



**Comité des utilisations pacifiques
de l'espace extra-atmosphérique****Rapport sur le projet d'instrumentation en l'absence de
gravité****I. Introduction**

1. L'Initiative sur les retombées bénéfiques pour l'humanité des technologies de l'espace a été lancée en 2010 dans le cadre du Programme des Nations Unies pour les applications des techniques spatiales. Son rôle est de constituer une plate-forme pour l'échange d'informations, de favoriser la coopération entre les pays qui mènent des activités spatiales et les autres, et d'inciter les pays émergents et les pays en développement à prendre part à des activités de formation et de recherche dans le domaine spatial et à tirer parti des applications des techniques spatiales. Ces activités reposent sur trois piliers: a) promouvoir la coopération internationale concernant les vols spatiaux habités et les activités d'exploration spatiale; b) sensibiliser les pays aux retombées bénéfiques des techniques spatiales et à leurs applications; et c) renforcer les capacités en matière de formation et de recherche sur la microgravité (voir ST/SPACE/62/Rev.2).

2. En 2011, pendant la Réunion d'experts ONU/Malaisie sur les retombées bénéfiques pour l'humanité des technologies de l'espace, les participants au groupe de travail sur la formation, la sensibilisation et le renforcement des capacités ont examiné la nécessité de renforcer les capacités au moyen de la formation théorique et pratique et d'une coopération plus poussée en ce qui concerne l'utilisation des installations de recherche dans l'espace et au sol. Il a été recommandé que des programmes spéciaux de renforcement des capacités soient mis en place dans le cadre de l'Initiative, notamment en fournissant des supports didactiques et en distribuant des instruments scientifiques (voir A/AC.105/1017).

3. En 2013, l'Atelier ONU/Chine sur les retombées bénéfiques pour l'humanité des technologies de l'espace a recommandé d'élargir le rôle de l'Initiative en matière de promotion des activités de formation et de sensibilisation en mettant à disposition du matériel didactique ainsi que des forums de discussion avec des experts et des astronautes pour aider les professionnels et stimuler l'intérêt des



étudiants, des universitaires et du grand public pour l'exploration spatiale habitée (voir A/AC.105/1050).

4. Suite à ces recommandations, les activités scientifiques ci-après ont été entreprises dans le cadre de l'Initiative: le projet d'instrumentation en l'absence de gravité en 2012 et le Programme DropTES (Drop Tower Experiment Series) en 2013.

5. Ces activités sont menées conformément au plan de travail pluriannuel de l'Initiative, élaboré en consultation avec les représentants d'États Membres et des experts du monde entier (voir A/AC.105/2013/CRP.16).

6. Il a été rendu compte des activités du projet d'instrumentation en l'absence de gravité pour la période 2013-2014 à la cinquante et unième session du Sous-Comité scientifique et technique du Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique (voir A/AC.105/C.1/2014/CRP.20).

7. Le présent document rend compte du déroulement du projet sur la période 2013-2015.

II. Projet d'instrumentation en l'absence de gravité

A. Aperçu du projet

8. Le projet d'instrumentation en l'absence de gravité a été lancé en 2012 au titre des activités de renforcement des capacités de l'Initiative sur les retombées bénéfiques pour l'humanité des technologies de l'espace, dans le cadre desquelles un nombre fixe de simulateurs de microgravité, appelés clinostats, ont été distribués à des écoles et établissements sélectionnés du monde entier.

9. Les principaux objectifs du projet sont d'offrir aux étudiants et aux chercheurs une occasion unique d'étudier l'influence de la microgravité simulée sur divers échantillons et de les inciter à entreprendre des études approfondies dans le domaine des sciences et des techniques spatiales. En outre, le projet vise à constituer des ensembles de données sur des espèces végétales du monde entier et leurs réactions à la gravité, pour contribuer à la conception des futures expériences spatiales et au progrès de la recherche sur la microgravité.

10. Le projet s'adresse avant tout à des participants de pays en développement et de pays à économie en transition. Les profils attendus des candidats sont chefs d'équipes de recherche, professeurs d'université dans des disciplines scientifiques et professeurs de sciences. De plus, les candidats doivent diriger les activités proposées au titre du projet dans leurs établissements et sont censés expliquer comment ils comptent utiliser les clinostats.

11. En fonction de la disponibilité de clinostats, des équipes de chercheurs de pays menant des activités spatiales peuvent aussi participer au projet. Il est prévu de créer un réseau éducationnel et scientifique mondial par l'échange et le partage de données d'expérience et de résultats expérimentaux entre les participants de différentes régions géographiques.

12. Il est prévu que le projet comporte trois cycles, d'une durée de trois ans chacun, de l'avis d'offre de participation à la soumission du rapport final sur

l'activité. Le premier cycle a été achevé, et les deuxième et troisième sont en cours. Pendant chaque cycle, les établissements utilisent les clinostats pour des expérimentations sur les projets proposés.

13. Le Groupe consultatif scientifique de l'Initiative sur les retombées bénéfiques pour l'humanité des technologies de l'espace a été créé afin d'accroître la valeur scientifique du projet, d'évaluer les candidatures et de sélectionner des établissements adéquats pour participer au projet. Il se compose actuellement de sept universitaires renommés experts de la microgravité en biologie, qui y siègent à titre bénévole.

14. Le Bureau des affaires spatiales a élaboré un guide pédagogique de l'expérimentation sur végétaux en microgravité (Teacher's Guide to Plant Experiments in Microgravity) (ST/SPACE/63), qui donne aux enseignants et aux étudiants des instructions détaillées pour l'exécution d'expériences de culture de végétaux à l'aide de clinostats en laboratoire scolaire. L'élaboration de ce guide a commencé en 2012 avec l'appui de membres du Groupe consultatif scientifique.

15. L'exécution du projet d'instrumentation en l'absence de gravité dépend de contributions en espèces et en nature d'États Membres, dont la Chine et le Japon, ainsi que de contributions scientifiques volontaires des organismes suivants: le Centre d'appui aux sciences biomédicales de l'Agence aérospatiale allemande; le Centre néerlandais d'appui expérimental, Centre universitaire de dentisterie de l'Université libre d'Amsterdam; le Laboratoire de biologie spatiale et adaptative de l'Université de Tohoku (Japon); le Laboratoire de physiologie végétale, Division de la biologie et des géosciences de l'Université d'Osaka (Japon); le Laboratoire national de microgravité de l'Académie chinoise des sciences; et le Laboratoire national principal des fondements et des applications de la médecine spatiale du Centre chinois de recherche et de formation astronautiques.

B. Contexte scientifique

1. Principes du clinostat

16. Le clinostat à un axe fourni par le Bureau des affaires spatiales est un outil servant à étudier l'impact d'une gravité modifiée sur les plantes, les champignons et d'autres petits organismes. La qualité de la simulation dépend de la taille du système testé.

17. Une microgravité de courte durée peut être obtenue avec les tours d'impesanteur (2 à 10 secondes), les ballons (30 à 60 secondes), les vols paraboliques (20 à 25 secondes) ou les fusées-sondes (jusqu'à 15 minutes). Ces méthodes conviennent pour les systèmes qui réagissent rapidement. Toutefois, pour étudier les effets à long terme de la microgravité, il faut utiliser des satellites ou des laboratoires spatiaux habités. La construction de stations spatiales a concrétisé le rêve d'une présence humaine de longue durée dans l'espace. La station spatiale russe Mir était en orbite à une distance de 300 à 400 km au-dessus de la Terre, et plus d'une centaine de cosmonautes et astronautes ont eu l'occasion d'y séjourner. Depuis 1998, la Station spatiale internationale (ISS) peut accueillir jusqu'à six astronautes à la fois, qui y vivent et y travaillent. L'ISS offre des conditions de laboratoire pour des études systématiques en microgravité.

18. Divers types de clinostats ont été mis au point; ils diffèrent par le nombre d'axes de rotation et par les modes de fonctionnement en termes de vitesse et de sens de rotation. Un clinostat bidimensionnel a un seul axe de rotation, perpendiculaire à la direction du vecteur de gravité¹. Un clinostat tridimensionnel a deux axes de rotation, perpendiculaires l'un par rapport à l'autre². Une rotation sur un clinostat est parfois appelée "clinorotation".

19. Le premier facteur à prendre en considération est la vitesse de rotation du clinostat. À 1 g, les particules tombent et se sédimentent. Dans des conditions de chute libre, il n'y a pas sédimentation et les particules sont distribuées de façon homogène. Sur Terre, ces conditions peuvent être créées par rotation d'un objet en position verticale. Dans ces conditions, les particules tombent le long du vecteur de gravité, mais sont aussi entraînées sur des trajectoires circulaires par la clinorotation. Plus le système tourne vite, plus les rayons des cercles diminuent. Cependant, si la vitesse de rotation est trop élevée, les particules se dispersent sous l'effet de la force centrifuge. À la vitesse de rotation idéale, le mouvement des particules du fait de la sédimentation et de la force centrifuge reste dans les limites d'un mouvement brownien.

20. Le deuxième facteur à prendre en considération est la force centrifuge, qui est proportionnelle à la distance entre l'échantillon et l'axe de rotation et au carré de la vitesse de rotation. Si la vitesse de rotation est trop élevée, la force centrifuge s'exerçant sur les échantillons les éjectent vers l'extérieur.

21. Le troisième facteur à prendre en considération est la position horizontale de l'axe de rotation du clinostat. Celui-ci doit être placé horizontalement le plus précisément possible. Une erreur de 0,5 degré peut engendrer une accélération axiale de l'ordre de 10^2 g.

2. Biologie gravitationnelle

22. Le principal objectif de la biologie gravitationnelle est d'identifier et de comprendre les effets de la gravité sur les organismes. Il s'agit notamment de déterminer les mécanismes sous-jacents et le rôle de la gravité non seulement dans le développement individuel, mais aussi dans l'évolution en général.

23. La biologie gravitationnelle est une discipline née au XIX^e siècle, avec les études de l'influence de la gravité sur les plantes menées par Sir Thomas Knight, Charles Darwin, Julius Sachs et Wilhelm Pfeffer. Ils avaient déjà démontré le rôle de la coiffe racinaire dans la pousse des plantes vers le bas. Knight, Sachs et Pfeffer ont construit des machines (centrifugeuses et clinostats simples) pour modifier l'influence de la gravité et étudier son impact sur la croissance des plantes. Aujourd'hui, diverses plates-formes expérimentales – au sol et dans l'espace – ont

¹ Voir Wolfgang Briegleb, "Some qualitative and quantitative aspects of the fast-rotating clinostat as a research tool", *ASGSB Bulletin*, vol. 5, N° 2 (octobre 1992); R. R. Dedolph et M. H. Dipert, "The physical basis of gravity stimulus nullification by clinostat rotation", *Plant Physiology*, vol. 47, N° 6 (1971); et D. Klaus, "Clinostats and bioreactors", *Gravitational and Space Biology Bulletin*, vol. 14, N° 2 (2001).

² Voir Takayuki Hoson *et al.*, "Evaluation of the three-dimensional clinostat as a simulator of weightlessness", *Planta*, vol. 203, N° 1 (1997); et Jack J.W.A. van Loon, "Some history and use of the Random Positioning Machine, RPM, in gravity-related research", *Advances in Space Research*, vol. 39, N° 7 (juillet 2007).

été mises au point pour étudier l'influence d'une modification de la gravité. En conséquence, la connaissance de l'impact de la gravité et de la microgravité s'est grandement enrichie. Les principaux résultats des recherches en biologie gravitationnelle couvrent tous les objets d'étude de la biologie, des protéines, cellules et tissus isolés jusqu'aux organismes complexes.

24. Des mécanismes de perception de la gravité sont apparus très tôt. Les organismes se déplaçant librement, même les unicellulaires, utilisent la gravité pour s'orienter, par exemple pour choisir la direction de leur nage, comportement appelé gravitaxie. En outre, la réaction de croissance et d'orientation des organismes sessiles est appelée gravitropisme³. La direction par rapport au vecteur de gravité est dite positive (parallèlement à la gravité) ou négative (dans le sens opposé au vecteur de gravité).

25. La gravité est le stimulus que les plantes utilisent pour faire pousser leurs racines dans le sens du vecteur de gravité (vers le bas), fixant la plante dans le sol, et pour faire pousser la tige dans le sens opposé (vers le haut), hors du sol en direction du soleil. Comprendre "le haut" et "le bas" est essentiel pour la survie des plantes sur la Terre⁴. C'est aussi indispensable pour toute vie sur Terre car la photosynthèse est nécessaire pour la production d'aliments et d'oxygène.

26. L'impact de la gravité sur l'orientation et la croissance des plantes peut être observé de manière fascinante et facilement détectable en faisant pousser des plantes. Les connaissances de base sur la perception de la gravité par les plantes et leur réaction sous la forme du gravitropisme ont considérablement progressé⁵. Les expériences réalisées en microgravité ont grandement contribué à comprendre comment les plantes perçoivent la direction de la gravité et y réagissent. Toutefois, le processus complet de transduction du signal n'est pas encore compris dans le détail.

C. Exécution du projet

Premier cycle du projet d'instrumentation en l'absence de gravité (2013-2015)

27. L'avis d'offre de participation pour le premier cycle a été publié le 1^{er} février 2013. À la date limite du 30 mai 2013, 28 candidatures valides avaient été reçues du monde entier. Après un examen minutieux par le Groupe consultatif scientifique et les experts du Bureau des affaires spatiales, 19 écoles et établissements des 12 pays ci-après ont été sélectionnés pour participer au projet: Chili, Chine, Équateur, Ghana, Iran (République islamique d'), Iraq, Kenya, Malaisie, Nigéria, Pakistan, Thaïlande et Viet Nam. Les propositions de 7 des candidats sélectionnés étaient orientées sur la formation, 6 autres sur la recherche et les 6 restantes à la fois sur la formation et la recherche. La liste des établissements participants figure à l'annexe I.

³ Voir Rujin Chen, Elizabeth Rosen et Patrick H. Masson, "Gravitropism in higher plants", *Plant Physiology*, vol. 120, N° 2 (juin 1999).

⁴ Voir Ellison B. Blancaflor et Patrick H. Masson, "Plant gravitropism: unravelling the ups and downs of a complex system", *Plant Physiology*, vol. 133, N° 4 (décembre 2003).

⁵ Voir Fred D. Sack, "Plastids and gravitropic sensing", *Planta*, vol. 203, N° 1, supplément, (août 1997).

Deuxième cycle du projet d'instrumentation en l'absence de gravité (2014-2016)

28. Le deuxième cycle du projet a débuté avec la publication de l'avis d'offre de participation le 1^{er} janvier 2014. Pour le deuxième cycle, sur 18 candidatures valides, 13 écoles et établissements des 12 pays ci-après ont été sélectionnés pour participer au projet: Bélarus, Brésil, Chine, États-Unis d'Amérique, Espagne, Honduras, Inde, Népal, Nigéria, Pakistan, Pérou et République populaire démocratique de Corée. Les propositions de 3 des candidats sélectionnés étaient orientées sur la formation, 7 autres sur la recherche et les 3 restantes à la fois sur la formation et la recherche. La liste des établissements participants figure à l'annexe II.

Troisième cycle du projet d'instrumentation en l'absence de gravité (2015-2017)

29. L'avis d'offre de participation au troisième cycle a été publié le 1^{er} janvier 2015, avec une date limite au 30 avril 2015, et 42 établissements du monde entier se sont portés candidats. Le processus d'évaluation d'une durée de trois mois a été réalisé par des experts de l'Initiative sur les retombées bénéfiques pour l'humanité des technologies de l'espace et des membres du Groupe consultatif scientifique et suivi de la sélection de 13 propositions de projets émanant des 8 pays suivants: Algérie, Brésil, Chili, Éthiopie, France, Nigéria, Pakistan et République de Corée. La liste des établissements participants figure à l'annexe III.

30. L'équipe de l'Initiative sur les retombées bénéfiques pour l'humanité des technologies de l'espace, en collaboration avec le Groupe consultatif scientifique, a compilé les rapports annuels des premier et deuxième cycles afin de publier les premiers résultats du projet. Les établissements participants jouent un rôle important dans la diffusion des résultats obtenus dans le cadre du projet, afin de stimuler l'intérêt pour les sciences spatiales et les activités d'exploration spatiale et de lancer d'autres activités de formation et de recherche dans le cadre du projet.

III. Recherches scientifiques et activités éducationnelles

A. Effets de la microgravité simulée sur la croissance des plantes

31. L'Université technique Federico Santa Maria (Chili) a étudié les effets de la gravité sur la germination et le début de croissance de cinq plantes: *Solanum lycopersicum* (tomate), *Lactuca sativa* (laitue), *Capsicum annuum* (piment fort), *Raphanus sativus* (radis) et *Spinacia oleracea* (épinard).

32. Le Centre des sols et des ressources en eau du Ministère iraquien de la science et de la technologie a examiné l'hypothèse selon laquelle des plantes exposées à la microgravité ont une croissance de moindre qualité avec *Oryza sativa* (riz jasmin et variété Anber 33), *Triticum aestivum* (blé), *Hordeum vulgare* (orge), *Panicum americanum* (millet) et *Pisum sativum* (pois). Il a observé que les groupes témoins à 1 g avaient un meilleur taux de croissance des racines que les groupes soumis à clinorotation et qu'il y avait une importante différence des quantités d'acides aminés entre les deux groupes.

33. L'Université technique du Kenya a étudié les modifications morphologiques, histologiques et histochimiques de divers tissus de *Phaseolus aconitifolius* (haricot mat). Elle a constaté que la croissance des racines était beaucoup plus rapide en

microgravité simulée qu'à 1 g et que la direction de pousse des racines était aléatoire en microgravité simulée.

34. L'Agence spatiale nationale de Malaisie a mené des expériences à l'aide d'un clinostat sur la croissance du haricot vert et de deux variétés de riz (MR219 et 269) pour confirmer les méthodes d'expérimentation avant de procéder à des expériences similaires avec des élèves de deux écoles de Kuala Lumpur. La Sekolah Mehehgha Kebangsaan Convent Bukit Nanas a étudié les effets de la microgravité sur le haricot vert et sur *Oryza sativa* (riz) et la Sekolah Menengah Sains Alam Shah a étudié les effets de la microgravité sur le maïs et le haricot vert.

35. Le personnel de l'Institut malaisien de recherche-développement agricole a aussi étudié les effets de la clinorotation sur la germination et la morphologie des plantules avec *Oryza sativa* var. MR269 (riz asiatique), *Capsicum annuum* var. MC11 (piment fort), *Cucumis sativus* var. MTi (concombre), *Carica papaya* var. Eksotika (papaye) et *Vigna angularis* (haricot adzuki). Il a noté qu'une clinorotation lente avait des effets plus positifs sur la germination des plantules qu'une clinorotation rapide.

36. Au Nigéria, l'Université fédérale de Lafia a étudié l'effet de la gravité sur les plantes ci-après, originaires d'Afrique de l'Ouest: *Amaranthus* spp. noir et blanc (épinard), *Digitaria* spp. (acha) et *Sesamum indicum* (sésame). Elle a confirmé que toutes les plantes avaient un angle de courbure des racines réduit, signe d'une réaction positive à la microgravité simulée.

37. Au Nigéria, le Centre régional africain de formation aux sciences et techniques spatiales a mené des activités de formation dans 10 écoles publiques de l'État d'Osun en organisant des ateliers de présentation, des séances en laboratoire, des séances de présentation d'affiches et des séances d'évaluation. Les élèves ont étudié l'effet de la gravité sur le niébé, le pois à vache, le blé de Guinée, le maïs, le millet, le gombo, le riz et le blé.

38. Au Pakistan, le Centre national de recherche agricole a étudié les effets de la gravité sur trois variétés de riz (IR6, super basmati et Nipponbare) et a constaté que les racines soumises à clinorotation poussaient dans des directions aléatoires.

39. Au Pakistan, la Commission de recherche sur l'espace et la haute atmosphère a étudié le gravitropisme sur les racines de radis blanc et rose et sur le pois. Elle a aussi étudié le gravitropisme sur les pousses de souci et le phototropisme sur les pousses de *Conocarpus* spp.

40. En Thaïlande, l'Agence pour le développement de la géo-informatique et des techniques spatiales a étudié les effets de la gravité sur la croissance des racines de haricot mung. Elle a aussi utilisé le clinostat comme outil pour l'enseignement de la microgravité à des étudiants.

41. Au Viet Nam, l'Université de Hanoï a étudié la croissance du haricot vert de la germination à la pousse. Les semences ont été plantées dans le sol après clinorotation. Il est apparu que le groupe témoin à 1 g germait beaucoup plus rapidement que les échantillons soumis à clinorotation.

42. L'Institut de recherche scientifique du Tay Nguyen (Viet Nam) a étudié la germination, le début de croissance et le développement de *Hibiscus sagittifolius* en microgravité simulée. Il a constaté que le taux de germination et la multiplication

des pousses étaient meilleurs après clinorotation des échantillons qu'avec les semences du groupe témoin à 1 g.

43. L'Institut de physiologie de l'Académie nationale des sciences du Bélarus a étudié les effets de la microgravité sur les semences de trois plantes – *Pisum sativum* (pois), *Oryza sativa* (riz) et *Lepidum sativum* (cresson) – et constaté que les trois poussaient bien en conditions de microgravité simulée.

44. L'Université nationale autonome du Honduras a étudié les effets de la gravité sur la croissance des plantes par observations morphologiques et examens microscopiques. Les études ont porté sur *Phaseolus vulgaris* (haricot commun), *Phaseolus acutifolius* (haricot tépary), *Phaseolus lunatus* (haricot de Lima), *Vigna unguiculata* (niébé) et *Sorghum bicolor* (sorgho). Il est apparu que *Phaseolus vulgaris* en conditions de microgravité simulée subissait des variations manifestes de sa structure cellulaire par rapport au groupe témoin à 1 g.

45. L'Université Maharaja Sayalirao de Baroda (Inde) a étudié les effets de la gravité sur la croissance des racines de *Cicer arietinum* (pois chiche) et *Sorghum bicolor* (sorgho), ainsi que la régénération des pousses de *Solanum nigrum* (morelle noire). Elle a noté que la courbure moyenne des racines était réorientée et réduite après que les plantes avaient été mises en conditions de microgravité simulée.

46. En Inde, la Faculté Smt. Kasturba Walchand a étudié l'effet de la microgravité simulée sur la germination de *Phaseolus aureus* (haricot mung), *Lens culinaris* (lentille) et *Vigna aconitifolia* (haricot mat).

47. L'Institut nucléaire de l'alimentation et de l'agriculture du Pakistan a étudié les effets de la gravité sur la germination de *Cicer arietinum* (pois chiche), *Vigna mungo* (haricot mungo), *Raphanus sativus* (radis) et *Helianthus annuus* (tournesol). Il prévoit aussi d'étudier la transmission de l'helminthosporiose des semences aux pousses en microgravité simulée.

48. En Espagne, le Centre de recherches biologiques a mené des activités d'enseignement pour montrer les effets de la gravité sur la croissance de plants de *Brassica rapa* en comparant les résultats expérimentaux sur Terre avec ceux de l'expérience de croissance de plants menée à bord de la Station spatiale internationale.

B. Effets de la microgravité simulée sur l'activité cellulaire

49. L'Université Beihang (Chine) a étudié les effets de la microgravité simulée sur les enzymes antioxydantes de plants de *Triticum aestivum* (blé) afin de comprendre l'impact de la microgravité sur l'une des principales cultures céréalières, qui sont d'importants éléments du système biorégénératif pour les vols spatiaux de longue durée. Les chercheurs ont constaté que la peroxydase, la superoxyde dismutase et la catalase, importantes enzymes associées à la résistance des plantes, étaient en bien plus grande quantité dans les échantillons soumis à clinorotation que dans les témoins à 1 g.

50. L'Université Tarbiat Modares (République islamique d'Iran) a aussi étudié les effets de la microgravité sur certaines plantes iraniennes en mesurant les activités des enzymes antioxydantes. Les études ont porté sur *Peganum harmala*, *Anthemis mazandarunica*, *Artemisia khorassanica*, *Salsola crassa*, *Malva sylvestris* et *Suaeda*

fruticosa. Les chercheurs ont constaté une importante réduction de l'activité de la superoxyde dismutase chez *Peganum harmala*, une augmentation importante de son activité chez *Malva sylvestris* et aucune activité importante de cette enzyme chez *Salsola crassa* et *Suaeda fruticosa* dans les échantillons soumis à clinorotation par rapport aux témoins à 1 g.

51. En Iraq, le Centre des sols et des ressources en eau du Ministère de la science et de la technologie a étudié les effets de la gravité sur la croissance des racines et sur les acides aminés du blé, de *Pisum sativum* (pois), de *Panicum americanum* (millet à chandelle), du riz jasmijn et de la variété de riz Anber 33. Il est apparu que les caractéristiques des acides aminés des échantillons soumis à clinorotation étaient nettement différentes de celles des témoins à 1 g.

52. En Chine, l'Université de Chongqing a étudié les effets de la microgravité simulée sur la migration de cellules souches mésenchymateuses dérivées de la moelle osseuse qui étaient très souvent considérées comme une solution possible pour la réparation et la régénération des tissus du fait de leur forte capacité d'autorenouvellement, de leur aptitude à migrer et de leur pluripotence. Ces cellules souches sont un important progéniteur, et constituent aussi des cellules de soutien qui ont l'aptitude intrinsèque de s'autorenouveler et de se différencier en multiples types de cellules et qui peuvent être une source majeure d'ostéoblastes. Les recherches ont montré que la microgravité simulée inhibait la migration de ces cellules, ce qui pourrait contribuer à des pertes osseuses induites par la microgravité.

C. Effets de la microgravité simulée sur les micro-organismes

53. L'Université de São Paulo a étudié les effets de la microgravité simulée sur la longévité de cellules de levure en menant des expériences sur le vieillissement chronologique dans lesquelles on mesurait le temps pendant lequel une cellule pouvait rester dans un état de quiescence sans perdre sa viabilité. Il est apparu que les durées de vie moyenne et maximale des échantillons soumis à clinorotation étaient moindres que celles des témoins à 1 g.

54. En Inde, la Faculté Smt. Kasturbai Walchand a étudié les effets de la microgravité simulée sur *Bacillus firmus* et six cultures d'actinobactéries prélevées dans le lac Lonar, qui est le plus vieux cratère météoritique au monde, situé dans l'État de Maharashtra. Il est apparu que la microgravité simulée avait des effets importants sur l'activité de *Bacillus firmus* et des actinobactéries.

55. L'Université fédérale de technologie d'Akure (Nigeria) a étudié les effets de la microgravité sur la résistance aux antibiotiques de *Staphylococcus aureus*, prélevé sur de la peau humaine. *Staphylococcus aureus* est un pathogène opportuniste, qui est souvent présent de manière asymptomatique dans l'organisme humain et se rencontre fréquemment dans le sol, l'eau et l'air. Il est apparu que la clinorotation augmentait grandement la résistance de *Staphylococcus aureus*.

IV. Conclusions

56. Le Bureau des affaires spatiales met en œuvre le projet d'instrumentation en l'absence de gravité pour donner une occasion unique à des étudiants et des chercheurs d'étudier l'influence de la microgravité simulée sur divers échantillons et les encourager à entreprendre d'autres études dans les domaines de la science et de la technologie spatiales.

57. Le premier cycle du projet a été lancé en 2013 et les deuxième et troisième cycles sont actuellement en cours. Au total, 45 établissements dans le monde ont été sélectionnés pour participer au projet. Ils ont mené diverses expériences de biologie, en utilisant des clinostats pour créer des conditions de microgravité simulée.

58. Le Bureau des affaires spatiales tient à exprimer à nouveau sa gratitude aux pays et établissements qui ont apporté des contributions en espèces et en nature et il recherche d'autres pays donateurs et établissements scientifiques souhaitant apporter de telles contributions et/ou un soutien scientifique et éducationnel au projet. Afin de poursuivre le projet dans un quatrième cycle et au-delà, l'appui des États Membres est essentiel. Les pays donateurs et les établissements intéressés sont priés de contacter le Bureau des affaires spatiales.

Annexe I

Établissements participant au premier cycle du projet d'instrumentation en l'absence de gravité

	Bénéficiaire	Adresse	Objectif		
			Formation	Recherche	Pays
1	Académie des sciences aéronautiques	Av. Santa Maria 6400, Vitacura, Santiago	–	X	Chili
2	Laboratoire de biologie environnementale et de technologie de support de vie, Université Beihang	N° 37, Xueyuan Road, Haidian District, Beijing	X	X	Chine
3	École de sciences biologiques, Université polytechnique du Nord-Ouest	127 Youyi Xilu, Xi'an, Shaanxi Province	X	–	Chine
4	Institut spatial équatorien	Calle Seniergues E4-676 y General Telmo Paz y Miño, Edf. del Instituto Geografico Militar, Quito	–	X	Équateur
5	École supérieure de Tema	Community Two, Tema, Greater Accra	X	–	Ghana
6	Centre iranien de recherche spatiale	15th Alley, Mahestan Blvd., Shahrak-e Gharb, Tehran	–	X	Iran (République islamique d')
7	Centre des sols et de l'eau, Direction de l'agriculture, Ministère de la science et de la technologie	Baghdad	X	X	Iraq
8	Université technique du Kenya, Faculté des sciences appliquées et de la technologie	P.O. Box 52428-00200, Nairobi	–	X	Kenya
9	Agence spatiale nationale (ANGKASA)	National Planetarium, Lot 53, Jalan Perdana, 50480 Kuala Lumpur	X	–	Malaisie
10	Institut malaisien de recherche-développement agricole	Persiaran MARDI-UPM, 43400 Serdang, Selangor	X	X	Malaisie
11	Université fédérale de Lafia	PMB 146, Lafia, Nasarawa State	X	X	Nigéria
12	Centre régional africain de formation aux sciences et techniques spatiales, en langue anglaise (ARCSSTE-E)	PMB 019, Obafemi Awolowo University Campus, Ile-Ife, Osun State	X	–	Nigéria
13	Centre national de recherche agricole	Park Road, Islamabad	–	X	Pakistan
14	Institut de biologie moléculaire et de biotechnologie	Bahauddin Zakariya University, Multan 60800	–	X	Pakistan
15	Commission pakistanaise de recherche sur l'espace et la haute atmosphère, Institut de formation technique	Hub River Road, near Murshid Hospital, Karachi	X	–	Pakistan
16	Agence pour le développement de la géo-informatique et des techniques spatiales	THEOS Control Ground Station, 88, M.9, Thungsukhla, Chonburi 20230	X	X	Thaïlande
17	École Lamthabphachanukhrao	111 Lamthap, Krabi 181120	X	–	Thaïlande
18	École de science et technologie environnementales, Université de science et technologie de Hanoi	N° 1 Dai Co Viet Street, Hai Ba Trung District, Hanoi	X	–	Viet Nam
19	Département de biologie moléculaire et de sélection végétale, Institut de recherche scientifique du Tay Nguyen	116 Xo Viet Nghe Tinh, Ward 7, Dalat City, Lam Dong Province	X	X	Viet Nam

Annexe II

Établissements participant au deuxième cycle du projet d'instrumentation en l'absence de gravité

	Bénéficiaire	Adresse	Objectif		
			Formation	Recherche	Pays
1	Institut de physiologie, Académie nationale des sciences du Bélarus	28 Akademicheskaya Street, Minsk 220072	–	X	Bélarus
2	Université de São Paulo, École des arts, des sciences et des humanités	Av. Arlindo Béttio, 1000, Ermelino Matarazzo, São Paulo	–	X	Brésil
3	Faculté de bioingénierie, Université de Chongqing	N° 174, Shapingba Street, Shapingba District, Chongqing	–	X	Chine
4	Laboratoire de culture de tissus végétaux N° 1, Institut de culture de tissus végétaux, Académie de biotechnologie, Académie nationale des sciences	Munsu 3 dong, Taedongang District, Pyongyang	–	X	République démocratique populaire de Corée
5	Université nationale autonome du Honduras	Ciudad Universitaria, Blvd. Suyapa, Tegucigalpa	–	X	Honduras
6	Département de botanique, Faculté des sciences, Université Maharaja Sayajirao de Baroda	Pratapgunj, Vadodara 390002, Gujarat	X	X	Inde
7	Faculté Smt. Kasturbai Walchand, Université Shivaji, Kolhapur	Rajnemi Campus, Timber Area, Sangli, Maharashtra	X	X	Inde
8	Département central de physique, Université Tribhuvan	Kirtipur, Kathmandu	–	X	Népal
9	Département de microbiologie, Université fédérale de technologie d'Akure	PMB 704, Akure, Ondo State	X	–	Nigéria
10	Institut nucléaire de l'alimentation et de l'agriculture	G T Road, Peshawar	–	X	Pakistan
11	Commission nationale pour la recherche-développement dans le domaine aérospatial	Luis Felipe Villaran 1069, San Isidro, Lima 27	X	–	Pérou
12	Centre de recherches biologiques	Calle Ramiro de Maeztu 9, E-28040 Madrid	X	X	Espagne
13	McPherson College	1600 East Euclid Street, McPherson, KS 67460	X	–	États-Unis d'Amérique

Annexe III

Établissements participant au troisième cycle du projet d'instrumentation en l'absence de gravité

	<i>Bénéficiaire</i>	<i>Adresse</i>	<i>Objectif</i>		<i>Pays</i>
			<i>Formation</i>	<i>Recherche</i>	
1	Centre de recherche scientifique et technique sur les régions arides (CRSTRA)	Centre de recherche scientifique et technique sur les régions arides, Biskra	–	X	Algérie
2	Université catholique pontificale du Rio Grande do Sul	Avenida Ipiranga, 6681, Porto Alegre, RS	–	X	Brésil
3	Institut fédéral d'éducation, de science et de technologie du Ceará	Av. 13 de Maio, 2081-Fortaleza, CE	–	X	Brésil
4	Aspen Oncológica LTDA	Rua Ramiro Barcelos 2350, 7° andar sala 733 Porto Alegre, RS	–	X	Brésil
5	Département de biologie cellulaire et de génétique, Centre des biosciences, Université fédérale du Rio Grande do Norte	Campus Universitário, Lagoa Nova, Natal, RN	X	X	Brésil
6	Institut fédéral d'éducation, de science et de technologie du Piauí	Avenida Pedro Marques de Medeiros, s/n. Bairro Pantanal. Picos, PI	–	X	Brésil
7	RTR Co. (laboratoire de recherche accrédité par le CNPq)	Estrada RS-T 101, Km 157, Mostardas, RS	–	X	Brésil
8	École Calebu	Kilometro 7 Calebu Interior, Contulmo	X	–	Chili
9	Département de physique, Faculté de sciences naturelles, Université de Jimma	P.O. Box 378, Jimma	–	X	Éthiopie
10	Agence nationale pour la recherche-développement dans le domaine spatial (NASRDA)	Obasanjo Space Centre, Opposite Pyakasa Junction, Airport Road, PMB 437, Garki, Abuja	X	X	Nigéria
11	Université internationale de l'espace	1 rue Jean-Dominique Cassini, Parc d'innovation, 67400 Illkirch-Graffenstaden		X	France
12	Groupe de biochimie végétale et de biologie moléculaire, Département des biosciences, Institut de technologie de l'information de la COMSATS	Bioscience Block, Chak Shehzad Campus, Park Road, Islamabad	X	X	Pakistan
13	Université Yonsei	50 Yonsei-ro, Seodaemun-gu, Seoul	–	X	République de Corée