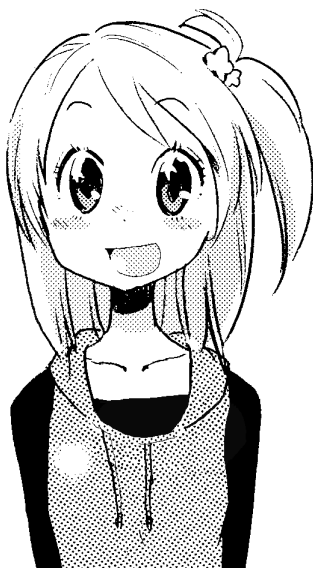


LES GUIDES MANGAS

.....

L'UNIVERS



Auteur
Réviseur
Dessins

KENJI ISHIKAWA
KIYOSHI KAWABATA
YUTAKA HIIRAGI

journaliste scientifique
professeur d'astrophysique
mangaka

Traduction

JEAN-YVES FÉVRIER

agrégé



Avant-propos de l'auteur

Alors que j'écrivais le scénario de ce livre, un caméraman qui travaillait avec moi sur un autre projet m'a dit : « Il y a quelques jours, je me suis amusé à réfléchir sur l'Univers. »

Je n'avais aucune idée de la raison pour laquelle il lançait ce sujet. C'est juste apparu au milieu d'une conversation ordinaire. Quand je lui ai demandé pourquoi il parlait d'astronomie, il m'a répondu : « Eh bien, imaginer ce qui se passe dans l'Univers sollicite mon cerveau d'une manière toute différente que mon travail. C'est vraiment agréable de penser à ça. »

Il a raison ! Dans notre travail, nous faisons attention à de nombreux détails pour ne pas faire d'erreur. Notre esprit se fatigue, comme un muscle qui répéterait longtemps le même mouvement. Tout comme on peut atténuer la fatigue musculaire en faisant un peu d'exercice, c'est une bonne idée de faire une pause dans son travail pour penser un peu à autre chose. Se demander « Que se passe-t-il dans l'Univers ? » peut offrir cette pause. Comme moi aussi j'aime réfléchir à propos de l'Univers, j'ai proposé quelques pistes de réflexion au caméraman :

- « Comme tout l'Univers bouge et que l'espace lui-même est en expansion, il est impossible de repérer un endroit à l'aide de coordonnées. »
- « Il semble que l'on ne sache toujours pas ce qui constitue l'essentiel de la matière et de l'énergie dans l'Univers. »
- « Il y a peut-être d'autres univers en plus du nôtre. »

Ces réflexions sont plus des allusions à des mystères que de la vraie connaissance, mais elles ont intrigué le caméraman et nous avons échangé pas mal d'idées sur ces sujets. Nous n'avons pas discuté longtemps, mais cette conversation m'a laissé d'excellents souvenirs.

Pourquoi l'Univers est-il si intéressant ? Peut-être parce que nous n'arrivons jamais à trouver de réponse définitive, en dépit de nos efforts.

Certes, l'humanité a accumulé de nombreuses connaissances sur l'Univers, comme la théorie du Big Bang, qui éclaire la création de la matière et la naissance de l'Univers, ou la découverte de la structure de l'espace à grande échelle, et d'autres grandes découvertes qui ont apporté des réponses sur la nature du cosmos.

Cela dit, chaque découverte s'accompagne de nouveaux mystères. Chercher à comprendre l'Univers, c'est comme gravir une montagne pour voir ce qu'il y a derrière et découvrir une nouvelle montagne, puis une autre...

Par exemple, considérons la Lune. On se demande depuis longtemps s'il y a de l'eau à sa surface. S'il y en a beaucoup, on pourrait la boire et en tirer de l'oxygène, ce qui rendrait possible une base sur la Lune. Le sujet est donc

important pour l'humanité, et des opinions dans un sens ou dans l'autre ont été émises de longue date.

Par exemple : comme la Lune et la Terre sont constituées de matériaux similaires, on peut supposer qu'à une époque de l'eau a dû être présente sur la Lune. Inversement, la Lune n'a quasiment pas d'atmosphère et ressemble à un désert : exactement ce qui pourrait rester une fois l'eau évaporée et dispersée dans l'espace. Oui mais, si des cratères près des pôles ne reçoivent jamais la lumière du Soleil, ne pourraient-ils pas contenir de la glace ?

Hélas, les informations envoyées par la sonde lunaire japonaise Kaguya n'ont pas permis de confirmer l'existence de glace près du pôle sud. Selon les dernières études, il semble que même s'il y avait de l'eau au fond des cratères, ce serait en très petite quantité. La réponse pourrait de nouveau changer si nous pouvions prospecter sous la surface de la Lune...

Si l'on ne sait pas répondre à une question aussi élémentaire à propos de notre plus proche voisin dans l'Univers, imaginez les mystères qu'il reste à percer à propos du Système solaire, des galaxies et des groupes de galaxies !

En faisant des expériences de pensée, nous gardons à l'esprit ce que nous devons à nos prédécesseurs, qui ont déployé tant d'efforts pour se rapprocher de la vérité. Et il ne s'agit pas que de plaisirs d'intellectuels car ces réflexions ont conduit à de nombreux prix Nobel.

Kanna, Gloria et Yamane sont les héroïnes de ce manga. Au début, ces trois lycéennes s'intéressent surtout au théâtre, mais plus elles apprennent de choses sur l'Univers, plus elles sont fascinées. À la fin de l'histoire, elles apprennent les dernières découvertes en astronomie et en astrophysique.

Pour vous aider à apprécier cette histoire, j'ai omis certaines discussions délicates tant dans les pages dessinées que dans les pages de texte en fin de chapitre. Et comme j'ai envie de jeter un livre dès qu'une formule mathématique apparaît, j'ai fait de mon mieux pour vous en préserver.

L'Univers est tout autour de nous, et nous n'en sommes qu'une infime partie. Il est normal que nous réfléchissions à la place de la Terre dans l'Univers et rêvions d'explorer les confins de l'espace. « Je me suis amusé à réfléchir sur l'Univers »... En tant qu'auteur, je serais très heureux si vous disiez la même chose après avoir lu ce livre.

Kenji Ishikawa

Table des matières

★ Prologue – La jeune fille du peuple de la Lune 13

1. *Taketori monogatari*, l'histoire de Kaguya-hime 22
2. Les mythes cosmologiques (Inde, Égypte, Babylone, Chine) 30
3. La Grèce antique mesure la Terre 32
4. Si la Terre est ronde, la Lune aussi 34

1★ La Terre est-elle le centre de l'Univers ? 35

1. Une lueur étrange dans le ciel 36
2. Un visiteur alien 39
3. Le Soleil tourne-t-il autour de la Terre ? 46
4. Un modèle héliocentrique, il y a 2300 ans 52
5. Du géocentrisme à l'héliocentrisme 62
6. Essais et découvertes de Galilée 68
7. Mettons les choses en perspective 71
8. À quelle distance est l'horizon ? 78
9. À quelle distance est la Lune ? 79
10. Géocentrisme *versus* Héliocentrisme : le match ! 81
11. Enfin une explication compréhensible des lois de Kepler 85

2★ Du Système solaire à la Voie lactée 91

1. Et si Kahuya-Hime venait d'une planète du Système solaire ? 92
 - Kaguya-hime et le Système solaire 94
 - Mercure 95
 - Vénus 96
 - Mars 97
 - Jupiter 98
 - Saturne 99
 - Uranus 100
 - Neptune 101
 - Pluton 102
 - Terre 103
 - Lune 104
 - Soleil 107
2. La taille de la Voie lactée 116
3. Qu'y a-t-il au centre de la galaxie ? 118
4. Top 5 des mystères de la Voie lactée 120
5. La Voie lactée est une galaxie parmi d'autres 122

6. L'Univers grandit régulièrement	128
7. Mesurer les distances astronomiques par triangulation	136
8. Quelle est la taille du Système solaire ?	138

L'Univers est né lors du Big Bang **141**

1. Les galaxies sont des îles qui brillent dans le vide de l'espace	142
2. L'équipe gagnante prend une leçon	145
3. La structure du cosmos à grande échelle	152
4. Les découvertes d'Hubble	154
5. Si l'Univers est en expansion... ..	163
6. Tout a commencé avec le Big Bang	173
7. Application de la théorie de l'expansion d'Hubble	174
8. Trois arguments en faveur de la théorie du Big Bang	178
9. Est-ce que les aliens existent ?	192
10. Une 3 ^e façon de mesurer la taille de l'Univers	198

À quoi ressemble le bord de l'Univers ? **203**

1. L'Univers a-t-il un bord ?	204
2. La planète la plus proche	215
3. Journal de bord du Kaguya-Go	218
4. On arrive au « bord » de l'Univers	220
5. Les explications du professeur Sanuki	221

Notre univers en expansion **225**

1. Le multivers contient de nombreux univers	231
2. De la naissance à la mort de l'Univers	231
3. Quel est vraiment l'avenir ultime de notre univers ?	239
4. Le satellite WMAP, le CMB et l'univers plat	241
5. L'âge réel de l'Univers	245
6. Quelques considérations sur la science	245

Index	251
-------------	-----



PROLOGUE

**La jeune fille
du peuple de la Lune**

LYCÉE KOUKI

Ô ROMÉO!
ROMÉO!

POURQUOI
ES-TU
ROMÉO?

MAIS T'ES OÙ
ROMÉO?!

ON N'A TOUJOURS
PERSONNE POUR
LE RÔLE.

IL RESTE PEU
DE TEMPS AVANT
LE FESTIVAL...

20 JOURS AVANT
LE DÉBUT
DU FESTIVAL

QUE VA-T-ON
FAIRE?



* Memoryyyy! Tout seul à la fourrière !
(Clin d'œil à la comédie musicale Cats « Memory, toute seule au clair de lune ! »)

LES CLUBS SPORTIFS DU
LYCÉE NE ME TENTENT PAS.
JE ME SUIS VOUÉE
À LA SCÈNE...

...MAIS LES
GARÇONS
D'AUJOURD'HUI
SE MOQUENT BIEN
DES ACTIVITÉS
CULTURELLES!

C'EST LAMENTABLE!

HEU,
T'AVAIS
PEUT-ÊTRE
PLUS DE
POTENTIEL
POUR LE
SPORT...

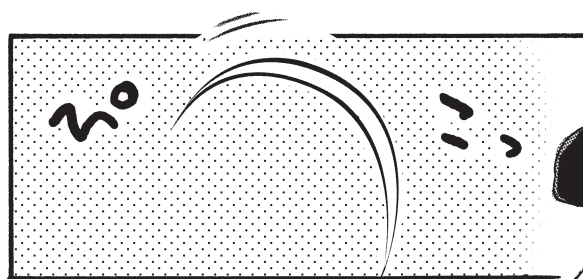
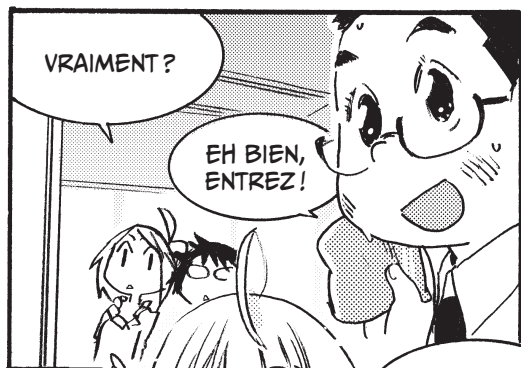
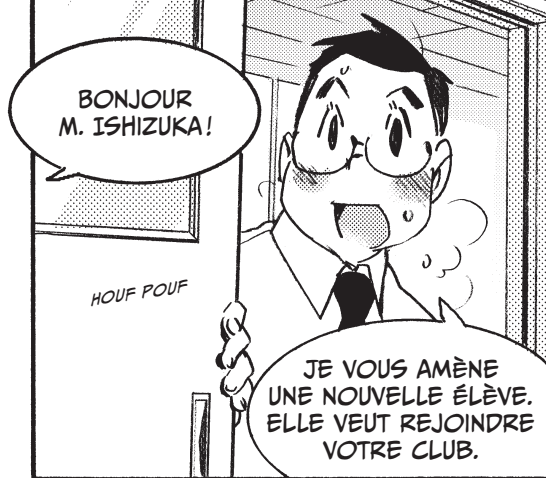
IL Y A UN AUTRE
PROBLÈME...

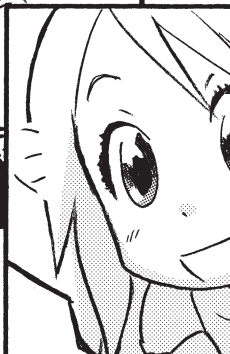
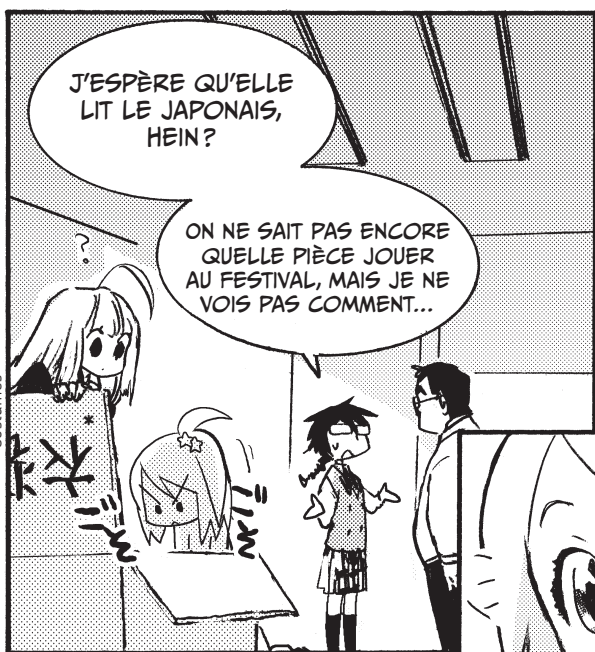
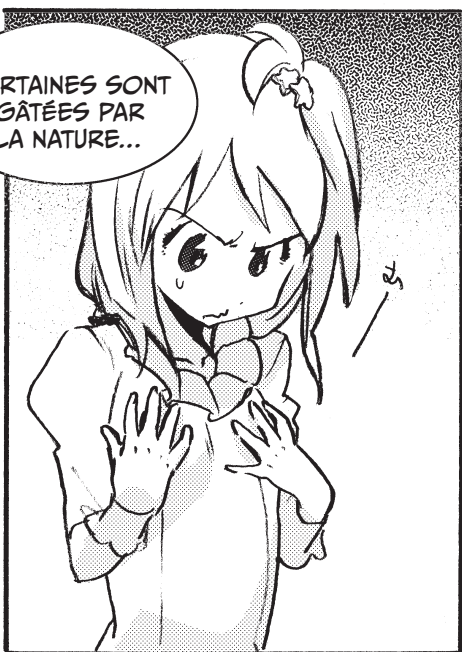
SI ON NE MONTE PAS
DE PIÈCE POUR
LE FESTIVAL...

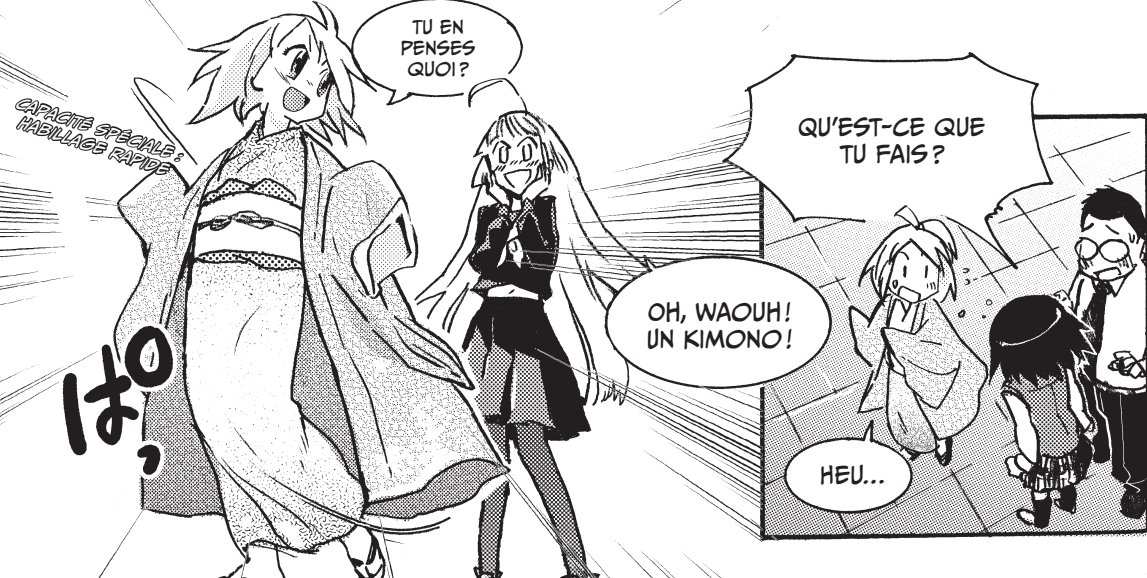
20
JOURS!

...LE LYCÉE NE
SUBVENTIONNERA
PLUS LE CLUB
THÉÂTRE.

C'EST QUOI
ÇA?





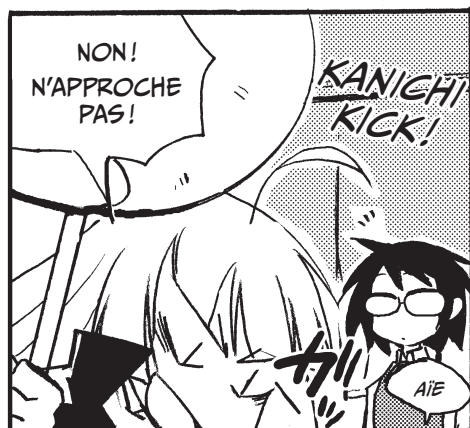


* Le démon doré, célèbre roman d'Ozaki Koyo (1868-1903) dont Gloria cite un extrait. Ce mélodrame raconte la vengeance de Kanichi trahi par sa fiancée.



KANICHI-SAN*!

SE TRAINÉ,
RAMPE



NON!
N'APPROCHE
PAS!

KANICHI
KICK!

AIE

* San : suffixe utilisé comme marque de respect.



ATTENDEZ...



ET POURQUOI PAS
TAKETORI
MONOGATARI*?

* L'Histoire du coupeur de bambous,
conte folklorique anonyme du x^e siècle.



HEIN?

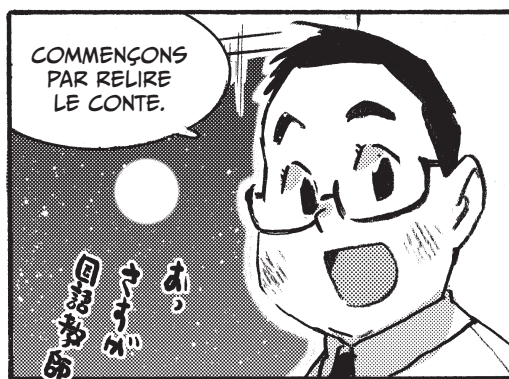
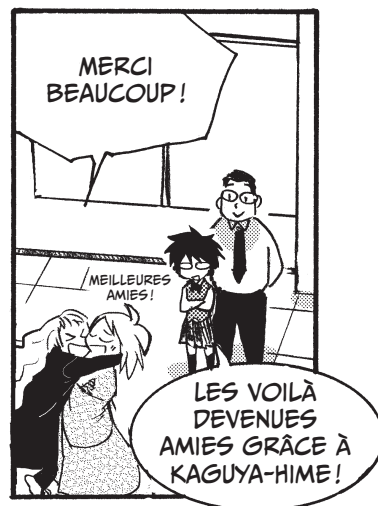
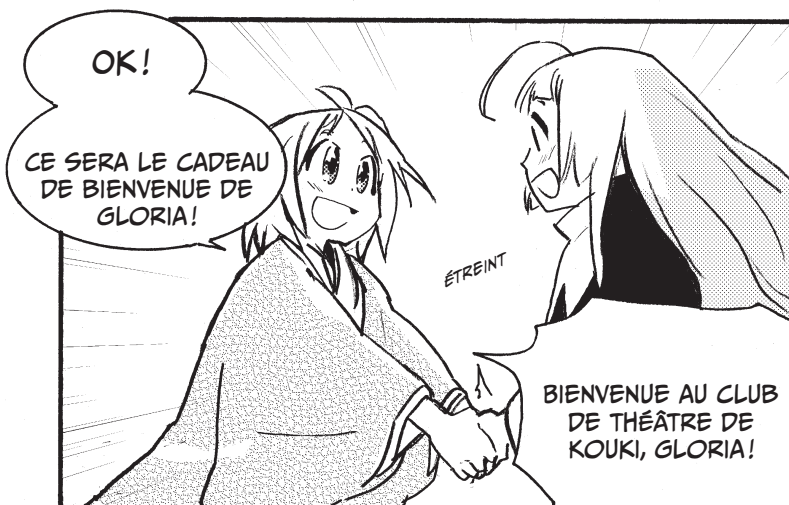
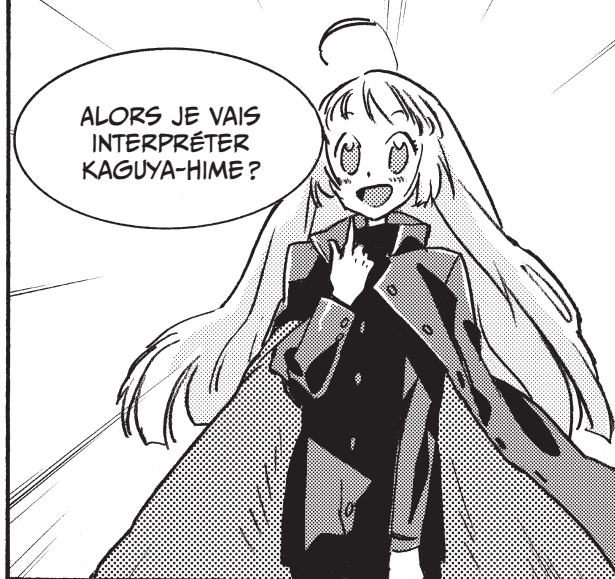
MAIS C'EST UN
CONTE POUR
ENFANTS!

T'INQUIÈTE PAS,
JE L'ADAPTERAI!

VOYONS...



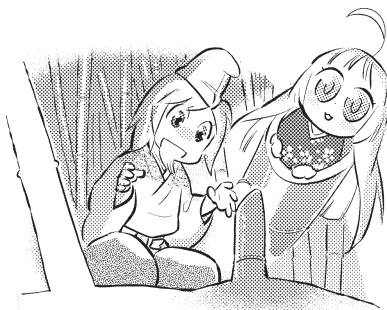
L'HÉROÏNE KAGUYA-
HIME VIENDRAIT D'UN
PAYS LOINTAIN!



* Vous l'avez deviné, M. Ishizuka est professeur de lettres japonaises.

Taketori monogatari, l'histoire de Kaguya-hime

Il y a très longtemps, un vieux coupeur de bambous marchait dans la forêt quand il vit un bambou rougeoyant. En le coupant, il découvrit une toute petite fille à l'intérieur, tellement petite qu'elle tenait dans la paume de sa main. N'ayant pas d'enfant, sa femme et lui l'élevèrent comme leur propre fille. Ils la nommèrent Kaguya-hime (« princesse Kaguya »).



Depuis ce jour, le vieil homme trouva une pièce d'or dans tous les bambous qu'il coupait. Il devint riche, tandis qu'en quelques mois, Kaguya-hime se transforma en une magnifique jeune femme.

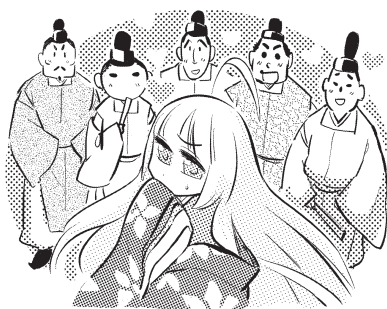


COMMENT A-T-ELLE
GRANDI SI VITE ?

C'EST UN CONTE,
KANNA...



Sa beauté était telle qu'on en parlait jusqu'à la capitale. Cinq princes demandèrent sa main. Pour les éconduire, elle indiqua à chacun un objet merveilleux introuvable et promit d'épouser le premier qui lui ramènerait. Tous échouèrent. L'empereur lui-même fut conquis par la beauté de Kaguya-hime, mais fut repoussé comme les autres.



À mesure que les années passèrent, Kaguya-hime devint de plus en plus songeuse quand elle regardait la lune, et était inconsolable à chaque *Tsukimi**.



ET C'ÉTAIT
QUOI CES
TRÉSORS ?

BOF, DU CLASSIQUE :
UNE BRELOQUE AU COU
D'UN DRAGON ET D'AUTRES
TRUCS DU MÊME GENRE...



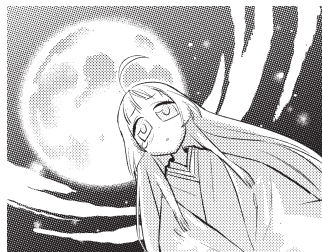
* Littéralement « observation de la Lune », fête traditionnelle où l'on contemple la pleine Lune à la mi-automne.

LE PRINCE OTOMO DEVAIT RAMENER LE JOYAU ORNANT LE COU DU DRAGON. COMME IL CRAIGNAIT QU'UN DE SES SAMOURAÏS DÉROBE LA PIERRE, IL DÉCIDA D'Y ALLER SEUL. EN COURS DE ROUTE, IL SUBIT UN ORAGE TERRIBLE.

CES AVENTURES FORMENT UNE HISTOIRE PASSIONNANTE, MAIS NOUS NE SOMMES PAS EN COURS DE LITTÉRATURE...



Le vieux coupeur de bambous était très inquiet. Quand il demanda à Kaguya-hime ce qui n'allait pas, celle-ci lui répondit : « Je ne viens pas de ce monde, mais de la capitale de la Lune, et je devrai y retourner à la prochaine fête de la pleine Lune. »



ET C'EST QUAND, TSUKIMI ?

VOYONS...

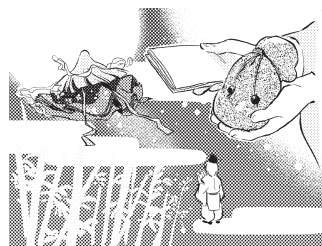
LA 15^e NUIT DU 8^e MOIS DANS L'ANCIEN CALENDRIER LUNAIRE, SOIT ENTRE MI-SEPTEMBRE ET DÉBUT OCTOBRE DE NOS JOURS.



Quand l'empereur le sut, il voulut capturer Kaguya-hime avant qu'elle ne parte, mais ses soldats furent défaits par les guerriers de la Lune venus la chercher.

Avant son départ, Kaguya-hime confia au vieux coupeur de bambous une lettre et un élixir d'immortalité à transmettre à l'empereur. Les émissaires de la Lune posèrent sur ses épaules la robe à plumes célestes et tous ses souvenirs terrestres disparurent. Elle retourna sur la Lune, emportée par une force invisible.

L'Empereur lut la lettre et réalisa qu'il ne pourrait pas vivre pour toujours sans espoir de la revoir. Il ordonna à ses hommes de brûler l'élixir au sommet de la plus haute montagne du pays, la plus proche de la Lune. Depuis, cette montagne s'appelle le mont Fuji, d'après le japonais *fushi* signifiant « immortel ».*



* Le mont Fuji est le point culminant du Japon (près de 3800 m). L'étymologie proposée par le *Taketori monogatari* est poétique : l'origine du nom « Fuji » est inconnue.

CE CONTE EST...

...DE LA SCIENCE-FICTION ROMANTIQUE MÉDIÉVALE!

LE JAPON EST SI COOL!

BEURK, C'EST GÊNANT D'ÊTRE AUTANT ADMIRÉ.

QU'EST-CE QUI SE PASSE?

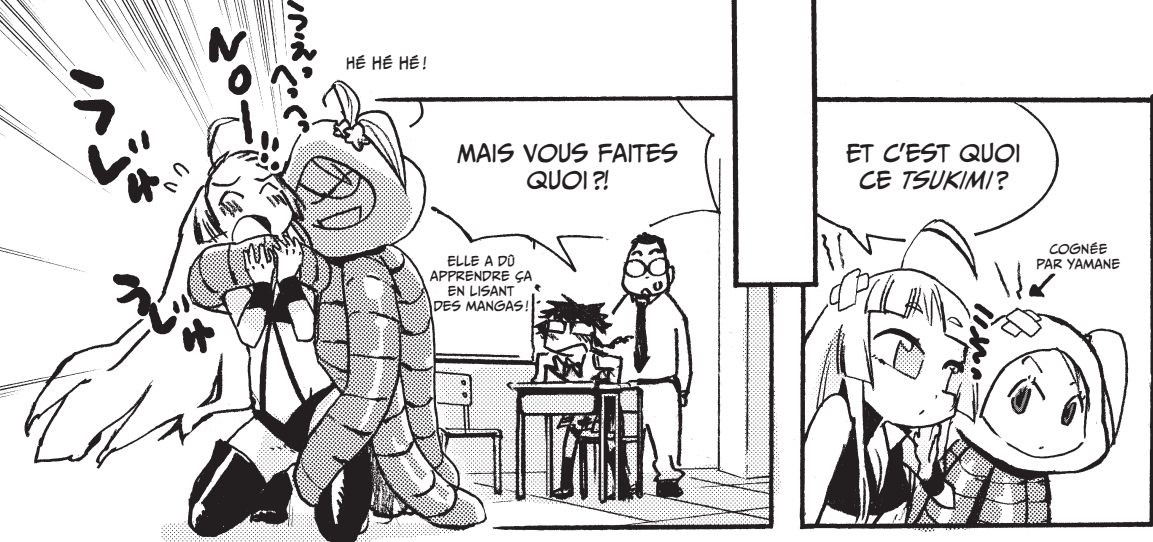
CE N'EST PAS TOI QU'ELLE AIME.

KAGUYA-HIME EST UNE ALIEN CAR ELLE VIENT DE LA LUNE. C'EST BIEN DE LA SCIENCE-FICTION.

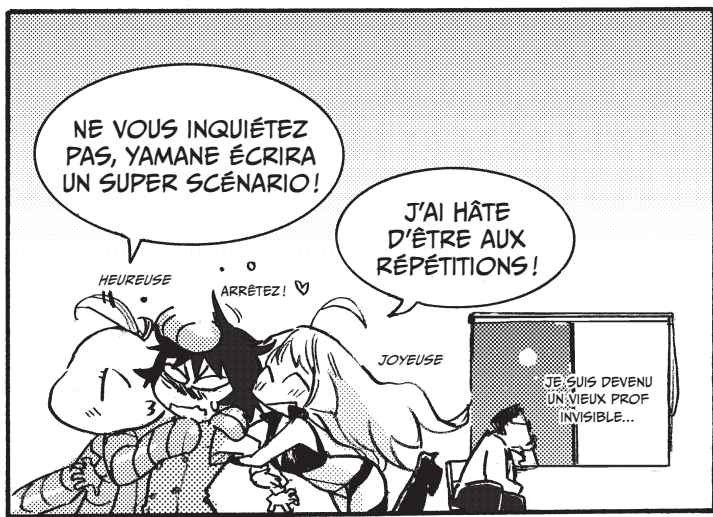
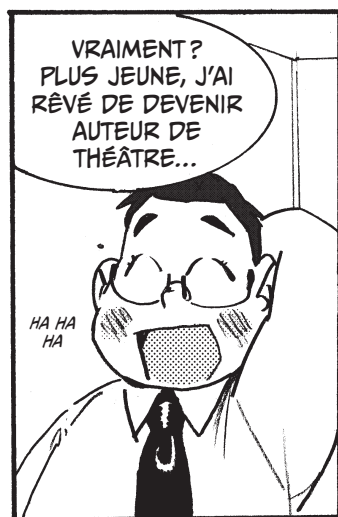
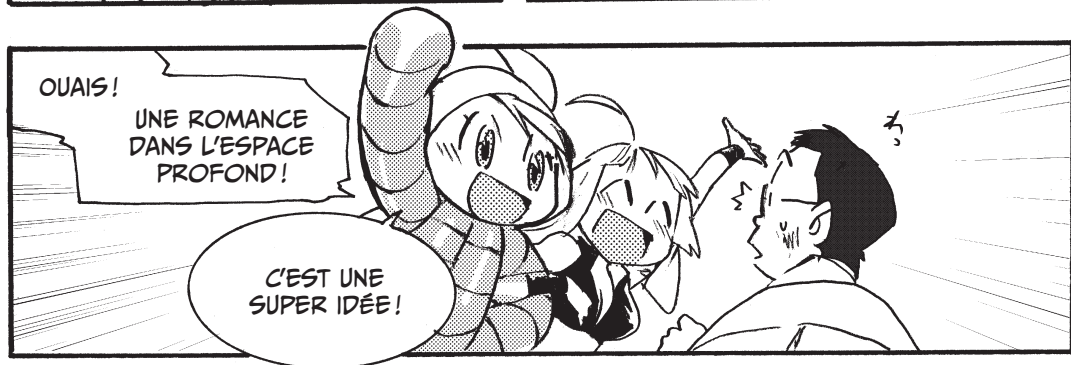
D'AUTRES PAYS ASIATIQUES ONT DES LÉGENDES SIMILAIRES, MAIS...

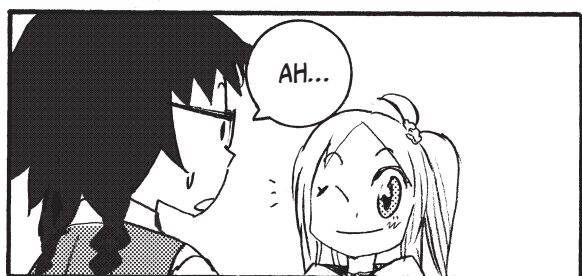
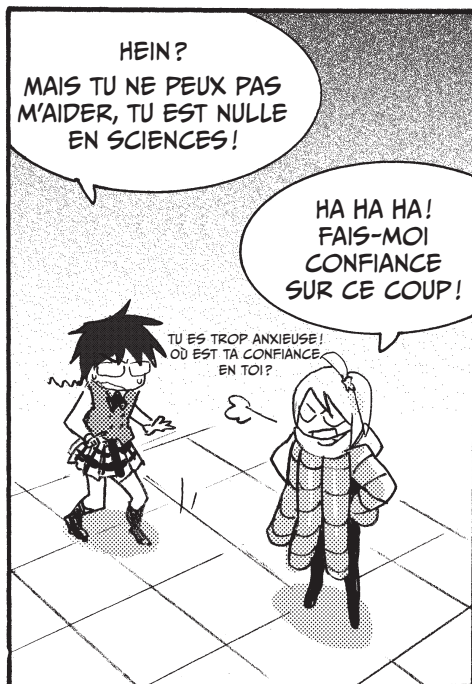
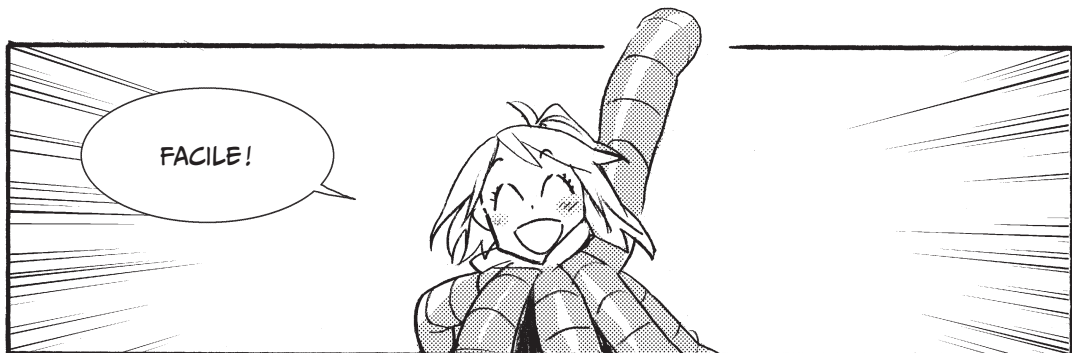
...UN CONTE OÙ UN LUNIEN VIENT SUR TERRE, C'EST PROPRE AU JAPON.

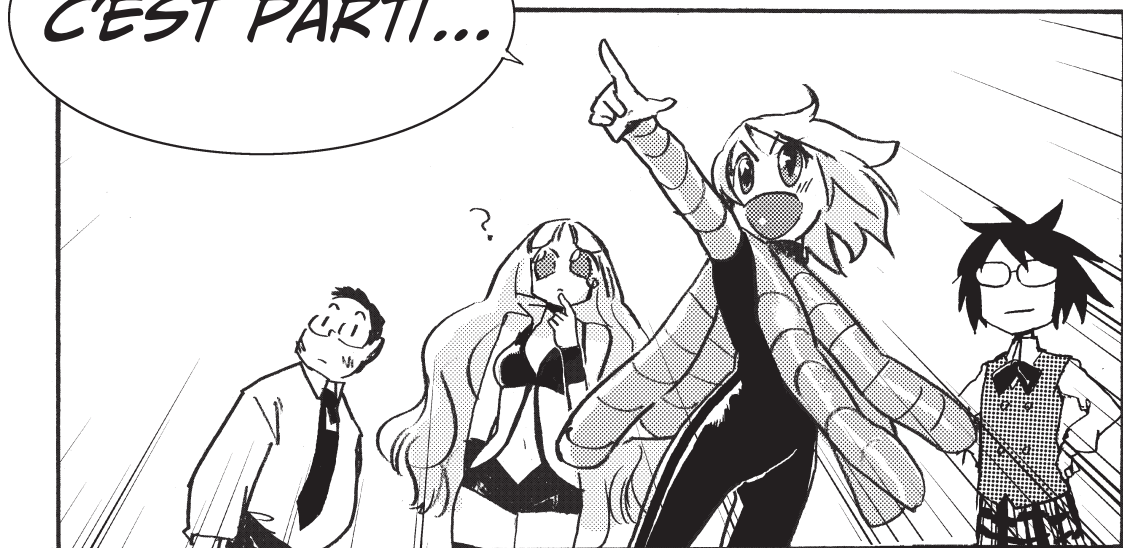
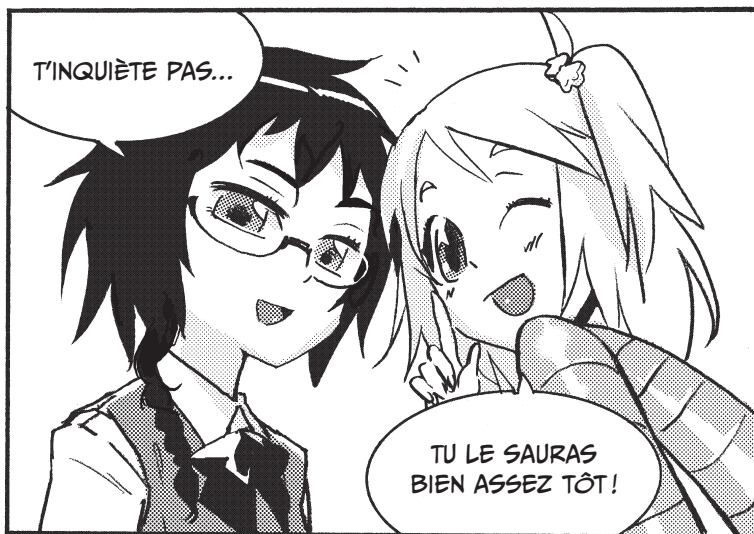
CE CONTE EST VRAIMENT LIÉ À NOTRE FESTIVAL DE LA LUNE D'AUTOMNE, TSUKIMI.



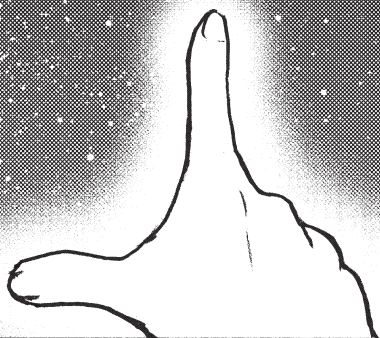
* Les mochi sont des petits gâteaux de riz gluant, ronds et blancs, qui sont associés à la Lune.



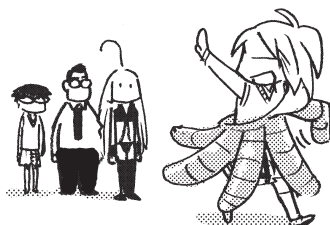




...POUR UN VOYAGE À
TRAVERS LE COSMOS!



MAIS AVANT,
JE DOIS RENTRER.



REMUE

GIGOTE

ON SE REVOIT
CHEZ MOI TOUT
À L'HEURE!

Les mythes cosmologiques

Comment l'ancien peuple Japonais savait-il que la Lune est un corps céleste comme la Terre ?

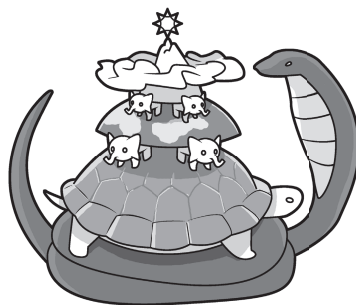
Takekoto monogatari (L'Histoire du coupeur de bambous) est connu de tous les Japonais. *Gengi monogatari* (Le dit du Genji), œuvre majeure du ^x^e siècle, en parlait déjà comme du conte le plus ancien. Il reste surprenant que les anciens Japonais aient cru que la Lune était habitée.

L'humanité a longtemps pensé que l'Univers se limitait à de l'espace contenu dans une *sphère céleste* entourant la Terre. Les anciennes cartes célestes montrent le Soleil, les planètes du Système solaire et les étoiles comme des petits objets fixés sur la sphère. Avec cette représentation, l'histoire de Kaguya-hime n'a pas de sens. Ceux qui ont créé le conte avaient donc une autre conception, où la Lune pouvait accueillir des habitants.

Chaque peuple a eu sa propre conception de l'Univers. Voyons cela.

L'univers de l'Inde ancienne

Dans l'Inde ancienne, les gens croyaient qu'une tortue chevauchait un énorme serpent enroulé, et que des éléphants montés sur sa carapace soutenaient une Terre hémisphérique. Ils pensaient que le Soleil apparaissait et disparaissait en tournant autour du mont Meru, montagne mythique au centre du monde. La Lune était la lampe du veilleur de nuit de la montagne. Elle croissait et décroissait, montrant différentes phases, selon le mouvement du veilleur.



L'univers de l'Inde ancienne

L'univers de l'Égypte ancienne

Les anciens Égyptiens pensaient que Shu, le dieu de l'air, portait Nut, le dieu du ciel. Nut était représenté par le Nil. Le jour et la nuit correspondaient à la traversée du Nil dans un sens puis dans l'autre par Ra, le dieu Soleil. Les étoiles et la Lune étaient suspendues au corps de Nut.



L'univers de l'Égypte ancienne

L'univers de l'ancienne Babylone

Selon les Babyloniens, la Lune et les étoiles étaient fixées à une énorme sphère entourant la Terre. Cette *sphère céleste* était soutenue par le mont Ararat et le Soleil se déplaçait de l'est à l'ouest en tournant sur la sphère.



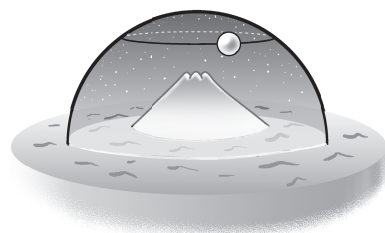
L'univers de l'ancienne Babylone

La Chine, berceau de l'astronomie

À l'opposé de ces univers imaginaires, les peuples de la Chine et de la Grèce anciennes ont développé des modèles scientifiques de l'Univers. L'histoire de l'astronomie commence en Chine.

Il y a 2000 à 2400 ans, en Chine, l'observation du ciel a engendré trois cosmogonies principales, *Gai Tian*, *Hun Tian* et *Xuan Ye*.

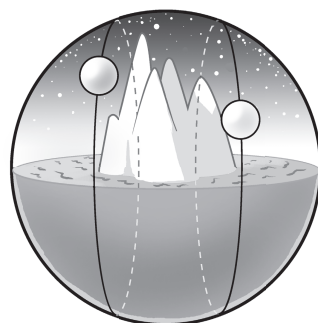
Selon *Gai Tian*, la Terre est un hémisphère recouvert par un ciel en forme de dôme. L'ensemble flotte sur l'océan et tourne d'un tour par jour autour du pôle Nord dans le sens est-ouest. Le Soleil tourne sur le ciel-dôme et son altitude, donc le rayon du cercle qu'il parcourt, varie avec les saisons.



**Cosmologie *Gai Tian*,
la Terre est recouverte d'un dôme**

Hun Tian est une évolution de *Gai Tian* représentant plus précisément le mouvement des corps célestes. Ce n'est plus un dôme, mais une sphère qui entoure la Terre flottant sur l'océan. La variation des constellations selon les saisons est expliquée par le déplacement du pôle Nord, précédemment considéré fixe au-dessus de nos têtes.

Enfin, d'après *Xuan Ye*, la Terre flotte dans un espace à peu près vide et infini. Cela nous rapproche de la réalité.



**Cosmologie *Hun Tian*,
la Terre est entourée d'une sphère**

La Grèce antique mesure la Terre

Le raisonnement logique développé par les Grecs anciens est la base des mathématiques et de la physique modernes. Cela leur a permis une grande découverte : la Terre est un corps sphérique flottant dans l'espace. Ils furent les premiers à calculer la taille de la Terre.

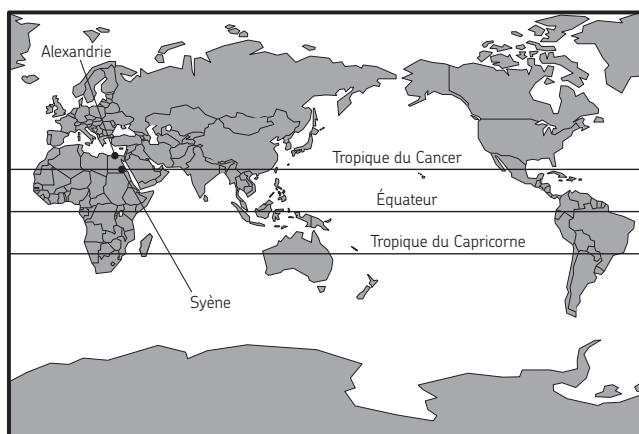
Ératosthène de Cyrène (environ 276-198 avant notre ère), savant érudit grec, travailla en Égypte pendant la période hellénistique. Il détermina la circonférence terrestre en étudiant l'ombre projetée par le Soleil. Voici sa méthode.

Méthode de calcul d'Ératosthène

Nous sommes à Syène (actuelle Assouan, au sud de l'Égypte), le jour du solstice d'été. Au moment où le Soleil est à son point culminant, Ératosthène observe qu'un bâton planté verticalement ne projette aucune ombre. Les rayons lumineux tombent donc perpendiculairement au sol. Cela ne se produit qu'entre les tropiques du Cancer et du Capricorne.

Or, lorsque le Soleil est à son point culminant le même jour, il projette l'ombre d'un bâton planté verticalement à Alexandrie (nord de l'Égypte).

Ératosthène en conclut que la Terre est ronde. En fait, cette théorie était déjà discutée par les savants de l'époque.



Les tropiques et l'équateur

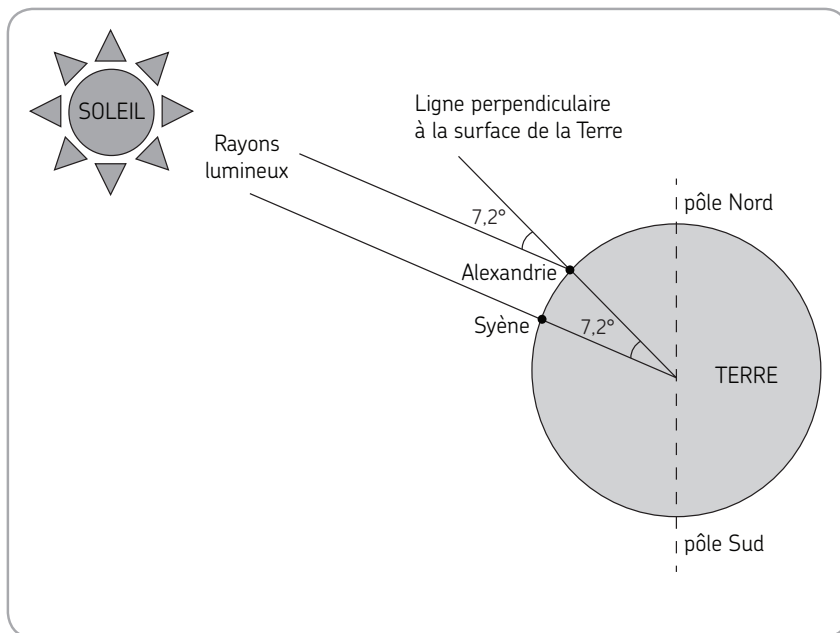
Ératosthène ne s'arrêta pas là : grâce à ses observations, il est parvenu à calculer la taille de la Terre. La mesure de l'ombre du bâton le jour de l'observation à Alexandrie, plus un peu de trigonométrie, lui permirent de déterminer que les rayons lumineux faisaient un angle de 7,2 degrés avec la verticale.

En utilisant les documents des « compteurs de pas », arpenteurs mesurant les distances en nombre de pas pour mettre à jour le cadastre après les crues du Nil, il estima la distance Syène–Alexandrie à 5 000 stades (ancienne unité de mesure), soit 925 km.

Ératosthène pu alors déterminer la circonférence de la Terre par la formule suivante :

$$925 \text{ km} \times \frac{360^\circ}{7,2^\circ} = 46\,250 \text{ km}$$

Vu les conditions d'expérimentation, le calcul d'Ératosthène est d'une précision remarquable : la circonférence terrestre vaut 40 000 km.



Méthode de calcul d'Ératosthène

Il existe une autre version de la découverte d'Ératosthène le jour du solstice d'été, lorsque le Soleil culmine au-dessus de nos têtes : au lieu de s'intéresser à l'ombre d'un bâton, il aurait observé que le Soleil éclaire le fond d'un puits.

Bâton ou puits, la conclusion est la même : à Syène, les rayons lumineux frappent le sol perpendiculairement à cet instant précis.

Si la Terre est ronde, la Lune aussi

Les savants comme Ératosthène n'étaient sans doute pas les seuls à penser que la Terre est ronde. Les habitants proches de la mer voyaient une ligne d'horizon, et un bateau qui s'approchait était détecté par l'apparition du haut de ses voiles.

Or, ces deux phénomènes ne sont pas compatibles avec une Terre plate.



La Terre



La Lune

De nos jours, une bonne vue suffit pour se convaincre que la Lune est une sphère : sur une photo agrandie, on voit que les bords sont plus lumineux, ce qui ne serait pas le cas si la Lune était une vignette plate posée sur une voûte céleste.

Revenons à l'histoire de Kaguya-hime

Le Japon étant un archipel, des Japonais ont dû observer la courbure de l'horizon et en déduire de longue date que la Terre est ronde.

Les missionnaires européens sont arrivés au Japon au ^{xvi}^e siècle et ont introduit leurs connaissances scientifiques auprès des seigneurs féodaux. Quand ils présentèrent un globe terrestre, la réaction des Japonais ne fut pas celle attendue : une Terre sphérique n'était pas une surprise pour eux !

Depuis les temps anciens, l'attrait que la Lune exerce sur les Japonais ne faiblit pas. Cela se voit dans leur folklore : Kaguya-hime, le lapin de la Lune, le festival d'observation de la Lune Tsukimi... Bien que Tsukimi soit d'origine chinoise, on dit que les Japonais ont commencé à révéler la Lune dès la période Jomon, de 3 000 à 300 ans avant notre ère. C'est probablement dès cette période que les Japonais ont su que la Lune est une sphère.

Si la Terre et la Lune sont toutes deux des corps sphériques, il est naturel de penser que la Lune est habitée au même titre que la Terre.

Retrouver cette idée dans l'histoire de Kaguya-hime n'est donc pas si surprenant.

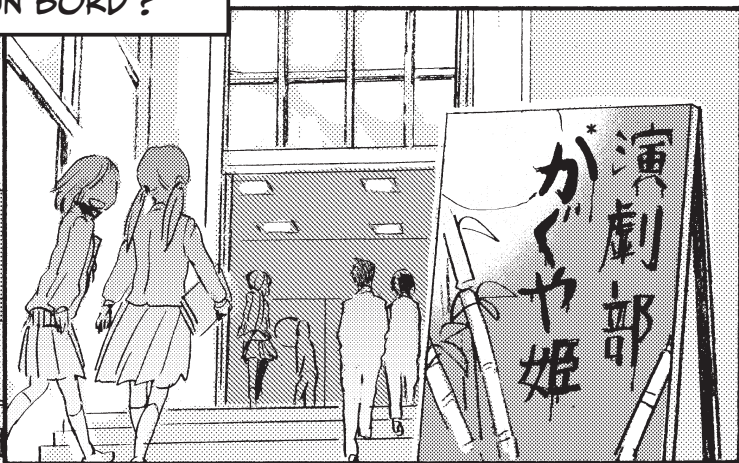


4

**À quoi ressemble le bord
de l'Univers ?**

L'UNIVERS A-T-IL UN BORD ?

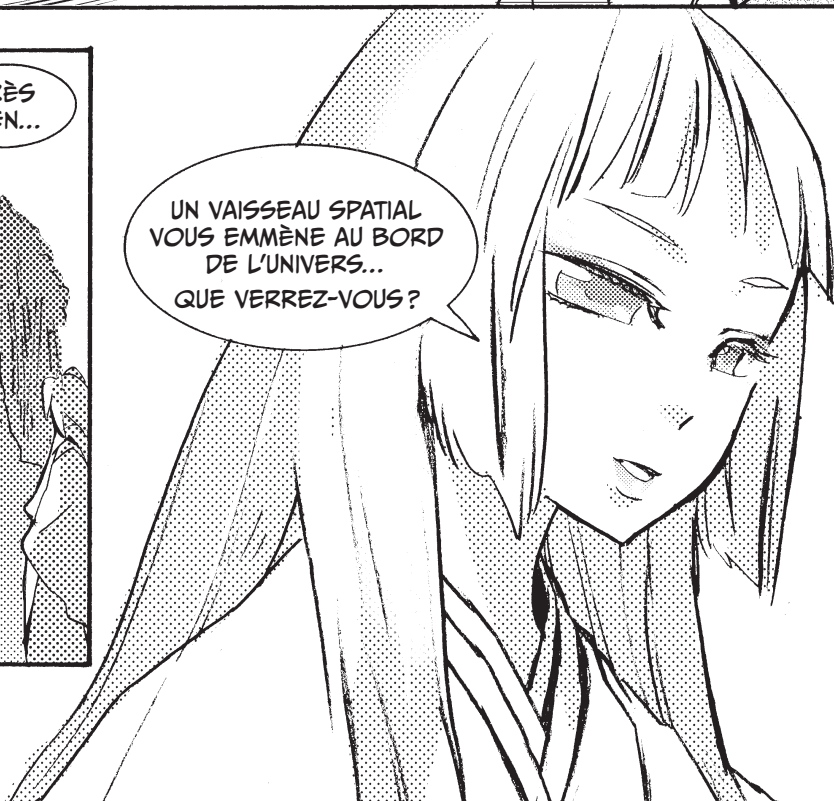
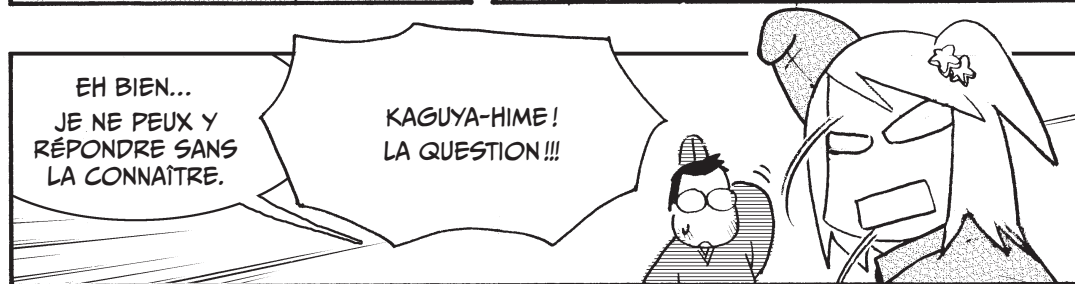
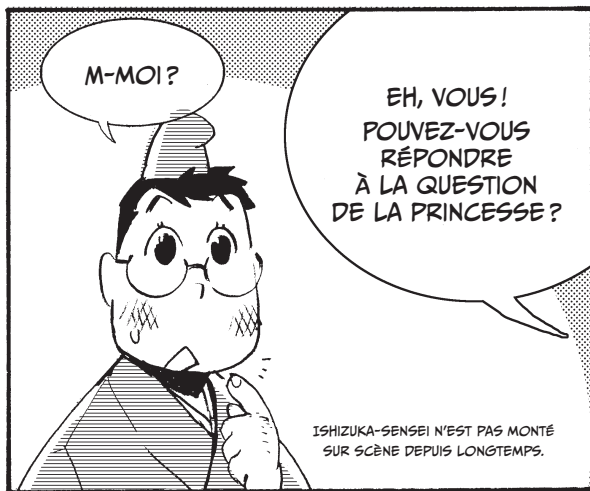
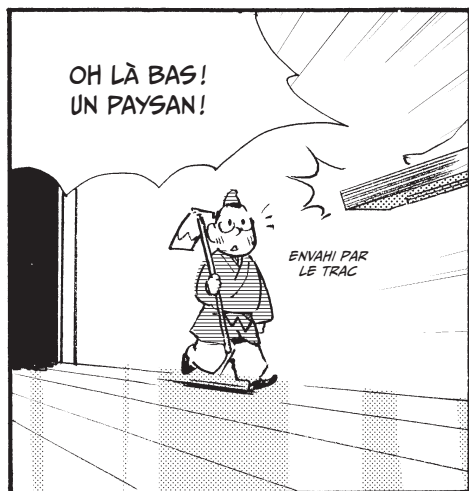
FESTIVAL DES ARTS
lycée Kouki

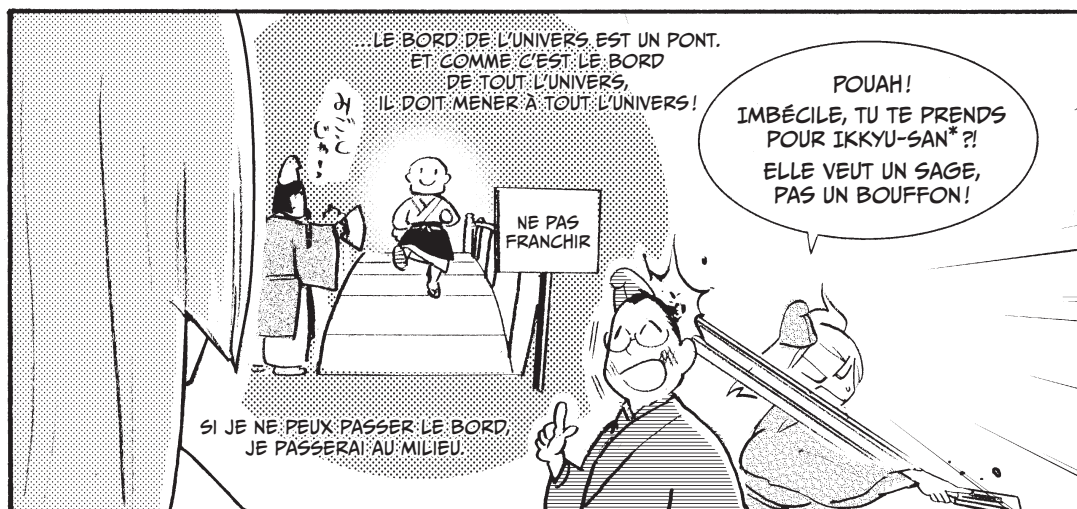
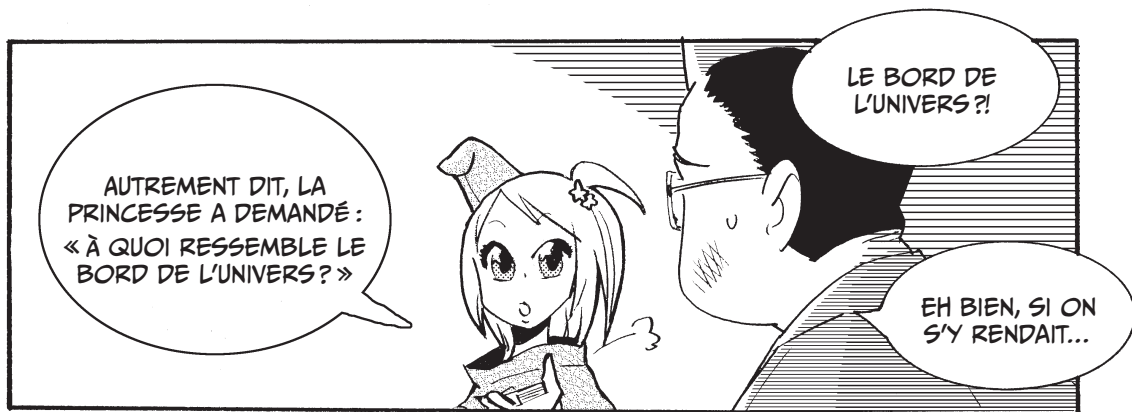


* La Princesse Kaguya-hime, pièce écrite et mise en scène par Kanna

ALLEZ !
N'Y A-T-IL PERSONNE
POUR RÉPONDRE À
CETTE QUESTION ?

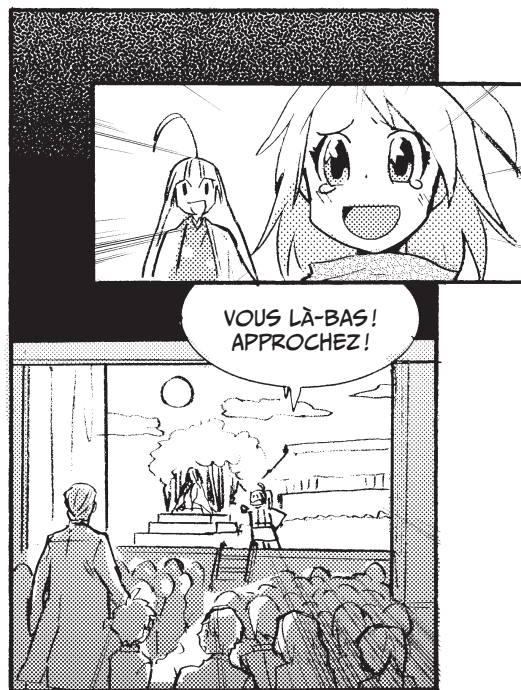
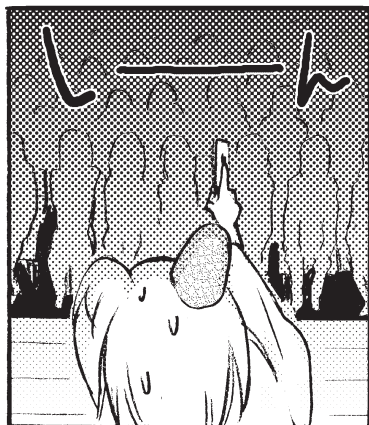
SEUL UN HOMME
CONNAISSANT LES
SECRETS DE L'UNIVERS
PEUT ÉPOUSER LA
PRINCESSE !

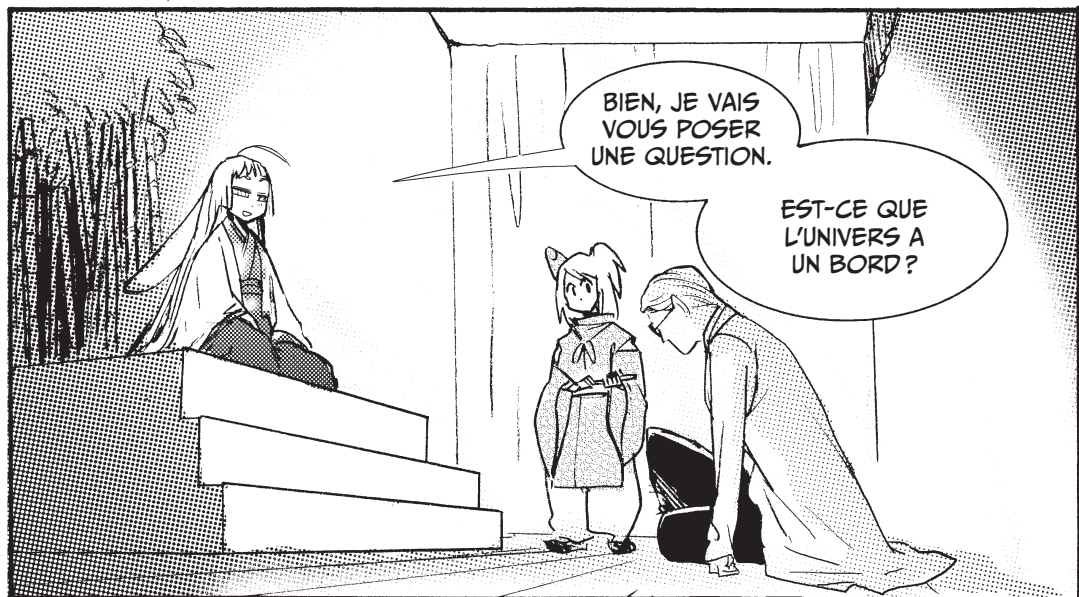
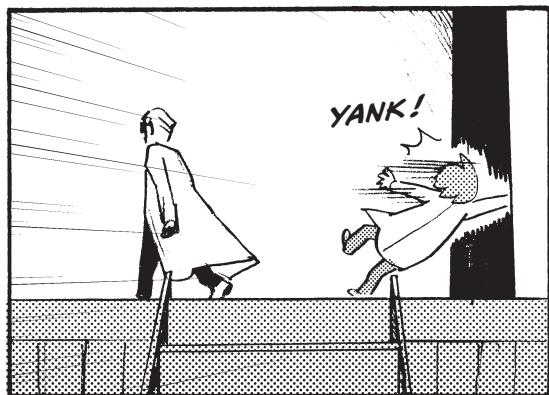
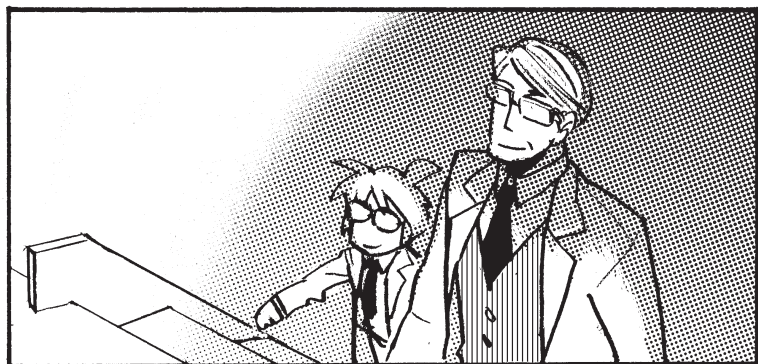


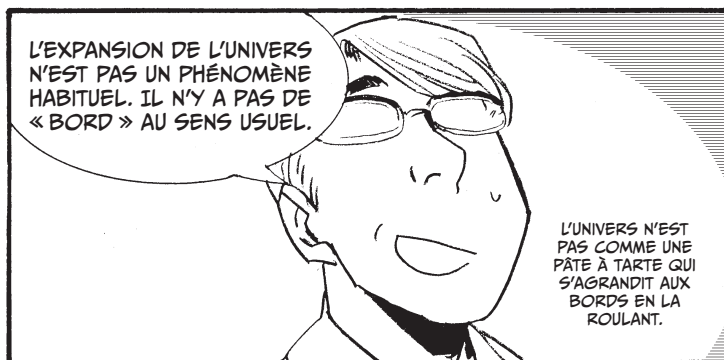
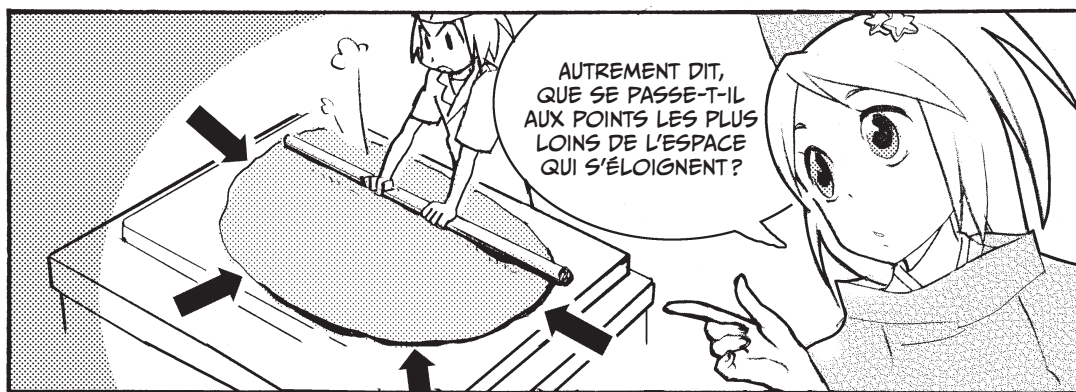


* Ikkyu était un prêtre Zen célèbre pour ses jeux de mots.
Le mot japonais pour « pont » (« hashi ») signifie aussi « bord ».

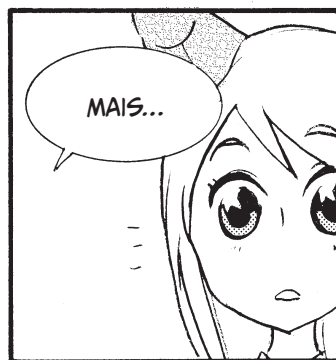


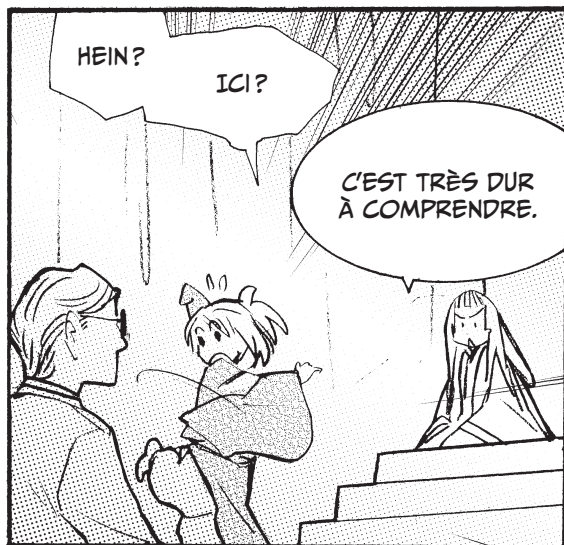


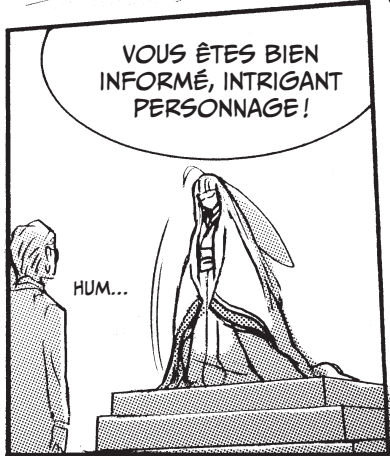
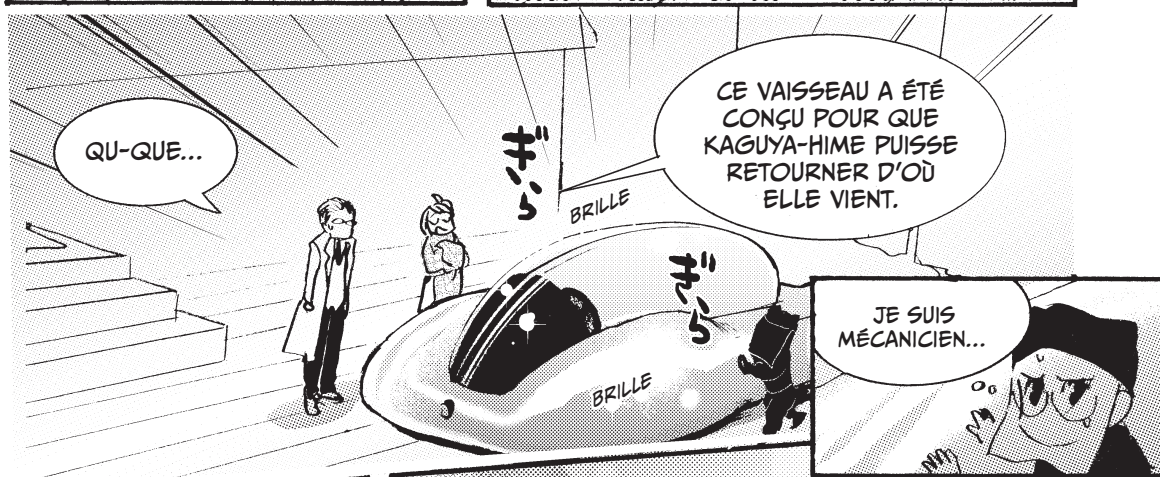
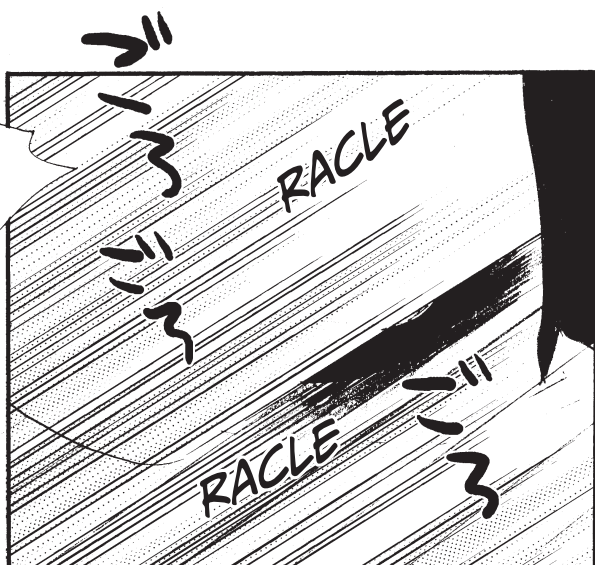
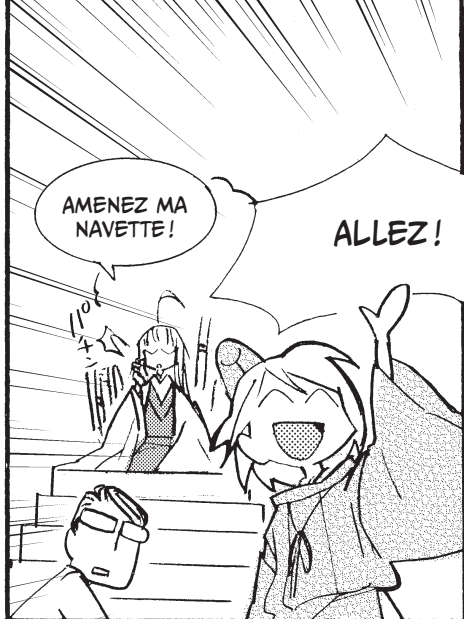




L'UNIVERS N'EST
PAS COMME UNE
PÂTE À TARTE QUI
S'AGRANDIT AUX
BORDS EN LA
ROULANT.





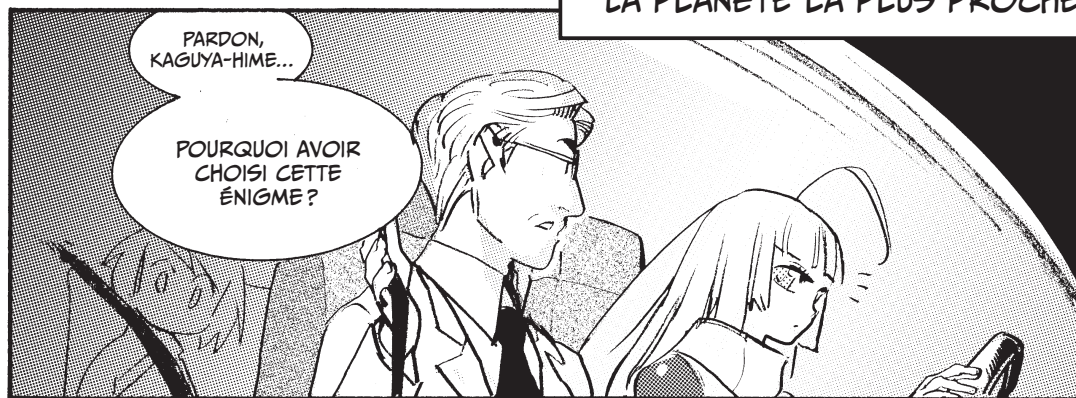


ALORS POURQUOI
NE PAS ALLER CHERCHER
LE BORD DE L'UNIVERS AVEC
MON VAISSEAU,
LE KAGUYA-GO?

PENDANT LE VOYAGE,
POUVONS-NOUS
CHERCHER
MON MONDE
D'ORIGINE?

EN ATTERISSANT
SUR TERRE, JE ME
SUIS COGNÉ LA
TÊTE ET J'AI PERDU
LA MÉMOIRE...



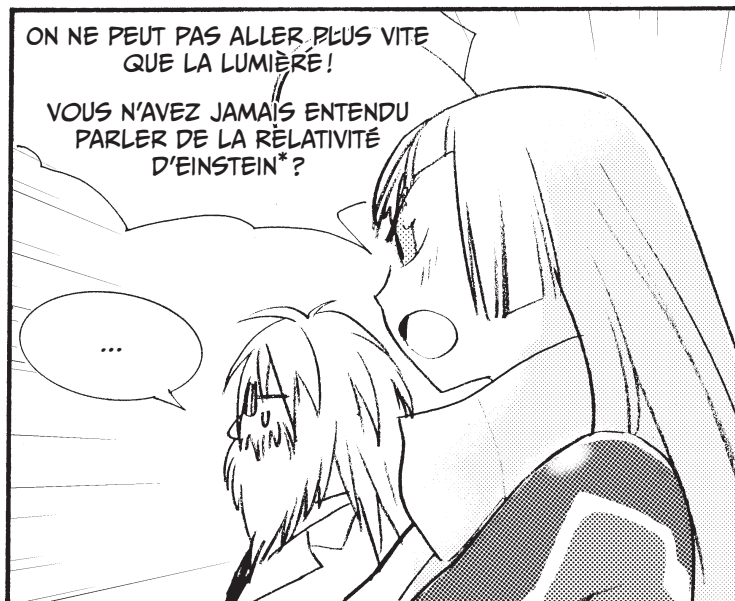
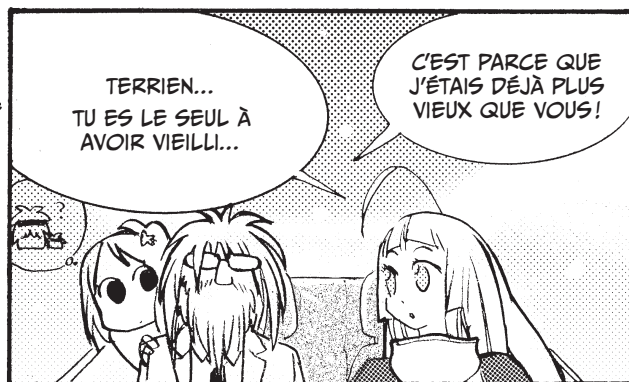


MET SA CEINTURE



LE VAISSEAU KAGUYA-
GO QUITTE LA TERRE
ET FILE VERS LE BORD
DE L'UNIVERS SANS
MÊME S'ARRÊTER POUR
JETER UN COUP D'ŒIL
À LA LUNE.

IL DÉPASSE RAPIDEMENT
MARS, JUPITER ET
SATURNE, PUIS QUITTE
LE SYSTÈME SOLAIRE.



* Albert Einstein (1879-1955), père de la relativité restreinte et de la relativité générale. Il a reçu le prix Nobel de physique en 1921.

QUELLES SONT
CES ÉTOILES?

C'EST ALPHA DU
CENTAURE, NON? CE
SONT LES ÉTOILES
LES PLUS PROCHES
DU SOLEIL.

C'EST UN SYSTÈME
TERNAIRE, ET LES
CHERCHEURS PENSENT
QU'IL CONTIENT
DES PLANÈTES
POTENTIELLEMENT
HABITABLES.

KAGUYA-HIME EST
PEUT-ÊTRE NÉE LÀ
BAS!

HUM...

VIVRE SOUS TROIS
SOLEILS, QUELLE
HORREUR!

CE SERAIT IMPOSSIBLE DE SE
PROTÉGER DU RAYONNEMENT
ULTRA-VIOLET!!

DU CALME!

CONTINUONS À CHERCHER!

FUUU!

BA-WOOOUUUUM!

Départ

JOURNAL DE BORD DU KAGUYA-GO

La Voie lactée

La Voie lactée est plus facilement visible en été car le centre de la galaxie est dans la direction du Sagittaire, qui est une constellation d'été. Comme la Terre est située à 28 000 années-lumière du centre de la galaxie (d'un diamètre de 100 000 années-lumière), les étoiles de la Voie lactée scintillent dans le ciel lorsqu'on les regarde à l'œil nu.

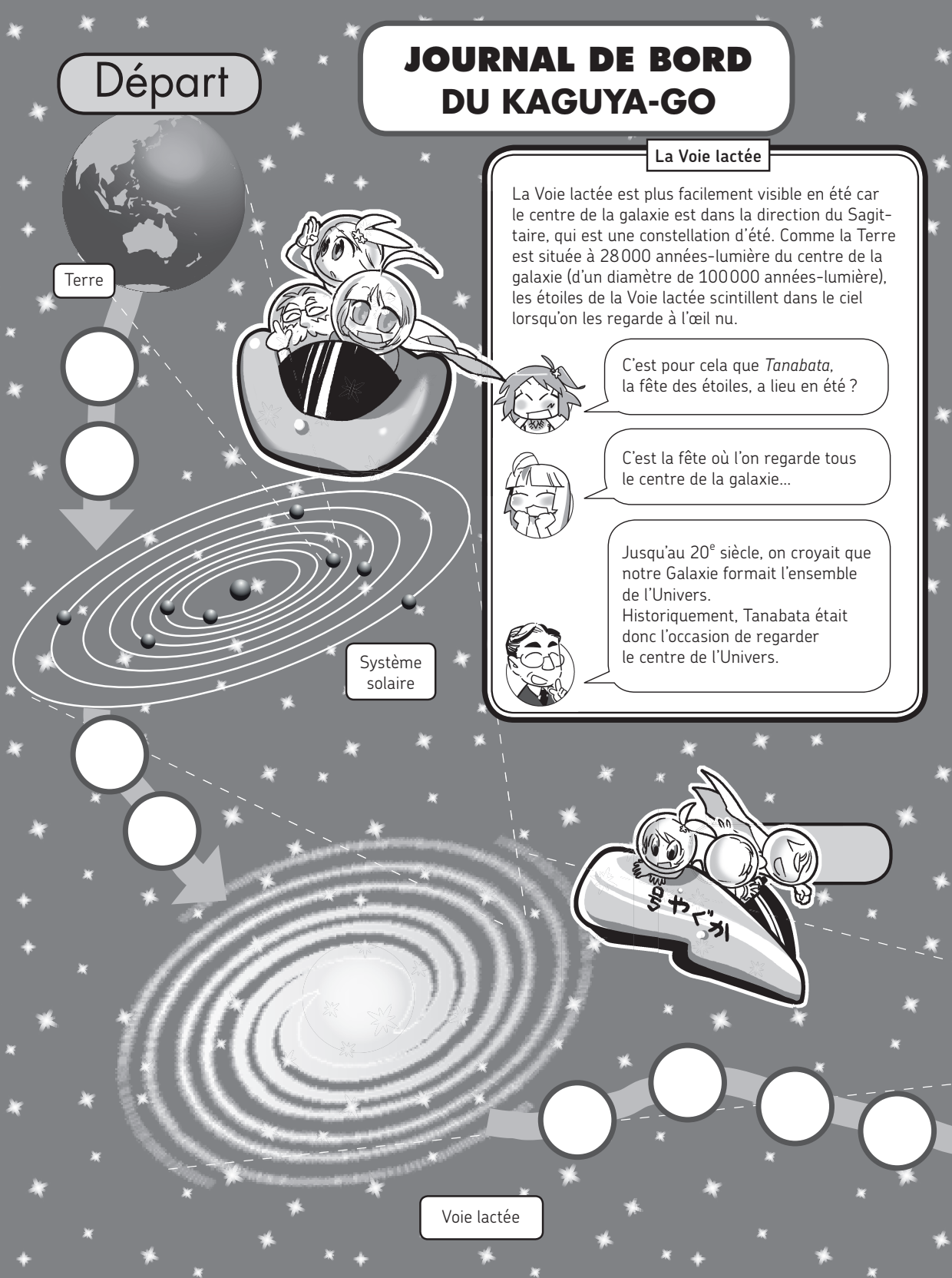
C'est pour cela que *Tanabata*, la fête des étoiles, a lieu en été ?

C'est la fête où l'on regarde tous le centre de la galaxie...

Jusqu'au 20^e siècle, on croyait que notre Galaxie formait l'ensemble de l'Univers. Historiquement, Tanabata était donc l'occasion de regarder le centre de l'Univers.

Système
solaire

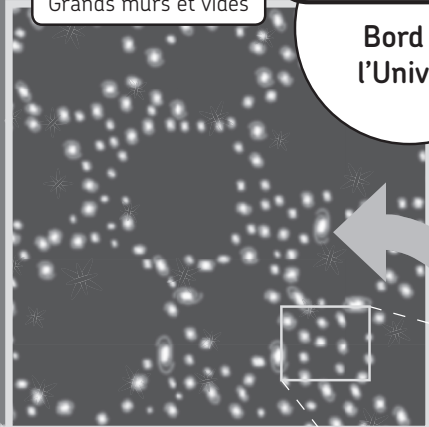
Voie lactée



Objectif

Grands murs et vides

Bord de l'Univers



Grands murs et vides

Les galaxies forment des amas et des superamas, mais quand on considère l'Univers dans son entier, elles sont arrangées en réseau. Autrement dit, des bulles d'espace vide sont accolées et les galaxies sont à leur surface. Comme ces galaxies semblent former un large mur quand on les observe depuis la Terre, on appelle ces séparations des *grands murs*.



Aujourd'hui, le maillage formé par les grands murs et les vides forme la plus grande structure connue de l'Univers.



Et le même genre de structure se reproduit aussi loin que l'on aille, n'est-ce pas ?

Superamas local (dit de la Vierge)

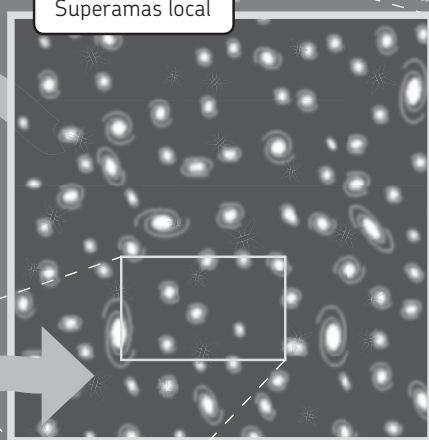
Un superamas est formé par une agrégation d'amas de galaxies et a un diamètre de plus de 100 millions d'années-lumière. C'est vraiment un amas de superstructures célestes. Le superamas auquel appartient notre système galactique (le Groupe local) est le *Superamas local*. Il est aussi connu sous le nom de superamas de la Vierge.

60 millions d'années-lumière séparent le Groupe local (situé au bord du Superamas local) de la galaxie M87 (constellation de la Vierge, au centre du Superamas local).

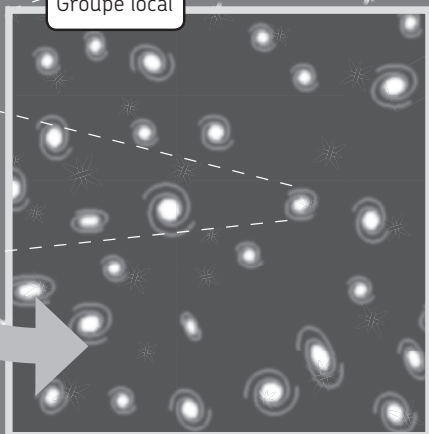
Notre Superamas local possède un diamètre de l'ordre de 200 millions d'années-lumière.



Superamas local



Groupe local



Groupe local

Dans l'Univers, les galaxies sont agrégées en groupes ou amas de galaxies. L'amas auquel appartient notre Galaxie (la Voie lactée) est le *Groupe local*.

Il contient environ 40 galaxies. La plus large est la galaxie d'Andromède, avec un diamètre de 130 000 années-lumière.

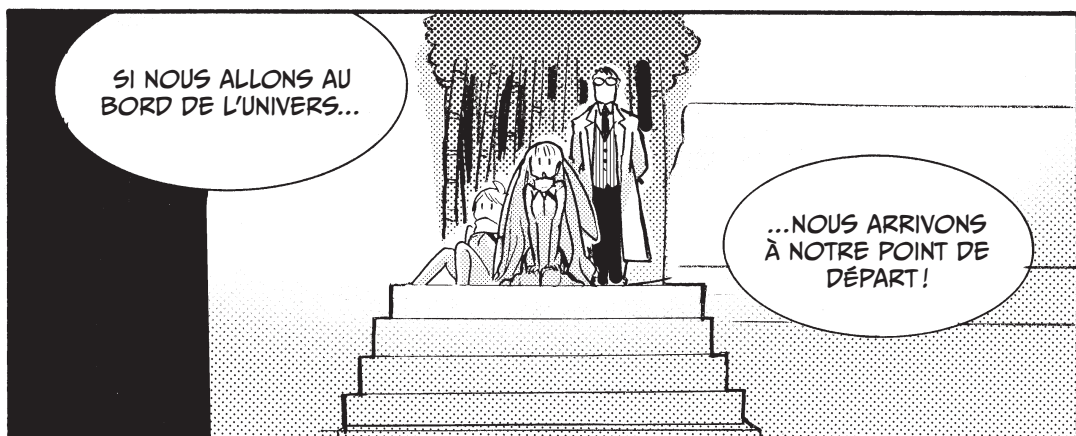


D'après les calculs des scientifiques, le diamètre du Groupe local est de 2,4 à 3,6 Mpc (mégaparsecs).



Un parsec est la distance d'un objet céleste voyant la distance Terre-Soleil avec une parallaxe d'une seconde d'arc : 1 pc = 3,26 al. Le diamètre du Groupe local vaut donc 7,8 à 11,7 **millions** d'années-lumière !

ON ARRIVE AU « BORD » DE L'UNIVERS



Les explications du professeur Sanuki

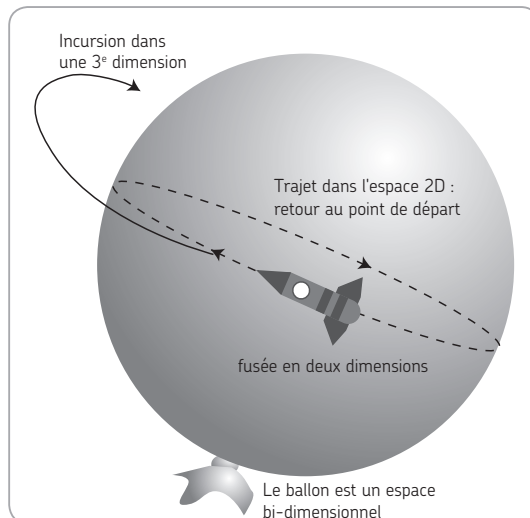
Tout le monde a entendu dire que l'Univers est né avec le Big Bang. Mais qu'est-ce que cela veut dire exactement, « l'Univers est né » ?

Un espace est caractérisé par son nombre de dimensions

Nous vivons dans un univers à trois dimensions (3D) : la longueur, la largeur et la hauteur sont suffisantes pour se repérer dans l'espace, c'est-à-dire identifier une position sans ambiguïté.

Le nombre de dimensions n'est pas limité. On parle d'*hyper-espace* à partir de quatre dimensions* (4D). Si on se place dans un hyper-espace pour observer un espace 3D, ce dernier apparaît comme un sous-espace fermé.

On ne peut pas se représenter un espace 4D. En revanche, on visualise sans problème un espace 2D vu depuis un espace 3D : il suffit de regarder la surface d'un ballon. Elle est courbée spatialement et forme une sphère en trois dimensions.



Si la fusée bi-dimensionnelle suit le bord du ballon, elle revient à son point de départ.

On peut appliquer cette idée à notre espace tri-dimensionnel : il peut être courbé dans un hyper-espace 4D. Dans ce cas, un habitant de l'hyper-espace voyageant dans une navette 4D traverserait sans problème le bord de notre univers 3D. De son point de vue, le bord de l'univers 3D est partout. Voilà pourquoi je disais que « le bord de l'Univers est juste ici ».

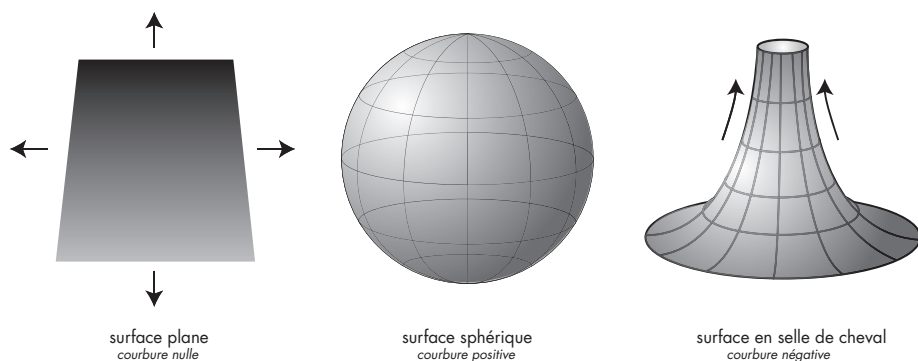
* Nous parlons d'un espace à 4 coordonnées spatiales (par exemple, longueur, largeur, hauteur et *machin-eur*), pas de l'espace-temps qui possède 3 dimensions spatiales et 1 dimension temporelle.

Un peu de science-fiction

Conservons l'idée que notre Univers 3D est plongé dans un espace 4D. Imaginons que nous disposions d'un vaisseau à « distorsion spatiale » ayant la capacité de sortir de l'espace tri-dimensionnel pour aller dans l'hyper-espace, s'y déplacer puis retourner dans l'espace 3D à un autre endroit. Notre navette parcourerait un trajet continu empruntant temporairement la 4^e dimension. Si un radar la suivait, il la verrait disparaître puis réapparaître ailleurs. En clair, l'observateur du monde 3D aurait l'impression que le vaisseau s'est téléporté !

La forme de l'espace tri-dimensionnel dépend de sa courbure

Je passerai sous silence les difficultés mathématiques, mais il est prouvé que la forme de l'espace dépend du signe d'un paramètre appelé *courbure*. Cela ne laisse que trois possibilités. Pour fixer les idées, les dessins ci-dessous illustrent les trois modèles dans le cas d'un univers 2D.

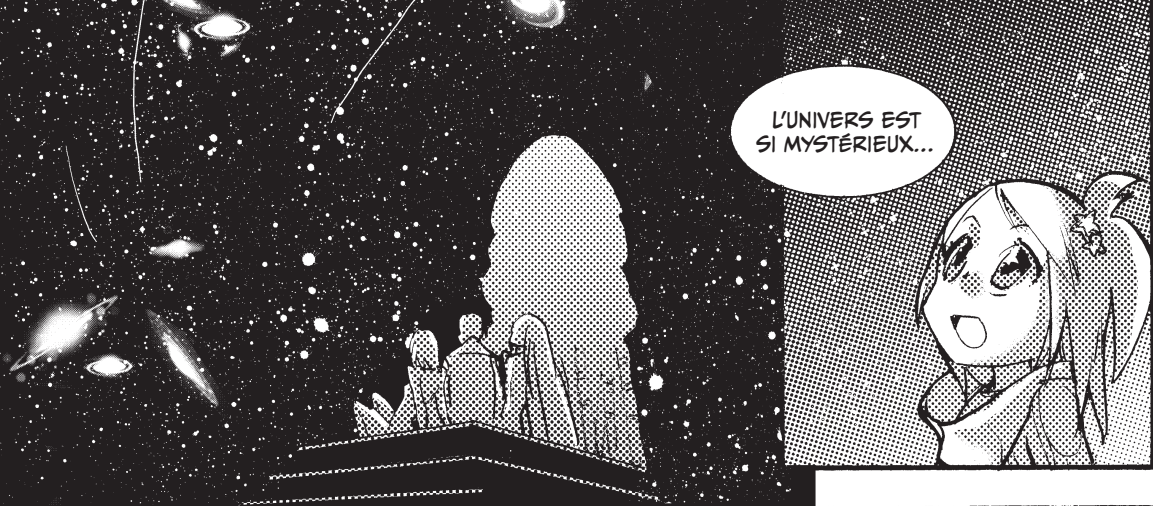


3 modèles d'univers 2D (en 2 dimensions)

- Dans le premier modèle, la courbure est nulle. L'espace s'étend à l'infini quelle que soit la direction. Un espace 2D à courbure nulle est un plan infini. Comme on ne peut pas représenter l'infini, les flèches du dessin rappellent que les « bords » du plan n'existent pas. Quelle que soit votre trajectoire, vous n'atteindrez donc jamais le bord de l'Univers.
- Le deuxième modèle d'espace correspond à une courbure positive. L'équivalent en 2D est une surface sphérique comme celle d'un globe.
- Dans le troisième modèle, à courbure négative, l'espace est en forme de « selle de cheval ».

Si nous considérons la surface sphérique à courbure positive comme modèle d'Univers, un vaisseau qui se déplace dans cette surface en trois dimensions vers le bord de son Univers va finalement revenir à son point de départ.

La théorie de la relativité d'Einstein assure que rien ne peut dépasser la vitesse de la lumière dans notre Univers 3D. La science-fiction exploite cette limite : à l'instant où les vaisseaux supraluminiques dépassent la vitesse de la lumière, ils plongent dans l'hyper-espace, ce qui permet, nous l'avons vu, de se téléporter dans l'Univers 3D.



L'UNIVERS EST
SI MYSTÉRIEUX...



LES HUMAINS
DOIVENT RÉFLÉCHIR
À SES MYSTÈRES.
IL Y A TANT
D'ENSEIGNEMENTS À
EN TIRER...

...N'EST-CE PAS,
PROFESSEUR
SANUKI?

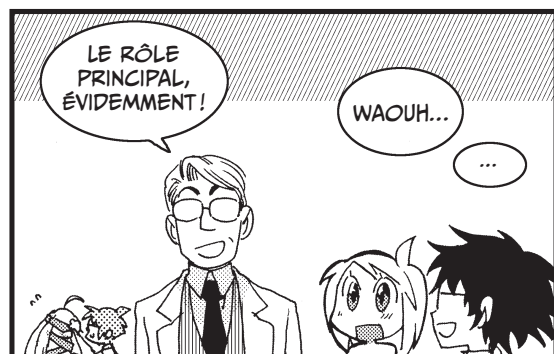
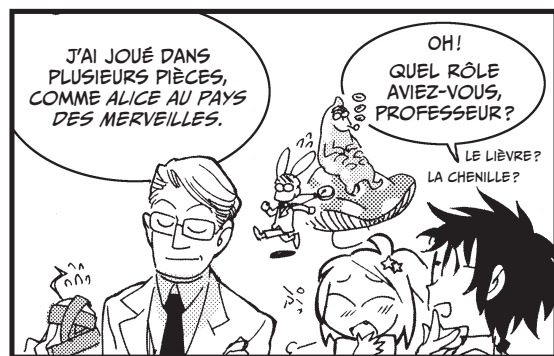
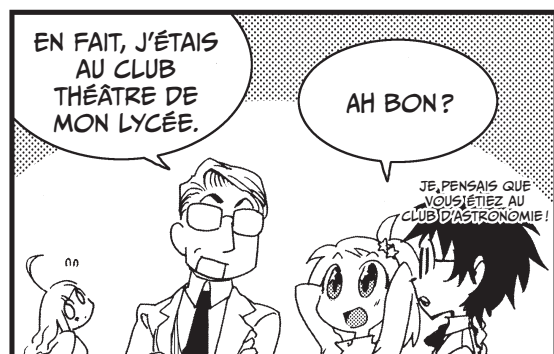
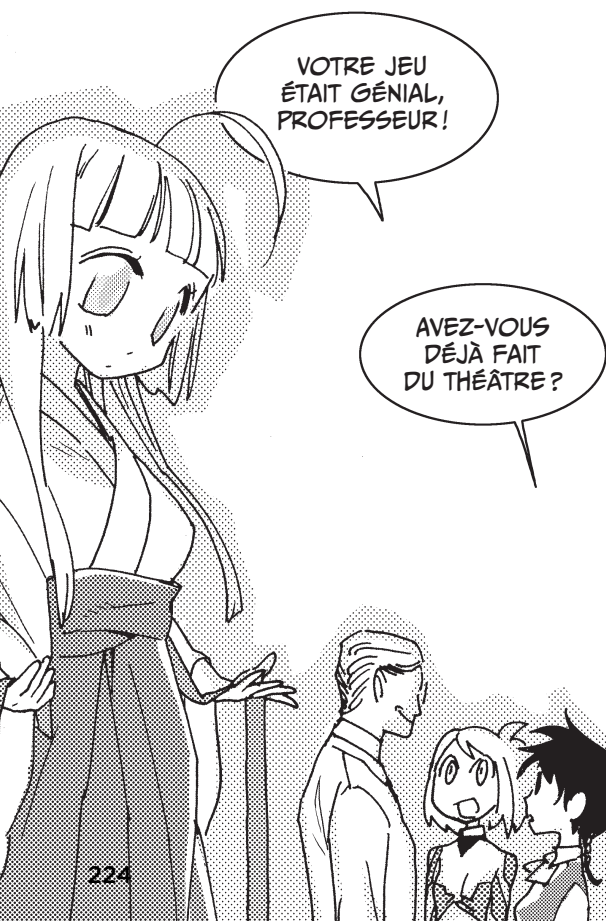


C'EST VRAI.
RÉPONDRE À TOUTES CES
QUESTIONS EST LA MISSION
DES CHERCHEURS.



KAGUYA-HIME N'EST PAS
RETOURNÉE CHEZ ELLE...
...MAIS ELLE VÉCUT
HEUREUSE SUR TERRE EN
DEVISANT SUR L'UNIVERS
AVEC CE SAGE VILLAGEOIS.

BRAVO...
BRAVO!!



Index

A

âge de l'Univers 244–245
aliens 192–196
Alpha du Centaure (système binaire)
 197, 217
Andromède (nébuleuse) 121, 132,
 156–157, 182
antimatière 181–183
antiquarks 181–183
Appolo (missions spatiales) 25, 79
Aristarque 52–53, 57–59, 137
Aristote 51
atomes 180

B

Big Bang 167–179
 chronologie 175
 époque de Planck 176–177
 et antimatière 181–183
 inflation 175–177, 242–243
 naissance et distribution de la
 matière 184–187
 particules élémentaires .. 179–180
 preuves 178
 température 184
Big Crunch 238
bord de l'Univers ... 189–190, 211–212,
 221–222
bosons 180
Brahe (Tycho) 82–84

C

ceinture de Kuiper 139
Céphéides (étoiles variables) .. 200–201
cluster de galaxies 123
 formation 185, 187
CMBR (fond diffus cosmologique) . 178,
 241, 243
COBE (satellite *Cosmic Background
 Explorer*) 178
coin de cube 79–80
constante cosmologique .. 237–239, 244
Copernic (Nicolas) 51, 65, 81, 83
cosmologique (principe) .. 192, 231, 241
courbure de l'espace 231–244
croyances anciennes à propos de
 l'Univers 30–31

D

décalage vers le rouge ... 158–164, 201
Démocrite 128, 132
densité de matière 239–240
distances ... Voir mesure des distances
Doppler (effet) 159
Drake 192–193, 196

E

effet Doppler 159
Einstein (Albert) 236–239
énergie sombre 121, 178, 239–240
espace (dimensions) 221–222, 232

étoile
 composition 163–164, 178
 couleur 199
 distance 138, 198–201
 formation 175
 magnitude 199
 variable 200–201
 Europe (satellite de Jupiter) 98,
 194–195
 expansion de l'Univers 239
 extraterrestres 192–196

F

FLRW (Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker) 239–241
 fond diffus cosmologique (CMBR) . 178,
 241, 243
 force gravitationnelle
 courbure de la lumière 238
 énergie sombre 239
 matière noire 238
 relativité générale 236–237
 force répulsive 236–237, 239
 Friedmann (Alexandre) .. 234, 237, 239

G

galaxie
 barrée 118
 d'Andromède .. 121, 132, 156–157,
 182
 définition 152
 formation 149, 175, 185, 187
 forme 149
 groupes ... 123, 152–153, 185, 187,
 219
 spirale 118

Galilée 66, 68–69, 84–85
 Ganymède (satellite de Jupiter) ... 105,
 195
 géocentrique (modèle) 50–51
 grand(e)
 débat 156
 mur 153, 175, 219
 tache rouge (Jupiter) 98
 tache sombre (Neptune) 101
 Groupe local 152–153, 219
 masse 238
 nombre de galaxies 152

H

héliocentrique (modèle) 51–52
 horizon 33–34, 78
 H-R (diagramme Hertzsprung-Russell)
 199–200
 Hubble (Edwin) 154
 constante 174
 découvertes 155–162
 expansion de l'Univers ... 158–161
 télescope 134
 hypothèse de l'impact géant 105

I

inflation 175–177, 242–243

J

Jupiter 69, 76, 89, 98

K

Kant (Emmanuel) 131–132, 152
 Kepler (lois de) 70, 84–89
 Kuiper (ceinture de) 139

L

Lemaître (Georges) 239
 lentille gravitationnelle 238
 lois de Kepler 70, 84–89
 lumière (courbure) 238
 Lune
 distance de la Terre 73–74, 79–81, 137
 éclipse 58
 formation 104–105
 marées 106
 miroirs sur 79–80
 taille 57–61, 74, 106

M

Mars 76, 89, 97
 matière
 antimatière 181–183
 baryonique 178, 238
 densité moyenne 239–240
 naissance et répartition .. 178, 238
 noire 121, 178, 238
 particules élémentaires .. 179–180
 Mercure 76, 89, 95
 message d'Arecibo 194
 mesure des distances
 redshift 201
 relation période-luminosité .. 200–201
 supernova 201
 triangulation 137–138

missions spatiales Appolo 25, 79
 modèle
 géocentrique 50–51
 héliocentrique 51–52
 multivers 229–231

N

nébuleuse 132, 157
 Neptune 76, 89, 101
 Newton (Isaac) 236
 gravité 236
 mécanique 70

O

Oort (nuage) 139
 orbite
 des planètes 82–89
 elliptique 83–84
 lois de Kepler 85–88

P

parallaxe annuelle 138, 198–200
 parsec 138, 219
 particules élémentaires 179–180
 photon 179–180, 182, 241
 Pluton 94, 102
 principe cosmologique 192, 231, 241
 pulsatile (étoile variable) 200

Q

quarks 175, 180, 182–183

R

radio télescope 136
redshift 158–164
 relativité générale 236–239

S

Sagan (Carl) 193
 satellite
 COBE (*Cosmic Background Explorer*) 178
 Europe (satellite de Jupiter) ... 98, 194–195
 Ganymède (satellite de Jupiter) 105, 195
 Saturne 76, 89, 99
 Soleil 108–109
 sphère céleste 31
 superamas
 de galaxies 123, 153
 local 219
 superclusters 123, 153, 219
 supernova 109, 201, 239
Swift Gamma-Ray Burst Mission .. 244
 Système solaire 76, 139, 175

T

Tanabata (festival des étoiles) 218
 tardigrades 197–198
 Tau Ceti (système planétaire) 196
 télescopes
 célèbres 134–135
 types de 133–134, 136
 temps 177

Terre 53–57, 72–74, 79–81
 formation 175
 formation de la Lune 104–105
 marées 106
 orbite 89
 Théia (planète théorique) 105
 théorie
 inflation cosmique 175–177, 242–243
 relativité générale 236–239
 triangulation
 distance de la Lune 80
 distance du Soleil 137
 distance des étoiles 138
 trou noir 120–121

U

Univers
 âge 244–245
 bord .. 189–190, 211–212, 221–222
 clos 234–235, 240, 242, 244
 cône (illustration) 168–170
 croyances anciennes 30–31
 décalage vers le rouge 158–164
 de de Sitter 244
 dynamique 234–239
 expansion 128, 158–177, 239
 futur de 236–241
 île 132, 149, 152
 modèles 234–235, 239–241
 multivers 229–231
 plat 232, 235, 240–244
 température 241
 Uranus 76, 89, 100

V

Vénus 69, 76, 89, 96

Virgo	
amas	152
superamas	219
vitesse	174
VLA (observatoire <i>Very Large Array</i>)	
136	
Voie lactée	
centre	118–121
collision avec Andromède	121
formation	120, 175
forme	120, 129–131

structure	128–131
-----------------	---------

W

WIMP (<i>Weakly Interacting Massive Particle</i>)	238
WMAP (<i>Wilkinson Microwave Anisotropy Probe</i>)	178, 241–242