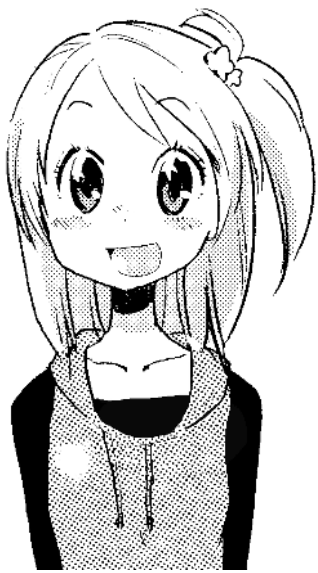
LES GUIDES MANGAS

L'UNIVERS



Auteur	KENJI ISHIKAWA	journaliste scientifique
Réviseur	KIYOSHI KAWABATA	professeur d'astrophysique
Dessins	YUTAKA HIIRAGI	mangaka
Traduction	JEAN-YVES FÉVRIER	agrégé

Ohmsha

no starch press

H&K

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 similiaires, 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

3 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 3e façon de mesurer la taille de l'Univers 198

4 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

5 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 !

演劇部 部員大募集!! *

* Club Théâtre. On cherche de nouveaux talents !

POURQUOI ES-TU ROMÉO ?

MAIS T'ES OÙ ROMÉO ?!

ON N'A TOUJOURS PERSONNE POUR LE RÔLE.

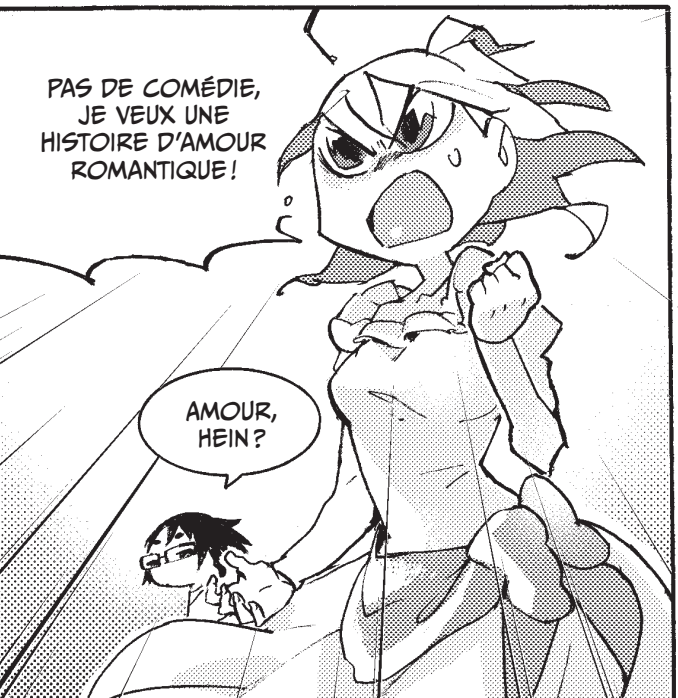
IL RESTE PEU DE TEMPS AVANT LE FESTIVAL...

20 JOURS AVANT LE DÉBUT DU FESTIVAL

QUE VA-T-ON FAIRE ?







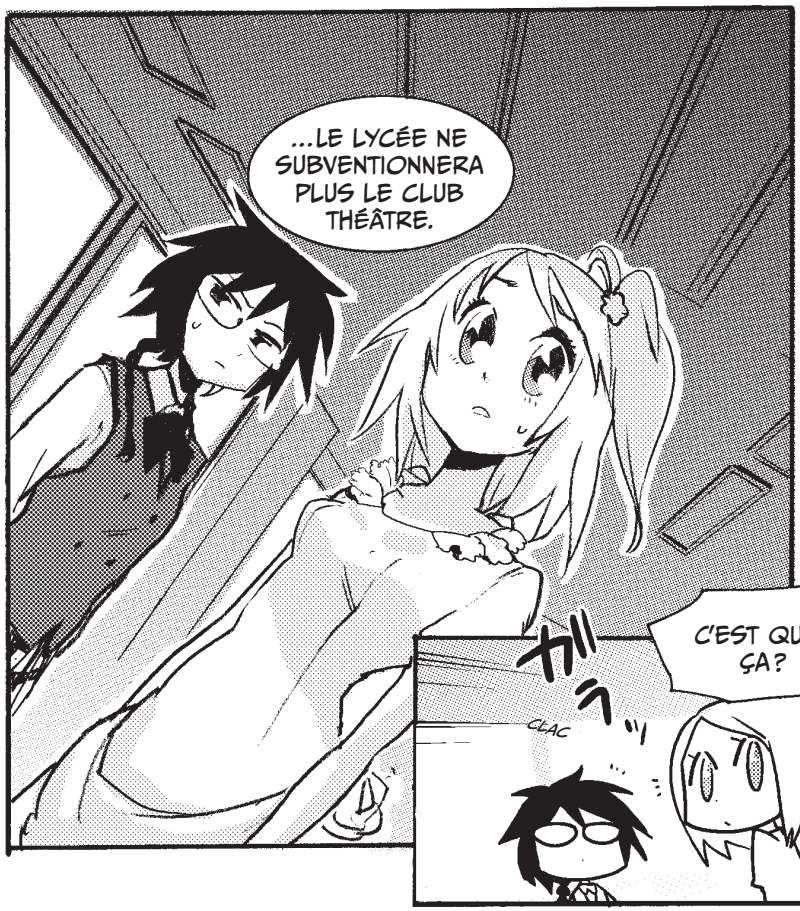


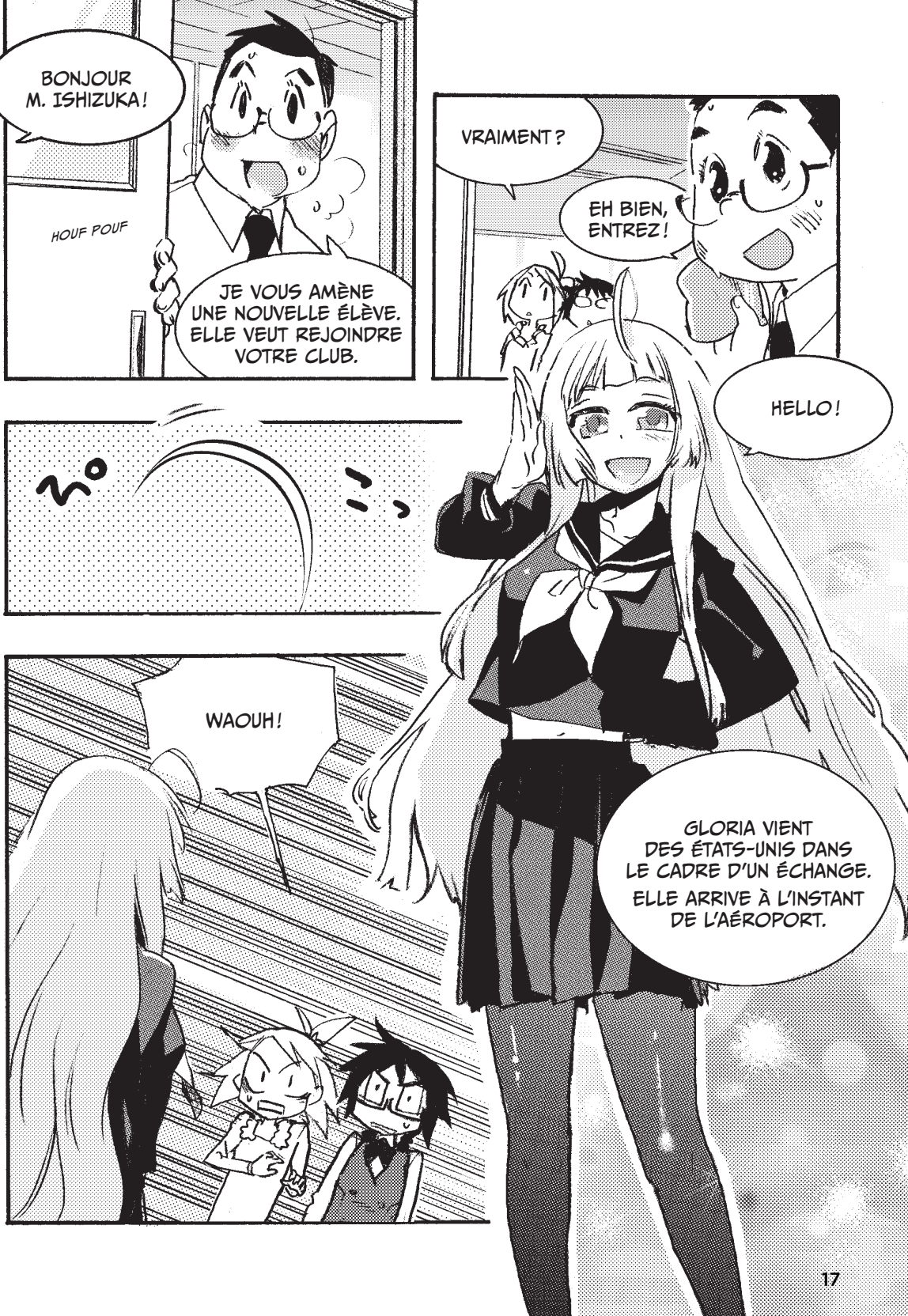
* Memoryyyy ! Tout seul à la fourrière !
(Clin d'œil à la comédie musicale *Cats* « Memory, toute seule au clair de lune ! »)

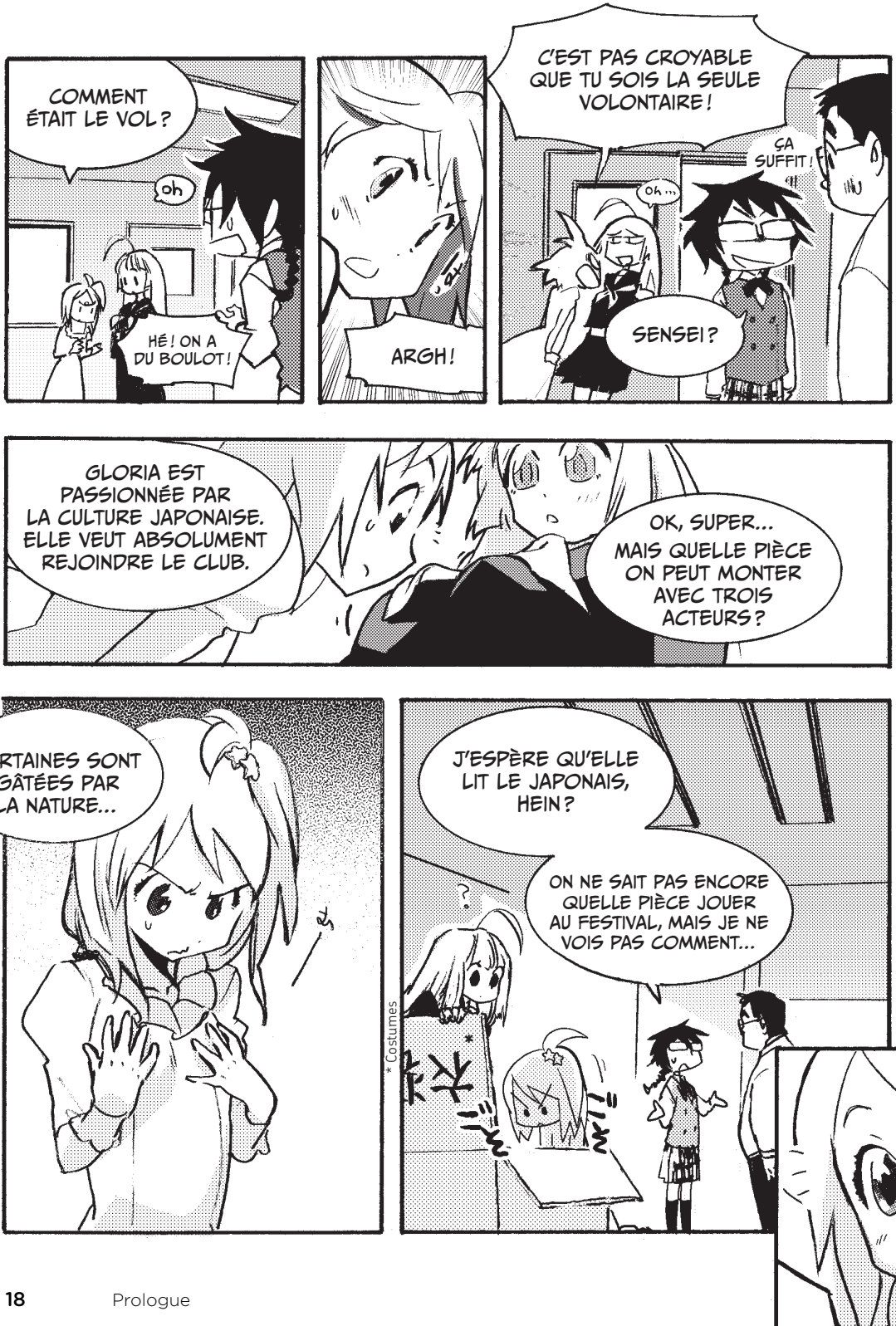

LES CLUBS SPORTIFS DU LYCÉE NE ME TENTENT PAS. JE ME SUIS VOUÉE À LA SCÈNE...
...MAIS LES GARÇONS D'AUJOURD'HUI SE MOQUENT BIEN DES ACTIVITÉS CULTURELLES !

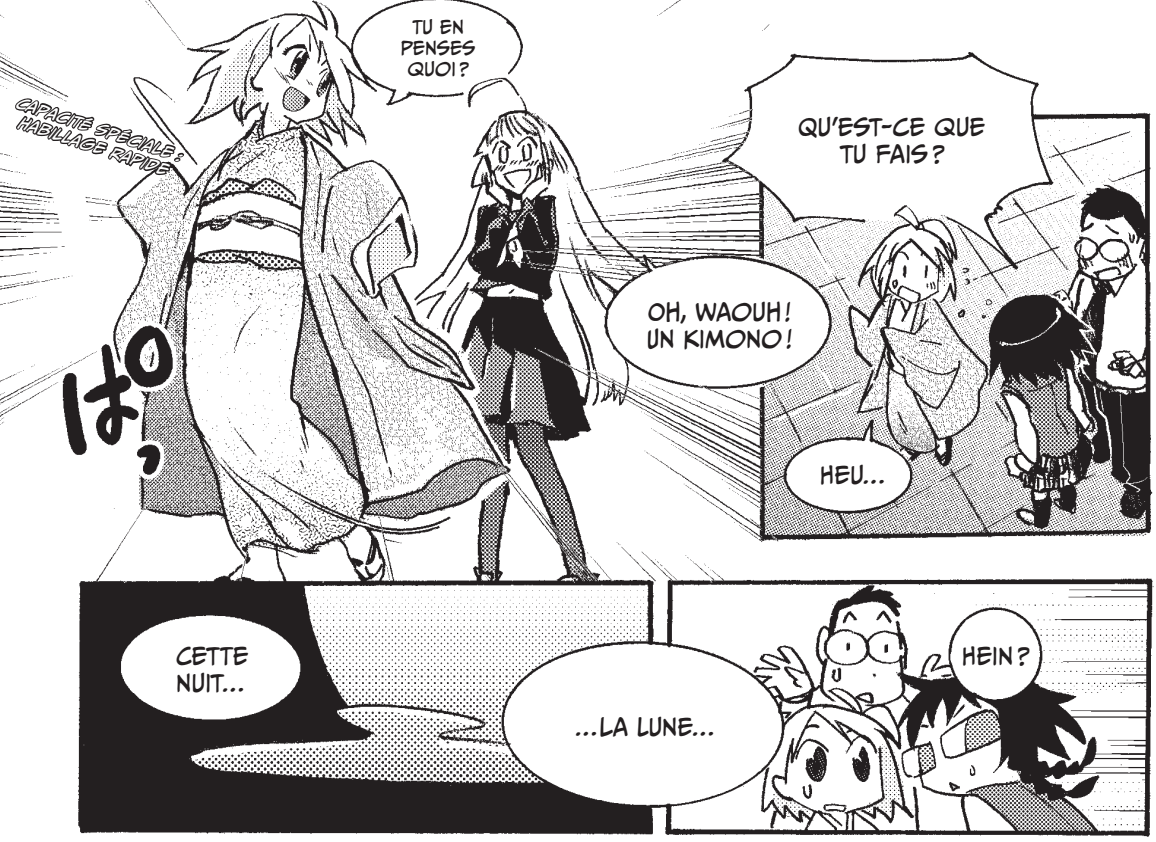

C'EST LAMENTABLE !
HEU, T'AVAIS PEUT-ÊTRE PLUS DE POTENTIEL POUR LE SPORT...
IL Y A UN AUTRE PROBLÈME...


SI ON NE MONTE PAS DE PIÈCE POUR LE FESTIVAL...
20 JOURS !


...LE LYCÉE NE SUBVENTIONNERA PLUS LE CLUB THÉÂTRE.
C'EST QUOI ÇA ?
CLAC


BONJOUR M. ISHIZUKA !
HOUF POUF
JE VOUS AMÈNE UNE NOUVELLE ÉLÈVE. ELLE VEUT REJOINDRE VOTRE CLUB.
VRAIMENT ?
EH BIEN, ENTREZ !
HELLO !
WAOUH !
GLORIA VIENT DES ÉTATS-UNIS DANS LE CADRE D'UN ÉCHANGE.
ELLE ARRIVE À L'INSTANT DE L'AÉROPORT.

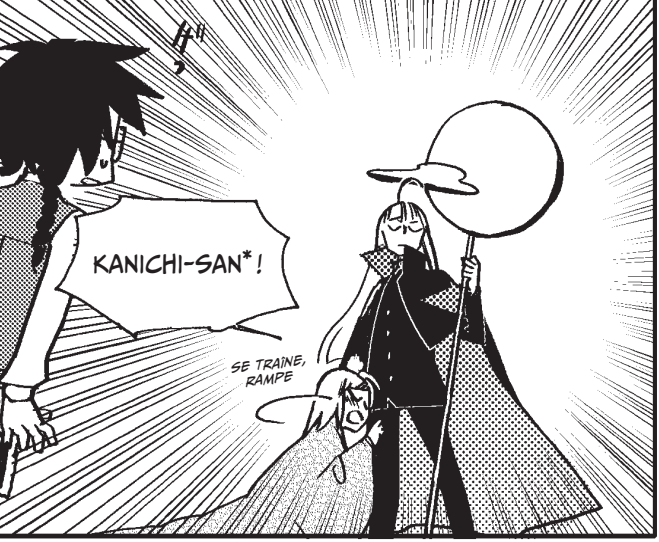

COMMENT ÉTAIT LE VOL ?
OH
HÉ ! ON A DU BOULOT !
AÏE
ARGH !
C'EST PAS CROYABLE QUE TU SOIS LA SEULE VOLONTAIRE !
ÇA SUFFIT !
OH...
SENSEI ?
GLORIA EST PASSIONNÉE PAR LA CULTURE JAPONAISE. ELLE VEUT ABSOLUMENT REJOINDRE LE CLUB.
OK, SUPER... MAIS QUELLE PIÈCE ON PEUT MONTER AVEC TROIS ACTEURS ?
CERTAINES SONT GÂTÉES PAR LA NATURE...
J'ESPÈRE QU'ELLE LIT LE JAPONAIS, HEIN ?
ON NE SAIT PAS ENCORE QUELLE PIÈCE JOUER AU FESTIVAL, MAIS JE NE VOIS PAS COMMENT...
? ?
* Costumes

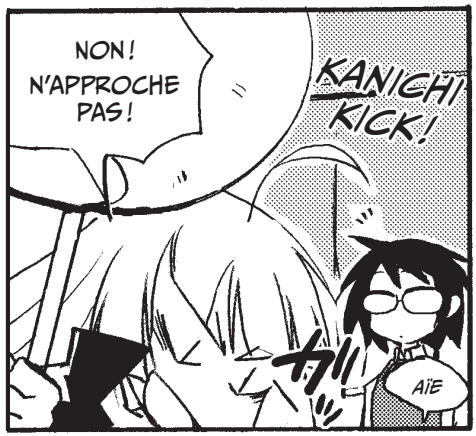




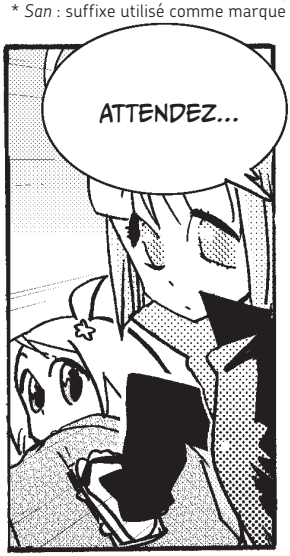


* *Le démon doré*, célèbre roman d'Ozaki Koyo (1868-1903) dont Gloria cite un extrait. Ce mélodrame raconte la vengeance de Kanichi trahi par sa fiancée.



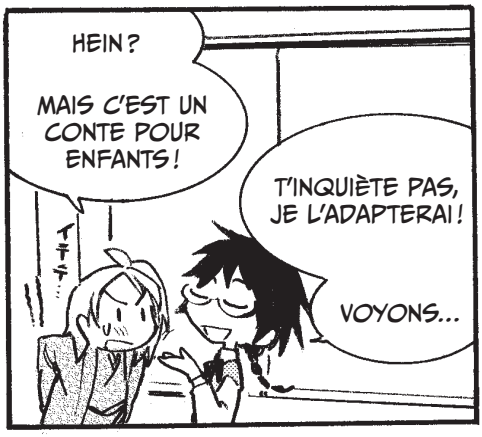


* *San* : suffixe utilisé comme marque de respect.

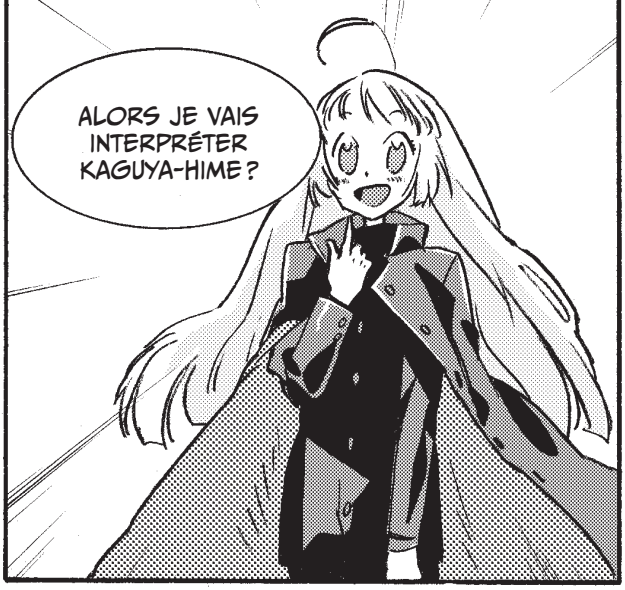




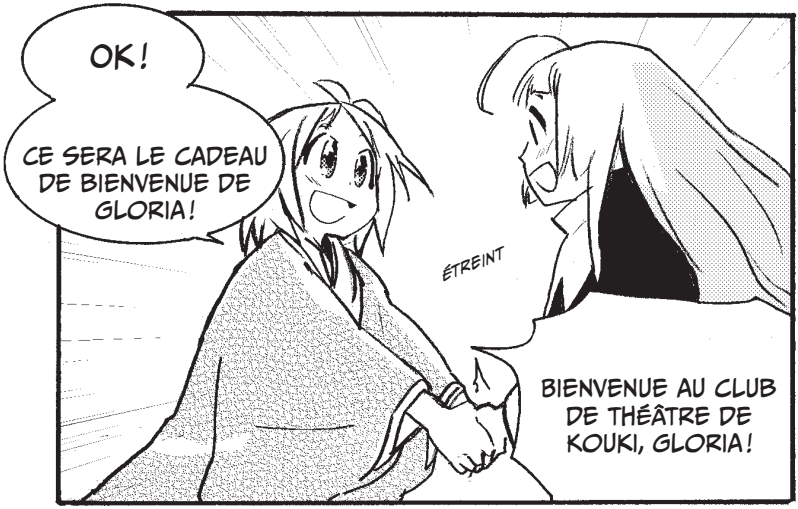
* *L'Histoire du coupeur de bambous*, conte folklorique anonyme du xe siècle.

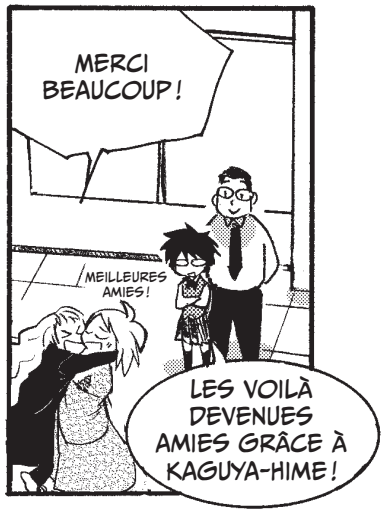




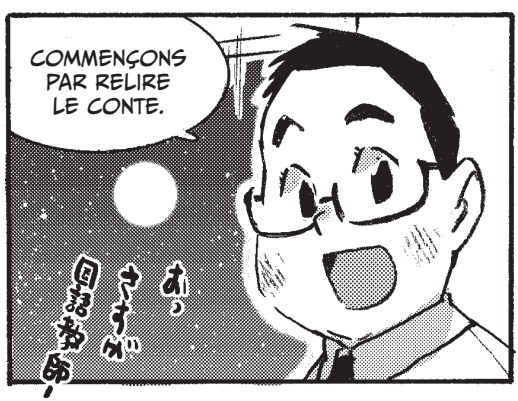






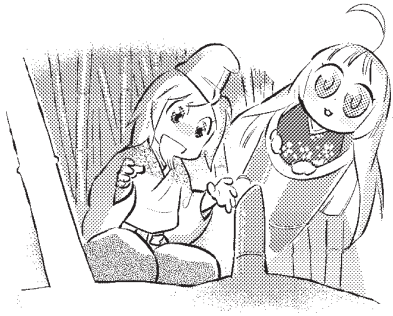






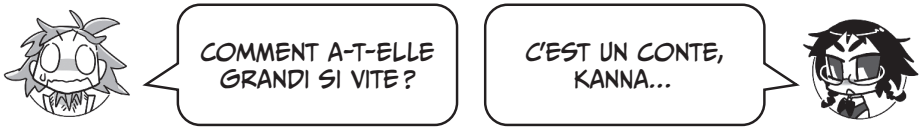
* Vous l'avez deviné, M. Ishizuka est professeur de lettres japonaises.

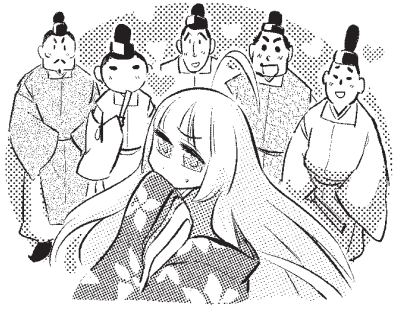
Taketori monogatari, l'histoire de Kaguya-hime



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.



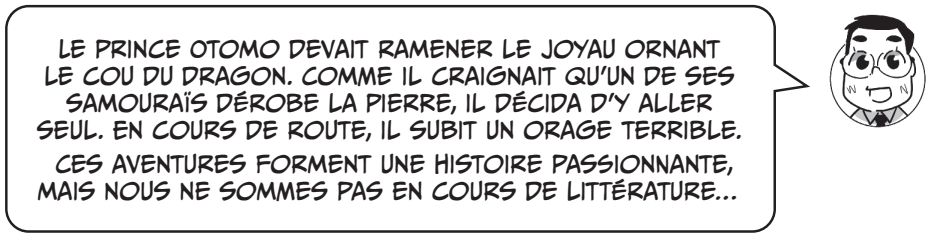


Sa beauté était telle qu'on en parlait jusqu'à la capitale. Cinq princes demandèrent sa main. Pour les éconduire, elle indiqua à chacun un objet merveilleux introuvable et promis d'épouser le premier qui lui ramènerait. Tous échouèrent. L'empereur lui-même fut conquis par la beauté de Kaguya-hime, mais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

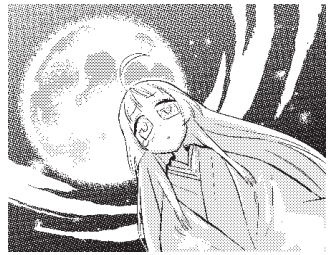
À mesure que les années passèrent, Kaguya-hime devint de plus en plus songeuse quand elle regardait la lune, et était inconsolable à chaque *Tsukimi**.



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



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. »

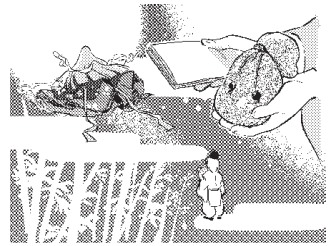




Quand l'empereur le sut, il voulut capturer Kaguya-hime avant qu'elle ne parte, mais ses soldats furent défaits par les guerriers de la Lune venus la chercher.

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.

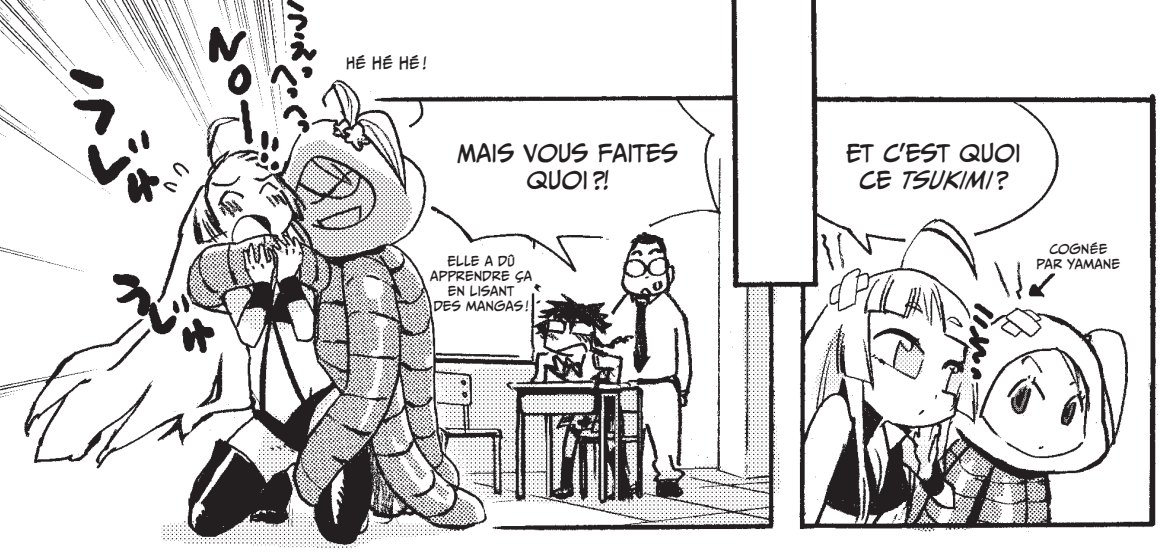
L'Empereur lut la lettre et réalisa qu'il ne pourrait pas vivre pour toujours sans espoir de la revoir. Il ordonna à ses hommes de brûler l'élixir au sommet de la plus haute montagne du pays, la plus proche de la Lune. Depuis, cette montagne s'appelle le mont Fuji, d'après le japonais *fushi* signifiant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





* Le mont Fuji est le point culminant du Japon (près de 3 800 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*.



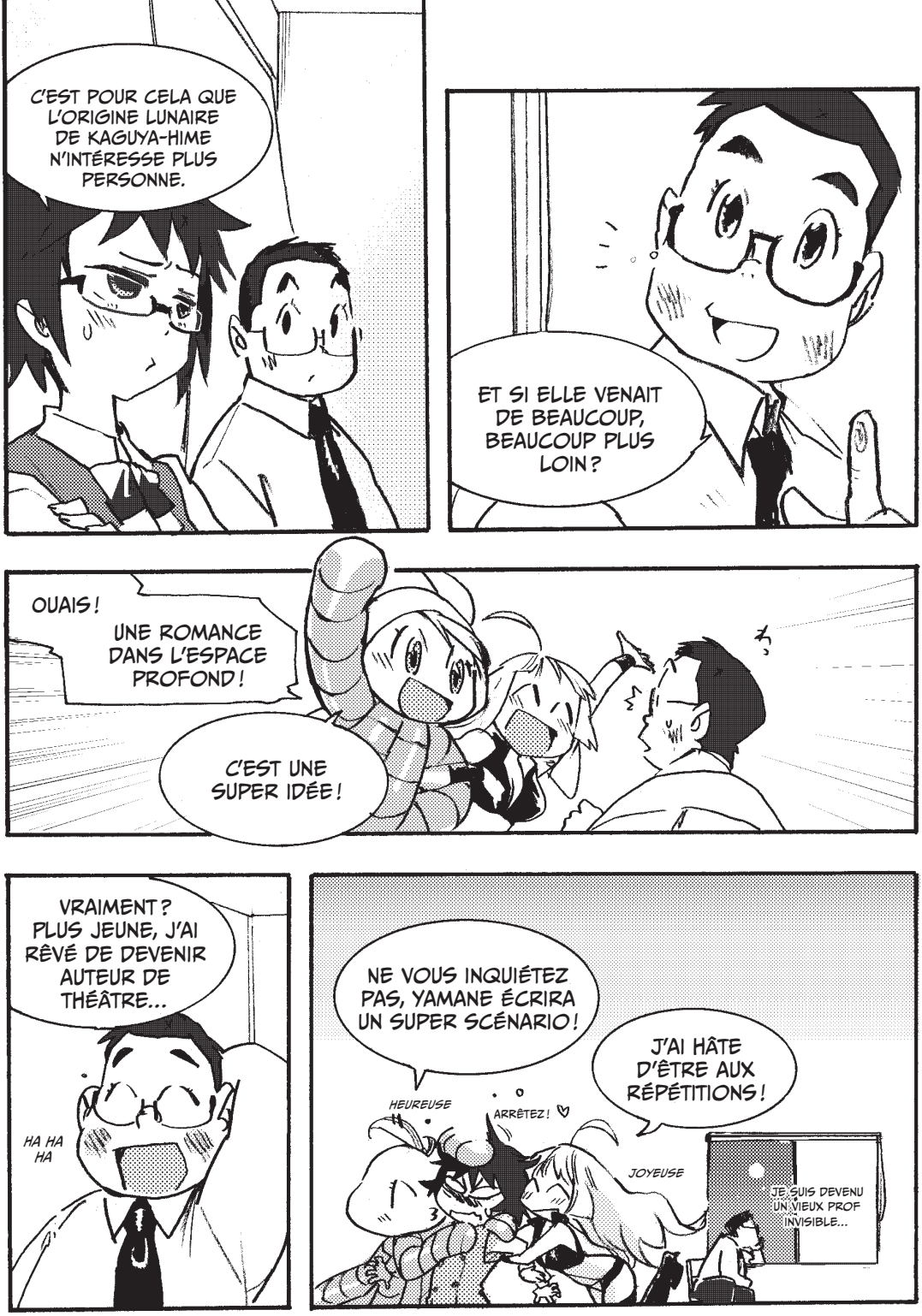


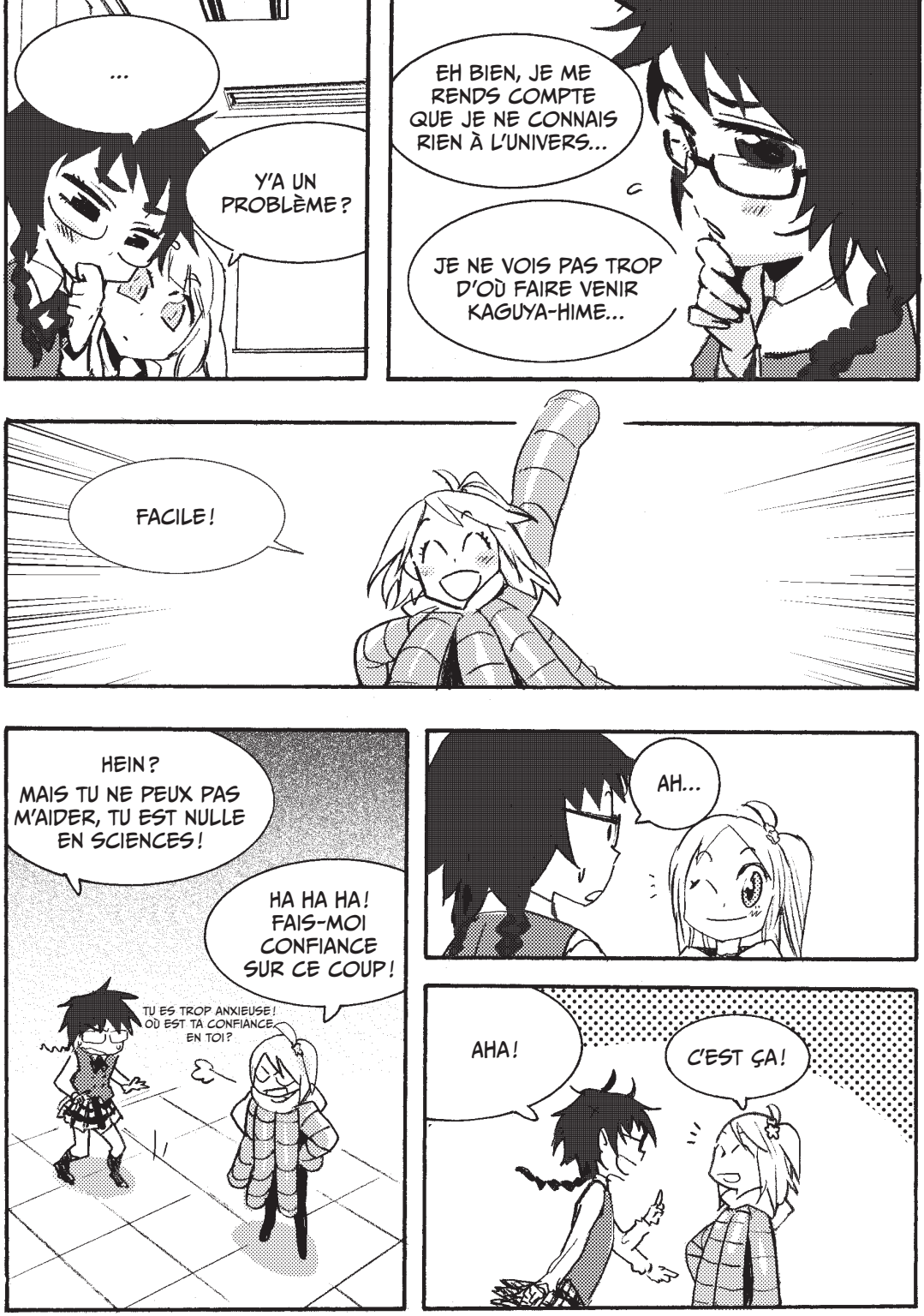




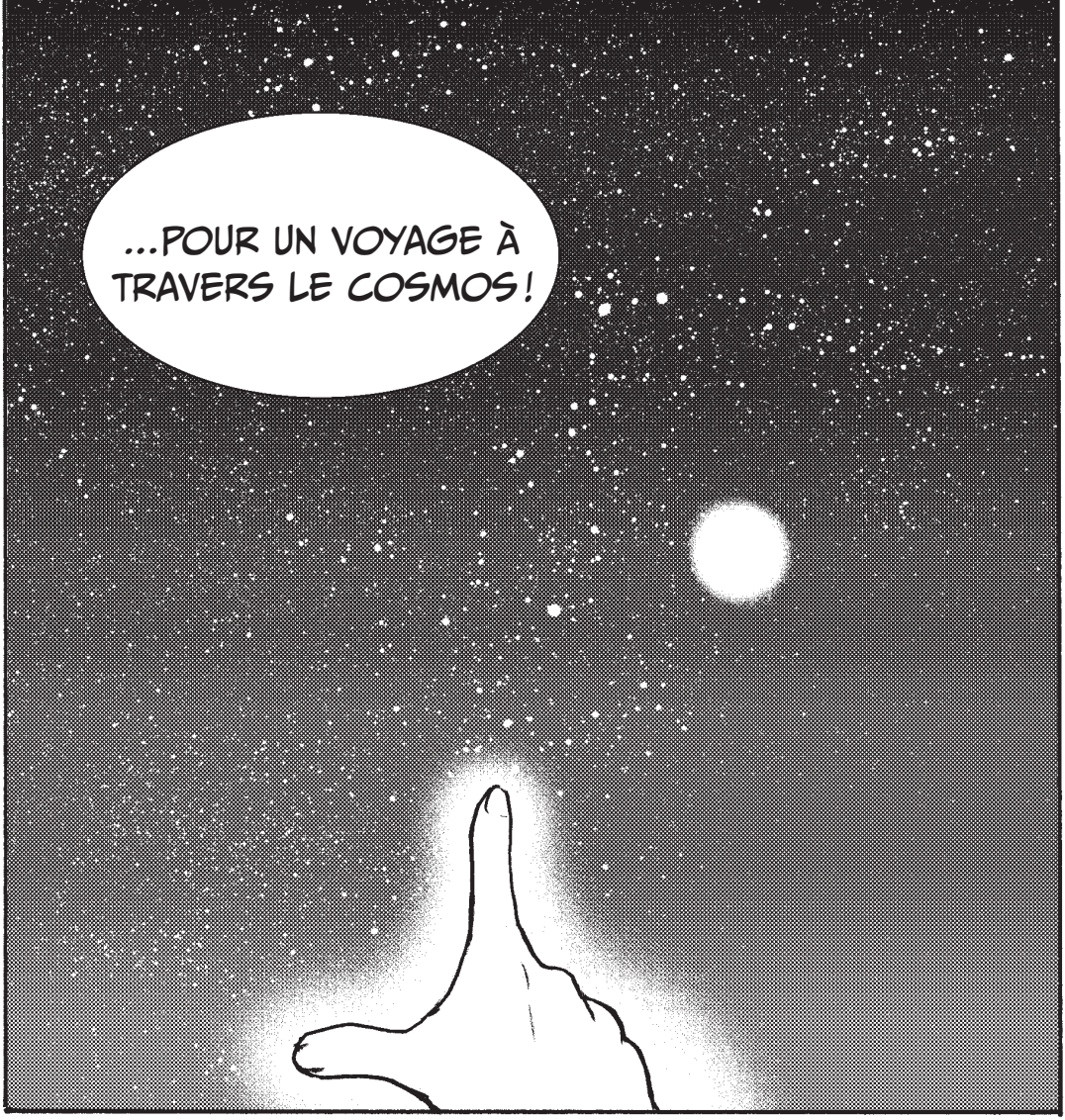


* Les mochis sont des petits gâteaux de riz gluant, ronds et blancs, qui sont associés à la Lune.


C'EST POUR CELA QUE L'ORIGINE LUNAIRE DE KAGUYA-HIME N'INTÉRESSE PLUS PERSONNE.
ET SI ELLE VENAIT DE BEAUCOUP, BEAUCOUP PLUS LOIN ?
OUAIS !
UNE ROMANCE DANS L'ESPACE PROFOND !
C'EST UNE SUPER IDÉE !
VRAIMENT ? PLUS JEUNE, J'AI RÊVÉ DE DEVENIR AUTEUR DE THÉÂTRE...
HA HA HA
NE VOUS INQUIÉTEZ PAS, YAMANE ÉCRIRA UN SUPER SCÉNARIO !
J'AI HÂTE D'ÊTRE AUX RÉPÉTITIONS !
HEUREUSE
ARRÊTEZ !
JOYEUSE
JE SUIS DEVENU UN VIEUX PROF INVISIBLE...


...
Y'A UN PROBLÈME ?
EH BIEN, JE ME RENDS COMPTE QUE JE NE CONNAIS RIEN À L'UNIVERS...
JE NE VOIS PAS TROP D'OÙ FAIRE VENIR KAGUYA-HIME...
FACILE !
HEIN ?
MAIS TU NE PEUX PAS M'AIDER, TU EST NULLE EN SCIENCES !
HA HA HA ! FAIS-MOI CONFIANCE SUR CE COUP !
TU ES TROP ANXIEUSE ! OÙ EST TA CONFIANCE EN TOI ?
AH...
AHA !
C'EST ÇA !


DE QUOI PARLEZ-VOUS ? C'EST PAS JUSTE, JE NE COMPRENDS PAS !
T'INQUIÈTE PAS...
TU LE SAURAS BIEN ASSEZ TÔT !
C'EST PARTI...


...POUR UN VOYAGE À TRAVERS LE COSMOS !


MAIS AVANT, JE DOIS RENTRER.
ON SE REVOIT CHEZ MOI TOUT À L'HEURE !
REMUE
GIGOTE

Les mythes cosmologiques

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

Taketori monogatari (*L'Histoire du coupeur de bambous*) est connu de tous les Japonais. *Gengi monogatari* (*Le dit du Genji*), œuvre majeure du XIe 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 2 000 à 2 400 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.

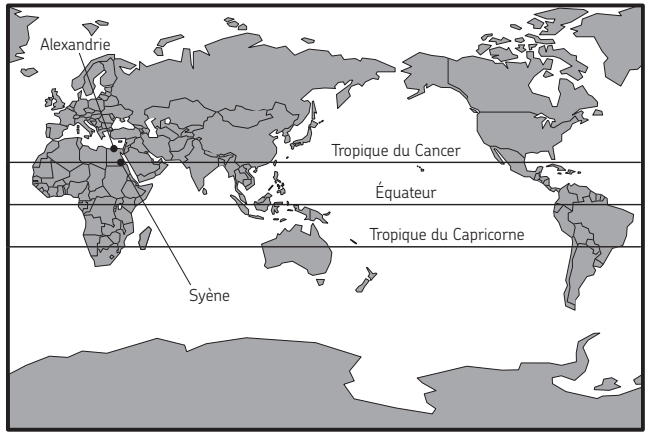
Érastothène de Cyrène (environ 276-198 avant notre ère), savant érudit grec, travailla en Égypte pendant la période hellénistique. Il détermina la circonférence terrestre en étudiant l'ombre projetée par le Soleil. Voici sa méthode.

Méthode de calcul d'Érastothène

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, Érastothène 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).

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



Les tropiques et l'équateur

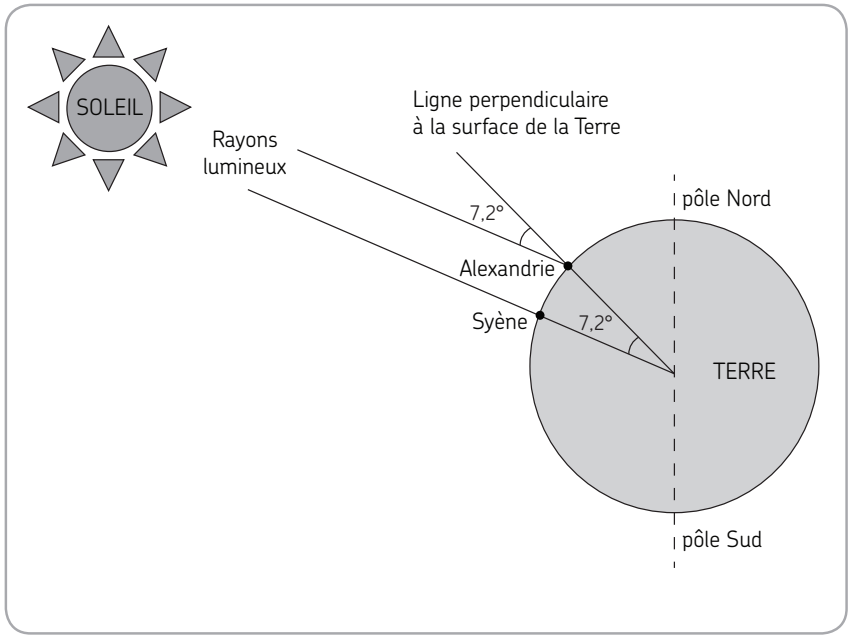
Érastothène ne s'arrêta pas là : grâce à ses observations, il est parvenu à calculer la taille de la Terre. La mesure de l'ombre du bâton le jour de l'observation à Alexandrie, plus un peu de trigonométrie, lui permirent de déterminer que les rayons lumineux faisaient un angle de 7,2 degrés avec la verticale.

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.

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

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

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



Méthode de calcul d'Érastothène

Il existe une autre version de la découverte d'Érastothène 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 Érastothène 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 XVIe 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 révérer 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.

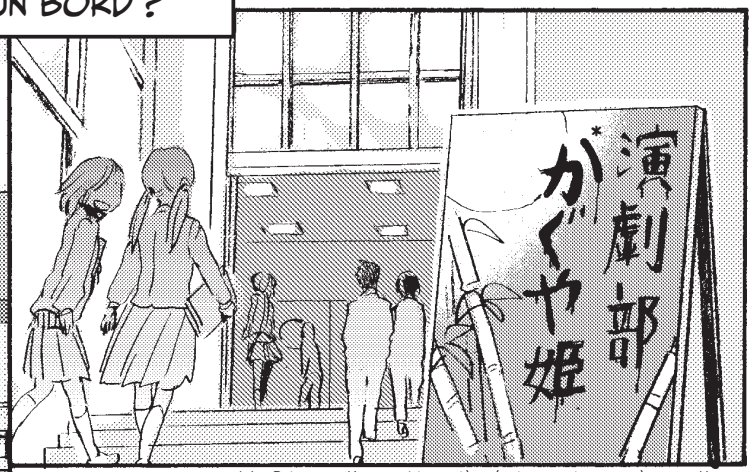


4

À quoi ressemble le bord de l'Univers ?

L'UNIVERS A-T-IL UN BORD ?

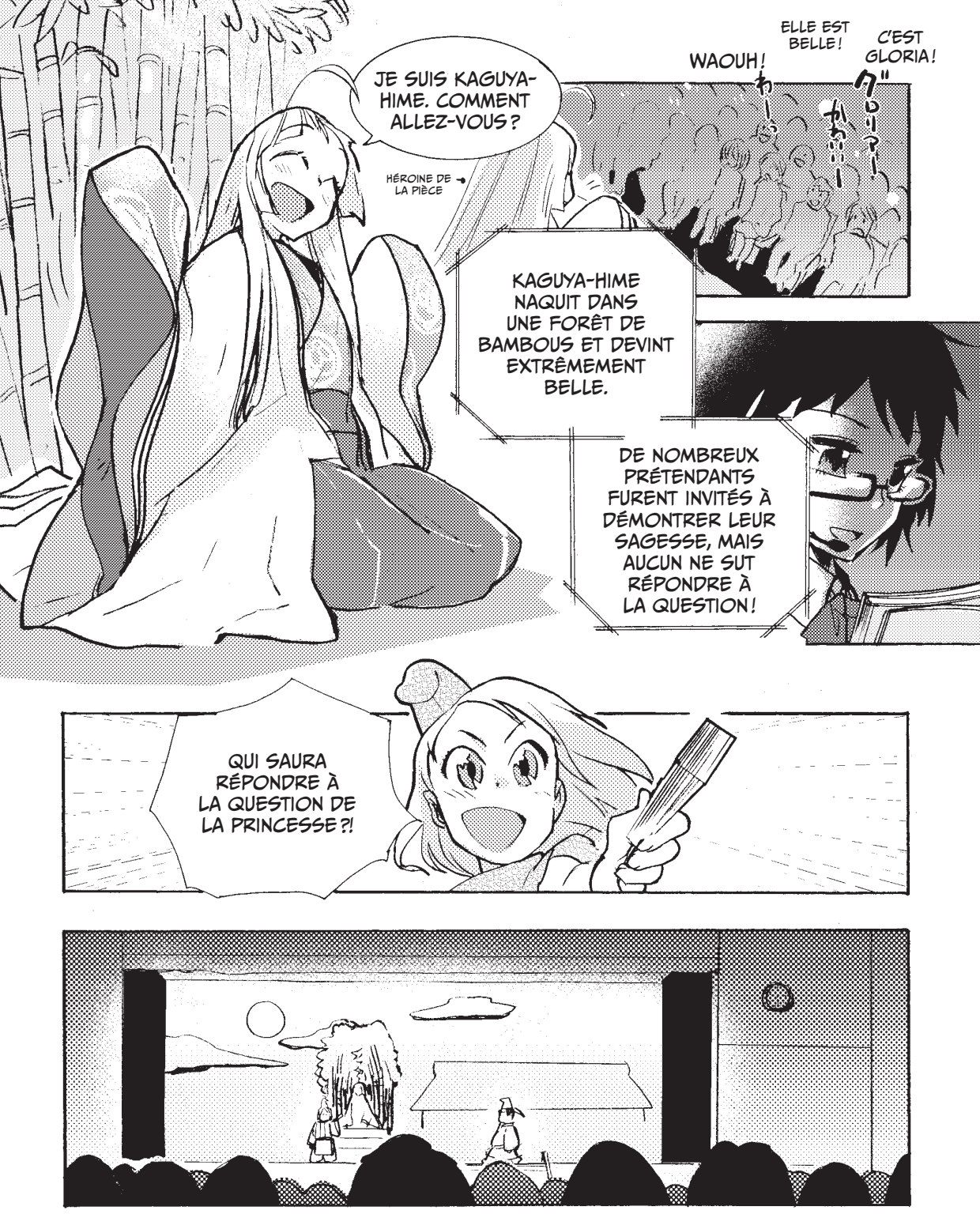
FESTIVAL DES ARTS
lycée Kouki

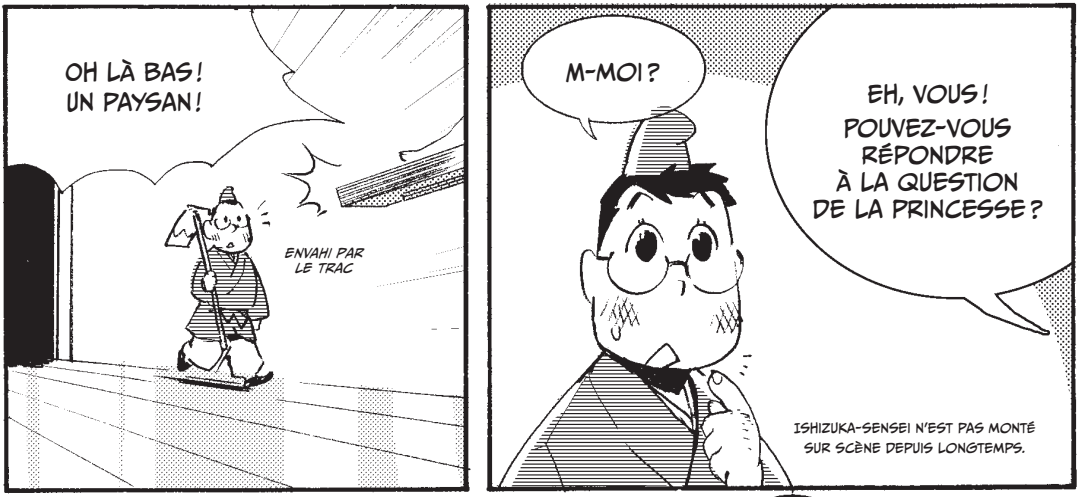


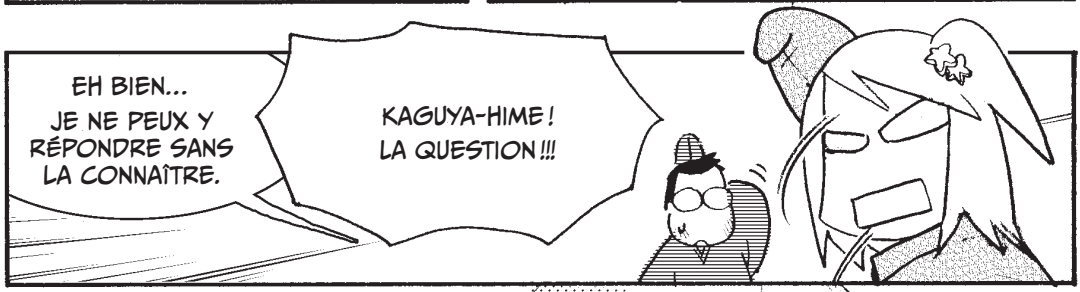
* *La Princesse Kaguya-hime*, pièce écrite et mise en scène par Kanna

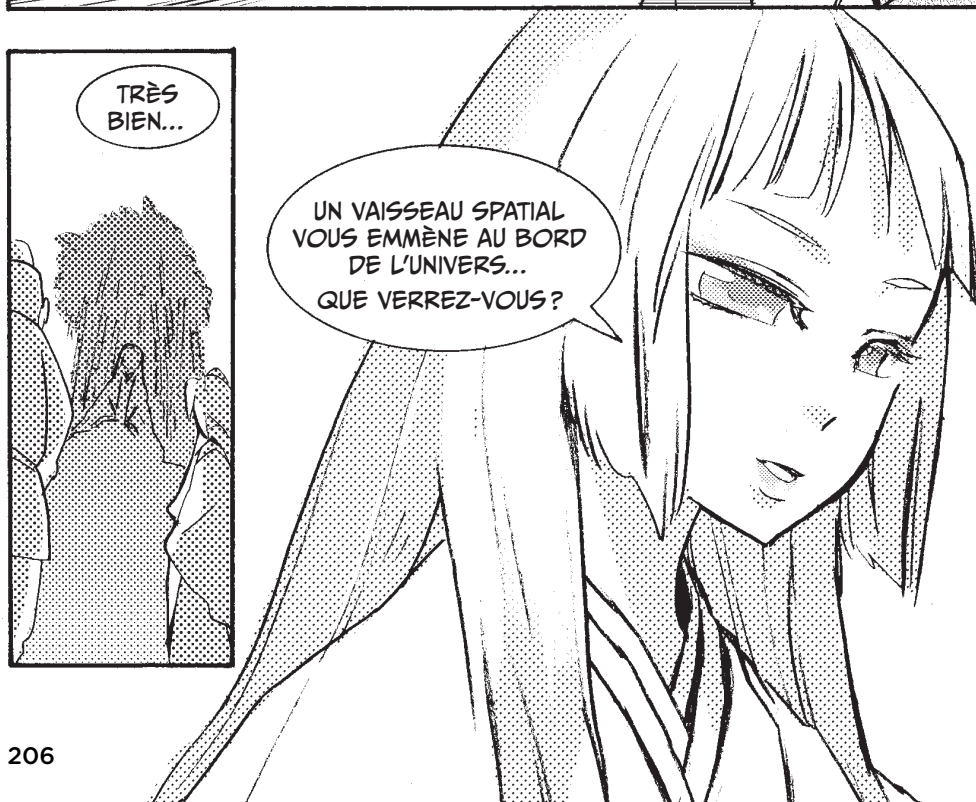
ALLEZ !
N'Y A-T-IL PERSONNE POUR RÉPONDRE À CETTE QUESTION ?

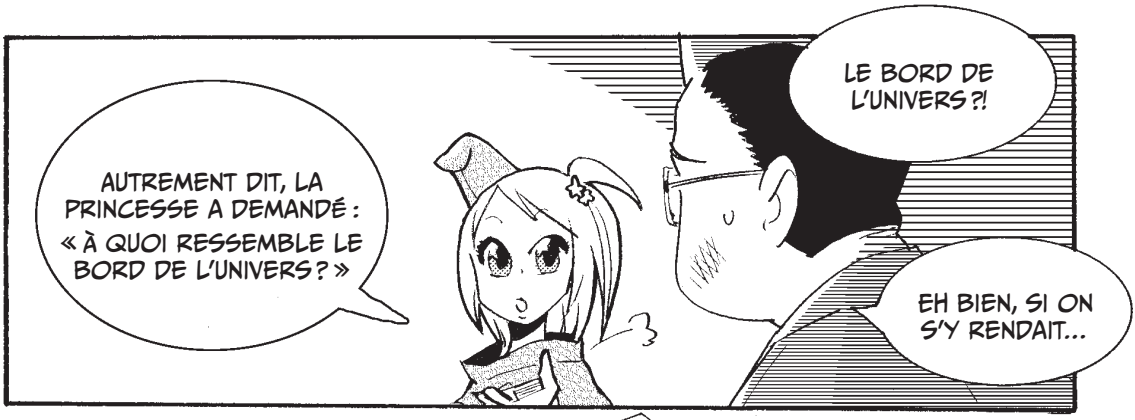
SEUL UN HOMME CONNAISSANT LES SECRETS DE L'UNIVERS PEUT ÉPOUSER LA PRINCESSE !

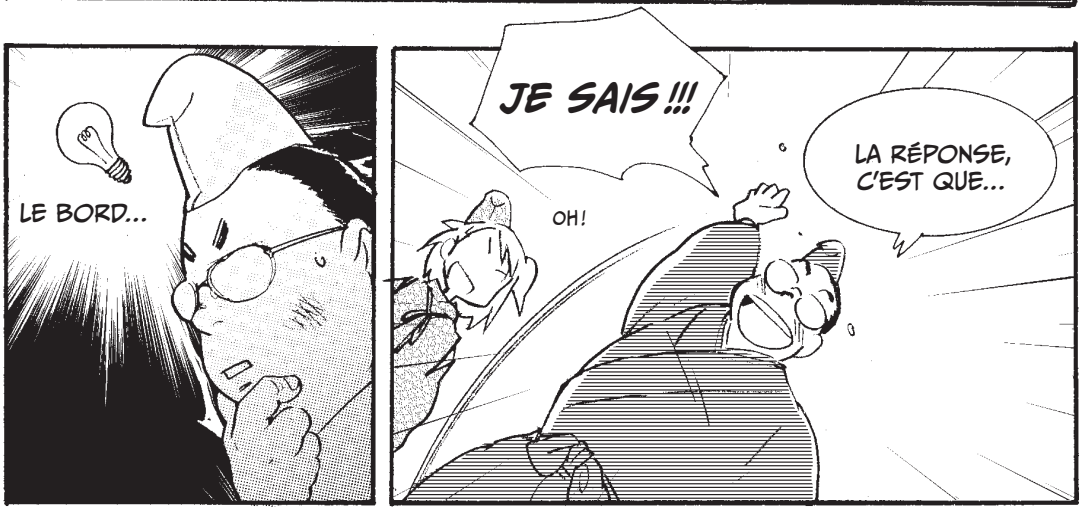

JE SUIS KAGUYA-HIME. COMMENT ALLEZ-VOUS ?
HÉROINE DE LA PIÈCE
WAOUH !
ELLE EST BELLE !
C'EST GLORIA !
KAGUYA-HIME NAQUIT DANS UNE FORÊT DE BAMBOUS ET DEVINT EXTRÊMEMENT BELLE.
DE NOMBREUX PRÉTENDANTS FURENT INVITÉS À DÉMONTRER LEUR SAGESSE, MAIS AUCUN NE SUT RÉPONDRE À LA QUESTION !
QUI SAURA RÉPONDRE À LA QUESTION DE LA PRINCESSE ?!

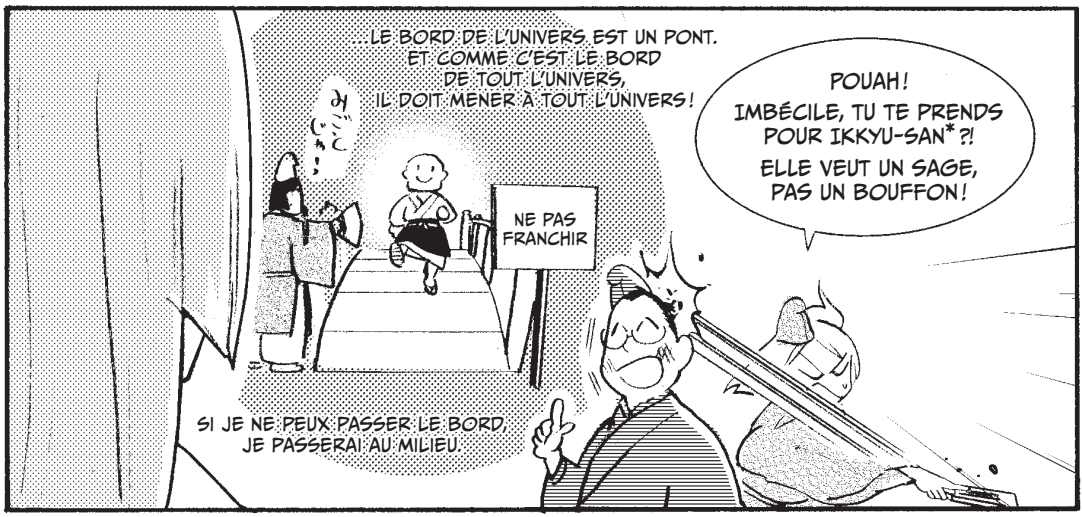

OH LÀ BAS ! UN PAYSAN !
ENVAHI PAR LE TRAC
M-MOI ?
EH, VOUS ! POUVEZ-VOUS RÉPONDRE À LA QUESTION DE LA PRINCESSE ?
ISHIZUKA-SENSEI N'EST PAS MONTÉ SUR SCÈNE DEPUIS LONGTEMPS.


EH BIEN... JE NE PEUX Y RÉPONDRE SANS LA CONNAÎTRE.
KAGUYA-HIME ! LA QUESTION !!!

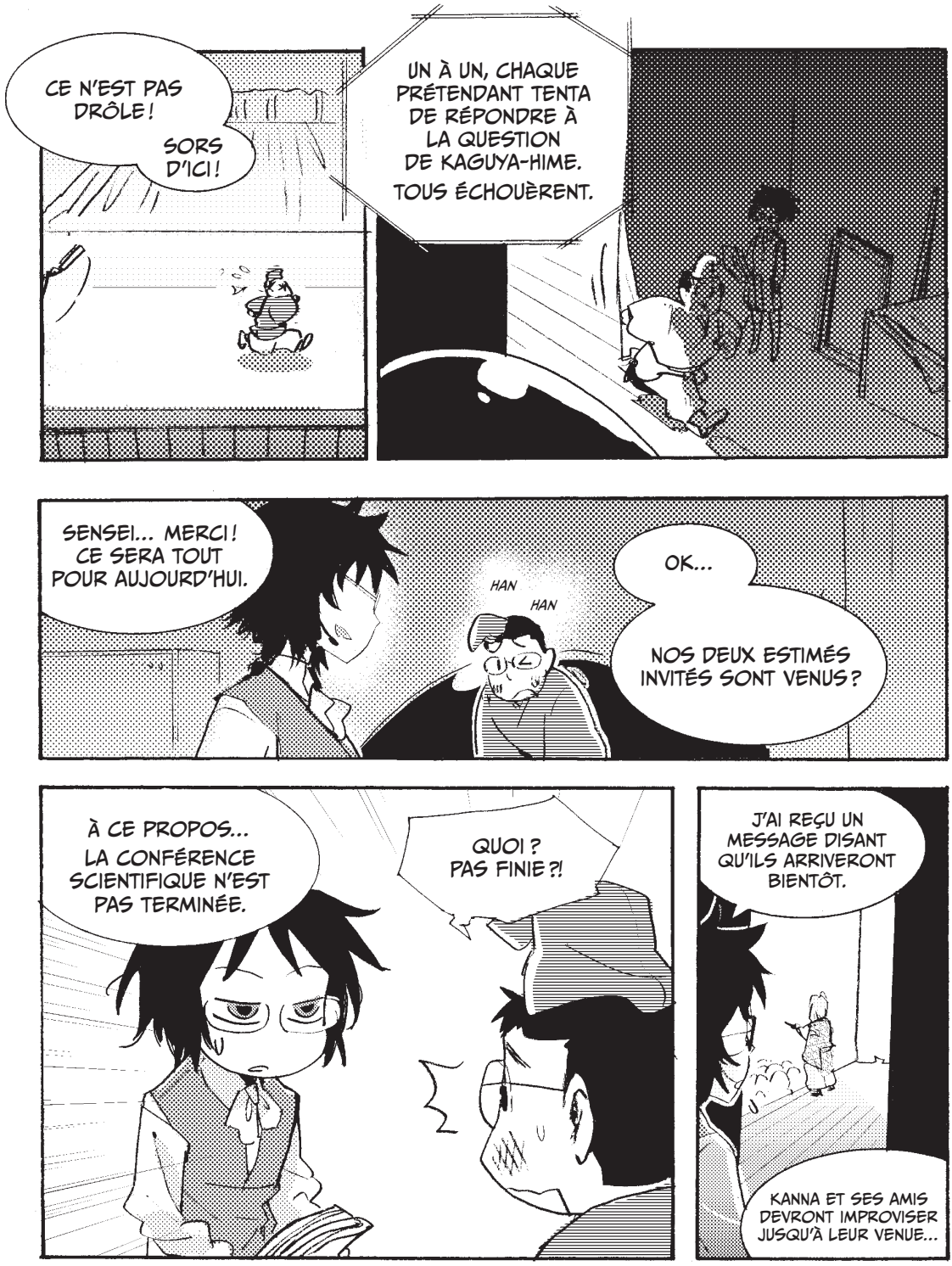

TRÈS BIEN...
UN VAISSEAU SPATIAL VOUS EMMÈNE AU BORD DE L'UNIVERS... QUE VERREZ-VOUS ?





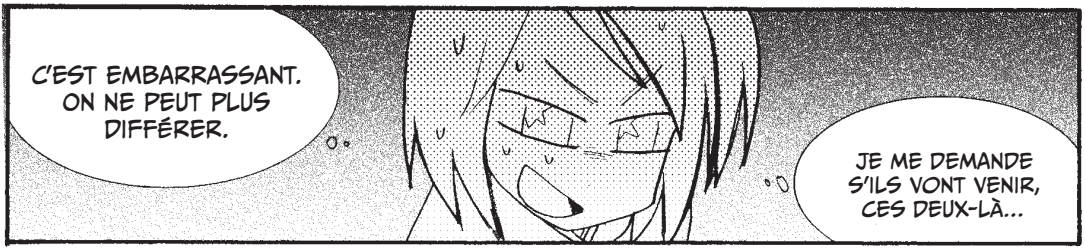


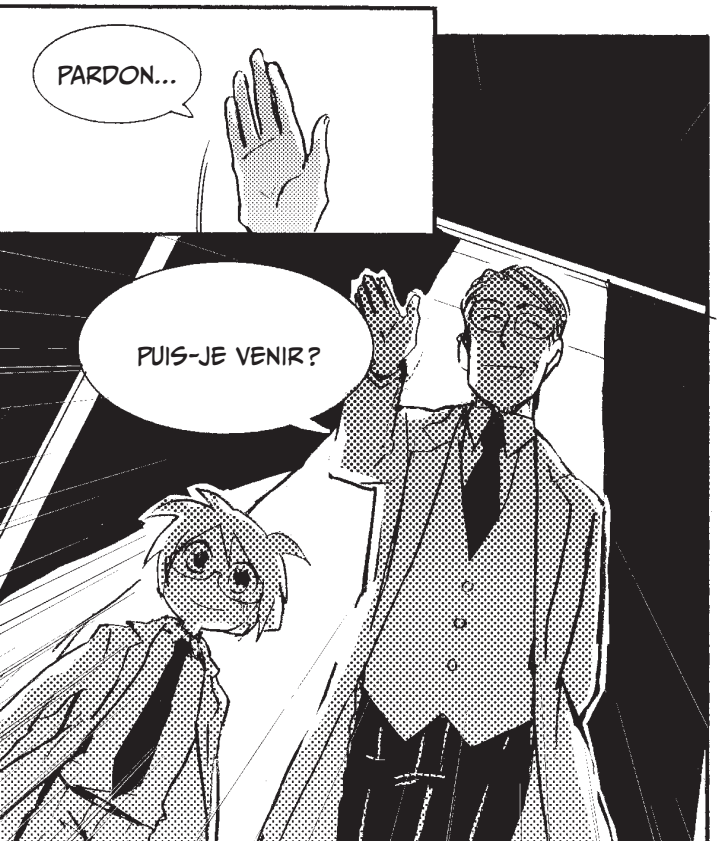
* Ikkyu était un prêtre Zen célèbre pour ses jeux de mots.
Le mot japonais pour « pont » (« hashi ») signifie aussi « bord ».

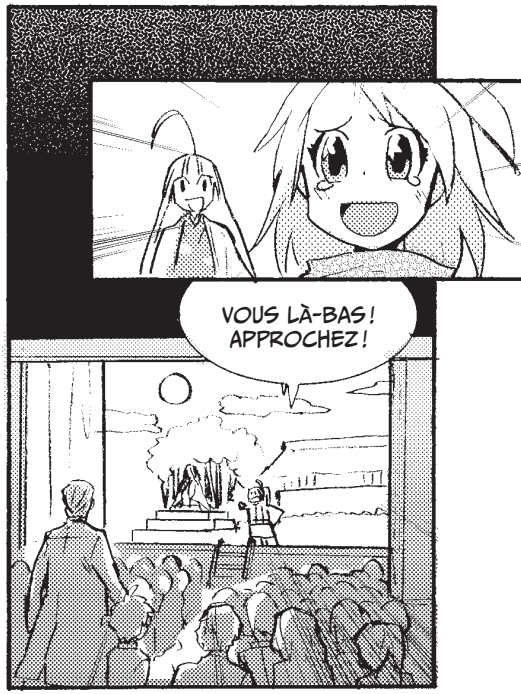

CE N'EST PAS DRÔLE !
SORS D'ICI !
UN À UN, CHAQUE PRÉTENDANT TENTA DE RÉPONDRE À LA QUESTION DE KAGUYA-HIME.
TOUS ÉCHOUÈRENT.
SENSEI... MERCI ! CE SERA TOUT POUR AUJOURD'HUI.
HAN
HAN
OK...
NOS DEUX ESTIMÉS INVITÉS SONT VENUS ?
À CE PROPOS... LA CONFÉRENCE SCIENTIFIQUE N'EST PAS TERMINÉE.
QUOI ? PAS FINIE ?!
J'AI REÇU UN MESSAGE DISANT QU'ILS ARRIVERONT BIENTÔT.
KANNA ET SES AMIS DEVRONT IMPROVISER JUSQU'À LEUR VENUE...

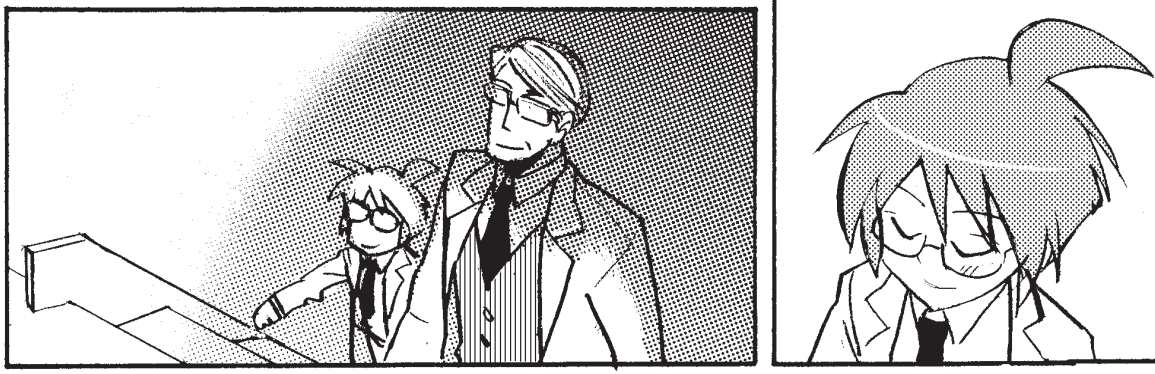

CE PROBLÈME SCIENTIFIQUE EST TRÈS IMPORTANT !
PERSONNE N'A DONC LA RÉPONSE ?!

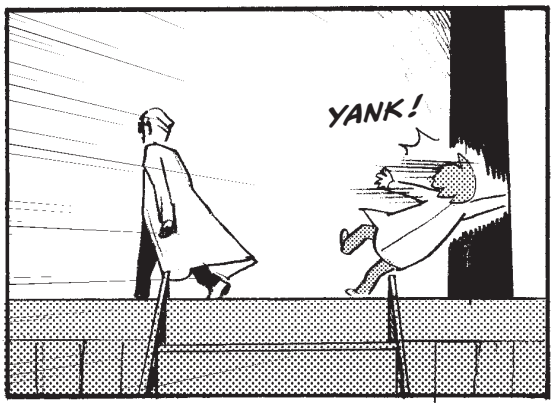

L——n


C'EST EMBARRASSANT. ON NE PEUT PLUS DIFFÉRER.
JE ME DEMANDE S'ILS VONT VENIR, CES DEUX-LÀ...

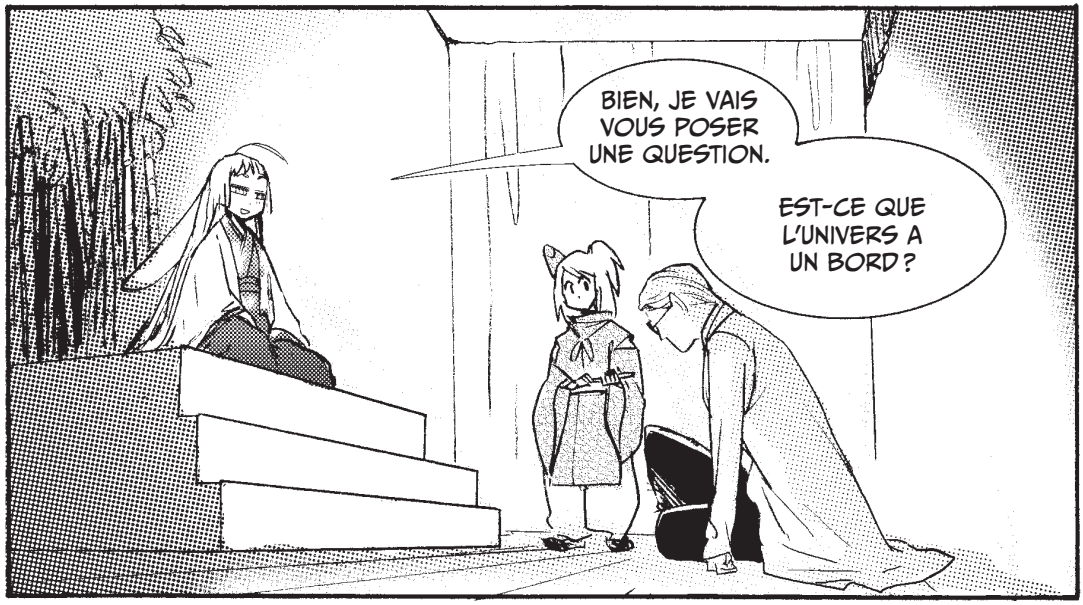

PARDON...
PUIS-JE VENIR ?

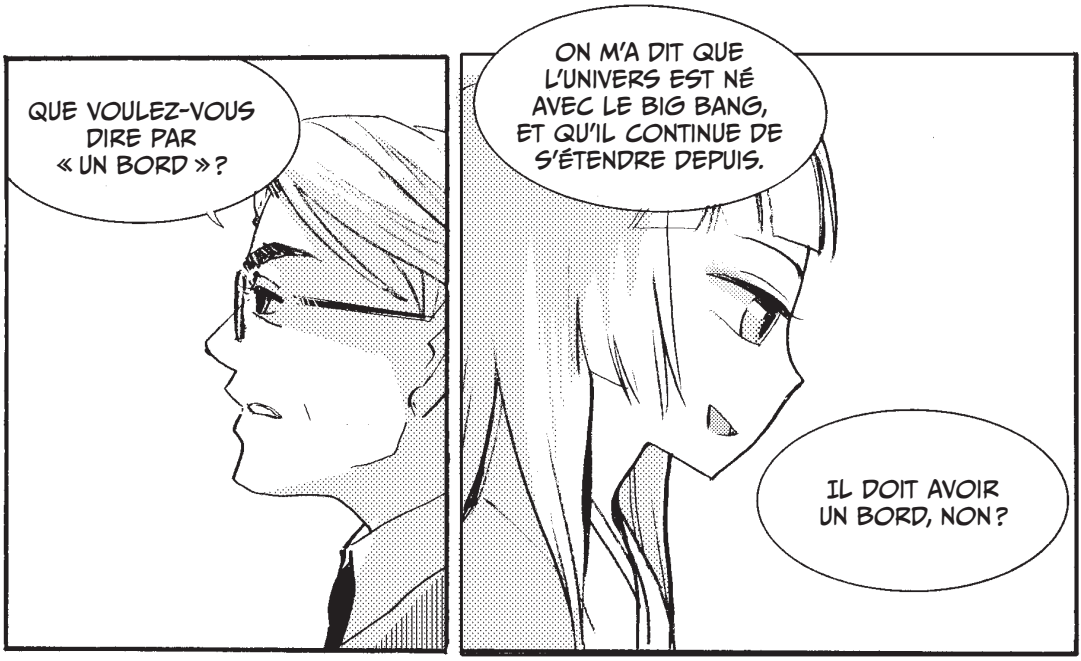

VOUS LÀ-BAS ! APPROCHEZ !

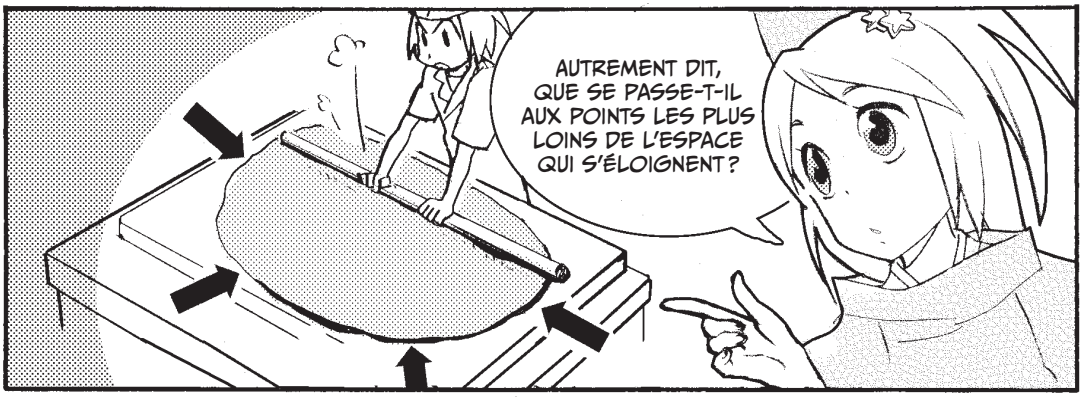


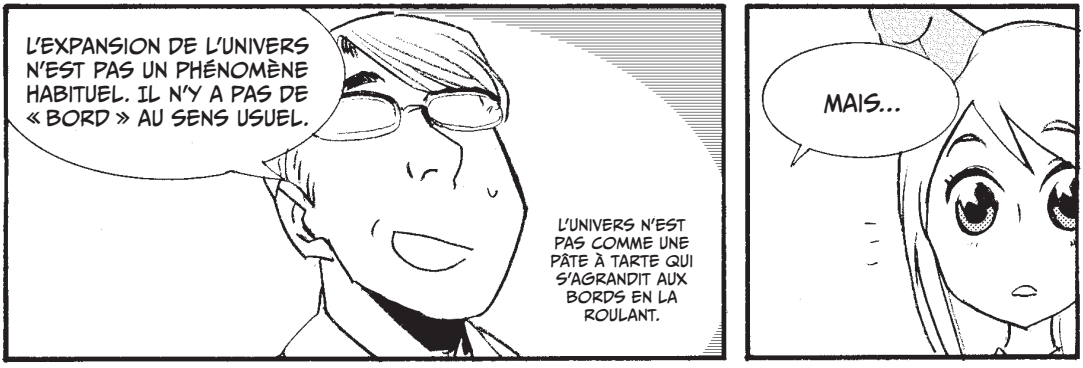

YANK !

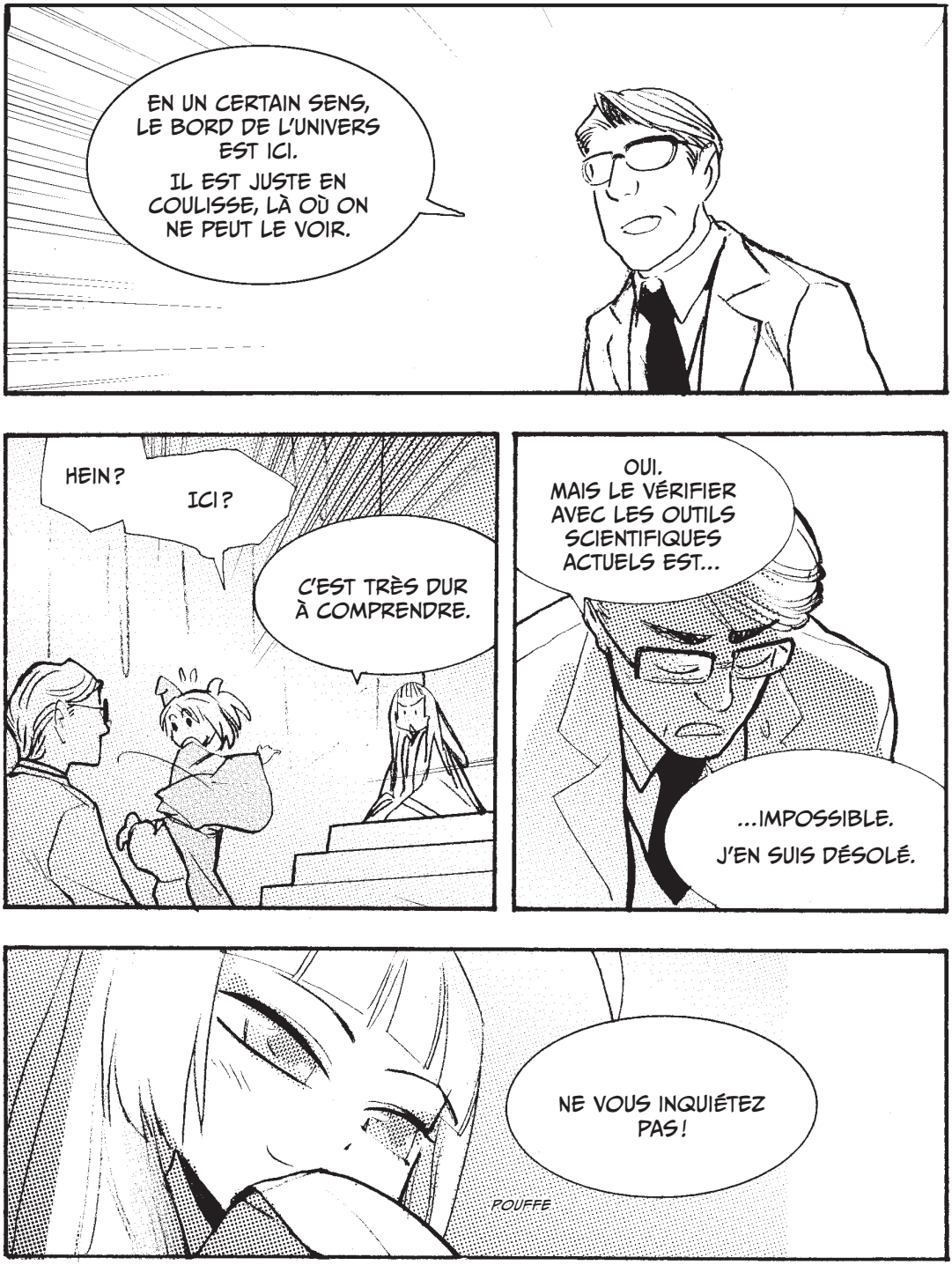

KANTA, VIENS ICI !
HEIIN ?

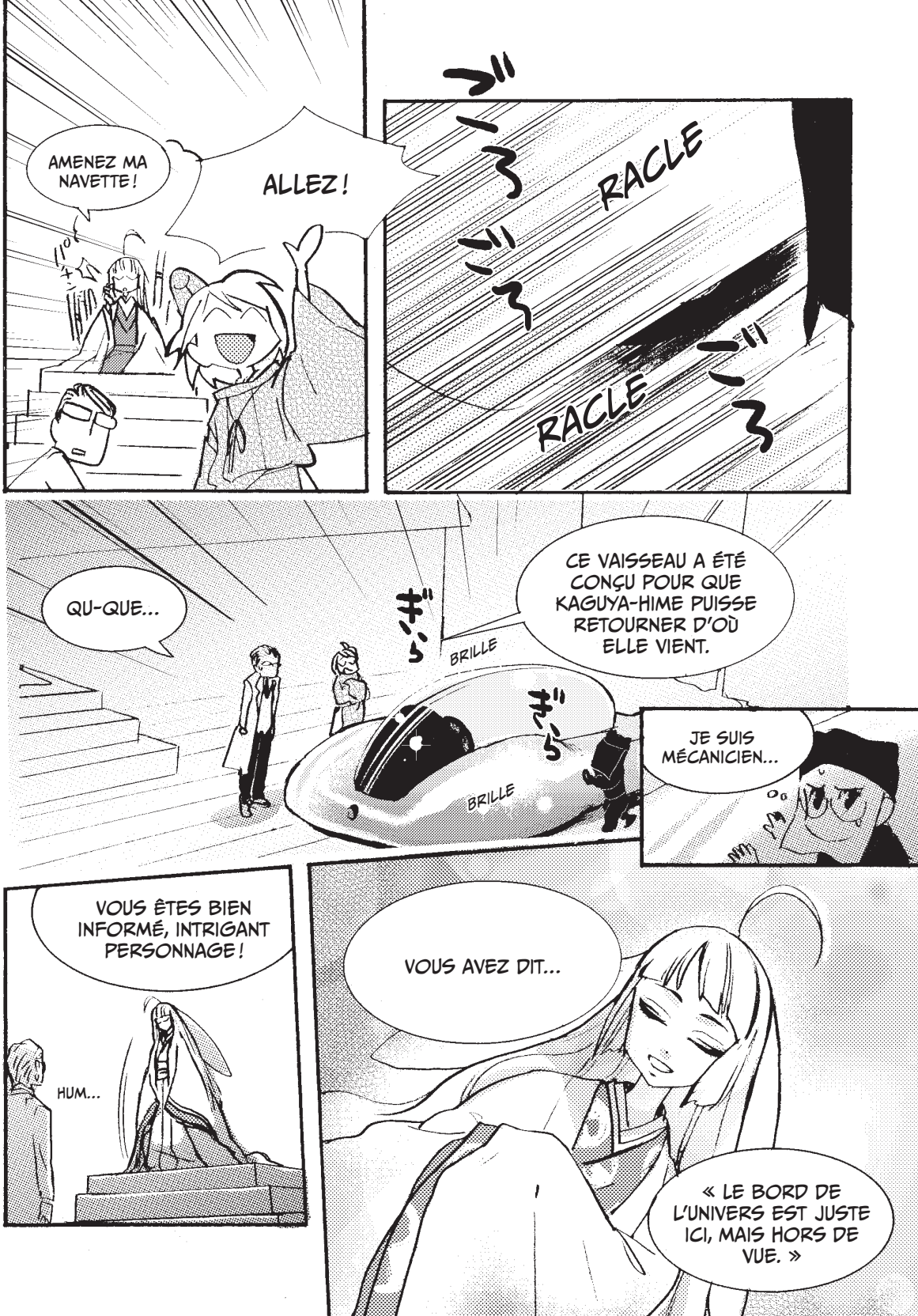

BIEN, JE VAIS VOUS POSER UNE QUESTION.
EST-CE QUE L'UNIVERS A UN BORD ?

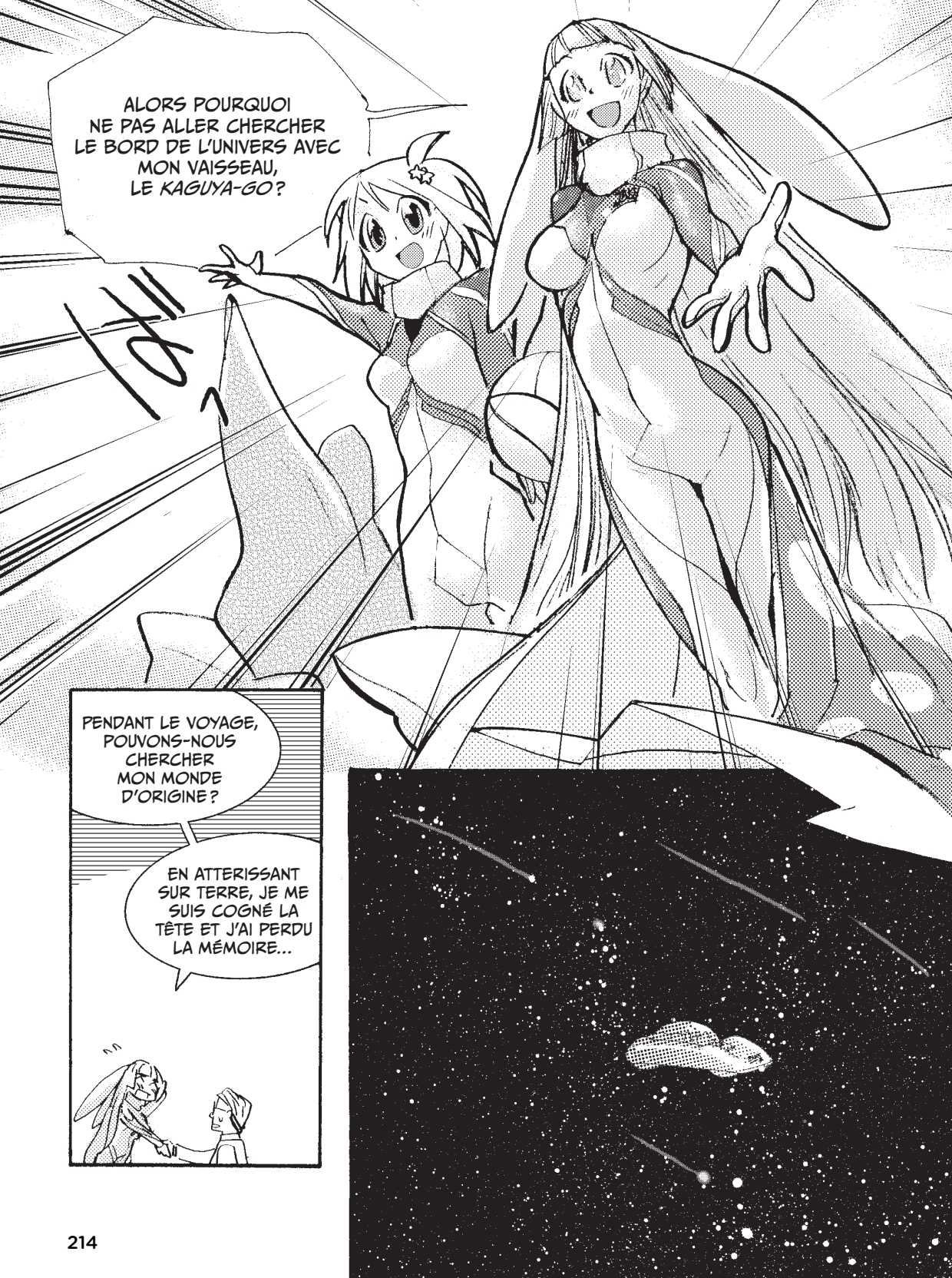

QUE VOULEZ-VOUS DIRE PAR « UN BORD » ?
ON M'A DIT QUE L'UNIVERS EST NÉ AVEC LE BIG BANG, ET QU'IL CONTINUE DE S'ÉTENDRE DEPUIS.
IL DOIT AVOIR UN BORD, NON ?

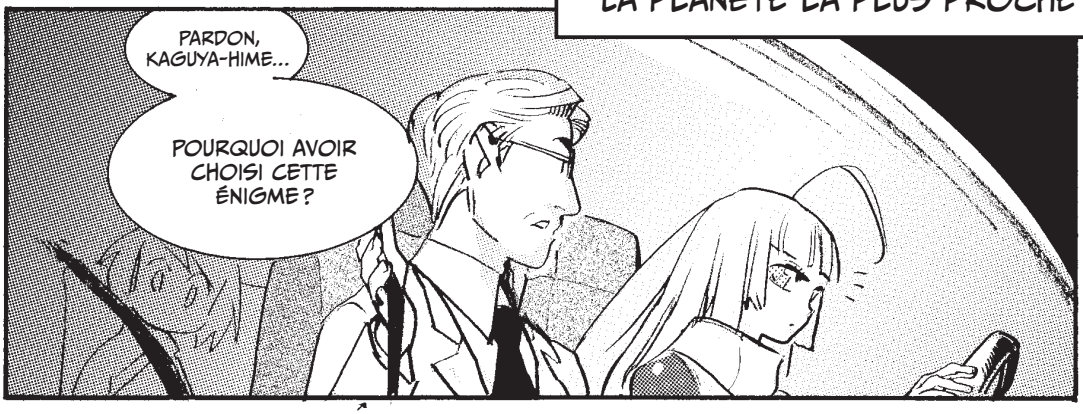

AUTREMENT DIT, QUE SE PASSE-T-IL AUX POINTS LES PLUS LOINS DE L'ESPACE QUI S'ÉLOIGNENT ?


L'EXPANSION DE L'UNIVERS N'EST PAS UN PHÉNOMÈNE HABITUEL. IL N'Y A PAS DE « BORD » AU SENS USUEL.
L'UNIVERS N'EST PAS COMME UNE PÂTE À TARTE QUI S'AGRANDIT AUX BORDS EN LA ROULANT.
MAIS...


EN UN CERTAIN SENS, LE BORD DE L'UNIVERS EST ICI.
IL EST JUSTE EN COULISSE, LÀ OÙ ON NE PEUT LE VOIR.
HEIN ?
ICI ?
C'EST TRÈS DUR À COMPRENDRE.
OUI. MAIS LE VÉRIFIER AVEC LES OUTILS SCIENTIFIQUES ACTUELS EST...
...IMPOSSIBLE.
J'EN SUIS DÉSOLÉ.
NE VOUS INQUIÉTEZ PAS !
POUFFE

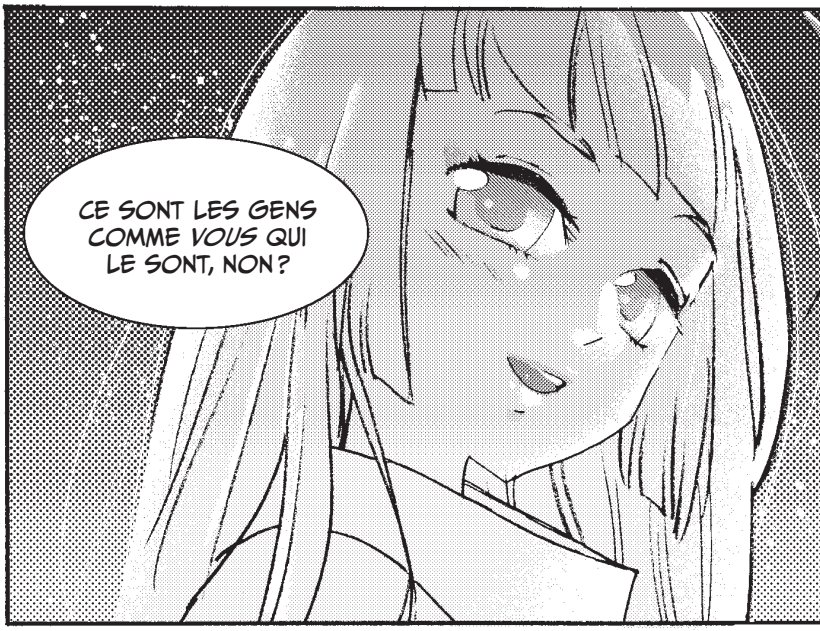

AMENEZ MA NAVETTE !
ALLEZ !
RACLE
RACLE
QU-QUE...
CE VAISSEAU A ÉTÉ CONÇU POUR QUE KAGUYA-HIME PUISSE RETOURNER D'OÙ ELLE VIENT.
BRILLE
BRILLE
JE SUIS MÉCANICIEN...
VOUS ÊTES BIEN INFORMÉ, INTRIGANT PERSONNAGE !
HUM...
VOUS AVEZ DIT...
« LE BORD DE L'UNIVERS EST JUSTE ICI, MAIS HORS DE VUE. »


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...

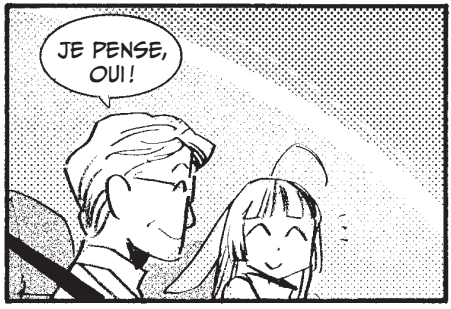


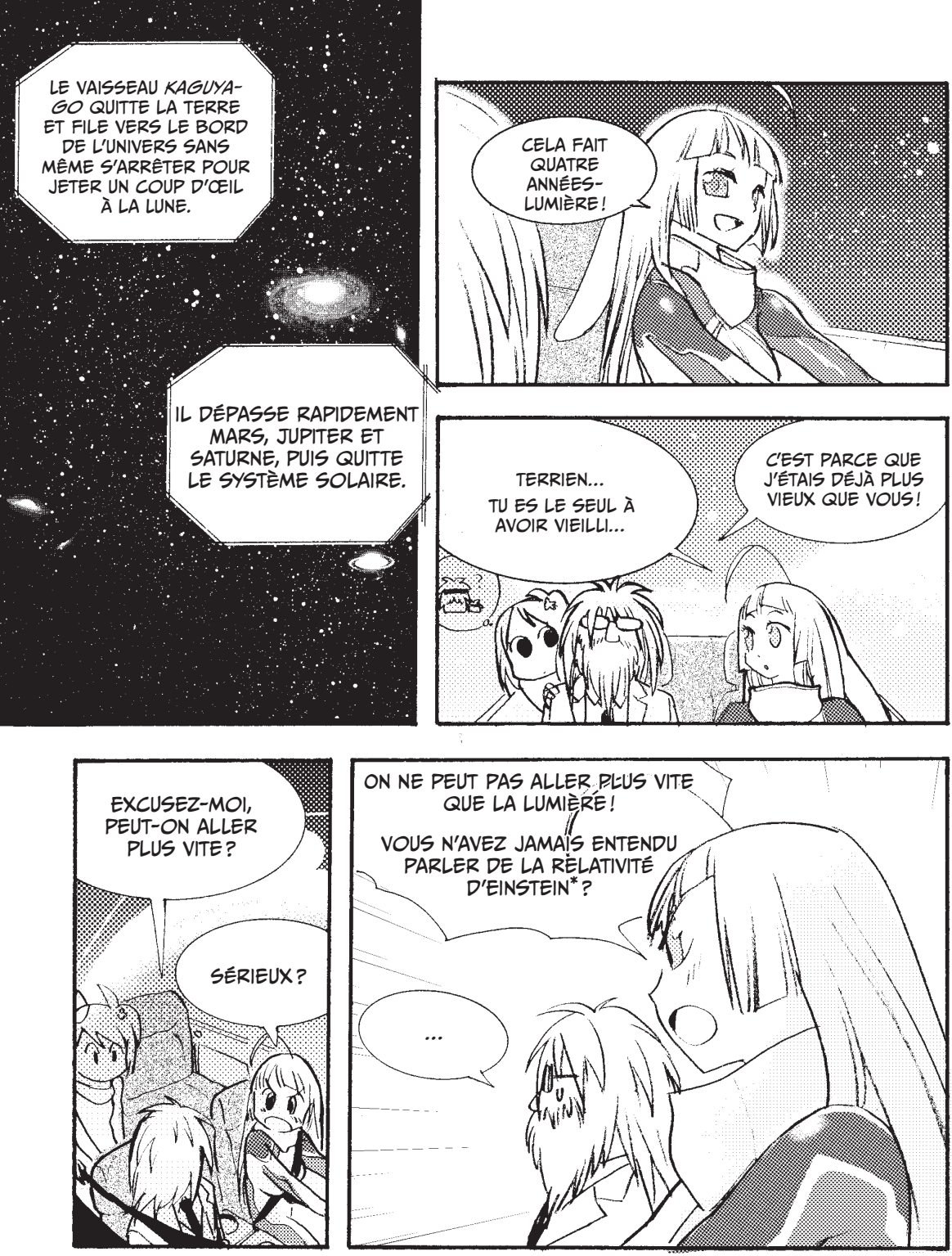
MET SA CEINTURE



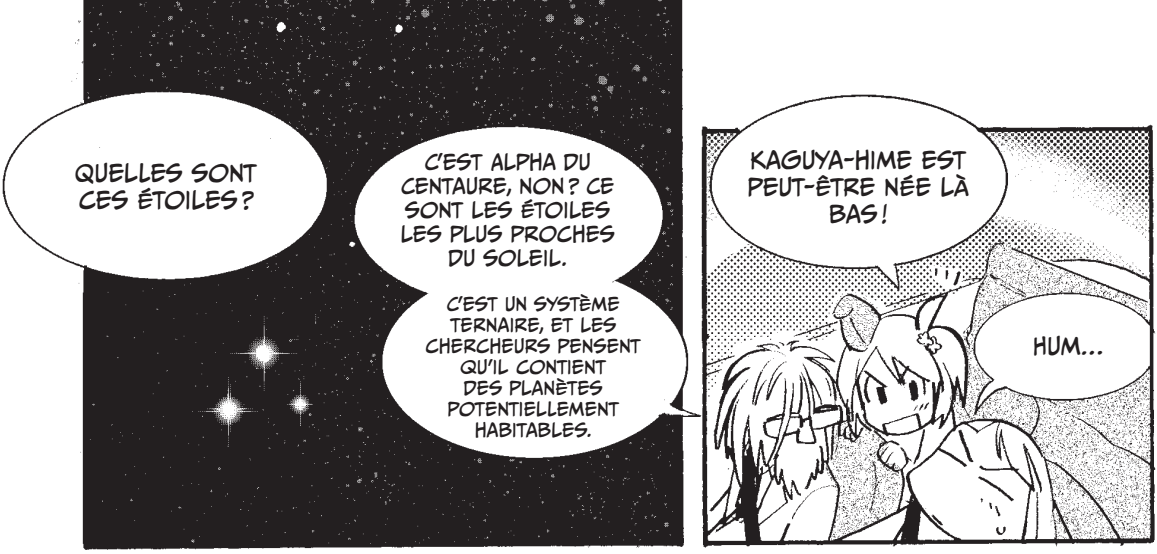


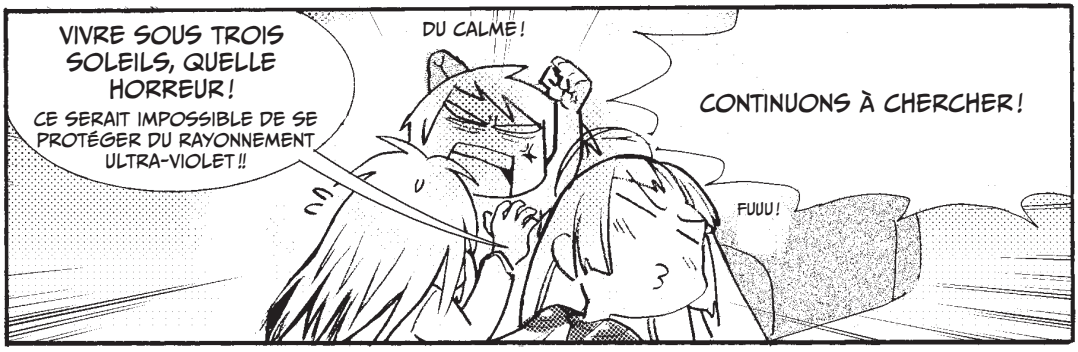


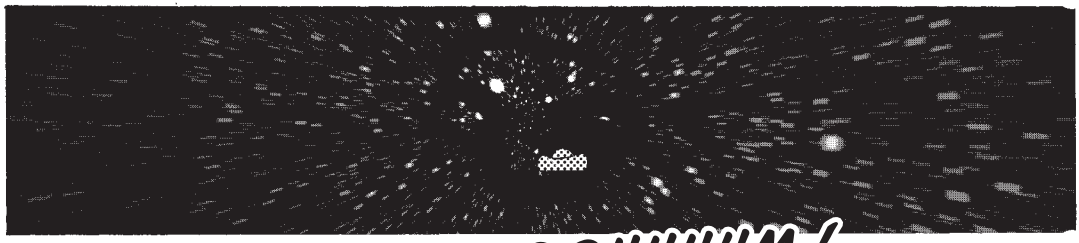




* Albert Einstein (1879–1955), père de la relativité restreinte et de la relativité générale. Il a reçu le prix Nobel de physique en 1921.


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 !

JOURNAL DE BORD DU KAGUYA-GO

Départ

Terre

Système solaire

Voie lactée

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 ?



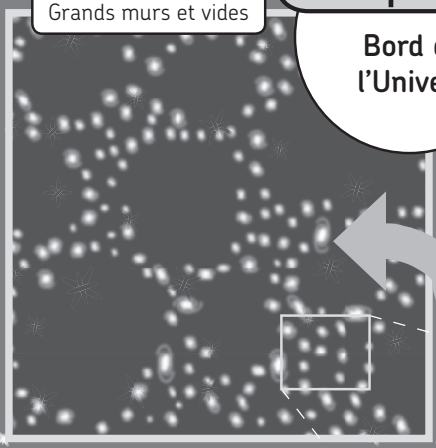
C'est la fête où l'on regarde tous le centre de la galaxie...



Jusqu'au 20e 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.

Objectif

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 grand murs et les vides forme la plus grande structure connue de l'Univers.



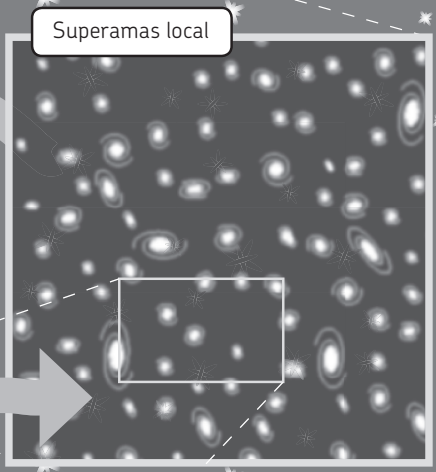
Et le même genre de structure se reproduit aussi loin que l'on aille, n'est-ce pas ?

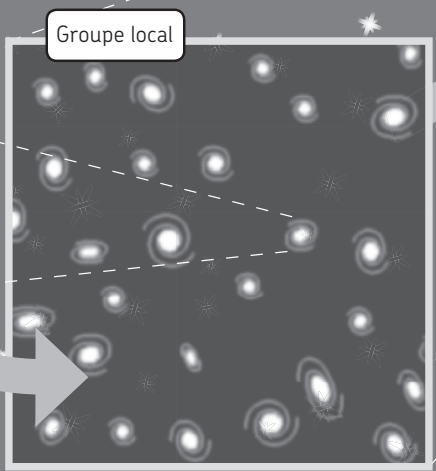
Superamas local (dit de la Vierge)

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





Groupe local

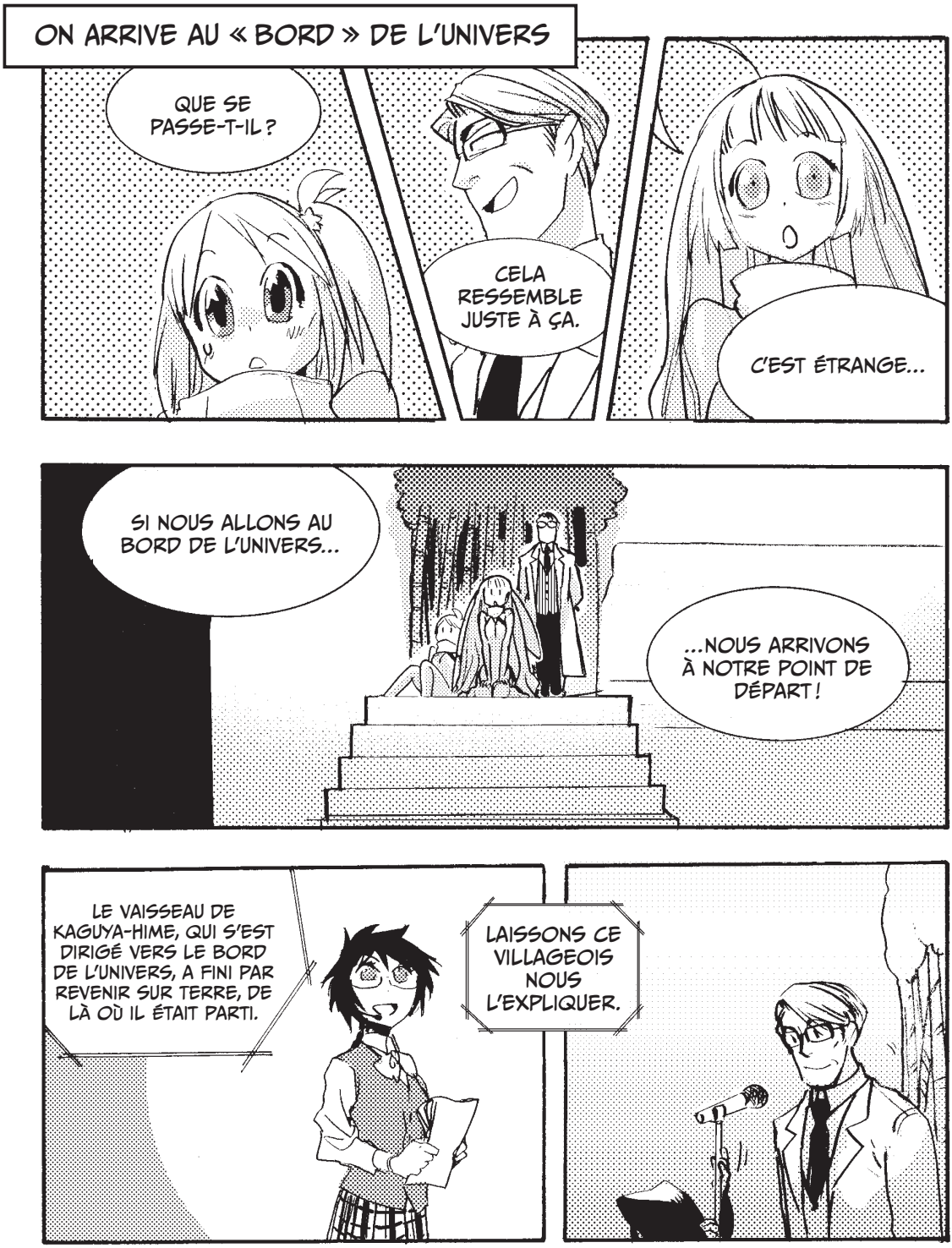
Dans l'Univers, les galaxies sont agrégées en groupes ou amas de galaxies. L'amas auquel appartient notre Galaxie (la Voie lactée) est le *Groupe local*.
Il contient environ 40 galaxies. La plus large est la galaxie d'Andromède, avec un diamètre de 130 000 années-lumière.



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
QUE SE PASSE-T-IL ?
CELA RESSEMBLE JUSTE À ÇA.
C'EST ÉTRANGE...
SI NOUS ALLONS AU BORD DE L'UNIVERS...
...NOUS ARRIVONS À NOTRE POINT DE DÉPART !
LE VAISSEAU DE KAGUYA-HIME, QUI S'EST DIRIGÉ VERS LE BORD DE L'UNIVERS, A FINI PAR REVENIR SUR TERRE, DE LÀ OÙ IL ÉTAIT PARTI.
LAISSONS CE VILLAGEOIS NOUS L'EXPLIQUER.

Les explications du professeur Sanuki

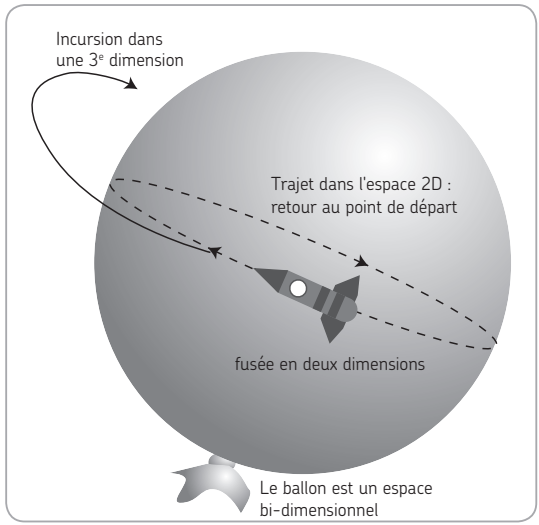
Tout le monde a entendu dire que l'Univers est né avec le Big Bang. Mais qu'est-ce que cela veut dire exactement, « l'Univers est né » ?

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 ».

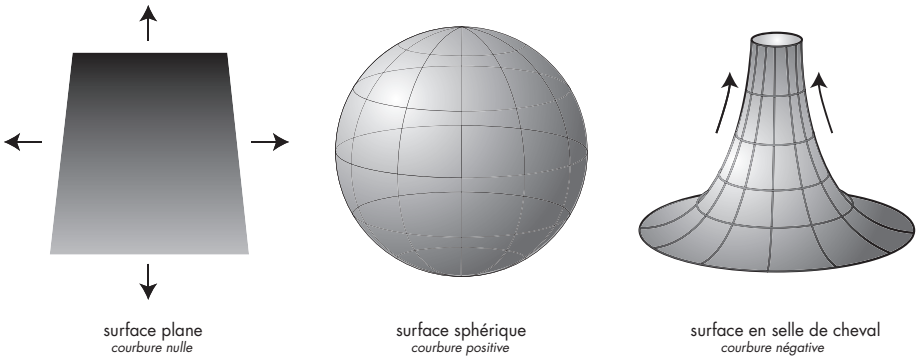
* Nous parlons d'un espace à 4 coordonnées spatiales (par exemple, longueur, largeur, hauteur et *machin-eur*), pas de l'espace-temps qui possède 3 dimensions spatiales et 1 dimension temporelle.

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 4e 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 illlustrent les trois modèles dans le cas d'un univers 2D.

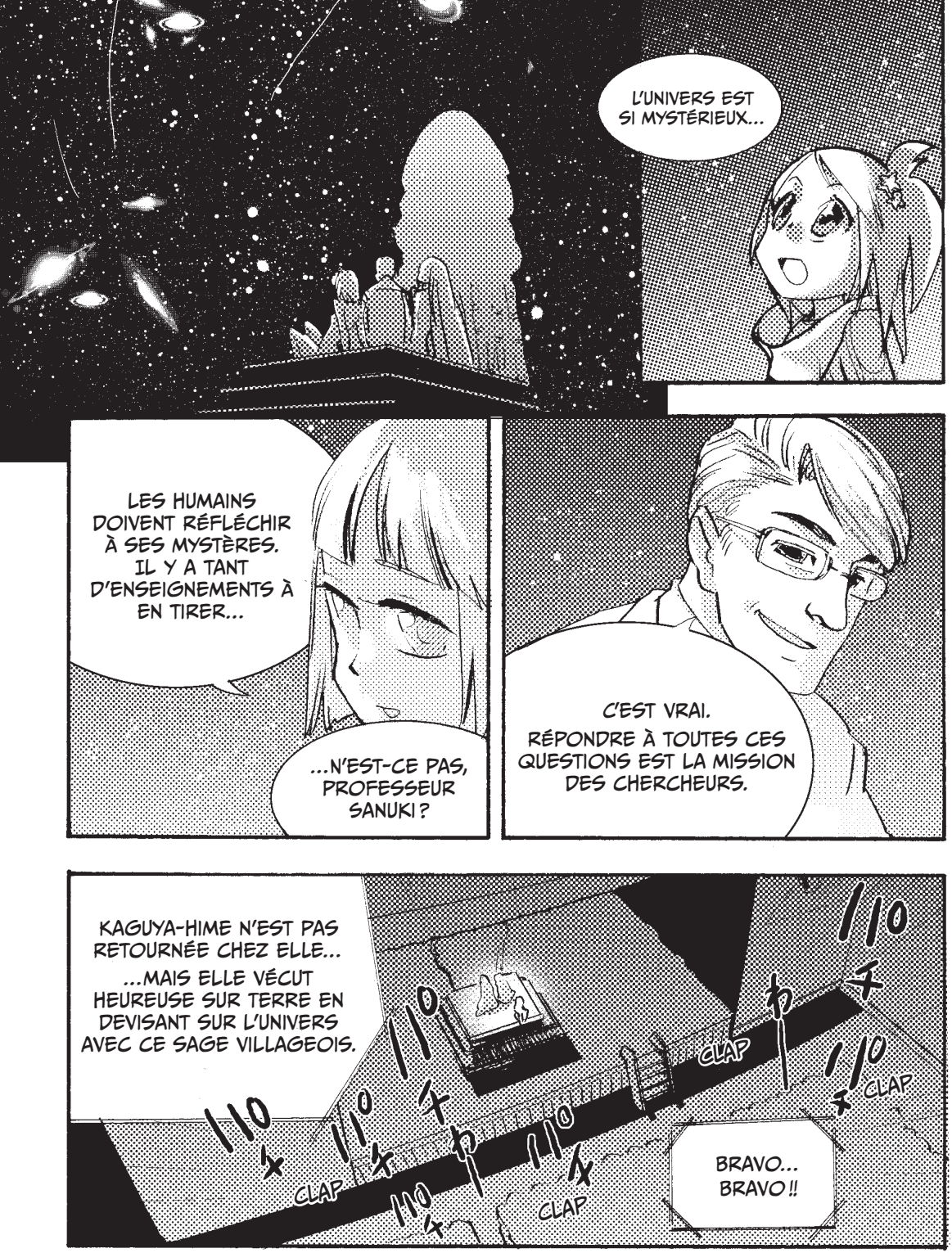


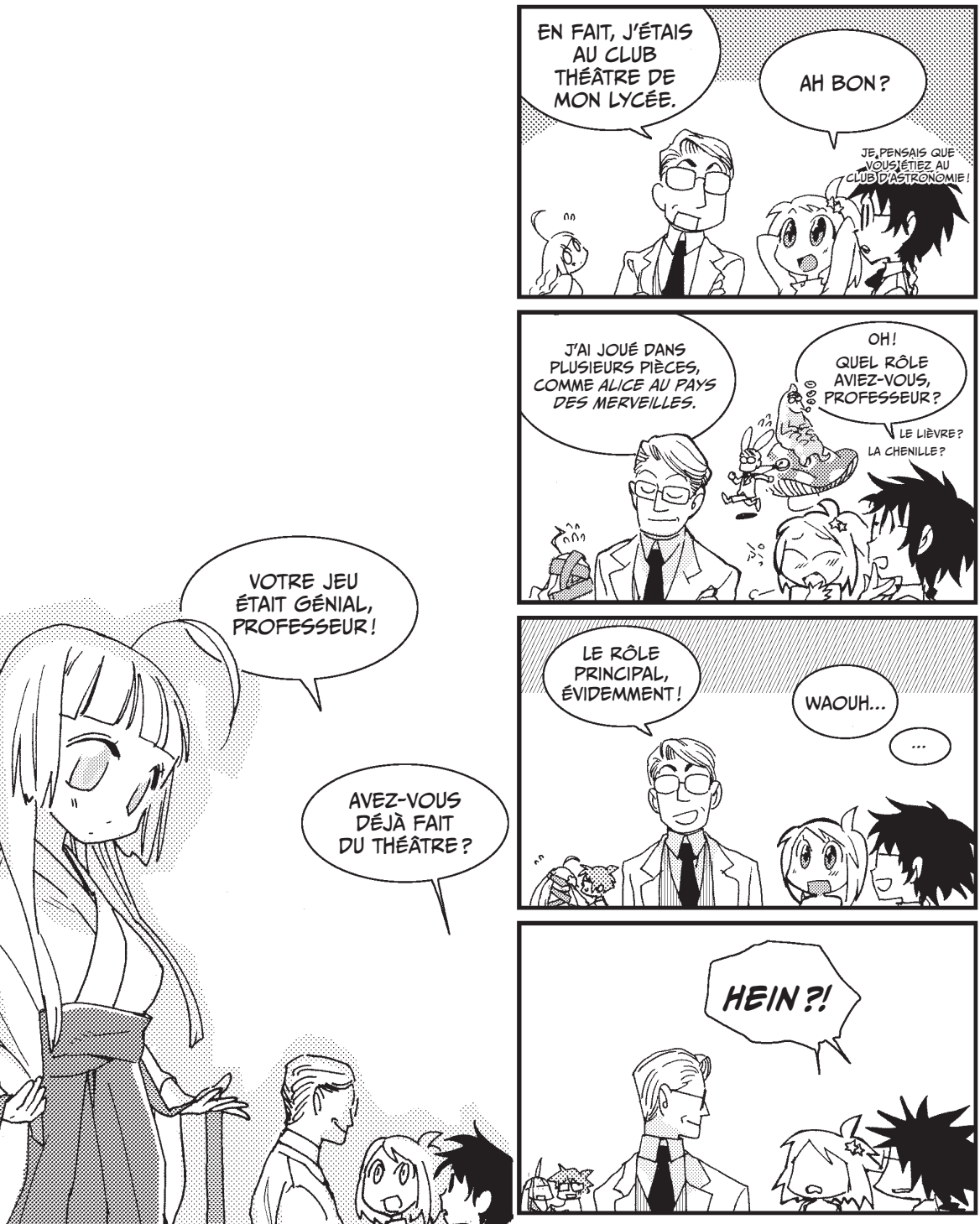
3 modèles d'univers 2D (en 2 dimensions)

- 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.
CLAP
BRAVO... BRAVO !!


EN FAIT, J'ÉTAIS AU CLUB THÉÂTRE DE MON LYCÉE.
AH BON ?
JE PENSAIS QUE VOUS ÉTIEZ AU CLUB D'ASTRONOMIE !
J'AI JOUÉ DANS PLUSIEURS PIÈCES, COMME *ALICE AU PAYS DES MERVEILLES*.
OH ! QUEL RÔLE AVIEZ-VOUS, PROFESSEUR ?
LE LIÈVRE ?
LA CHENILLE ?
LE RÔLE PRINCIPAL, ÉVIDEMMENT !
WAOUH...
...
HEIN ?!
VOTRE JEU ÉTAIT GÉNIAL, PROFESSEUR !
AVEZ-VOUS DÉJÀ FAIT DU THÉÂTRE ?

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

Lemaitre (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 *Very Large Array*) 136
Voie lactée
centre 118–121
collision avec Andromède 121
formation 120, 175
forme 120, 129–131
structure 128–131

W

WIMP (*Weakly Interacting Massive Particle*) 238
WMAP (*Wilkinson Microwave Anisotropy Probe*) 178, 241–242