l'équipe de Réjou**sciences**, Michèle Housen et Yoko Martial pour la réalisation de ce cahier ; Martine Vanherck pour son soutien sans faille et la DG06 (Service Public de Wallonie) pour son soutien financier.



Bibliographie

- Bourland C.T. & Vogt G.L., *The astronaut's cookbook – tales, recipes, and more*, 2010, Springer
- Center for meteorite studies, *Meteorite facts*, <http://meteorites.asu.edu/meteorite-facts/>
- Colafrancesco S., *Dark matter in modern cosmology*, ASTROPHYSICS AND COSMOLOGY AFTER GAMOW : Proceedings of the 4th Gamow International Conference on Astrophysics and Cosmology After Gamow and the 9th Gamow Summer School "Astronomy and Beyond: Astrophysics, Cosmology, Radio Astronomy, High Energy Physics and Astrobiology". AIP Conference Proceedings, Volume 1206, pp. 5-26 (2010).
- Collectif, *Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics*, 2001, Nature Pub. Group
- Combes F., *Structure et évolution de l'Univers*, 2009, <http://aramis.obspm.fr/~combes/post-master/CNED-10.ppt>
- Coustenis A. & Hirtzig M., *Cassini-Huygens results on Titan's surface*, 2009, Research in Astronomy & Astrophysics, vol 9, p249-268
- Danforth C., *The origins of spiral arms*, <http://casa.colorado.edu/~danforth/science/spiral/>
- ESA, *From tubes and cubes to haute cuisine – the refinement of space food*, 2005, http://www.esa.int/SPECIALS/EHCN/SEM2H06Y3EE_0.html
- ESA, *Buon appetito – cosmonauts on a Mediterranean diet*, 2005, http://www.esa.int/esaMI/EHCN/SEMR185Y3EE_0.html
- Fectay B., Bidaut C., & Classen N., *All about meteorites*, <http://www.meteorite.fr/>
- French B.M., *Traces of catastrophe*, 1998, Lunar and Planetary Institute



- Greeley R., et al., *Geology of Europa*, In: Jupiter. The planet, satellites and magnetosphere. Edited by Fran Bagenal, Timothy E. Dowling, William B. McKinnon. Cambridge planetary science, Vol. 1, Cambridge, UK: Cambridge University Press, ISBN 0-521-81808-7, 2004, p. 329 - 362
- Greeley R., *Cosmic collisions*, The Universe in the classroom, <http://www.astrosociety.org/education/publications/tnl/23/crater2.html>
- Henderickx H., Mauroo T., & van Spilbeeck B., *6 mois autour de la Terre avec Frank de Winne*, 2009, Luc Pire
- Jones, B.J.T., *The large-scale structure of the Universe*, 2002
- Klotz I., *Top ten best space food*, 2010, <http://news.discovery.com/space/top-10-good-space-food.html>
- Labrot P., *Sous le sol, la glace*, <http://www.nirgal.net/glace.html>
- Lebreton J.-P., et al., *Results from the Huygens probe on Titan*, 2009, Astronomy & Astrophysics Review, vol 17, p149-179
- Lubowich D., *Edible astronomy demonstrations*
- Lunar and Planetary Institute, *Meteorites and their properties*, <http://meteorites.lpl.arizona.edu/>
- Mc Ewen A.S., et al., *The lithosphere and surface of Io*, In: Jupiter. The planet, satellites and magnetosphere. Edited by Fran Bagenal, Timothy E. Dowling, William B. McKinnon Cambridge planetary science, Vol. 1, Cambridge, UK: Cambridge University Press, ISBN 0-521-81808-7, 2004, p. 307 - 328
- Mosher D., *Top ten worst space food*, 2010, <http://news.discovery.com/space/top-10-bad-space-food.html>
- NASA's Stardust mission, *The incredible edible comet*, <http://stardust.jpl.nasa.gov/classroom/guides.html>
- NASA - Lyndon Johnson Space Center, NASA facts – space food, 2002 FS-2002-10-079-JSC <http://spaceflight.nasa.gov/spaceneeds/factsheets/pdfs/food.pdf>



- NASA, Hman spaceflight - Living in space – Space food <http://spaceflight.nasa.gov/living/spacefood/index.html>
- NASA, Mars exploration rovers – press kit, 2004, <http://marsrover.nasa.gov/newsroom/presskits.html>
- Idem pour Pathfinder http://www.jpl.nasa.gov/news/press_kits/mpfland.pdf
- NASA, In-situ exploration and sample return : entry, descent and landing, http://marsrover.nasa.gov/technology/is_entry_descent_landing.html
- NASA, Mars Pathfinder egg drop and landing, http://quilt.jpl.nasa.gov/docs/Egg_Drop_508FC.pdf
- NASA, Exploring meteorite mysteries, EG-1997-08-104-HQ <http://ares.jsc.nasa.gov/education/activities/expmetmys/expmetmys.htm>
- O'Neill I., *The case of the contraband corned beef sandwich*, 2010, <http://news.discovery.com/space/the-case-of-the-contraband-corned-beef-sandwich.html>
- Pallegoix B. & Lebreton J.-P., *Les planètes du Système solaire : une riche palette de couleurs*
- Plait P.C., *Bad astronomy*, 2002, Wiley
- Roos M., *Dark matter : the evidence from astronomy, astrophysics and cosmology*, arxiv :1001.0316
- Smith P.H., et al., *H₂O at the Phoenix landing site*, 2009, Science, vol 325, p 58-61
- University of Hawaii, *Impact craters*, Exploring craters in the classroom, 1996, http://www.spacegrant.hawaii.edu/class_acts/CratersTe.html
- Watson S., *How space food works*, <http://science.howstuffworks.com/space-food.htm>
- Anon., Superclusters, <http://universe-review.ca/F03-supercluster.htm>
- Anon., The observable Universe and beyond, <http://universe-review.ca/F02-cosmicbg.htm>

