



# Assemblée générale

Distr. générale  
5 novembre 2021  
Français  
Original : anglais

## Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique

### Rapport de la Conférence ONU/Espagne/Union astronomique internationale sur le ciel sombre et silencieux au profit de la science et de la société

(La Palma, Espagne (en ligne), 3-7 octobre 2021)

#### I. Introduction

1. Le Bureau des affaires spatiales du Secrétariat a organisé la Conférence ONU/Espagne/Union astronomique internationale (UAI) sur le ciel sombre et silencieux au profit de la science et de la société, au titre du Programme des Nations Unies pour les applications des techniques spatiales.
2. La pandémie de maladie à coronavirus (COVID-19) avait conduit au report de la Conférence de 2020 à 2021. Le Bureau des affaires spatiales et le Gouvernement espagnol étaient convenus de tenir la manifestation sous forme hybride, quelques personnes pouvant y assister à Santa Cruz de La Palma, tandis qu'elle serait diffusée en ligne à l'intention d'un plus grand nombre de participantes et de participants. Toutefois, en raison de l'éruption volcanique de la Cumbre Vieja à La Palma, qui a commencé le 19 septembre et perturbé les activités sur l'île, la Conférence a finalement été organisée entièrement en ligne, du 3 au 7 octobre 2021.
3. La Conférence était coorganisée par le Gouvernement espagnol et l'UAI. Elle a bénéficié du soutien de l'Institut d'astrophysique des îles Canaries, en qualité d'organisateur local, et était coparrainée par le Conseil de La Palma, la ville de Santa Cruz et la Fondation Starlight.
4. Le présent rapport décrit les objectifs de la Conférence et comprend des informations sur la participation, un résumé des présentations et des débats, ainsi que des conclusions et observations.

#### II. Contexte et objectifs

5. En 2017, le Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique est convenu que le Bureau organiserait, conjointement avec l'UAI, une conférence sur le thème général de la pollution lumineuse.
6. En 2020, dans le contexte des restrictions des déplacements liées à la COVID-19, le comité scientifique d'organisation de la Conférence a tenu, du 5 au 9 octobre, l'atelier en ligne sur le ciel sombre et silencieux au profit de la science et de la société. Les personnes participantes ont examiné les incidences sur l'astronomie de trois catégories d'interférences : a) la lumière artificielle nocturne ; b) le grand



nombre de satellites à orbite terrestre basse ; et c) les émissions radioélectriques. Compte tenu des premières constatations et observations reçues, les groupes de travail du comité scientifique d'organisation ont établi un rapport, qui a été publié par l'UAI en janvier 2021. Le Chili, l'Espagne, l'Éthiopie, la Jordanie, la Slovaquie et l'UAI ont présenté les recommandations formulées dans ce rapport au Sous-Comité scientifique et technique du Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique à sa cinquante-huitième session, tenue en avril 2021, dans un document de séance qui contenait des recommandations visant à préserver un ciel sombre et silencieux au profit de la science et de la société (A/AC.105/C.1/2021/CRP.17).

7. La Conférence, organisée du 3 au 7 octobre 2021, était axée sur les mesures techniques et politiques liées aux recommandations susmentionnées, et visait en particulier à déterminer les parties prenantes et partenaires qui devraient collaborer à la mise en œuvre de solutions satisfaisantes pour préserver un ciel sombre et silencieux. Le programme de la manifestation comprenait des présentations des groupes de travail du comité scientifique d'organisation, des interventions de personnes invitées, et des contributions sélectionnées dans le cadre d'un appel à résumés.

8. La Conférence a offert l'occasion d'entendre des points de vue divers et permis aux parties prenantes de faire des propositions, afin que les États membres du Comité soient mieux informés au sujet des différents points abordés.

### **III. Participation**

9. Au total, 724 personnes, dont 32 % de femmes, se sont inscrites pour participer à la Conférence et ont eu accès à la plateforme de communication en ligne.

10. Les 76 pays suivants étaient représentés : Afrique du Sud, Algérie, Allemagne, Arabie saoudite, Argentine, Arménie, Australie, Autriche, Azerbaïdjan, Bangladesh, Bélarus, Belgique, Brésil, Brunéi Darussalam, Burkina Faso, Cameroun, Canada, Chili, Chine, Chypre, Colombie, Croatie, Égypte, Espagne, États-Unis d'Amérique, Éthiopie, Fédération de Russie, France, Ghana, Grèce, Guatemala, Honduras, Hongrie, Inde, Indonésie, Iran (République islamique d'), Irlande, Italie, Japon, Jordanie, Kenya, Liban, Libye, Malaisie, Malte, Maroc, Mexique, Népal, Nigéria, Nouvelle-Zélande, Pakistan, Panama, Pays-Bas, Pérou, Philippines, Pologne, Portugal, République de Corée, République dominicaine, République-Unie de Tanzanie, Roumanie, Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord, Serbie, Slovénie, Sri Lanka, Suède, Suisse, Tchad, Thaïlande, Tunisie, Turquie, Ukraine, Uruguay, Venezuela (République bolivarienne du), Yémen et Zimbabwe. La province chinoise de Taiwan était également représentée à la Conférence.

11. Les personnes inscrites étant réparties dans le monde entier, la participation en ligne a fluctué au gré des fuseaux horaires ; à son pic, environ 140 personnes étaient connectées simultanément.

12. Les personnes participantes étaient invitées à utiliser la plateforme en ligne pour poser des questions écrites aux intervenantes et aux intervenants pendant les débats, et les organisateurs ont utilisé la même interface pour fournir des informations complémentaires dès que cela était nécessaire.

### **IV. Programme**

#### **A. Généralités**

13. Le programme comprenait des séances de présentation, des tables rondes, et de brèves descriptions d'affiches. Les différents aspects de la lumière artificielle nocturne ont été examinés en premier, avant la tenue de débats sur les incidences des

constellations de satellites sur l'astronomie et la radioastronomie et la formulation de recommandations à cet égard.

14. La diffusion d'affiches, conçue comme l'équivalent en ligne d'une séance de présentation d'affiches classique, a permis de faire connaître un plus grand nombre d'initiatives et donné l'occasion à des intervenantes et intervenants moins expérimentés de faire des présentations.

15. Au total, la Conférence a duré 28 heures, réparties sur cinq jours, et au cours desquelles 22 intervenantes et 47 intervenants ont pris la parole.

16. Toutes les présentations faites par les intervenantes et intervenants ont été publiées sur le site Web du Bureau des affaires spatiales après la manifestation ([https://www.unoosa.org/oosa/fr/ourwork/psa/schedule/2021/2021\\_dark\\_skies.html](https://www.unoosa.org/oosa/fr/ourwork/psa/schedule/2021/2021_dark_skies.html)).

## **B. Allocution de bienvenue et ouverture de la Conférence**

17. La Conférence a commencé par une allocution de bienvenue du Directeur de l'Institut d'astrophysique des îles Canaries, qui s'exprimait en sa qualité d'organisateur local et au nom de l'Espagne. Il a rappelé que les citoyennes et citoyens de La Palma soutenaient les activités astronomiques depuis des dizaines d'années et regretté les circonstances exceptionnelles en raison desquelles la manifestation se tenait entièrement en ligne.

18. Une allocution de bienvenue a ensuite été prononcée par une représentante de l'UAI, au nom du comité scientifique d'organisation. L'intervenante a rappelé au public qu'un rapport détaillé de l'atelier en ligne tenu en octobre 2020 était disponible sur le site Web de l'UAI ([www.iau.org/static/publications/dqskies-book-29-12-20.pdf](http://www.iau.org/static/publications/dqskies-book-29-12-20.pdf)). Y étaient formulées des recommandations dont la mise en œuvre serait examinée pendant la Conférence.

19. Après avoir souhaité la bienvenue aux participantes et aux participants, un représentant du Bureau des affaires spatiales a expliqué la raison d'être de la Conférence. Il a décrit les particularités des travaux du Comité et indiqué que la question du ciel sombre et silencieux avait été portée à son attention par plusieurs délégations. À sa cinquante-huitième session, le Sous-Comité scientifique et technique avait encouragé le Bureau à engager sur cette question un échange avec toutes les parties prenantes concernées, notamment avec l'UAI et d'autres, et à lui en présenter les conclusions, y compris les idées avancées pour approfondir l'examen de la question. À cet égard, la Conférence pourrait donner matière à un débat approfondi sur les possibilités offertes par la coopération internationale. Conformément à l'accord conclu par le Sous-Comité à sa cinquante-huitième session, le Bureau des affaires spatiales organiserait également le colloque avec l'industrie à la cinquante-neuvième session du Sous-Comité, en 2022, sur le thème du ciel sombre et silencieux.

## **C. Lumière artificielle nocturne**

20. La première séance portait sur la menace croissante que représentait la lumière artificielle nocturne et sur les répercussions de ce phénomène sur la nature. La pollution lumineuse contribuait à de nombreux problèmes tels que l'extinction des insectes et les émissions inutiles de dioxyde de carbone. Outre son impact sur l'astronomie, elle avait une incidence sur le patrimoine culturel de l'humanité, en faisant disparaître le ciel nocturne. La lumière artificielle nocturne, en particulier la lumière bleue émise par l'éclairage à diode électroluminescente, avait augmenté rapidement, et il était prévu que cette tendance se poursuive. Les niches écologiques étaient directement touchées, car la lumière artificielle modifiait la manière dont les animaux choisissaient leur habitat, cherchaient leur nourriture et migraient. La lumière perturbait les rythmes circadiens, ce qui influait sur la production hormonale et les rythmes saisonniers, avec une influence directe sur la reproduction. Dans les océans, la lumière perturbait la migration des zooplanctons, qui cherchaient à l'éviter.

Les animaux qui se déplaçaient en fonction des étoiles, en particulier les oiseaux migrateurs utilisant la lumière de la Voie lactée, perdaient du temps et de l'énergie lorsque ce point de repère disparaissait. En outre, la lumière artificielle nocturne perturbait entièrement la physiologie des insectes ; on étudiait désormais le rôle qu'elle jouait dans la diminution des effectifs. Ses conséquences néfastes sur la santé humaine faisaient également l'objet d'une lente prise de conscience. La pollution lumineuse devrait être réduite de manière intégrée, non seulement en réduisant la température d'éclairage, mais aussi en se demandant où et quand un éclairage était réellement nécessaire. Il s'agissait d'un problème dont la résolution pourrait permettre d'épargner des ressources. Alors que certaines villes économisaient de l'énergie et réduisaient leurs dépenses en concevant leur éclairage extérieur de façon à réduire la pollution locale, la pollution d'origine spatiale due à la réflexion de la lumière par les satellites était une nouvelle menace qui appelait une collaboration internationale.

21. La deuxième séance, consacrée à la protection des sites astronomiques, a permis à plusieurs observatoires de décrire leur expérience. Dans la mesure où ces derniers étaient souvent financés par plusieurs pays et construits dans un autre, la communauté astronomique estimait qu'un accord international était nécessaire sur les moyens de protéger les sites astronomiques de la lumière artificielle nocturne. Les quatre personnes qui ont pris la parole ont fait part de leur expérience, comme indiqué ci-après :

a) Aux États-Unis, les observatoires les plus récents avaient été construits sur des sites où la pollution lumineuse était limitée ; toutefois, afin d'inverser la tendance actuelle à la hausse de cette pollution, il faudrait s'efforcer de faire correspondre l'éclairage aux besoins, grâce à des mesures énergiques visant à réduire les sources lumineuses inutiles, notamment par des plafonds et des couvre-feux. Aucune lumière ne devrait être projetée au-dessus du plan horizontal. Dans les zones situées à proximité des observatoires (par exemple, à moins de 30 km), l'utilisation de certaines couleurs de lumière devrait être justifiée, et il faudrait définir des zones concentriques correspondant à un niveau de restriction croissant. L'éclairage ne devrait pas dépasser de plus de 20 % le niveau strictement nécessaire à la sécurité, et les flux lumineux devraient être orientés vers les endroits qui en avaient besoin et être spécialement adaptés à l'environnement local ;

b) En Espagne, une loi avait été signée afin de protéger l'obscurité du ciel dans les îles Canaries, et un règlement d'application était entré en vigueur en 1992. La zone protégée comprenait la totalité de l'île de La Palma et certaines parties de l'île de Tenerife ; le Bureau technique pour la protection de la qualité du ciel veillait à l'application des mesures prévues, en effectuant en permanence des contrôles et des inspections sur le terrain. L'adoption de ce cadre réglementaire avait été possible grâce à un ferme du appui politique, à une vaste campagne de communication et au soutien des populations insulaires locales ;

c) En 2018, le Maroc avait lancé un projet portant sur la création, dans la région de l'Atlas, d'une réserve de ciel sombre protégée de la pollution lumineuse de Marrakech, d'Agadir et de Ouarzazate. Ce projet avait commencé par la mesure de la luminosité des villes et l'évaluation des problèmes, et sa reconnaissance par l'association internationale Dark-Sky était attendue pour 2023 ;

d) En Chine, des initiatives étaient en cours en vue d'adopter des normes nationales pour la protection du ciel sombre et de convaincre les pouvoirs publics locaux d'instaurer des plafonds sur le niveau d'éclairage. Certains couloirs aériens avaient été modifiés dans un souci de protection de l'astronomie. En dernier ressort, il pourrait être nécessaire de déplacer les observatoires vers de nouveaux sites dans des zones moins peuplées. Concernant la radioastronomie, la Chine mesurait et atténuait les interférences radioélectriques et envisageait de créer des zones de silence radioélectrique.

22. La troisième séance avait trait aux effets de la lumière artificielle nocturne sur l'environnement biologique, les rythmes circadiens des êtres humains et de la faune, et la santé humaine en général. La lumière artificielle nocturne en extérieur était un polluant et devait être considérée comme tel. Aussi, plutôt que de continuer à essayer de la réduire en traitant isolément chacune de ses caractéristiques, il serait plus efficace d'adopter une approche globale reposant sur des seuils définis de manière scientifique et sur une coordination internationale, alors que le phénomène ne faisait que s'amplifier dans le monde. Pour l'essentiel, la pollution lumineuse était due à une mauvaise planification et à un mauvais contrôle de l'éclairage. Les intervenantes et intervenants ont expliqué les effets de la lumière sur le rythme circadien humain, dont la durée était légèrement supérieure à 24 heures et qui était réajusté tous les jours par la lumière. La mélatonine, qui réglait l'horloge corporelle, était inhibée par la lumière durant la journée, et la lumière nocturne perturbait sa sécrétion. La perturbation du rythme circadien avait été déclarée cancérigène de classe 2 par l'Organisation mondiale de la Santé, en raison de ses liens avec diverses maladies. Par conséquent, certaines sociétés de médecine avaient recommandé de supprimer la lumière bleue des sources d'éclairage, pour protéger la santé humaine. Les preuves du développement de cellules cancéreuses humaines en cas d'inhibition de la mélatonine commençaient à s'accumuler, et des effets analogues avaient été observés chez d'autres espèces animales. Un intervenant a expliqué qu'il existait déjà des technologies permettant de réduire ces effets néfastes sur la santé humaine ; toutefois, les industriels de l'éclairage n'avaient pas aujourd'hui l'obligation d'évaluer les incidences de leurs technologies sur l'environnement, et ne seraient probablement guère favorables à une telle contrainte.

23. Lors de la quatrième séance, qui avait pour thème les oasis de ciel sombre, des bonnes pratiques provenant de l'Allemagne, de l'Espagne et de la Nouvelle-Zélande ont été présentées, et il a été expliqué comment concevoir un éclairage responsable sur le plan environnemental. Outre les astronomes et les personnes passionnées d'observation des étoiles, les parties prenantes de la santé publique s'intéressaient désormais au problème. La lueur atmosphérique se mesurait en candela par mètre carré (luminance), et toute valeur supérieure à 1 microcandela par mètre carré était synonyme de pollution du ciel, de sorte que 80 % de la population mondiale vivait dans des zones polluées par la lumière. Idéalement, les observatoires astronomiques devraient être situés dans des zones où l'intensité lumineuse ne dépassait pas de plus de 10 % la lueur atmosphérique naturelle, tandis que dans les autres zones, des niveaux de luminosité plus élevés pouvaient être tolérés, mais les pouvoirs publics locaux ne disposaient pas de moyens adéquats pour faire face à ce qui constituait une crise mondiale, ou étaient mal informés sur le sujet. Des directives de portée large, qui pourraient prendre la forme d'une convention relative à l'éclairage et s'appliqueraient aux oasis de ciel sombre et aux milieux urbains, permettraient aux États de se conformer à des protocoles établis au niveau mondial. On pourrait également définir un objectif de développement durable concernant la qualité du ciel nocturne, comme le proposait la Fondation Starlight en Espagne. L'astrotourisme se développait régulièrement. À La Palma, par exemple, il représentait environ 10 % de l'ensemble des revenus du tourisme. En Nouvelle-Zélande, il avait été introduit dans la zone de Tekapo, avec un succès analogue. L'astrotourisme pouvait compenser le caractère saisonnier du tourisme et contribuer à lutter contre le dépeuplement. En Allemagne, où environ 44 % de la population ne pouvait pas voir la Voie lactée, les mesures de la luminosité du ciel effectuées dans des parcs naturels avaient motivé la création de réserves de ciel sombre, et un nombre croissant de collectivités souhaitaient rejoindre le projet. Les Ministres de l'environnement de l'Allemagne, du Danemark et des Pays-Bas s'attachaient à réduire les émissions lumineuses sur le site de la mer des Wadden, inscrit au patrimoine mondial de l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture. La recherche interdisciplinaire sur la conception de l'éclairage n'en était qu'à ses débuts, et ses résultats n'avaient pas encore été traduits dans la loi. Une approche responsable sur le plan environnemental était nécessaire afin d'améliorer l'éclairage des rues, des bâtiments et des installations sportives, l'affichage publicitaire, l'éclairage des paysages, les signaux lumineux liés

à la sûreté et à la sécurité, et l'éclairage des manifestations. Pour le moment, les documents d'orientation avaient tendance à n'aborder que certains paramètres. On devait faciliter l'accès à des outils de mesure de la luminosité, adopter des directives pour un éclairage responsable, établir un cadre réglementaire et financer davantage la recherche interdisciplinaire.

24. Deux affiches ont été présentées, au sujet de l'atténuation de la pollution lumineuse en Uruguay et des effets de la lumière artificielle nocturne sur les systèmes de communication animale.

25. La cinquième séance portait sur la mesure et la modélisation de la lumière artificielle nocturne. Pour la surveillance régionale, des mesures pouvaient être effectuées depuis l'espace, à bord d'aéronefs ou au sol, à l'aide de dispositifs simples mesurant la luminosité du ciel dans une seule direction. Ces outils étaient disponibles à la vente et, une fois étalonnés, pouvaient être utilisés en réseau. D'autres dispositifs, comme les objectifs fisheye, étaient des outils faciles d'accès et peu onéreux qui permettaient d'effectuer des mesures embrassant un angle de 180 degrés. Un modèle de ciel naturel était nécessaire pour évaluer la lumière supplémentaire provenant de sources artificielles la nuit ; un tel modèle était actuellement mis au point sur la base d'observations satellitaires, tandis que d'autres modèles reproduisaient différentes composantes de la pollution lumineuse (lumière directe, lumière indirecte, et lumière réfléchie ou diffusée par des aérosols ou des molécules, comme le sel marin ou la suie). Ce type de modèle était très complexe et nécessitait une grande puissance de calcul ; une version simplifiée adaptée aux non-spécialistes était en cours d'élaboration.

26. Trois affiches ont été présentées ; elles portaient sur la mesure de la pollution lumineuse en Indonésie, où il s'agissait d'un sujet relativement nouveau, sur un projet de création d'observatoire astronomique dans le sud de la Tunisie, et sur les moyens de mesurer les modifications des émissions spectrales et angulaires de l'éclairage des villes pour surveiller l'application de la réglementation.

27. La sixième séance était une synthèse des recommandations visant à réduire la lumière artificielle nocturne. Qu'elles visent à protéger les sites astronomiques, les oasis de ciel sombre ou le milieu biologique, ces recommandations étaient très similaires. Plutôt que de proposer un grand nombre de recommandations techniques distinctes, il a été proposé d'envisager les principes suivants : a) élaborer un plan directeur pour une conception efficace de l'éclairage ; b) utiliser un contrôle adaptatif et un réglage spectral de la lumière, notamment pour limiter la lumière bleue ; c) définir des classes d'éclairage nominales et modulables pour les espaces extérieurs, chaque niveau d'éclairage lié à la sécurité étant défini sur la base de recommandations issues de la recherche ; d) adopter un système de zones assorti de limites ; e) limiter la lueur atmosphérique dans les zones protégées ; f) limiter l'éclairage des façades et les illuminations colorées, et couvrir tous les éclairages extérieurs ; g) mesurer et contrôler la luminosité à l'aide d'un système de métrologie normalisé ; h) programmer les vols commerciaux et militaires de façon à éviter la proximité des observatoires ; i) appuyer la recherche sur les effets de la lumière artificielle nocturne, en particulier la recherche interdisciplinaire entre les domaines de la lumière, de la médecine et de l'environnement ; et j) définir des objectifs de long terme, dans le cadre d'une stratégie de limitation des effets non désirés.

28. La synthèse a été suivie de trois présentations. La Commission internationale de l'éclairage collaborait avec le Comité international des poids et mesures et l'Organisation internationale de normalisation ; elle rassemblait des expertes et experts du milieu universitaire et de l'industrie pour mettre au point des déclarations de principes, des publications techniques et des normes internationales, compte tenu des intérêts des diverses parties prenantes. Pour pouvoir être appliquées, les lois devaient se fonder sur des mesures clairement définies, dont on sache comment elles avaient été obtenues. Ces mesures supposaient elles-mêmes le choix d'une grandeur à mesurer, l'utilisation de dispositifs adaptés, et une définition de l'incertitude et des modalités d'évaluation de la conformité des instruments. Pour ce qui était des

instruments, ceux utilisés aujourd'hui avaient souvent été conçus dans un but différent ; il fallait les étalonner convenablement et trouver des moyens d'évaluer l'incertitude des mesures et d'en assurer la traçabilité. La publication intitulée « Guidelines for minimizing sky glow » (Directives pour la réduction au minimum de la lumière du ciel), élaborée de longue date par la Commission internationale de l'éclairage, avait été adoptée par certains organes réglementaires et législatifs. La Commission avait également défini un plan directeur sur l'éclairage urbain et les zones d'éclairage dans un document d'orientation cadre. Au cours des débats, le fait que les normes soient fondées sur des données factuelles a été mis en doute, et l'on s'est inquiété d'un problème de conflit d'intérêts. La représentante de la Commission a précisé que les documents avaient été approuvés par consensus par tous les membres et que les documents anciens devaient être actualisés au vu des nouveaux travaux de recherche disponibles.

29. La septième séance était consacrée aux orientations qui pourraient être prises et aux options juridiques applicables. Les personnes intervenantes, en leur qualité d'expert, ont proposé de traiter la lumière artificielle nocturne comme un polluant. Le cas échéant, elle serait visée par les lois et règlements pertinents sur l'environnement en vigueur aux niveaux international, national et régional. On pourrait définir un niveau admissible de lumière artificielle nocturne, assorti, par exemple, d'un système de taxe ou de plafonnement et d'échange. Au cours des débats, l'idée d'une évaluation de l'impact sur l'environnement a été mentionnée à plusieurs reprises ; elle obligerait les parties prenantes à tenir compte de cette dimension et permettrait au public de prendre part au processus. S'agissant des manifestations concrètes du problème, il a été souligné qu'un éclairage excessif empêchait l'observation de l'espace. Celui-ci étant un moteur et une source d'inspiration pour la science, le Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique était idéalement placé pour appeler l'attention sur la nécessité de réduire, pour des raisons diverses, la lumière artificielle nocturne.

30. Les trois personnes intervenantes ont examiné les options de mise en œuvre des mesures proposées, par exemple des incitations économiques basées sur l'intérêt personnel, des systèmes de plafonnement et d'échange, ou une « taxe sur la lumière ». Aucun modèle de gouvernance ne fonctionnerait partout et à tous les niveaux. L'approche la plus simple serait d'utiliser l'infrastructure juridique existante, en incorporant, par exemple, la lumière artificielle nocturne dans les directives et règlements sur le droit de l'environnement et le droit de la santé. Étant donné que des objections seraient soulevées et des exonérations accordées, la mise en œuvre devrait se faire progressivement, par étape. Les mesures préventives, consistant à mettre fin aux éclairages inappropriés ou à interdire les produits de mauvaise qualité, devraient aller de pair avec des mesures répressives, dont l'exécution serait confiée à des organismes dotés de ressources appropriées, l'objectif étant d'empêcher les abus délibérés et de faire porter les coûts de remédiation par les propriétaires des éclairages. L'application de la loi devrait reposer sur des paramètres simples, comme des indications à lire sur une étiquette, plutôt que sur des mesures techniques. L'éducation jouait un rôle essentiel, mais des lois devaient également être mises en place à différents niveaux, des instruments internationaux aux ordonnances locales. Si un traité pouvait être adopté à l'initiative des États, les avantages locaux liés à la préservation d'un ciel sombre justifieraient des décisions locales, par exemple dans les zones rurales intéressées par l'astrotourisme.

31. La huitième séance a consisté à donner des exemples d'application, aux niveaux national et régional, de politiques nationales visant à limiter la lumière artificielle nocturne :

a) Les observatoires du nord du Chili étaient menacés par une augmentation de la lumière artificielle nocturne dans les villes voisines. Le pays avait décidé d'interdire la lumière bleue dans la région et de limiter l'éclairage des installations sportives. Une nouvelle loi était en cours d'élaboration, mais sa mise en application posait encore problème. Dans le nord du Chili, l'astrotourisme était bien implanté et

profitait aux communautés locales, qui avaient donc clairement intérêt à protéger le ciel sombre ;

b) En Espagne, outre la loi protégeant les îles Canaries, des lois existaient au niveau régional. Si la pollution lumineuse relevait du droit de l'environnement, elle ne faisait l'objet d'aucun mécanisme de remédiation et, du point de vue législatif, il existait une différence formelle entre cette forme de pollution et la pollution atmosphérique ;

c) Au Portugal, la lumière artificielle nocturne avait considérablement augmenté le long du littoral, non pas en raison de l'accroissement démographique mais, pour l'essentiel, du fait d'évolutions des diodes électroluminescentes. Des programmes pédagogiques étaient dispensés dans les écoles dans une optique de sensibilisation. S'il avait examiné la question, le Parlement n'avait pas encore légiféré sur la lumière artificielle nocturne, tandis que l'Agence portugaise de l'environnement n'était pas compétente en la matière.

d) En Italie, diverses lois relatives à la pollution lumineuse existaient au niveau régional. La Lombardie avait ouvert la voie, avec le recueil de 25 000 signatures pour demander l'adoption d'une loi ; toutefois, celle-ci devait être actualisée afin de tenir compte de la lumière bleue, et il fallait également contrôler la quantité totale de lumière produite ;

e) Dans le sud-ouest des États-Unis et à Hawaii, des dispositions réglementaires disparates déterminaient qui avait le contrôle de l'éclairage et à quel endroit, sans qu'il soit dérogé au droit fédéral. Flagstaff était devenue la première « ville internationale du ciel sombre » en adoptant des ordonnances destinées à réduire la pollution nocturne au minimum, et Hawaii avait mis en œuvre différentes lois locales afin d'exiger la couverture des éclairages et de fixer des limites sur le spectre lumineux. Il était souvent possible d'obtenir de bons résultats sans imposer d'exigences juridiques, notamment en raison du fait que la modernisation de l'éclairage était une source d'économies ;

f) En janvier 2020, la France avait promulgué une loi sur les économies d'énergie, qui prévoyait de réduire la lumière artificielle nocturne à l'aide de mesures précises. En outre, l'Association nationale pour la protection du ciel et de l'environnement nocturnes avait mis au point un label « Villes et villages étoilés », qui avait été adopté dans 13 000 endroits où l'éclairage public était éteint à certaines heures, par exemple entre 23 heures et 5 heures ;

g) En Allemagne, le déclin des populations d'insectes avait conduit le Gouvernement à définir un programme d'action. Au niveau régional, des lois prévoyaient des mesures restrictives et un mode d'éclairage respectueux des insectes (durée limitée, orientation uniquement vers le bas, température inférieure à 3 000 kelvins et absence de rayons ultraviolets). La loi fédérale de juin 2021 sur la protection de la nature incluait la protection des animaux contre la lumière artificielle nocturne, mais la question de savoir ce qui pouvait être éclairé et quand n'était pas réglementée, et il n'existait pas de « police de la lumière ».

32. La neuvième séance était une table ronde consacrée aux modalités d'élaboration d'un document contenant des recommandations et à la marche à suivre pour porter la question à l'attention du Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique. Le fait de se placer dans les cadres existants pourrait atténuer la résistance au changement ; il existait déjà des exemples de législations efficaces pour lutter contre la lumière artificielle nocturne, et l'incitation à la conformité pourrait pousser les gouvernements à agir. Le fait de lier la question à la santé humaine la rendait universelle. Il serait profitable d'intensifier les efforts de sensibilisation, car l'adhésion des populations locales était essentielle à l'application et au respect des mesures. Sur le plan technique, les recommandations étaient très claires ; elles devaient indiquer expressément si le principal objectif était de stopper la croissance de la lumière artificielle nocturne, ou de réduire le phénomène drastiquement. Diverses voies pouvaient être utilisées pour appeler l'intention des gouvernements, et

les intervenantes et intervenants ont fait observer que, s'il était largement admis que le problème des satellites intéressait le Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique, celui de la lumière artificielle nocturne devait encore faire l'objet de la même reconnaissance. L'observation des étoiles étant, dans de nombreux endroits, le seul moyen d'accès à l'espace, il fallait se demander si l'observation du ciel nocturne faisait partie de l'utilisation de l'espace.

#### D. Constellations de satellites

33. La dixième séance portait sur les observations des constellations de satellites et sur le type de données et de logiciels dont les astronomes auraient besoin pour en atténuer les effets. Si la gestion du trafic spatial était une question fondamentale pour les constellations, deux aspects étaient importants pour l'astronomie : la réflexion de la lumière solaire et les incidences des radiofréquences. Des répertoires de données ouvertes pour les produits liés à l'astronomie sur lesquels les satellites avaient un impact étaient en cours d'élaboration. Pour ce qui était du partage des données figurant dans ces répertoires, les astronomes préféreraient que les exploitants de satellites fournissent des informations orbitales toutes les huit heures, de manière normalisée, en indiquant des marges d'erreur. Quelques intervenantes et intervenants ont expliqué comment elles et ils informaient les astronomes et les personnes enseignantes au sujet des observations des constellations de satellites. Des logiciels étaient en cours de développement pour permettre de planifier les observations en réduisant les perturbations au minimum, ou pour quantifier les effets des satellites sur les données d'observation. Cette activité était bien définie, mais sa mise en œuvre nécessitait des volontaires et des ressources. Les nombreux astronefs des futures constellations auraient un impact parfois très sensible sur les observations, car certains satellites, s'ils n'étaient pas sombres au point de laisser une traînée, l'étaient suffisamment pour obscurcir leur arrière-plan. Dans certaines situations, comme lors du passage de Vénus ou de Mercure devant le Soleil, l'observation ne pouvait pas attendre que le satellite quitte le champ de vision du télescope. Les astronomes continueraient de collaborer avec tous les exploitants de satellites intéressés, en espérant que ceux-ci financeraient la création de répertoires de données ou que les États y consacraient des fonds.

34. Lors de la onzième séance, huit intervenantes et intervenants ont continué à examiner la question des observations de satellites. Au Chili, un programme d'observations mené en coordination avec l'Espagne, la République de Corée et le Viet Nam, visait à comparer la luminosité des satellites des constellations Starlink et OneWeb en fonction de leur conception, et à déterminer si elle était inférieure à une magnitude de sept. Une autre activité consistait à simuler la magnitude apparente des satellites et, plus l'orbite de ces derniers était élevée, plus ils étaient brillants. Le Satellite de surveillance des objets géocroiseurs avait mesuré la luminosité des satellites depuis l'espace ; d'après les résultats obtenus, les satellites de Starlink avaient tous à peu près la même luminosité, indépendamment de leur conception, alors que celle des satellites de OneWeb était plus variable. Lorsqu'ils survolaient la face éclairée de la Terre, les astronefs étaient eux-mêmes éclairés par le clair de Terre, et l'arrière du panneau solaire était très brillant. La luminosité de certains astronefs des constellations de télédétection était également supérieure à une magnitude de sept. Des satellites traversaient également le champ de vision des télescopes spatiaux ; dans le cas de CHEOPS (CHaracterising ExOPlanets Satellite), qui caractérisait les exoplanètes à l'aide d'une photométrie de haute précision lors de leur passage devant une étoile, seules 0,2 % des images contenaient des traînées de satellites, car ce télescope avait un champ de vision étroit et une durée d'exposition courte. L'impact sur la science était négligeable, mais les satellites avaient déjà des incidences sur les observations astronomiques effectuées depuis l'espace. Le niveau de perturbation des observations dépendait non seulement du champ de vision du télescope, mais aussi de son orbite. Parmi les intervenantes et intervenants, une personne produisait des simulations des traînées de satellites observées par différents télescopes terrestres en

fonction de la durée d'exposition et du champ de vision de l'instrument. Ces travaux pourraient être adaptés pour modéliser les perturbations subies par les télescopes spatiaux. Une autre personne intervenante a expliqué l'impact des satellites sur le fonctionnement des télescopes à large champ de vision actuels, et proposé des paramètres pour caractériser les observations correspondantes.

35. Globalement, la réflectivité des astronefs était difficile à évaluer, en raison de leur diversité de forme et de matériaux ; par exemple, les surfaces en fibre de carbone réfléchissaient beaucoup moins la lumière que celles en métal. Il fallait tenir des archives afin d'évaluer les répercussions que les évolutions conceptuelles, d'une génération d'astronefs à l'autre, avaient sur l'astronomie. Parmi les intervenantes et intervenants, une personne a expliqué l'impact que subissaient les installations au sol aux États-Unis, où l'Observatoire Vera Rubin était le plus touché, du fait de son large champ de vision. Au niveau national, des règles de coordination avaient permis de créer des zones de silence radioélectrique au sol autour des radiotélescopes, mais ceux-ci étaient survolés par des satellites qui perturbaient leurs observations ; lors d'observations dans des bandes de fréquences non protégées pour l'astronomie, aucun point de la Terre n'était suffisamment isolé pour échapper aux effets des satellites. Dans le cas des observations optiques, les mesures d'atténuation, quelle que soit la manière dont on les combinerait entre elles, n'empêcheraient pas l'apparition de traînées. Des recommandations avaient été mises au point lors des ateliers que la Fondation nationale pour la science des États-Unis et l'Association américaine d'astronomie avaient consacrés aux constellations de satellites, et la Fondation pouvait appuyer le développement de logiciels pour faciliter la programmation des observations.

36. La douzième séance a donné lieu à la présentation d'algorithmes et d'outils logiciels destinés à permettre aux astronomes de savoir quand les satellites laisseraient une traînée dans l'image. Jusqu'à présent, des volontaires avaient élaboré un prototype doté de capacités minimales ainsi qu'une séquence de tests afin de recueillir des retours d'information auprès de la communauté, et des versions plus robustes aux capacités supérieures seraient mises au point ultérieurement. Il existait des technologies permettant de masquer les traînées, mais, du fait de l'augmentation du nombre de satellites, les informations publiques sur la position de ces derniers n'étaient pas suffisamment précises pour répondre aux besoins des astronomes. Afin d'atténuer les traînées, il était utile de connaître non seulement l'image d'arrière-plan et la position du satellite, mais aussi sa luminosité. Une personne intervenante a réalisé, depuis l'Observatoire national chinois, une démonstration du Worldwide Telescope, qui était une version publique du Virtual Observatory, initiative internationale destinée à promouvoir la recherche et l'éducation en ligne dans le domaine de l'astronomie. Le logiciel calculait la visibilité du satellite, et pourrait être perfectionné afin de modéliser le champ de vision d'un télescope donné.

37. Deux personnes intervenantes ont expliqué comment la prolifération des objets spatiaux avait fait augmenter la luminosité du ciel nocturne et comment modéliser les évolutions futures. Les objets qui, pris isolément, se trouvaient sous le seuil de détection, n'en contribuaient pas moins collectivement à la luminosité du ciel, en particulier pour les détecteurs à large champ de vision. Les satellites actuels avaient causé une augmentation d'un facteur 4,5 en 20 ans, pour aboutir aujourd'hui à une intensité lumineuse d'environ 16 microcandelas par mètre carré, alors que la luminosité naturelle du ciel nocturne se situait autour des 200. Cela n'empêchait pas encore de voir la Voie lactée depuis un endroit où le ciel était sombre, mais pourrait avoir des conséquences sur la visibilité de certains objets dans certaines régions du ciel, dans une proportion correspondant à ce qui était considéré par certaines normes comme de la pollution lumineuse. Dans 15 ans, la présence de 64 000 satellites supplémentaires ferait augmenter de quelques pour cent la luminosité du ciel. Dans l'hypothèse théorique où la totalité de ces 64 000 satellites se désintégrerait en débris de 1 millimètre à la suite de collisions, la luminosité du ciel due aux constellations augmenterait d'un facteur 14, et d'un facteur plus grand si les débris étaient plus petits.

38. Les débats qui ont suivi ont débouché sur la conclusion que des outils étaient nécessaires, mais que les astronomes avaient également besoin de mesures d'ordre politique pour préserver le ciel nocturne. Ces derniers envisageaient de faire de la publicité autour de leur action dans les médias, afin d'attirer l'attention des développeurs de logiciels, qui pourraient leur prêter leur concours. Au vu de la lenteur des processus politiques, il serait peut-être plus efficace de convaincre l'industrie d'apporter son aide et de lancer des initiatives de science participative.

39. La treizième séance était consacrée au point de vue des exploitants et des fabricants de satellites. Les premiers devaient tenir compte des incidences sur l'astronomie aux tous premiers stades de la conception de leurs projets, car l'apport de modifications en cours de route serait plus coûteux ou causerait des retards importants ; les coûts pourraient même être prohibitifs. L'industrie des satellites étudiait les moyens de réduire la luminosité des astronefs, mais les signaux radioélectriques des satellites devaient traverser tout matériau servant à protéger contre la réflexion de la lumière solaire ; ces contraintes techniques réduisaient les options disponibles, et aucun fabricant n'était encore parvenu à concevoir de modèle de satellite d'une luminosité inférieure à une magnitude de sept. Les équipes d'ingénierie pouvaient modéliser des matériaux divers en laboratoire afin d'en évaluer la réflectivité, et des entreprises spécialisées pouvaient effectuer des mesures sur les matériaux et des simulations par ordinateur avant le lancement, mais cela nécessitait des fonds supplémentaires. Enfin, l'évaluation en conditions réelles ne pouvait avoir lieu qu'une fois le satellite lancé, et il faudrait s'attacher à mettre au point des outils permettant de prévoir quelle serait la visibilité après le lancement.

40. L'industrie des satellites réfléchissait à la manière de sensibiliser les régulateurs et les concepteurs de systèmes spatiaux aux incidences des satellites sur l'astronomie ; elle s'intéressait déjà de près aux moyens de mettre en œuvre des mesures en faveur de la sécurité spatiale. Après le lancement, les acteurs de l'industrie pouvaient faciliter les observations en mettant des données à la disposition des astronomes ; toutefois, certaines informations relatives à la position des satellites étaient sensibles, et les exploitants pourraient refuser de les communiquer. La plupart des données dont les astronomes avaient besoin pourraient probablement leur être fournies, à condition que leur sécurité soit préservée. Un dialogue était en cours au sujet des recommandations qu'il convenait d'examiner plus avant. Par exemple, la visibilité pourrait être réduite à des altitudes inférieures à 600 kilomètres, mais des orbites plus basses nécessitaient automatiquement un plus grand nombre de satellites pour fournir le même service. Plutôt que des approches prescriptives, l'industrie préférerait une approche basée sur le respect de paramètres de performance.

41. Les débats ont mis l'accent sur les moyens de définir des mesures appropriées ; les contraintes proposées en matière d'ingénierie et d'exploitation devaient être réfléchies et réalistes. La proposition faite par les astronomes de viser une magnitude de sept se fondait sur l'impossibilité de récupérer des données astronomiques, mais avant d'adopter une telle règle, il fallait en démontrer la faisabilité technique. Une évaluation de l'impact sur l'environnement pouvait éventuellement être exigée avant le lancement, comme condition préalable dans le cadre du processus réglementaire. Le cas échéant, la responsabilité serait transférée aux autorités nationales. Ces mesures pourraient avoir un impact sur la viabilité financière des services par satellite, alors que certains exploitants rencontraient déjà des problèmes de financement. Il fallait poursuivre le dialogue avec les astronomes, afin de déterminer conjointement des solutions viables.

42. La quatorzième séance a offert une vue d'ensemble des actions entreprises dans différents pays. Les divergences d'intérêts entre les projets de télécommunication et l'astronomie n'étaient pas nouvelles ; en 1961, le projet West Ford avait créé un précédent historique, des astronomes s'étant alors opposés à la mise en orbite de millions d'antennes dipolaires métalliques. Outre une agence spatiale, des parties prenantes distinctes supervisaient généralement les dépenses scientifiques, attribuaient des licences orbitales et réglementaient l'utilisation du spectre radioélectrique. Au Royaume-Uni, la Royal Astronomical Society avait soumis des

questions au Parlement après l'achat par le Gouvernement de parts de l'entreprise OneWeb, qui faisait dès lors partie intégrante de la stratégie spatiale du pays. Au niveau européen, des astronomes avaient tenu des réunions avec des membres du Parlement européen et voulaient lancer une campagne publique au sujet des conséquences sociétales de la perte du ciel sombre, notamment du point de vue du patrimoine et des traditions culturelles. Un groupe d'expertes et d'experts s'attachait à élaborer des recommandations à l'intention de l'UAI, sur la base d'études de cas provenant de 25 pays. La personne intervenante a illustré ces éléments en décrivant la situation de l'Argentine, du Canada et des Émirats arabes unis. Dans nombre de pays, on appuyait fortement la croissance de l'économie spatiale, sans que les préoccupations de durabilité ne se traduisent en mesures concrètes. De nombreux États investissaient des ressources humaines et financières considérables dans les activités astronomiques, mais n'avaient pas d'instance nationale compétente pour assurer un équilibre avec les activités commerciales.

43. S'en est suivi un débat d'ordre juridique sur la manière de définir « l'environnement » ; on s'est demandé, par exemple, s'il incluait les points de Lagrange ou la surface de Mars, et si le principe juridique de protection des corps du système solaire contre toute contamination par la vie terrestre pouvait être étendu à tous les corps célestes. Selon une personne exerçant la profession d'avocat en contentieux, le fait que les activités astronomiques comportent une dimension économique, en raison des investissements réalisés dans la recherche scientifique, était un argument à faire valoir auprès des gouvernements pour s'opposer à l'augmentation de la luminosité du ciel. On pourrait aussi mettre en avant le fait que la rentrée des satellites créait de l'oxyde d'aluminium, substance nuisible à l'atmosphère, ou que les orbites étaient une ressource naturelle et qu'il fallait réglementer l'environnement terrestre en conséquence.

44. Une représentante de l'Union internationale des télécommunications (UIT) a donné un aperçu de la réglementation du spectre radioélectrique et des orbites correspondantes. Puisque la lumière n'était pas considérée comme faisant partie des fréquences radioélectriques, elle n'était pas réglementée par l'UIT. Le Règlement des radiocommunications était un traité international élaboré depuis 1906 dans le cadre de conférences et modifié par consensus entre tous les signataires ; les modifications étaient préparées dans des commissions d'études en amont des conférences mondiales des radiocommunications. Les personnes participant aux commissions d'études représentaient les États membres, mais comprenaient aussi des chercheurs et chercheuses, et des représentantes et représentants du milieu universitaire et du secteur privé. L'inscription des réseaux à satellite auprès de l'UIT n'était pas effectuée directement par les exploitants, mais par des administrations nationales ; chaque fréquence utilisée dans l'espace ainsi que l'orbite correspondante devaient faire l'objet d'une coordination avant d'être inscrites dans le Fichier de référence international des fréquences. Les dispositions actuelles du Règlement des radiocommunications relatives à l'inscription des réseaux à satellite ne traitaient pas expressément des préoccupations environnementales. Chaque fois qu'une coordination technique était nécessaire pour remédier à un risque repéré d'interférence de signaux, exploitants et autorités nationales discutaient directement entre eux pour mettre en place cette coordination, avant de faire part de leur accord à l'UIT. Comme les opérateurs soumettaient leurs demandes initiales tôt dans la conception de leurs projets, les demandes reflétaient leurs besoins estimés. Les fiches de notification initiales contenaient parfois davantage de satellites physiques et de faisceaux à radiofréquences, alors que celles inscrites dans le Fichier de référence reflétaient étroitement l'utilisation du spectre et des orbites. Le Règlement des radiocommunications ne fixait pas de nombre maximal de satellites ; dès lors qu'un nouveau système satisfaisait aux critères de fonctionnement sans causer d'interférences inacceptables à d'autres, il pouvait être enregistré. La protection des services existants et l'introduction de nouveaux services étaient d'importance égale pour les études de compatibilité technique. L'UIT s'attachait à éviter l'entreposage de fréquences et d'orbites par des projets théoriques qui ne se concrétisaient pas ; chaque réseau à satellite devait être mis en service dans un délai de sept ans. À partir

de 2015, les règles avaient été adaptées aux constellations ; les principes de protection des autres services et du « premier arrivé, premier servi » restaient applicables, tandis que les grandes étapes du déploiement, après la mise en service du premier satellite, devaient être déclarées à l'UIT.

45. Les intervenantes et intervenants se sont demandé comment les gouvernements pourraient obliger les exploitants de satellites à prendre leurs responsabilités et comment un pays souhaitant protéger l'astronomie pourrait en tenir compte dans son régime d'octroi de licences.

46. La quinzième séance était consacrée aux politiques internationales. Une personne intervenante s'est penchée sur la question de savoir s'il fallait considérer l'astronomie comme une forme d'utilisation de l'espace protégée par le Traité sur les principes régissant les activités des États en matière d'exploration et d'utilisation de l'espace extra-atmosphérique, y compris la Lune et les autres corps célestes, et si le principe de non-appropriation énoncé dans le Traité pouvait s'appliquer dans le cas où des constellations de satellites empêchaient les autres d'utiliser la même orbite. On a examiné les principes du droit de l'environnement, par exemple la prévention des dommages transfrontières, le principe de précaution, le principe pollueur-payeur, et l'utilisation durable. Les acteurs privés n'étaient pas directement liés par le droit international public, mais les États avaient l'obligation de réglementer leurs activités, de vérifier le respect du droit international de l'environnement en vigueur, et d'évaluer la durabilité ; les activités non gouvernementales devaient faire l'objet d'une forme d'obligation de consultation avec les États parties sur lesquels elles avaient des répercussions. Les principes liés à la responsabilité des sociétés pouvaient également s'appliquer aux activités privées menées dans l'espace ; l'indice de durabilité spatiale était un outil d'utilisation volontaire qui pouvait encourager ce type de pratiques.

47. Lors des débats qui ont suivi, on a relevé l'absence de dispositif permettant de sanctionner les auteurs d'infractions après un lancement. Les États devaient tenir compte de toutes les parties prenantes ayant des intérêts légitimes et, plutôt que de s'en remettre au droit international, il fallait s'en préoccuper au niveau national, lors du processus d'octroi de licences pour la conduite d'activités spatiales. Le Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique examinait depuis de nombreuses années la menace que représentaient les débris spatiaux, alors que la situation délicate dans laquelle se trouvait l'astronomie était un sujet plus récent ; plusieurs États s'appliquaient à mettre à jour leur réglementation pour tenir compte des débris spatiaux, ce qui offrait l'occasion de traiter également de l'impact global sur l'environnement. L'espace était reconnu comme un bien collectif mondial dans le Programme commun<sup>1</sup> récemment publié par le Secrétaire général, et les nouveaux venus ne pouvaient chasser les autres. Le processus de notification préalable de l'UIT obligeait les acteurs qui souhaitaient lancer une nouvelle initiative à engager une coordination afin de résoudre les conflits avec les systèmes existants, dans le cadre d'un processus bilatéral entre États. Les intervenantes et intervenants se sont demandé si le droit de l'espace pourrait évoluer, à l'instar du droit de la mer, vers la création d'un tribunal international spécialisé chargé du règlement des différends, ou vers l'arbitrage.

48. La seizième séance était une table ronde sur les constellations de satellites qui a réuni des astronomes, des représentantes et représentants de l'industrie spatiale, et des expertes et experts en matière de politiques. Si l'utilisation des constellations de satellites pour combler la fracture numérique représentait une contribution positive en faveur de la science, les intervenantes et intervenants se sont demandé s'il existait un marché pour tous les projets de constellations. L'industrie avait vu augmenter la demande de services Internet par satellite et l'engouement pour ce type de services, la technologie évoluant vers les réseaux 5G et les objets connectés ; le faible temps de latence nécessitait des constellations en orbite terrestre basse plutôt que des

<sup>1</sup> Disponible à l'adresse [www.un.org/fr/un75/common-agenda](http://www.un.org/fr/un75/common-agenda).

satellites géostationnaires. La mise en orbite de nombreux objets et le passage à une approche de l'espace axée sur l'électronique grand public créaient des problèmes analogues à la « tragédie des biens communs » observée dans le domaine des sciences économiques, avec la pollution des océans et de la haute atmosphère. Une personne intervenante a fait observer que les règles relatives aux activités spatiales dataient de plusieurs dizaines d'années, alors que l'industrie innovait rapidement. On s'attachait à mettre au point des technologies, assorties de directives internationales, afin d'assurer la désorbitation des astronefs en toute sécurité, et des règles sur la durabilité de l'espace étaient nécessaires. Le processus d'octroi de licences aux exploitants devait inclure une évaluation des risques, pour que les États aient connaissance des risques qu'ils prenaient et des incidences potentielles sur les fonds publics. Les exploitants des plus grandes constellations, conscients des problèmes liés à l'astronomie, essayaient de proposer des pratiques optimales qui pourraient être suivies par tous les exploitants, comme la modélisation de la luminosité et la réalisation d'essais la concernant avant le lancement. Il restait nécessaire de surveiller la situation en orbite pour faire appliquer les règles ; toutefois, un intervenant a souligné qu'il pourrait y avoir des difficultés à localiser certains objets, ou des problèmes liés à des lois de contrôle des exportations qui feraient obstacle à la communication des données requises.

49. Un intervenant a fait remarquer que les Lignes directrices aux fins de la viabilité à long terme des activités spatiales ne traitaient pas expressément des constellations, car les problèmes que celles-ci soulevaient étaient encore à l'étude. Il était difficile de savoir si les États considéraient l'astronomie comme une activité spatiale, ou si les personnes qui avaient rédigé le Traité sur l'espace extra-atmosphérique avaient l'astronomie à l'esprit. Plutôt que de lancer un débat sur l'interprétation du Traité, l'intervenant a recommandé d'adopter une approche pragmatique basée sur la législation nationale dans les États qui autorisaient les activités spatiales et s'intéressaient à l'astronomie. Certains États faisaient beaucoup pour cette dernière tout en ayant des activités liées aux constellations. L'ONU n'avait pas traité la question de la réduction des débris spatiaux à l'aide d'un nouveau traité, mais par des pratiques optimales et des lignes directrices que certains États choisissaient d'intégrer dans leur cadre réglementaire national. Les intervenantes et intervenants se sont demandé si les États qui possédaient des observatoires astronomiques pourraient définir des règles au niveau national dans le cadre du processus d'octroi de licences et prévoir des sanctions en cas de manquement. Il a été proposé de recueillir des preuves de l'impact des constellations de satellites sur l'astronomie, puis de formuler des recommandations en termes simples, afin que la communauté astronomique soit mieux à même de porter le problème à l'attention des gouvernements.

## **E. Radioastronomie**

50. La dix-septième séance a offert une vue d'ensemble de la situation de la radioastronomie. Dans cette discipline, il fallait inspecter de larges gammes de fréquences et de vastes zones du ciel avec une haute sensibilité, car certains phénomènes étaient très diffus et seulement visibles à certaines fréquences. Lorsque les satellites avaient commencé à créer des interférences avec les observations, les astronomes avaient modifié manuellement les antennes des radiotélescopes afin d'éliminer les rayonnements parasites par filtrage. Au fil des années, l'augmentation du nombre de satellites avait conduit à une saturation des télescopes, avec des effets indésirables difficiles à prévoir ; le bruit accumulé était suffisamment fort pour rendre le filtrage inefficace, et il fallait revoir la conception des récepteurs. Les radars des satellites de télédétection pouvaient également saturer, voire détruire les télescopes de radioastronomie s'ils émettaient directement dans les récepteurs. Le nombre de satellites avec radar embarqué avait très fortement augmenté, et on en dénombrait plusieurs centaines. Les radioastronomes essayaient de se mettre directement en rapport avec les nouveaux venus dans le secteur pour les avertir des dégâts qu'ils pourraient causer, mais de nouvelles menaces faisaient leur apparition ; des satellites

destinés à convertir le rayonnement solaire afin de distribuer l'électricité sur Terre étaient à l'étude et, bien que le Règlement des radiocommunications protège les services scientifiques passifs sur la face cachée de la Lune, des missions étaient en préparation avec des satellites de télécommunication et de navigation en orbite dans cette zone.

51. Afin de préserver la radioastronomie, il ne fallait pas produire de rayonnements artificiels inutiles (qu'il s'agisse de lumière ou d'ondes radioélectriques), et faire en sorte que ces rayonnements ne soient pas détectables dans les endroits où ils n'étaient pas utilisés. Les satellites devaient éviter toute illumination directe des zones de silence radioélectrique, et des mesures étaient nécessaires pour réduire les émissions des lobes secondaires de leur antennes.

52. Pour protéger la radioastronomie, il fallait que les différents organismes chargés de la gestion du spectre soient dotés de ressources appropriées ; les quelques astronomes qui s'employaient à cette tâche ne pouvaient rivaliser avec les entreprises privées qui y consacraient bien davantage de ressources. Des mesures incitatives étaient nécessaires pour rallier les jeunes générations, car les scientifiques travaillant sur la gestion du spectre n'y trouvaient guère de perspectives d'évolution de carrière. Se rendre dans des endroits reculés de la planète afin d'éviter les interférences n'était plus une solution ; en effet, les mesures du fond diffus cosmologique, qui étaient essentielles en physique fondamentale, conduisaient à des données dans lesquelles les satellites géostationnaires apparaissaient comme plus brillants que le soleil. On craignait que les constellations de satellites ne contaminent de la même façon les données, avec de lourdes conséquences sur de nombreuses expériences financées par des fonds publics. Il n'était pas toujours possible de modifier les récepteurs des télescopes ou d'éviter de les tourner vers les satellites, tandis que le fait d'allonger la durée d'observation pour compenser la perte de données avait un impact direct sur le coût de la science.

53. Alors que les limites imposées aux émissions volontaires étaient réglementées par l'UIT et les administrations de chaque État, celles concernant les rayonnements électromagnétiques involontaires étaient fixées au niveau national. Pour un satellite, les essais de rayonnement électromagnétique étaient axés sur la compatibilité avec le lanceur ; la protection des bandes de radioastronomie ne faisait l'objet d'aucune attention particulière. Cela n'était pas un problème lorsqu'il n'y avait que très peu de satellites, mais dans le contexte d'une production de masse, le rayonnement électromagnétique maximal toléré dans les bandes de radioastronomie devait diminuer à mesure que le nombre de satellites augmentait, faute de quoi ces derniers pourraient fermer à jamais la fenêtre de fréquences existant pour les observations de radioastronomie.

54. Une personne intervenante a expliqué comment les signaux radioélectriques permettaient de détecter les météores et la traînée ionisée qu'ils créaient dans l'atmosphère ; les informations étaient obtenues à partir de la réflexion et de la diffusion d'une onde radioélectrique par la traînée. Plusieurs radars à haute sensibilité étaient utilisés à cette fin dans le monde.

55. La dix-huitième séance était une table ronde réunissant des radioastronomes et une représentante du Bureau des radiocommunications de l'UIT, qui ont débattu du rôle de l'UIT et du Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique. La gestion du spectre, dans laquelle n'intervenait au départ qu'une poignée de participants, avait évolué pour aboutir à une situation marquée par les demandes concurrentes des exploitants, qui installaient des radars et des émetteurs à haute puissance sur des plateformes à haute altitude. Les communications par satellite étaient devenues une vaste activité commerciale, et l'exploitation des satellites était passée des gouvernements, qui étaient l'interface de l'UIT, aux entreprises privées. Les pratiques en matière de gestion du spectre n'avaient pas évolué au même rythme que les technologies. Les personnes participant à la table ronde ont estimé que les rôles respectifs de l'UIT et du Comité méritaient d'être examinés plus avant. Il faudrait que les astronomes contactent leur propre administration, qui avait le droit

de proposer des modifications à apporter au Règlement des radiocommunications ; il fallait d'abord mener des études préparatoires, avant de proposer des points à inscrire à l'ordre du jour d'une conférence mondiale des radiocommunications, manifestation lors de laquelle les dispositions du Règlement évoluaient. La représentante de l'UIT a précisé que les fréquences radioélectriques supérieures à 3 000 GHz n'étaient pas réglementées, mais qu'il était possible de mener des études, y compris sur les liaisons optiques, à n'importe quelle fréquence. Étant donné que le Règlement des radiocommunications, dans sa version actuelle, ne fixait pas de limite formelle au nombre d'objets lancés dans l'espace, tandis que le Bureau des affaires spatiales, au nom du Secrétaire général, était chargé de tenir le Registre des objets lancés dans l'espace extra-atmosphérique, on a estimé que le Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique serait l'instance appropriée pour traiter le sujet. Il revenait également au Comité d'examiner, au niveau du système des Nations Unies, la question de l'utilisation durable de l'espace.

56. Les personnes participant à la discussion ont souligné que certains problèmes, comme celui des moyens de continuer à observer le fond diffus cosmologique, étaient particulièrement aigus et nécessitaient la mise au point de solutions conjointes, avec le concours éventuel d'organismes scientifiques internationaux, comme le Comité de la recherche spatiale. Le fait d'autoriser le lancement d'une constellation de satellites avait de vastes conséquences qui n'avaient pas été prévues.

## V. Observations et recommandations

57. Lors de la dernière séance, coprésidée par des personnes représentant le Bureau des affaires spatiales et l'UAI, il a été fait une synthèse des différents avis exprimés concernant les initiatives qui pourraient être prises après la manifestation. S'en est suivi un débat auquel ont pris part des représentantes et représentants de chacun des groupes d'expertes et d'experts qui avaient préparé des contributions pour la Conférence.

58. Les recommandations formulées au sujet de la lumière artificielle nocturne ont été associées à celles portant sur la protection des observatoires, des oasis de ciel sombre et du milieu biologique. Le monde se rendait progressivement aveugle au ciel sombre, ce qui avait des répercussions non seulement sur l'astronomie, mais aussi sur la santé humaine et le fonctionnement de la nature la nuit :

a) Pour les zones spéciales protégées, il faut définir la quantité totale de lumière acceptable, ainsi que des moyens de mesurer l'éclairage et d'en faire cesser l'augmentation. Il existe des moyens techniques d'orienter et de réduire la lumière, l'idée étant d'ajuster le niveau de luminosité à l'aide d'un zonage dynamique fondé sur l'usage, sans dépasser le strict nécessaire. Les modalités pratiques à suivre pour atteindre cet objectif sont à l'étude ; pour la conception technique, les responsables de l'ingénierie, de la planification et des politiques auront besoin d'orientations quantitatives que des organisations telles que la Commission internationale de l'éclairage pourraient leur fournir ; toutefois, les exigences quantitatives devront être ajustées au vu des circonstances ;

b) Une évolution culturelle est nécessaire ; l'obscurité naturelle devrait être l'état de référence, et l'éclairage devrait être ajouté uniquement en cas de besoin. L'opinion publique adhérerait plus facilement à cette évolution s'il était possible de voir le ciel nocturne dans son état naturel ;

c) L'astronomie avait besoin d'observations au sol pour assurer le succès des sciences spatiales. Si des mesures étaient prises à l'appui de la science contre la mauvaise orientation des éclairages, cela profiterait également à d'autres domaines, comme la santé et la protection du milieu biologique, mais aussi la détection des objets géocroiseurs.

59. Les recommandations relatives aux constellations de satellites concernaient plusieurs aspects :

a) Afin d'atténuer les pertes, les astronomes devraient mutualiser les données et les logiciels, et chercher à obtenir des informations précises sur la position des satellites, afin de prévoir le moment où ces derniers traversent le champ de vision. Le développement de logiciels de masquage est une tâche complexe, et leur utilisation pourrait introduire des artéfacts dans les données. Avant que des services d'atténuation ne soient disponibles pour un usage professionnel, il faut en assurer le financement ;

b) Les exploitants et les fabricants de satellites entretiennent un dialogue volontaire avec les astronomes. Les deux parties doivent collaborer dès le début des projets satellitaires et concevoir ensemble des mesures d'atténuation. Les gouvernements pourraient encourager cette coordination, et l'industrie devrait continuer à développer les essais et modélisations en laboratoire, le partage de données et les pratiques optimales ;

c) Les politiques spatiales nationales pourraient tenir compte de la luminosité des objets spatiaux dans le cadre des procédures d'octroi de licence et d'autorisation, qui jouent un rôle clef dans la manière dont les États s'acquittent des obligations que leur impose le Traité sur l'espace extra-atmosphérique. Certains États font entrer en jeu des préoccupations environnementales dans le contexte des activités spatiales. De même, il pourrait être procédé à l'élaboration de normes internationales afin de définir la luminosité des objets spatiaux et les modalités d'application d'une limite ;

d) Des fonds supplémentaires seront nécessaires pour que l'astronomie mette au point des mesures d'atténuation, mais l'industrie, pour laquelle il s'agit d'un sujet nouveau, en aura besoin également ;

e) Au niveau international, si l'astronomie pourrait être considérée comme une forme d'utilisation de l'espace, il en va de même des télécommunications ; par conséquent, il faut trouver un équilibre entre les besoins des différents États. La tenue de consultations, qui déboucheraient sur l'adoption de lignes directrices tenant compte de l'astronomie, pourrait être envisagée.

60. Les recommandations relatives à la radioastronomie partent du principe qu'il convient d'éviter toute émission non désirée à destination des radiotélescopes, qu'il s'agisse de la lumière artificielle nocturne ou de la lumière réfléchiée par les satellites. Les difficultés sont particulièrement grandes dans les domaines de la radioastronomie pour lesquels le Règlement des radiocommunications ne peut pas apporter de solution, comme l'observation du fond diffus cosmologique :

a) Les exploitants de satellites devraient être tenus d'éviter toute illumination directe des radiotélescopes et des zones de silence radioélectrique. L'illumination directe découle du mode de fonctionnement et de l'orientation des satellites, ainsi que du niveau de rayonnement des lobes secondaires de leurs antennes ;

b) Les recommandations ne renvoient pas expressément à la gestion du spectre et à l'UIT. Puisque l'immatriculation des objets lancés dans l'espace relève du régime juridique de l'espace extra-atmosphérique, qui a été élaboré par le Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique, et que le Bureau des affaires spatiales tient le Registre des objets lancés dans l'espace extra-atmosphérique, le Comité serait l'instance appropriée pour examiner le problème que pose la présence d'un si grand nombre de satellites en orbite.

61. Les intervenantes et intervenants ont insisté sur le rôle central du Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique et se sont demandé comment relier les différents problèmes. Certains États membres étaient favorables à l'inscription d'un point unique à l'ordre du jour de la session du Sous-Comité scientifique et technique qui se tiendrait en 2022, avec le libellé suivant : « Débat général sur les effets des satellites sur l'astronomie ». Les différents points de vue et

propositions examinés lors de la Conférence pourraient donner matière à un débat sur les possibilités offertes par la coopération internationale.

62. Il a été noté que les États membres intéressés du Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique pourraient envisager de présenter un document de travail afin de proposer des mesures.

## **VI. Conclusions**

63. La Conférence sur le ciel sombre et silencieux au profit de la science et de la société a donné lieu à l'examen d'un vaste ensemble de mesures qui pourraient permettre de réduire l'impact des sources de pollution lumineuse et d'interférences avec l'astronomie optique et la radioastronomie.

64. Des représentantes et représentants de la Mission permanente de l'Espagne auprès de l'ONU, de l'UAI et du Bureau des affaires spatiales ont conclu la Conférence en remerciant toutes les personnes qui avaient contribué à la préparer, et ont fait part de leur solidarité à la population de La Palma.

65. Les participantes et participants ont été encouragés à formuler des commentaires par écrit, à l'aide d'un formulaire en ligne réservé à cet usage, et l'UAI a annoncé la création d'un centre spécial chargé de structurer les initiatives.

---