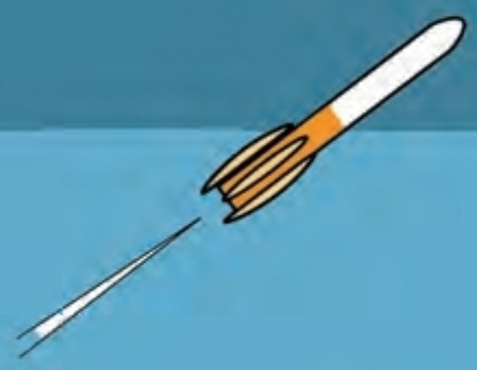
La Haute Atmosphère, qu'est ce que c'est?

Par Hayanon
Sous la direction de K.Shiokawa
Traduit de l'anglais par L.Colombani



Pourquoi l'air devient-il plus léger à haute altitude?

Comme vous le savez, l'air est moins dense au fur et à mesure que nous montons. C'est pourquoi nous trouvons qu'il est difficile de respirer en haute montagne. Par exemple, au sommet du mont Fuji (2776 m), la quantité d'air est seulement les deux-tiers de celle du niveau de la mer. Vous devez vous demander pourquoi c'est comme ça?

C'est lié à la gravité de la Terre. Je vais vous l'expliquer maintenant. L'air, bien que léger, est attiré vers le sol par la gravité et a tendance à se concentrer au niveau du sol. Mais ce mouvement est contrarié car les molécules d'air sont en mouvement permanent. Elles se heurtent les unes aux autres. La force par unité de surface exercée par ces molécules s'appelle la pression de l'air.

La pression de l'air est de 1kg/cm² au niveau du sol. En d'autres termes, l'air accumulé au-dessus de ton pouce pèse environ 1kg. Malgré cela nous ne sommes pas aplatis sur le sol car une pression égale pousse de l'intérieur du corps vers l'extérieur.

La surface de la Terre se trouve baignée dans cette masse d'air accumulée au sol. L'air au sol est comprimé et épais alors qu'il est moins comprimé et plus ténu en altitude.. Ainsi l'air devient plus léger à haute altitude.

Vous constaterez que l'air léger à haute altitude a des propriétés caractéristiques uniques et bien différentes de celles de l'air qui nous entoure. Sa composition est changée, l'air y est électriquement chargé et émet même de la lumière ! La haute atmosphère est un endroit rempli de ces phénomènes mystérieux. Elle est la limite entre l'espace et l'atmosphère terrestre.

Mol et Mirubo vont à présent explorer la haute atmosphère. Décollez et joignez vous à eux!

C'est un jour de vacances. ~♫

Mol, passionnée de sciences et Mirubo son chien-robot lèvent les yeux au ciel dans une ambiance détendue.

Quel beau ciel, non?

Les cieux dégagés sont toujours beaux.

Mirubo, à quoi ressemble la partie supérieure du ciel?

Le haut du ciel?

Au-dessus des nuages mais pas dans l'espace...

Hmm... Quelque part près de la limite?

C'est impossible de répondre à cette question même avec mon super ordinateur.

Apprenons quelque chose...

... sur le haut du ciel ensemble!!!

Merci, professeur!!!

Le ciel au-dessus de nous peut être divisé en plusieurs couches.

Divers phénomènes peuvent se produire dans ces couches à différentes altitudes.

400

Thermosphère

Ionosphère

90

Mésosphère

50

Stratosphère

Couche d'Ozone

10

Troposphère

0

km

Aujourd'hui nous allons découvrir la **Haute Atmosphère**. On regroupe sous ce nom la haute mésosphère, la thermosphère et l'ionosphère.

Je ne comprends pas très bien...

Envolons-nous vers la haute atmosphère!

Brr.... Il fait froid ici....

Il fait la même température qu'aux sommets des montagnes.

Jusqu'à 10 km, dans la troposphère, la température baisse au fur et à mesure que nous montons.

C'est exact, Mol. Dans la mésosphère, au-dessus de 50 km, l'effet de l'ozone est moindre et la température baisse.

Etonnament, elle baisse jusqu'à -90°C en haut de la mésosphère.

C'est l'endroit le plus froid de l'atmosphère terrestre.

Dans la stratosphère, au-dessus de 10 km, la teneur de l'ozone dans l'air augmente.

Maintenant, il fait un peu plus chaud.

La couche d'ozone réchauffe l'air, c'est ça?

Dans la thermosphère, d'autres molécules que l'ozone se réchauffent en absorbant les rayons UV (ultraviolet) du soleil.

La température peut atteindre 1000°!

1000°?!

N'allons pas là-haut! Je ne veux pas être grillé!!!

Ne vous inquiétez pas! 1000° semblent très chaud mais grâce à la faible densité de l'air, nous ne le sentirons pas.

Même si la température d'une molécule est 1000°, l'ensemble de l'air n'est pas chaud.

La température de cette molécule est 1000°.

L'activité du soleil et la différence jour/nuit sont les causes...

... des changements de température de 500° à 2000°.

La vitesse du vent augmente avec l'altitude.

Elle est de quelques dizaines de mètres par seconde dans la mésosphère...

... et atteint plus de 100 m/s dans la thermosphère.

Je ne sens pas du tout cette vitesse!!!

Pourquoi??

C'est la même raison que pour la température.

A cause de la faible densité de l'air, nous ne sentons pas la rapidité du vent comme au sol.

Différents types de vent existent.

Il y a la **marée atmosphérique**.

Comme dans l'océan, ces marées croissent et décroissent dans la haute atmosphère.

Le vent produit par la marée dans la thermosphère souffle du côté jour vers le côté nuit.

C'est causé par la dilatation de l'air chauffé par le soleil pendant la journée.

Autrement dit, l'air souffle d'est en ouest le matin.

Est

Ouest

Alors que le soir, il souffle d'ouest en est.

Est

Ouest

Dans la haute atmosphère, existent les **ondes planétaires**, dont les structures s'enroulent autour de la Terre.

Leurs périodes s'étendent de quelques jours à des dizaines de jours avec une très grande longueur d'onde.

Par exemple, les ondes planétaires peuvent être à l'origine de jours successivement chauds et froids avec une période de quelques jours à un endroit donné sur Terre.

De plus, l'air oscille aussi sur des périodes plus courtes de quelques dizaines de minutes à quelques heures. Ce sont les **ondes de gravité atmosphériques**.

Par exemple, lorsque les cumulonimbus montent ou que le vent arrive sur une montagne, l'air monte.

En montant, les masses d'air se dilatent parce que la pression à haute altitude est plus faible, et l'air se refroidit.

En se refroidissant, sa densité augmente et alors, il redescend par gravité.

Toutefois, il reste plus léger que l'air près du sol qui est plus dense. La température augmente et à nouveau il remonte.

Ce processus se répète, l'air monte et descend, monte et descend, etc...

Ces ondes de gravité voyagent vers le haut de la mésosphère, où elles sont détruites en dissipant leur énergie.

L'énergie de ces ondes de gravité est suffisamment grande pour modifier à grande échelle les vents dans la mésosphère.

Allons plus haut dans l'ionosphère!

Ici, les radiations UV cassent les atomes et molécules en ions et électrons.

Exact!!

Mirubo, tu peux voir ces nouvelles particules?

Electron

Atome atmosphérique

Ion

Ce processus s'appelle **l'ionisation**.

Le gaz constitué d'électrons et d'ions s'appelle le plasma.

D'où le nom Ionosphère!

L'ionisation se produit aussi près du sol mais...

comme la densité de l'air y est élevé, ...

... les électrons et ions séparés se rassemblent immédiatement.

C'est la **recombinaison!**

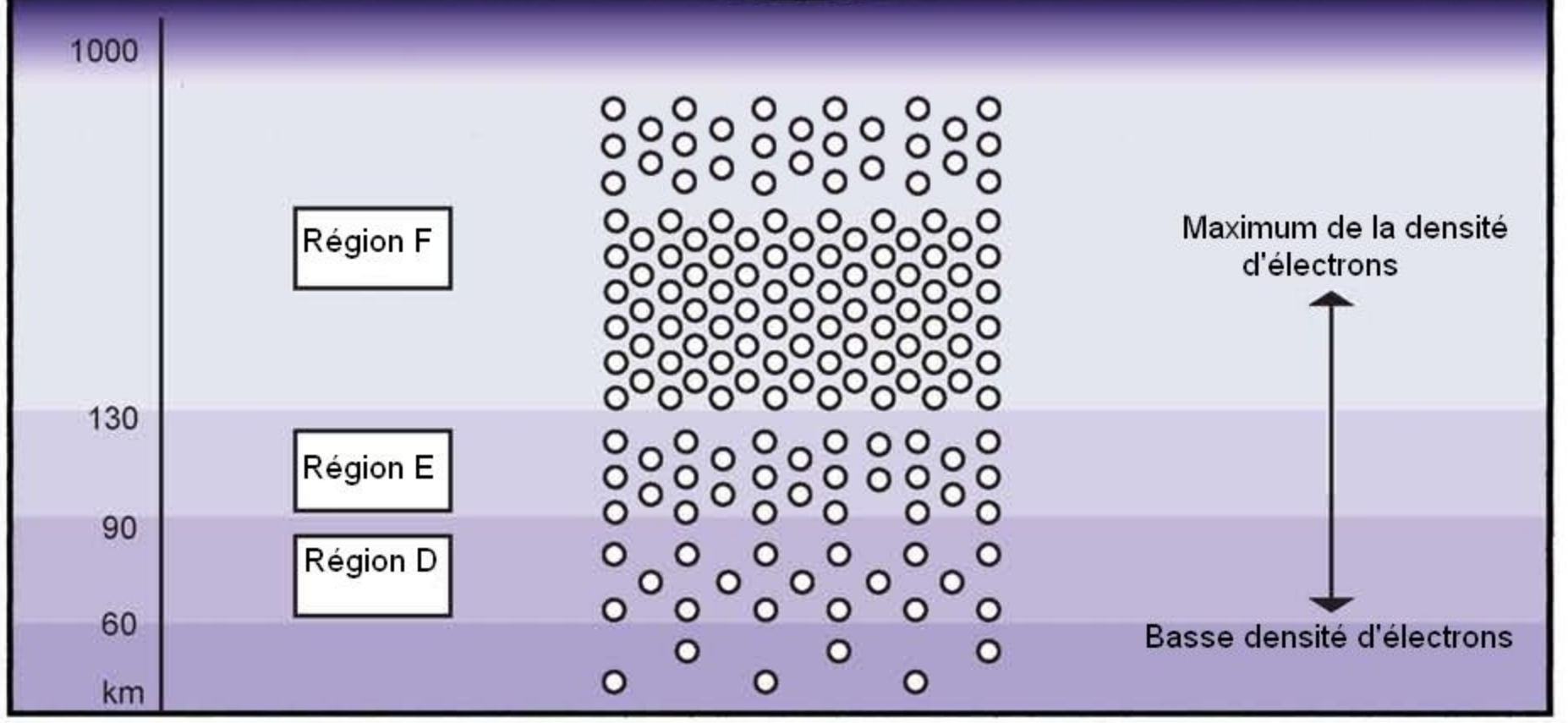
Puisque la densité de l'air est très faible dans l'ionosphère...

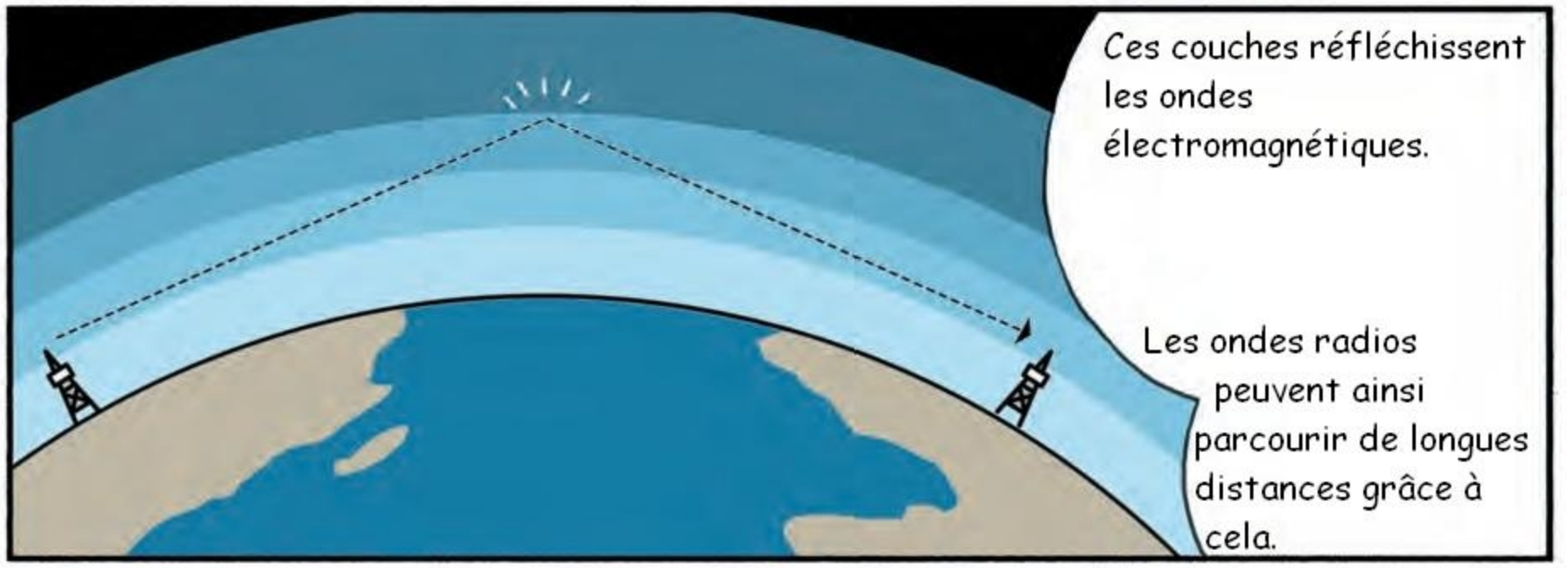
... le plasma peut exister plus longtemps.

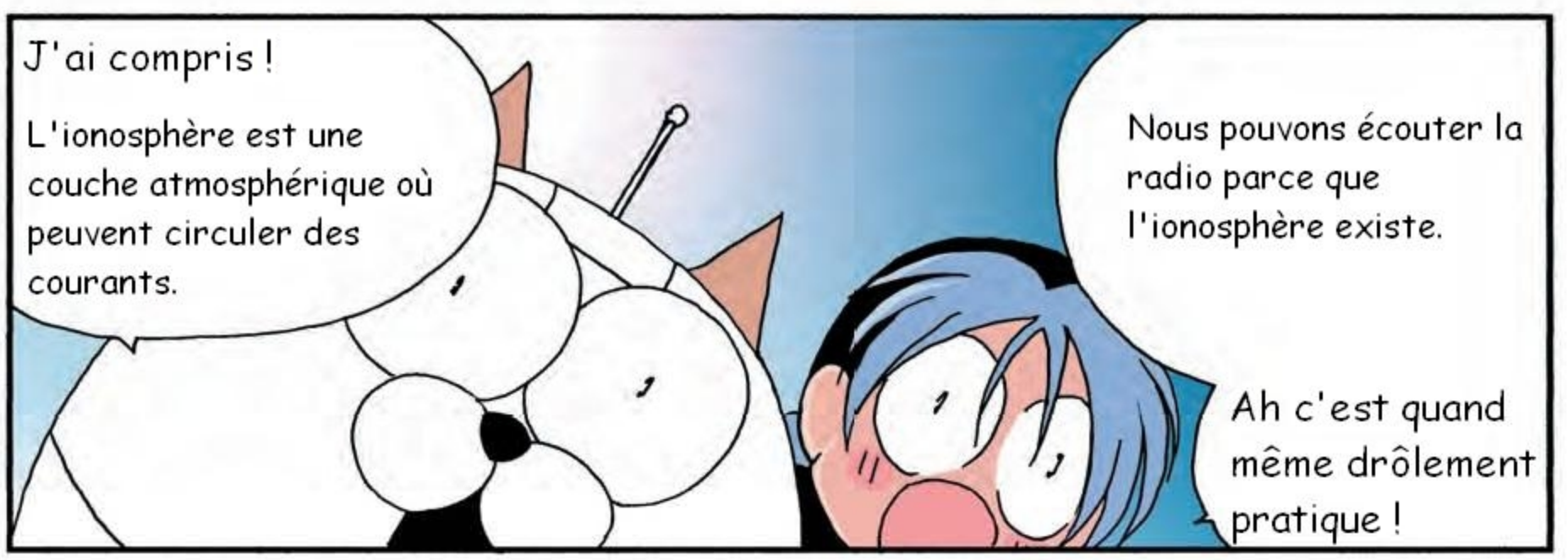
L'ionosphère est constitué de plusieurs régions...

... qui correspondent à des densités électroniques différentes. Par exemple, on distingue les couches ou régions E et F.

La densité électronique augmente avec l'altitude jusque vers 300 km. Des courants électriques peuvent circuler dans la région E.







La nuit quand il n'y a plus d'UV, l'ionisation ne se fait plus, ...

... la densité électronique devient plus faible que dans la journée.

L'ionosphère varie aussi à cause des fluctuations de la température et du vent. Regardons quelques exemples.

Des structures en forme de bulle apparaissent quelques fois dans la région F de l'ionosphère près de l'équateur.

Dans ses structures nommées **bulles de plasma équatoriales**, la densité d'électrons est plus faible.

Une structure de plasma de haute densité peut exister près des pôles nord et sud même s'il n'y a pas de lumière.

Cette structure qu'on nomme **surdensité de plasma dans la calotte polaire**, provient de la région côté jour située à des latitudes plus basses.

De plus, il arrive que des bandes de densité électronique voyagent au-dessus du Japon et des autres pays.

Perturbations ionosphériques mobiles de moyenne échelle

Ces bandes peuvent aussi être créées par des ondes atmosphériques comparables à un tsunami. Elles prennent leur origine dans les régions polaires et voyagent vers les latitudes plus basses.

Perturbations ionosphériques mobiles de grande échelle

L'ionosphère est importante pour la vie de tous les jours mais à cause de son caractère instable, les signaux radio des satellites sont quelquefois perturbés.

Donc, les signaux de communication et de GPS peuvent être perdus. On fait des recherches sur l'ionosphère...

... pour améliorer les systèmes de communication et de navigation.

Si nous pouvions transporter nos instruments d'observation nous-même à cette altitude, ce serait super.

Ce doit être un travail facile pour toi, Mirubo. Mais pour nous...

Comment faire?

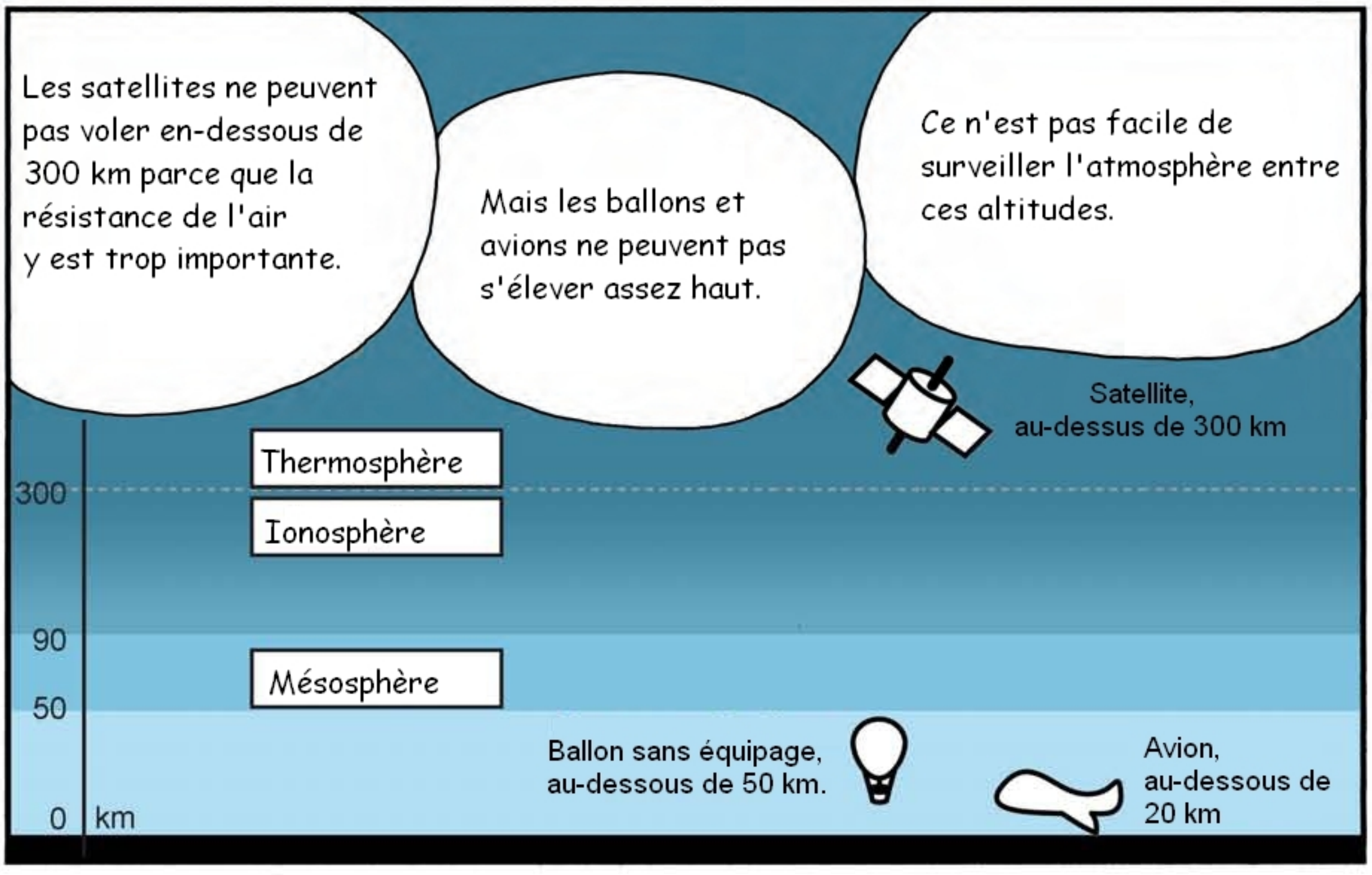
Mais il est difficile d'étudier la haute atmosphère directement.

Pourquoi?

Les satellites ne peuvent pas voler en-dessous de 300 km parce que la résistance de l'air y est trop importante.

Mais les ballons et avions ne peuvent pas s'élever assez haut.

Ce n'est pas facile de surveiller l'atmosphère entre ces altitudes.



En ce moment, la haute atmosphère est surveillée depuis le sol et depuis l'espace.

Les satellites peuvent couvrir une large zone mais ils voyagent trop vite pour voir des variations temporelles.

Les fusées-sondes mesurent directement les propriétés de la haute atmosphère.

Thermosphère

Ionosphère

Les vents et les températures peuvent être estimés par l'observation des échos radios venant des météores.

Mésosphère

Des caméras CCD à haute sensibilité peuvent mesurer de faibles lumières venant de l'atmosphère.

Les faisceaux lasers permettent d'étudier la densité de l'air, la température et le vent.

Les radars peuvent identifier la structure de l'atmosphère et de l'ionosphère.

Pourquoi les chercheurs persistent-ils dans l'étude...

... de cette partie de l'atmosphère alors qu'il est difficile de mesurer directement ce qu'il s'y passe?

Rappelez-vous de ce que je vous ai dit sur l'ionosphère.

Encore une fois, la haute atmosphère nous est indispensable dans le vie de tous les jours.

On a constaté que pendant que le réchauffement global progresse dans la troposphère, la haute atmosphère se refroidit.

D'après les simulations, la température de la haute atmosphère diminue de façon spectaculaire lorsque la quantité de gaz à effet de serre double. Par exemple, jusqu'à 10° de moins dans la mésosphère et environ 50° dans la thermosphère.

Nous devrions être capable d'observer le réchauffement global plus facilement dans la haute atmosphère qu'en étudiant les données du sol.

N'oubliez pas, la thermosphère est la région que traversent les navettes spatiales et la Station Spatiale Internationale.

Quand les Hommes vivront dans l'espace, dans le futur, ...

... nous pourrons voir les perturbations de plasma par la fenêtre...

... et nous pourrons observer de belles aurores.

Cela semble incroyable! La haute atmosphère deviendra bien plus familière!

Je ne veux pas attendre pour voir les progrès de la recherche!

Qu'est ce que la Haute Atmosphère?!

Bonjour Professeur. Je voudrais savoir à quoi ressemble le haut de l'atmosphère.

Moi aussi. Y a-t-il une limite claire du ciel au-dessus de nos têtes?

Bien sûr que non. Il y a une vaste région au-delà de la haute atmosphère. Comme il n'y a pas d'air dans l'espace, la haute atmosphère est appelée la frontière entre la Terre et l'espace ou le bout du ciel.

Comment faites vous pour diviser l'atmosphère en plusieurs couches comme lorsque vous dites "l'atmosphère supérieure"?

Bonne question Mol. L'épaisseur de l'atmosphère terrestre est de seulement quelques centaines de kilomètres. C'est très faible par rapport au rayon de la Terre. L'atmosphère est comme une enveloppe qui entoure notre planète. Mais bien qu'elle soit fine, elle a des caractéristiques différentes selon les altitudes.

Je comprends maintenant. Alors quelles caractéristiques a la haute atmosphère?

Tout d'abord, la haute atmosphère comprend une couche nommée l'ionosphère dans laquelle l'air est en partie chargé. L'ionosphère réfléchit les ondes électromagnétiques émises depuis le sol. Cette propriété nous permet d'étudier la haute atmosphère.

Pourquoi y a-t-il de l'électricité dans l'ionosphère?

Les radiations UV et les particules chargées d'origine solaire expulsent les électrons qui tournent autour des atomes et molécules atmosphériques: cela crée de l'atmosphère électriquement chargée. Comme la densité de l'air est très faible dans l'ionosphère, il faut du temps pour que les électrons libres se recombinent. Donc l'air reste électrisé plus longtemps.

Professeur, peut-on utiliser cette électricité pour faire fonctionner un barbecue?

Si tu rassemblais toute l'électricité de la haute atmosphère terrestre, tu pourrais continuer de griller ta viande beaucoup plus longtemps que ce dont tu as besoin.

Pourquoi étudiez-vous l'ionosphère? Est ce que cela a un impact sur nous?

Les variations de l'ionosphère peuvent causer des perturbations des communications et des navigations GPS par satellite ainsi que des émissions TV et radio. Pour utiliser l'ionosphère plus efficacement, nous avons besoin de mieux la connaître.

Oh, tu dois t'inquiéter Mirubo. Tu n'as pas le sens de l'orientation et tu ne peux rien faire sans GPS.

Tout à fait, mon ordinateur de bord est très sensible. Mais parfois, il devient trop sensible et je ne peux plus m'orienter.

Par ailleurs les enfants, la haute atmosphère, comme la couche d'ozone, absorbe les rayons UV nuisibles venant du soleil. Vous devez également savoir que les aurores se produisent à la hauteur de la haute atmosphère.

Les aurores boréales ne peuvent être observées qu'en région polaire, non?

Normalement, oui. Mais quand il ya un orage géomagnétique, les aurores peuvent aussi se produire à des latitudes plus basses.

Y a-t-il des chances pour que je puisse en voir au Japon?

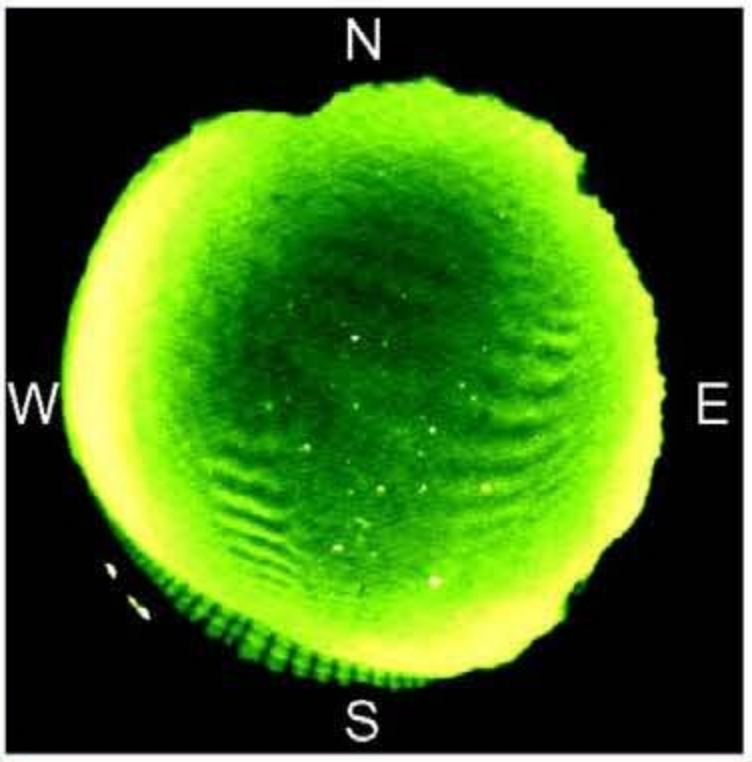
Des aurores ont été observées par des appareils de haute sensiblité plus de 20 fois en 10 ans au Japon. Elles sont aussi quelquefois visibles en France.

Je veux absolument en voir une au Japon, et je veillerai jusqu'à ce que cela arrive. Tu ne peux pas venir avec moi, Mol, c'est l'heure de te coucher.

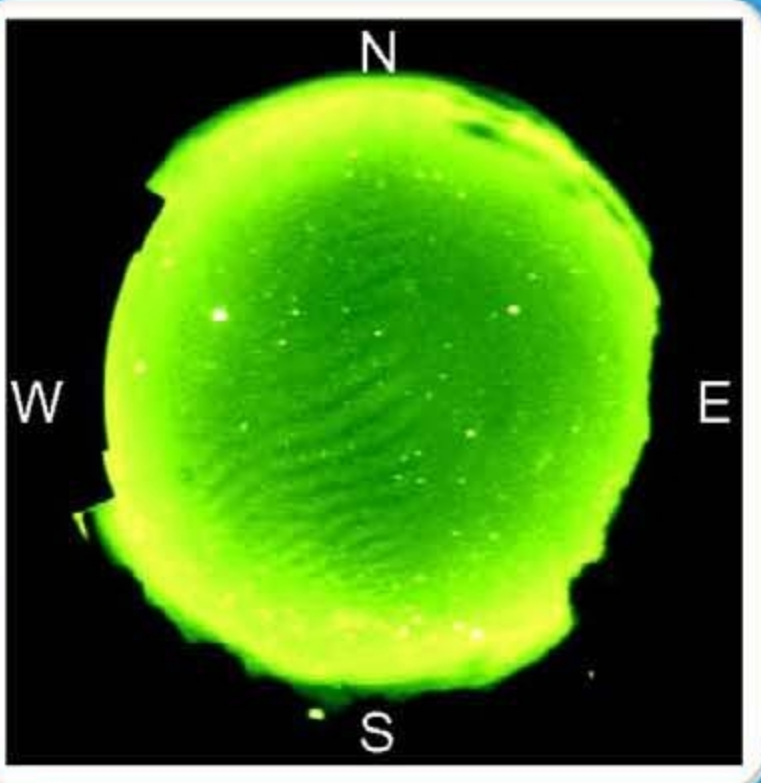
Ce n'est pas juste!!

Structures dans la Haute Atmosphère

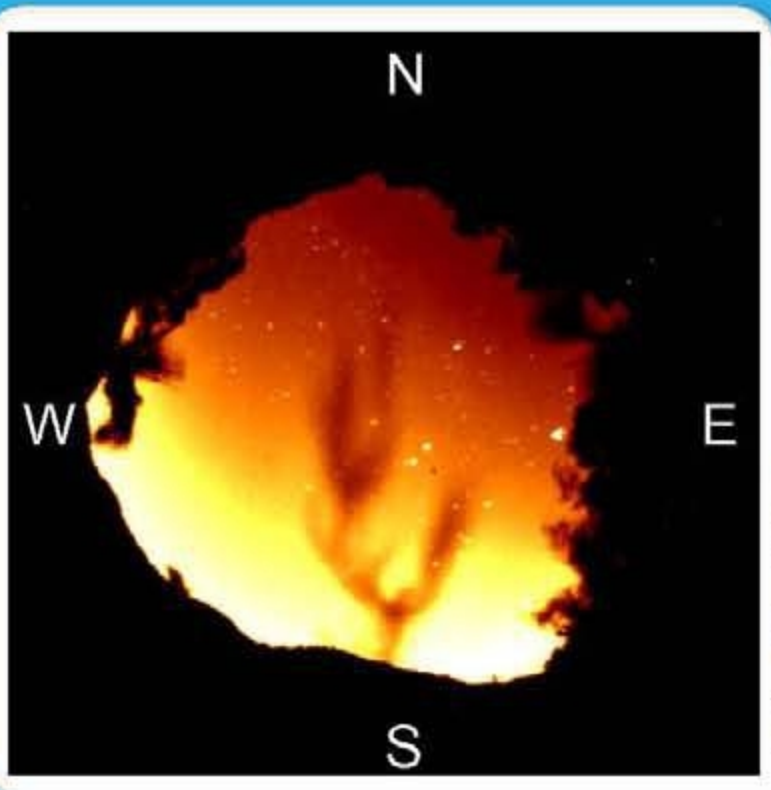
La haute atmosphère émet une lumière très faible, à peine visible: c'est la luminescence atmosphérique. Des images de cette luminescence de très faible intensité peuvent être obtenues en utilisant des caméras CCD qui sont refroidies pour augmenter leur sensibilité. Il est devenu récemment possible, grâce à cela, d'enregistrer les motifs divers créés par les ondes de gravité et les bulles de plasma dans la haute atmosphère. Le progrès dans ce domaine de la science est en plein essor.



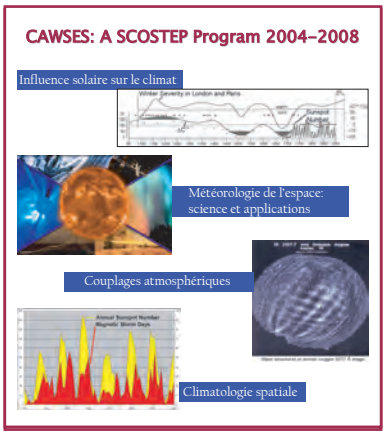
Exemple de stries qui ont une longueur d'onde de 20 à 30 km. Elles montrent l'existence des ondes de gravité dans la haute atmosphère. Cette image plein ciel mesurée à la longueur d'onde de 557,5 nm (raie verte) a été obtenue à l'Observatoire MU de l'Université de Kyoto à Shigaraki au Japon, avec un temps d'exposition de 105 secondes. La raie verte est due aux atomes d'oxygène présents vers 90-100km d'altitude dans la haute mésosphère.



Exemple de stries qui ont une longueur d'onde de 20 à 30 km. Elles montrent l'existence des ondes de gravité dans la haute atmosphère. Cette image plein ciel mesurée à la longueur d'onde de 557,5 nm (raie verte) a été obtenue à Kototabang dans l'île de Sumatra en Indonésie, avec un temps d'exposition de 105 secondes. La raie verte est due aux atomes d'oxygène présents vers 90-100km d'altitude dans la haute mésosphère.



Exemple de bulles de plasma dans la haute atmosphère.qui ont l'apparence de branches d'un arbre. Cette image plein ciel mesurée à la longueur d'onde de 630,0 nm (raie rouge) a été obtenue à la Station Sata du Laboratoire sur l'Environnement Solaire et Terrestre, à Kagoshima au Japon, avec un temps d'exposition de 165 secondes. La raie rouge est due aux atomes d'oxygène présents à 200-300 km d'altitude dans l'ionosphère.



Climate and Weather of the Sun-Earth System (CAWSES)

Le CAWSES est un programme international sponsorisé par le SCOSTEP (Scientific Committee on Solar-Terrestrial Physics) et a été établi dans le but d'améliorer significativement notre compréhension de l'environnement spatial et de son impact sur la vie et la société. Les principales fonctions du programme CAWSES sont de coordonner les activités internationales en observations, modélisations et théorie, d'impliquer des scientifiques des pays développés et en voie de développement et de fournir des possibilités d'étude pour les étudiants de tous niveaux. Ce programme est prolongé jusqu'en 2013 avec son bureau virtuel à http://www.scostep.ucar.edu.

Solar-Terrestrial Environment Laboratory (STEL), Nagoya University

Le STEL est un laboratoire patronné par plusieurs universités du Japon, afin de promouvoir la recherche sur les structures et la dynamique des relations Soleil-Terre, en collaboration nationale et internationale. Il comprend trois groupes sur les environnements Atmosphérique, Ionosphérique et magnétosphérique, Héliosphérique, et un groupe Inter-dispciplinaire. Le "Center for Joint Operation and Data Processing" y est affilié, pour la conduite de projets communs et de bases de données. Le laboratoire comprend sept stations et observatoires d'intérêt national.
http://www.stelab.nagoya-u.ac.jp/

はやのん Hayanon

Diplomée en physique à l'Université de Ryukyu, Hayanon, écrivain et dessinatrice de bandes dessinées, a publié de nombreuses séries dans des journaux pour le grand public en se fondant sur son solide bagage de connaissances scientifiques et sur les jeux vidéo. Son écriture rigoureuse et son style enthousiaste en font un auteur très apprécié.

子供の科学 Kodomo no Kagaku

Kodomo no Kagaku (sciences pour les enfants), publié par la Seibundo Shinkosha Publishing Co. est un magazine mensuel pour les enfants. Depuis son premier numéro en 1924, le magazine a continuellement oeuvré pour l'éducation scientifique en proposant plusieurs facettes de la science, des phénomènes de la vie de tous les jours aux sujets les plus pointus.

«What is the upper atmosphere?» est publié en coopération avec «Kodomo no Kagaku».
Mol, Mirubo et le professeur remercient Alan Burns, Chantal Lathuillère et Laetitia Colombani pour les versions anglaise et française.
Version française supervisée par Brigitte Schmieder, correspondante du CAWSES.

Produit par le Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University et le Scientific Committee on Solar-Terrestrial Physics en collaboration avec le CAWSES.

Février 2008
All rights reserved