

N° 2316

ASSEMBLÉE NATIONALE

CONSTITUTION DU 4 OCTOBRE 1958

DIX-SEPTIÈME LÉGISLATURE

Enregistré à la Présidence de l'Assemblée nationale le 7 janvier 2026.

RAPPORT

FAIT

AU NOM DE LA COMMISSION DES AFFAIRES ÉTRANGÈRES SUR LE PROJET DE LOI, ADOPTÉ PAR LE SÉNAT, *autorisant l'approbation de l'accord entre le Gouvernement de la République française et l'Observatoire du réseau d'antennes d'un kilomètre carré (SKAO) relatif à l'adhésion de la France à l'Observatoire,*

(Procédure accélérée)

PAR M. JEAN-PAUL LECOQ

Député

AVEC

EN ANNEXE
LE TEXTE DE LA COMMISSION
DES AFFAIRES ÉTRANGÈRES

Voir les numéros :

Assemblée nationale : 1109.

Sénat : 104, 407, 408 et T.A. 75 (2024-2025).

SOMMAIRE

Pages

INTRODUCTION	5
I. FUTURE PREMIÈRE INFRASTRUCTURE MONDIALE DE RADIOASTRONOMIE, L'OBSERVATOIRE DU RÉSEAU D'ANTENNES D'UN KILOMÈTRE CARRÉ AFFINERA NOTRE PERCEPTION DU COSMOS	7
A. L'OBSERVATOIRE A LE STATUT D'UNE ORGANISATION INTERGOUVERNEMENTALE ET GÈRE UN RÉSEAU D'ANTENNES ET DE CENTRES DE DONNÉES	7
1. La création en 2019 de l'observatoire concrétise plusieurs décennies de travaux de recherche	7
2. La gouvernance de l'observatoire est assurée par un comité intergouvernemental ..	10
B. LES TRAVAUX DE L'OBSERVATOIRE DEVRAIENT GRANDEMENT AMÉLIORER NOTRE COMPRÉHENSION DE L'UNIVERS TOUT EN S'INSCRIVANT DANS UNE APPROCHE DURABLE ET ÉTHIQUE	11
1. L'observatoire a pour ambition de gérer le plus puissant radiotélescope au monde....	11
2. Les installations techniques prévues devraient permettre des progrès scientifiques majeurs.....	14
3. Afin d'assurer la pérennité du projet, une attention particulière est portée aux potentielles conséquences délétères pour l'environnement et les populations locales.....	15
II. L'ADHÉSION DE LA FRANCE À L'ORGANISATION PRÉSENTE UN INTÉRÊT SCIENTIFIQUE ET INDUSTRIEL MAJEUR TOUT EN REVÊTANT UNE PORTÉE DIPLOMATIQUE IMPORTANTE.....	17
A. PAR SON ADHÉSION, LA FRANCE FERAIT VALOIR SA VOIX DANS UN SECTEUR PROMETTEUR POUR LA RECHERCHE ET LE SECTEUR INDUSTRIEL.....	17
1. Une participation à l'observatoire renforcerait la position scientifique et diplomatique française à l'international.....	17
2. La ratification de l'accord se traduirait par des retombées industrielles significatives pour la France	19

B. L'ACCORD FIXE LES OBLIGATIONS ET LES DROITS DE LA FRANCE AU SEIN DE L'ORGANISATION	21
1. En adhérant à l'observatoire, la France s'engage à s'acquitter d'une contribution financière de 48 millions d'euros sur la période 2022-2030.....	21
2. L'accord comprend six articles définissant les modalités de participation de la France à l'observatoire	23
EXAMEN EN COMMISSION	25
ANNEXE 1 : TEXTE DE LA COMMISSION DES AFFAIRES ÉTRANGÈRES.....	33
ANNEXE 2 : LISTE DES PERSONNES AUDITIONNÉES PAR LE RAPPORTEUR	35

INTRODUCTION

La commission des affaires étrangères est saisie du projet de loi n° 1109, déposé le 12 mars 2025 sur le Bureau de l'Assemblée nationale, autorisant l'approbation de l'accord entre le gouvernement de la République française et l'observatoire du réseau d'antennes d'un kilomètre carré (SKAO) relatif à l'adhésion de la France à l'observatoire.

Signé à Londres le 11 avril 2022, cet accord fixe le cadre juridique nécessaire à l'intégration pleine et entière de la France au sein du SKAO, une organisation intergouvernementale créée en 2019 afin de construire et d'exploiter l'un des plus ambitieux projets de radioastronomie au monde. Ce statut d'organisation internationale, dotant la structure de la personnalité juridique correspondante et d'une gouvernance propre, requiert la mise en œuvre d'un accord spécifique définissant les droits et obligations de la France en tant qu'État membre.

L'observatoire porte un programme scientifique et technologique majeur : l'édification, en Australie et en Afrique du Sud, de deux réseaux d'antennes formant un radiotélescope d'une sensibilité inédite, capable d'explorer l'évolution de l'univers, la formation des galaxies, les phénomènes extrêmes et la physique fondamentale. La participation à une telle infrastructure implique la contribution de ses membres à son financement et à son fonctionnement, ainsi que leur accès coordonné aux données et aux capacités de calcul.

Cet accord s'inscrit dans la continuité de l'engagement de la France au sein des grands consortiums internationaux de recherche. Il reflète notre volonté de renforcer la coopération scientifique mondiale, de soutenir l'excellence de la communauté d'astrophysique et de favoriser des retombées industrielles significatives dans des secteurs clés tels que le calcul intensif, l'énergie et les technologies numériques.

Si sa portée relève avant tout du champ scientifique, la ratification de cet accord revêt une importance stratégique pour notre pays. Elle marque la détermination de la France à participer à l'une des plus grandes infrastructures de recherche du XXI^e siècle et à s'inscrire, aux côtés de ses partenaires européens et internationaux, dans la conduite d'un projet éminent pour l'avenir de la radioastronomie mondiale.

I. FUTURE PREMIÈRE INFRASTRUCTURE MONDIALE DE RADIOASTRONOMIE, L'OBSERVATOIRE DU RÉSEAU D'ANTENNES D'UN KILOMÈTRE CARRÉ AFFINERA NOTRE PERCEPTION DU COSMOS

A. L'OBSERVATOIRE A LE STATUT D'UNE ORGANISATION INTERGOUVERNEMENTALE ET GÈRE UN RÉSEAU D'ANTENNES ET DE CENTRES DE DONNÉES

1. La création en 2019 de l'observatoire concrétise plusieurs décennies de travaux de recherche

Comment combler les lacunes de notre compréhension de l'univers en décryptant son histoire grâce au langage de son constituant le plus abondant, l'hydrogène ? Afin de répondre à cette interrogation, des astronomes de plusieurs pays se sont regroupés à la fin des années 1980 avec pour ambition de remonter aux origines de l'aube cosmique, lorsque les toutes premières étoiles se sont formées. Quelques 13,7 milliards d'années après le *Big Bang*, l'humanité dispose désormais de la technologie et des moyens techniques pour entrevoir des éléments d'explication. Les calculs des scientifiques ont ainsi défini la taille du télescope requis pour effectuer les observations nécessaires : la surface collectrice devrait avoisiner le kilomètre carré, soit un million de mètres carrés. Le concept du réseau d'un kilomètre carré (*square kilometre array* – SKA) est ainsi né.

La certitude qu'un radiotélescope avec cette caractéristique permettra non seulement de répondre à des questions fondamentales sur notre passé ainsi que sur notre futur, mais aussi de garantir une multitude d'autres découvertes liées à la formation de planètes semblables à la Terre, à la détection des distorsions gravitationnelles de l'espace-temps, à l'origine des champs magnétiques cosmiques et à la compréhension des trous noirs, a dès lors motivé une pluralité d'acteurs à intensifier les recherches.

Cette recrudescence s'est traduite par une interaction continue entre scientifiques et ingénieurs, aboutissant à la publication de nombreux ouvrages techniques et livres blancs ⁽¹⁾ ainsi qu'au développement et au perfectionnement de plusieurs technologies. Parmi ces dernières, six ont été présélectionnées en 2005 pour alimenter le projet SKA : l'antenne à réflecteurs modulaires ; l'antenne parabolique (*small dish array* – SDA) ; l'antenne réseau à commande de phase (*phased-array feed* – PAF) ; le ballon antenne ; l'antenne cornet (*horn array*) ; l'antenne parabolique grillagée (*mesh dish*).

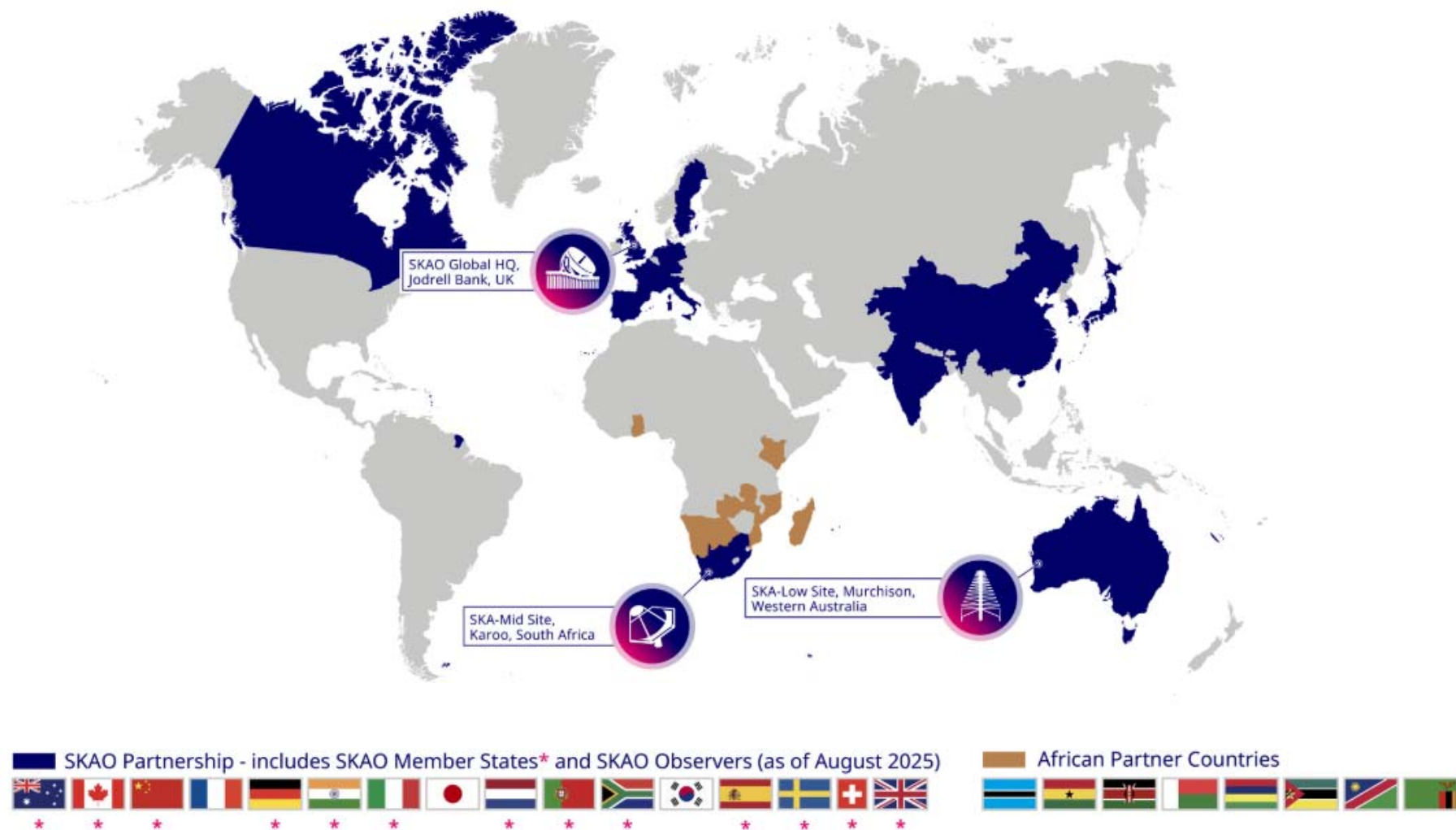
Afin de coordonner les recherches et d'en assurer le pilotage, des groupes de travail et des comités ont été créés avant d'être agrégés en consortiums internationaux d'ingénierie. Forte de leurs réflexions, une structure dédiée, l'organisation SKA, a été créée en novembre 2011 sous la forme d'une société

(1) Voir notamment Robert Braun, Tyler L. Bourke, James A. Green, Evan F. Keane, Jeff Wagg, « Advancing astrophysics with the square kilometre array », SKAO, juin 2014.

privée à but non lucratif de droit britannique, pour finaliser la conception des télescopes, sélectionner les sites d'implantation et formaliser un cadre de gouvernance. Des locaux permanents sont alors installés au sein de l'observatoire Jodrell Bank, au Sud de Manchester, dans le Cheshire, en Angleterre.

Au vu de l'ampleur prise par le projet – des dizaines de milliers d'antennes à installer sur des continents différents, une projection financière significative nécessitant une sécurisation sur le long terme, une durée d'exploitation conséquente, l'implication directe de plusieurs États, la nécessité d'une gestion équitable des données collectées –, il est apparu impératif de structurer le tout sous la forme d'une organisation intergouvernementale, à l'instar de ce qui a pu être fait pour l'observatoire européen austral (ESO) et l'organisation européenne pour la recherche nucléaire (CERN). À cet effet, des négociations internationales ont débuté en 2015 et abouti, quatre ans plus tard, à la signature de la convention portant création de l'observatoire du réseau d'antennes d'un kilomètre carré à Rome, le 12 mars 2019, par sept pays : l'Afrique du Sud, l'Australie, la Chine, l'Italie, les Pays-Bas, le Portugal et le Royaume-Uni. Ce texte est entré en vigueur le 15 janvier 2021.

Par la suite, six autres pays ont successivement rejoint l'organisation : la Suisse en 2022, l'Espagne en 2023, le Canada, l'Allemagne et l'Inde en 2024 puis la Suède en 2025. Sans en être membre et avec un statut d'observateur, trois pays contribuent activement aux travaux du SKAO et pourraient, à terme, adhérer à l'observatoire : la Corée du Sud, la France et le Japon. Huit pays africains partenaires sont également engagés dans une action coordonnée visant à soutenir les futurs développements du projet SKA dans la région : le Botswana, le Ghana, le Kenya, Madagascar, Maurice, le Mozambique, la Namibie et la Zambie.



Répartition des États membres, des pays observateurs et des pays partenaires du SKAO

2. La gouvernance de l'observatoire est assurée par un comité intergouvernemental

L'observatoire est l'entité juridique chargée de la construction et de l'exploitation des télescopes SKA. Il comprend un organe directeur, le Conseil de l'observatoire, et un directeur général assisté par un personnel permanent ⁽¹⁾.

Chaque État membre est représenté au sein du Conseil par deux délégués, dont un représentant institutionnel disposant d'un droit de vote et souvent issu d'un des ministères en charge de la recherche scientifique, des affaires étrangères ou des agences nationales de financement ⁽²⁾. Ce comité intergouvernemental détient une compétence générale pour toutes les décisions stratégiques. Il fixe notamment :

- les orientations scientifiques de l'observatoire, en validant les programmes d'observation et les priorités de recherche au niveau international ;
- l'approbation du budget annuel et pluriannuel, incluant les contributions obligatoires des États membres, les engagements financiers, les audits et les rapports de transparence ;
- la supervision des phases de construction, de mise en service et d'exploitation des sites de réseaux d'antennes ;
- la politique de gestion des données.

Le consensus prévaut pour déterminer les mesures à mettre en œuvre. En cas de désaccord, les décisions sont prises à la majorité des deux tiers ⁽³⁾. Le Conseil nomme également le directeur général du SKAO, responsable de l'exécution des décisions et de la gestion quotidienne de l'organisation. Il supervise l'ensemble du personnel, les centres techniques, les infrastructures et les partenariats scientifiques.

En appui, deux comités consultatifs complètent l'architecture institutionnelle : un comité scientifique et technique, composé d'experts internationaux, chargé d'évaluer la pertinence, la faisabilité et les priorités des programmes ; un comité financier, qui examine la conformité du budget, des contributions et des engagements de dépenses. Enfin, sur les sites des télescopes, le SKAO a pour relais deux partenaires : l'organisme pour la recherche australienne, la *Commonwealth scientific and industrial research organisation* (CSIRO), et son homologue sud-africain, le *South African radio astronomy observatory* (SARAO).

(1) En novembre 2025, les effectifs du SKAO comptaient 379 équivalents temps plein (ETP), dont 254 au siège en Angleterre, 87 en Australie et 38 en Afrique du Sud.

(2) La France a actuellement le statut d'observateur, sans droit de vote. Elle est représentée par un astronome, M. Guy Perrin, pour le ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'espace ainsi que par la directrice du consortium SKA France, Mme Chiara Ferrari.

(3) Cette procédure comprend des exceptions définies par la convention, par les règles de procédure du Conseil ou par les règles financières, notamment s'agissant de l'adhésion d'un nouveau membre ou de l'adoption du budget.

En parallèle, en tant que dépositaire de la convention SKAO, le ministère britannique des affaires étrangères, du Commonwealth et du développement supervise les processus de ratification et d'entrée en vigueur des accords avec de nouveaux membres. Ces missions comprennent notamment la conservation de l'original de la convention à Londres et la création de copies certifiées conformes pour chaque État signataire.

B. LES TRAVAUX DE L'OBSERVATOIRE DEVRAIENT GRANDEMENT AMÉLIORER NOTRE COMPRÉHENSION DE L'UNIVERS TOUT EN S'INSCRIVANT DANS UNE APPROCHE DURABLE ET ÉTHIQUE

1. L'observatoire a pour ambition de gérer le plus puissant radiotélescope au monde

Le SKAO a pensé ses télescopes en s'appuyant sur une famille de techniques appelée « interférométrie » et notamment l'une d'elles : le procédé de synthèse d'ouverture. En utilisant de nombreux éléments individuels de petite taille, connectés en réseau, dont les données sont combinées numériquement par de puissants ordinateurs, la synthèse d'ouverture permet à plusieurs antennes de fonctionner comme un unique télescope de taille équivalente à la distance entre les deux antennes les plus éloignées, une performance impossible à réaliser avec une structure unique. Les télescopes SKA sont ainsi reliés par des milliers de kilomètres de fibres optiques. Par ce biais, sont obtenus une résolution et un niveau de détail supérieurs à ceux permis par la collecte d'ondes radio avec une seule grande antenne parabolique. De manière triviale, l'augmentation de la distance entre les antennes revient *de facto* à créer un zoom.

L'un des principaux avantages des réseaux de synthèse d'ouverture réside dans leur modularité intrinsèque : augmenter le nombre d'antennes permet d'accroître la taille et les capacités du télescope. L'ambition à long terme du SKAO est ainsi d'étendre ses deux télescopes en ajoutant de nouvelles antennes dans d'autres pays africains et en Australie. Cette modularité facilite également la construction car des portions réduites des réseaux complets peuvent être mises en service bien avant l'achèvement des télescopes dans leur globalité.

SKAO gère donc une structure technique qui devrait être complétée au gré des besoins et des financements alloués par les membres. Par conséquent, le projet d'implantation du réseau d'antennes a été initialement défini en plusieurs phases. La première, SKA1, prévoit l'installation de deux infrastructures, couvrant des gammes de fréquences différentes et dont les noms reflètent cette spécificité : SKA-Low et SKA-Mid. Deux sites ont été choisis au regard de leurs caractéristiques silencieuses, loin des interférences et des bruits électroniques générés par les activités humaines.

Le SKA-Low, établi en Australie, comprendra 131 072 antennes log-périodiques ⁽¹⁾ réparties sur 512 stations dans un rayon de 74 kilomètres et assurant une surface de captation de 419 000 mètres carrés. Il permettra d'observer des fréquences comprises entre 50 mégahertz (MHz) et 350 MHz. Les données seront captées par les branches des antennes, les dipôles, puis envoyées pour traitement dans un centre dédié. Comparé au télescope *Low-frequency array* (LOFAR) aux Pays-Bas, qui est actuellement le meilleur instrument similaire au monde, SKA-Low aura une résolution 25 % supérieure, une sensibilité huit fois plus élevée et sera capable de scruter le ciel à une vitesse cent-trente-cinq fois plus importante.



Projection du site du SKA-Low, comté de Murchison, Australie-Occidentale

Localisé en Afrique du Sud sur un site de 150 kilomètres de diamètre, le SKA-Mid est dédié à l'étude des fréquences oscillant entre 350 MHz et 15 gigahertz (GHz). Il sera composé de 197 antennes paraboliques ⁽²⁾, en intégrant notamment les 64 paraboles déjà existantes sur place du radiotélescope MeerKAT. La surface de captation ainsi assurée sera de 33 000 mètres carrés. Tout comme SKA-Low, SKA-Mid affichera des performances inégalées. En comparaison à la référence actuelle au niveau mondial, le télescope Karl G. Jansky *Very Large Array* (VLA) aux États-Unis, SKA-Mid aura une résolution quatre fois supérieure, une sensibilité cinq fois plus importante et pourra balayer le ciel soixante fois plus rapidement.

(1) Une antenne log-périodique est composée d'éléments métalliques, les dipôles, de tailles progressivement décroissantes. Cette géométrie lui permet de capter efficacement une très large gamme de fréquences.

(2) Une antenne parabolique réfléchit, de par sa forme, les ondes radio reçues vers un point focal où un récepteur transforme ces mêmes ondes en signal électrique. Elle offre une haute sensibilité et permet de cibler précisément des zones du ciel.



Projection du site du SKA-Mid, désert du Karoo, Afrique du Sud

La construction des télescopes a débuté en 2021 après l’approbation du projet par le Conseil du SKAO. Le plan de mise en service prévoit une approche graduée par la livraison progressive d’une série d’assemblages d’antennes (*array assembly – AA*). La première période du projet, 2022-2030, se décline en quatre étapes. À l’issue de la dernière des séquences appelée « phase de déploiement de référence » (*deployment baseline – AA**), 307 stations sur les 512 prévues en Australie et 144 antennes sur les 197 attendues en Afrique du Sud devraient avoir été construites. Le calendrier détaillé figure dans le tableau ci-dessous :

Étape	SKA-Low Australie	SKA-Mid Afrique du Sud
AA 0.5	6 stations – août 2024	4 antennes – décembre 2024
AA 1	18 stations – octobre 2025	8 antennes – novembre 2025
AA 2	64 stations – septembre 2026	64 antennes – octobre 2026
AA*	307 stations – janvier 2028	144 antennes – août 2027
Vérification opérationnelle	avril 2028	août 2027
AA 4	512 stations – date non définie	197 antennes – date non définie

2. Les installations techniques prévues devraient permettre des progrès scientifiques majeurs

Par le changement d'échelle acté, la gamme élargie de fréquences observées et la sensibilité inédite des infrastructures, SKAO devrait fournir des éléments d'explication à des questions auxquelles aucun télescope actuel ne peut répondre. Les données collectées serviront notamment à :

- explorer l'aube cosmique et l'époque de la réionisation ⁽¹⁾, en étudiant le rayonnement de l'hydrogène ainsi que la luminosité des étoiles pour dater précisément la création de l'univers ;
- comprendre l'évolution des galaxies, en cartographiant l'hydrogène neutre dans des centaines de milliers, voire des millions de galaxies sur de vastes périodes cosmiques, et ainsi pouvoir retracer la formation de ces mêmes galaxies, l'accumulation des gaz, les fusions et la formation des étoiles ;
- tester les lois fondamentales de la physique ; grâce à l'observation de pulsars ⁽²⁾, d'objets stellaires compacts, de systèmes extrêmes, le SKAO pourra notamment soumettre la théorie de la relativité générale d'Einstein sur la gravité à des tests dans des conditions inaccessibles sur Terre ;
- étudier le magnétisme cosmique et la structure des champs magnétiques ; trois mécanismes physiques sont ainsi observables par l'étude des ondes : l'effet de Faraday, l'effet Zeeman et le rayonnement synchrotron ⁽³⁾. Leur analyse permet d'identifier la forme et l'intensité du champ magnétique de la voie lactée et de le comparer au magnétisme d'autres galaxies ;
- rechercher les origines de la vie et de la naissance des planètes ; le réseau d'antennes SKA fournira les moyens techniques pour observer les environnements autour d'étoiles jeunes, pour suivre la formation de disques proto-planétaires, déterminer la distribution du gaz et de la poussière et analyser les conditions potentiellement favorables à la formation de planètes telluriques ;

(1) Après le Big Bang, l'univers fut caractérisé par un « âge sombre », neutre et sans rayonnement électromagnétique. Il n'est donc pas possible pour le moment de sonder l'état de l'univers à cette date. S'en suit une époque de réionisation, 300 à 400 millions d'années après le Big Bang, durant laquelle des structures se mettent en place, formant des atomes et aboutissant à la naissance d'étoiles. Un fond diffus cosmologique est alors observable sous la forme d'un rayonnement électromagnétique.

(2) Un pulsar est une étoile à neutrons qui tourne très rapidement et qui émet des faisceaux d'ondes radio depuis ses pôles magnétiques. Véritable phare galactique, ce type d'étoile permet aux scientifiques de se repérer dans l'espace et peut également servir à établir une référence temporelle à la manière d'une horloge cosmique.

(3) L'effet de Faraday correspond à la rotation de la polarisation d'une onde radio lorsqu'elle traverse un milieu soumis à un champ magnétique, ce qui permet de déduire la structure et l'intensité de ce champ ; l'effet Zeeman décrit le dédoublement d'une raie lumineuse lorsqu'un champ magnétique agit sur les atomes ou molécules émetteurs, fournissant ainsi une mesure directe de la force du champ ; le rayonnement synchrotron est une lumière très énergétique produite par des particules chargées et accélérées à grande vitesse dans un champ magnétique, révélant la présence de champs puissants et de particules relativistes.

- mieux comprendre le fonctionnement du Soleil et tenter de résoudre le mystère du chauffage coronal ⁽¹⁾. Au-delà, la météorologie spatiale et la relation Soleil-Terre constituent un enjeu important des années à venir en termes de sécurité. En effet, si les éjections de masse coronale solaire provoquent sur notre planète des manifestations bénignes, telles que les aurores boréales, elles engendrent aussi des phénomènes plus problématiques en endommageant les satellites, perturbant les communications ou occasionnant des pannes électriques ;
- enfin, surveiller le « ciel transitoire » (*bursting sky*) : les installations du SKAO rendraient possible l'observation de phénomènes astrophysiques extrêmes et imprévus dont l'intensité varie avec le temps, libérant souvent une énergie considérable lors de périodes relativement brèves, comme les sursauts gamma ou les supernovas ⁽²⁾.

3. Afin d'assurer la pérennité du projet, une attention particulière est portée aux potentielles conséquences délétères pour l'environnement et les populations locales

Dans le respect des objectifs de développement durable des Nations unies, SKAO entend minimiser les effets négatifs de la construction et de l'exploitation de ses télescopes tout au long de leur durée de vie. À cet effet, deux axes prioritaires ont été identifiés en lien avec l'équité sociale et l'empreinte environnementale de l'architecture technique.

Concernant les conséquences sociales des infrastructures SKA, l'observatoire nourrit un dialogue permanent avec les communautés locales en reconnaissant les spécificités de leurs cultures. En Australie, le SKA-Low sera situé sur le territoire des Aborigènes Wajarri Yamaji, à l'observatoire de Murchison, également appelé *Inyarrimanha Ilgari Bundara* ⁽³⁾. Terre ancestrale de ce peuple depuis près de dix mille ans, cette étendue comprend également certaines des roches les plus anciennes de la planète. Le gouvernement australien a par conséquent négocié un accord d'utilisation des terres autochtones (ILUA). L'utilisation du site est soumise au consentement de la population détentrice des droits fonciers. Elle donne lieu à une compensation financière et s'accompagne d'une formation obligatoire pour les personnels travaillant sur place pour promouvoir le respect des traditions aborigènes. Le SKAO collabore également avec les Wajarri Yamaji pour protéger le patrimoine local par l'intermédiaire d'une équipe de terrain composée d'aînés de la communauté, d'un archéologue et d'un anthropologue. Les Wajarri Yamaji ont aussi la possibilité de participer aux réunions du Conseil du SKAO.

(1) En violation apparente des principes de thermodynamique, la couronne, l'atmosphère externe du Soleil, est trois cents fois plus chaude que sa surface. Ce phénomène connu depuis les années 1940 ne s'explique pas encore totalement.

(2) Une supernova correspond à l'explosion violente d'une étoile.

(3) En langue wajarri, « Inyarrimanha ilgari bundara » signifie « partager le ciel et les étoiles ».

En Afrique du Sud, la région du Karoo était foulée il y a près de vingt-deux-mille ans par les ancêtres des San, un peuple d'Afrique australe considéré comme l'un des plus anciens de la planète. Aujourd'hui encore, d'importants vestiges de leur patrimoine culturel subsistent sur les terres entourant le site sud-africain du SKA-Mid. Dès le début du projet, les San ont été associés aux études environnementales et patrimoniales menées dans le cadre de l'évaluation requise pour la construction du télescope. D'importants recensements ont également été réalisés pour préserver les connaissances relatives à l'utilisation traditionnelle des plantes médicinales dans la région. En outre, les installations en construction sur le site sud-africain constituent d'importants vecteurs de développement du capital humain pour plusieurs populations du continent africain. Ainsi, 90 % du personnel du radiotélescope MeerKAT, infrastructure déjà présente sur le site du SKA-Mid, est issu des communautés locales. En complément, l'initiative conjointe *Development in Africa with Radio Astronomy* (DARA) dispense des formations en radioastronomie et en science des données à des centaines d'étudiants au Botswana, au Ghana, au Kenya, à Madagascar, à Maurice, au Mozambique, en Namibie et en Zambie.

S'agissant de l'empreinte environnementale des installations, en Australie, le radiotélescope SKA-Low est en construction sur une ancienne exploitation bovine de 3 500 kilomètres carrés connue sous le nom de *Boolardy Station*. Il ne représente qu'une faible superficie – moins de 0,2 % – de l'observatoire de Murchison. Afin d'anticiper les effets néfastes de la construction, des travaux de recherche ont été entrepris en collaboration avec le gouvernement d'Australie-Occidentale sur la biodiversité locale. Les résultats obtenus permettront par ailleurs de mieux évaluer l'impact des pâturages et du changement climatique dans la région. Ils contribueront à la définition d'une future gestion saine des terres et de l'eau dans le cadre de la réhabilitation de la friche de *Boolardy Station*. En parallèle, plusieurs programmes de préservation des espèces indigènes ont été mis en place avec une attention particulière portée à un spécimen de lézard vulnérable, le scinque à queue épineuse.

Enfin, la réduction de l'utilisation des emballages plastiques et le traitement des eaux usées par une station d'épuration anaérobie ⁽¹⁾ plutôt que par des stations d'épuration chimiques sont deux autres axes de l'approche environnementale du SKAO en Australie et en Afrique du Sud. Les 135 000 hectares de terres acquises pour le télescope SKA-Mid constituent au demeurant une zone protégée, désormais classée parc national et gérée par l'agence nationale *SANParks*. Nécessitant près de 12 mégawatts (MW) de puissance, ce sont donc les télescopes et les infrastructures informatiques qui produiront l'essentiel des émissions de dioxyde de carbone (CO₂). En conséquence, le SKAO s'est fixé pour objectif d'atteindre 90 % d'électricité d'origine renouvelable sur les sites des antennes ainsi que dans les centres de données où le refroidissement des ordinateurs est particulièrement énergivore.

(1) Une station d'épuration anaérobie traite les eaux usées sans oxygène grâce à des bactéries. Elle dégrade la matière organique en biogaz et en boues stabilisées. Elle consomme moins d'énergie et rejette moins de boues que les stations d'épuration recourant au traitement aérobie, avec oxygène.

II. L'ADHÉSION DE LA FRANCE À L'ORGANISATION PRÉSENTE UN INTÉRÊT SCIENTIFIQUE ET INDUSTRIEL MAJEUR TOUT EN REVÊTANT UNE PORTÉE DIPLOMATIQUE IMPORTANTE

A. PAR SON ADHÉSION, LA FRANCE FERAIT VALOIR SA VOIX DANS UN SECTEUR PROMETTEUR POUR LA RECHERCHE ET LE SECTEUR INDUSTRIEL

1. Une participation à l'observatoire renforcerait la position scientifique et diplomatique française à l'international

La communauté scientifique française est impliquée depuis l'origine du projet SKA et a participé aux études techniques préparatoires notamment via l'action du Centre national de la recherche scientifique (CNRS). Ce dernier fut par ailleurs l'un des membres fondateurs de l'organisation SKA mentionnée précédemment.

Toutefois, faute de financements lui permettant de payer sa contribution, le CNRS fut contraint de quitter la structure en 2011. Ce départ formel laissa la place à une coopération bilatérale permettant des participations temporaires à certains projets préparatoires appelés « SKA-éclaireurs ». Ces travaux de recherche ont servi à définir et améliorer les technologies qui seront mobilisées sur les infrastructures du SKAO. La France a apporté sa contribution à travers deux instruments : l'*electronic multibeam radio astronomy concept* (EMBRACE) ⁽¹⁾ et le *new extension in Nancay upgrading low frequency array* (NenuFAR) ⁽²⁾.

En parallèle, le CNRS et son institut national des sciences de l'univers (INSU) ont créé en 2016, conjointement avec l'observatoire de Paris, l'observatoire de la Côte d'Azur, l'université d'Orléans et l'université de Bordeaux, une coordination nationale, SKA-France, en charge de préparer une future insertion de la France au SKAO. Aujourd'hui dénommée Maison SKA France, ce groupement comprend de nouveaux partenaires académiques – l'Institut national de recherche en sciences et technologies du numérique (INRIA), la direction de la recherche fondamentale du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), ainsi que plusieurs entreprises de secteurs connexes : Air Liquide, Bull, Constructions navales et industrielles de la Méditerranée (CNIM), Kalray, Fabrication électronique de Dordogne (FEDD) et Thales Alenia Space.

Le projet SKA est ainsi devenu une priorité pour l'astronomie française et certains groupes industriels nationaux. Le livre blanc SKA-France 2017 ⁽³⁾, auquel

(1) EMBRACE est un démonstrateur de la technologie du réseau phasé dense mobilisée en particulier dans le cadre des installations SKA-Mid pour les fréquences comprises entre 500 et 1500 MHz.

(2) Le radiotélescope NenuFAR, précurseur du SKA-Low et situé à Nançay dans le Cher, est une extension du radiotélescope européen low frequency array (LOFAR). Il s'agit d'un vaste réseau d'antennes radio qui observent la gamme spectrale la plus basse accessible depuis le sol, de 10 à 87 MHz.

(3) Chiara Ferrari et coll., French SKA White Book - The French Community towards the Square Kilometre Array, 19 décembre 2017.

ont contribué 178 auteurs, témoigne du fort engagement d'une communauté de plus de 400 chercheurs. Il met en lumière la diversité des intérêts scientifiques de la France en termes d'astrophysique, de cosmologie et de physique fondamentale. Cette implication s'est traduite au niveau ministériel par une réflexion sur la participation du pays à l'observatoire et, dans un premier temps, sur l'inscription du projet SKA dans notre stratégie nationale des infrastructures de recherche ⁽¹⁾. À l'échelon européen, ce projet est également reconnu, depuis 2016, en tant qu'élément clé de la feuille de route du forum stratégique européen sur les infrastructures de recherche (ESFRI) ⁽²⁾. L'adhésion de la France au SKAO constituerait donc un aboutissement des efforts entrepris au cours des dernières années en consolidant la position des scientifiques français à l'international.

Composante importante de la politique d'influence, la diplomatie scientifique française serait également renforcée par une telle adhésion. En effet, l'intégration au sein de l'observatoire participerait pleinement à la réalisation des cinq objectifs de notre stratégie de coopération en la matière :

- en accroissant la visibilité, l'influence et l'attractivité de la recherche française à l'échelle mondiale ;
- en établissant des partenariats basés sur l'excellence et en renforçant davantage l'engagement de la France sur les enjeux scientifiques globaux ;
- en promouvant la recherche pour le développement et en associant des entreprises aux actions et aux financements français ;
- en favorisant et en finançant la mobilité internationale des chercheurs ;
- en raffermissant le soutien du réseau à l'innovation, à travers le développement de partenariats public-privé.

Plus spécifiquement, le projet SKA cristallise plusieurs priorités nationales en termes de développement des liens bilatéraux avec les pays africains, de présence dans la région Indopacifique et de soutien aux grandes infrastructures de recherche multilatérales. L'annonce de l'intention française de rejoindre le SKAO lors de la visite d'État du président de la République en Afrique du Sud, en mai 2021, a déjà fait de ce projet un marqueur structurant de la relation avec Pretoria. La ratification de l'accord du 11 avril 2022 permettrait ainsi de concrétiser le dialogue politique des dernières années et de s'inscrire dans la lignée des récents échanges ayant eu lieu en 2025 lors du G20 en Afrique du Sud.

(1) *Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, Stratégie nationale des infrastructures de recherche, édition 2021, 2022, p. 32.*

(2) *ESFRI, « Roadmap 2021 – Strategy report on research infrastructures », novembre 2021, 243 pages.*

2. La ratification de l'accord se traduirait par des retombées industrielles significatives pour la France

Outre l'apport scientifique et diplomatique, l'adhésion au SKAO emporterait des effets économiques positifs pour les industriels français. Au cœur des négociations ayant précédé la signature de la convention du 12 mars 2019, le principe de « juste retour sur investissement » (*fair work return*) a été établi de façon égalitaire pour toutes les parties en fonction de leur contribution. Fixé à 70 %, et au regard des sommes engagées pour la phase SKA1, ce retour sur investissement est estimé, pour la France, à 18,5 millions d'euros ⁽¹⁾. Il devrait principalement profiter au groupe Atos et à Eviden, sa filiale spécialisée dans l'informatique en nuage (*cloud computing*) et dans le traitement des mégadonnées (*big data*). Cette entreprise française a en effet conclu un contrat avec l'observatoire, le 14 novembre 2025, et assurera la réalisation des deux centres de calculs situés à proximité des infrastructures, l'un en Afrique du Sud, l'autre en Australie.

Ces *science data processing centres* (SDP) seront au cœur du réseau SKA et traiteront un volume de données équivalent à plus de un million de flux Netflix en 4K. Après réduction du flot par étalonnage, les signaux seront ensuite transmis vers d'autres infrastructures régionales, les *SKA regional centres* (SRC), pour être analysés par les scientifiques.

Ce sont ainsi près de 700 pétaoctets ⁽²⁾ de données qui transiteront par ces centres chaque année. Les SRC seront situés sur cinq continents et reliés par un réseau de câbles sous-marins.

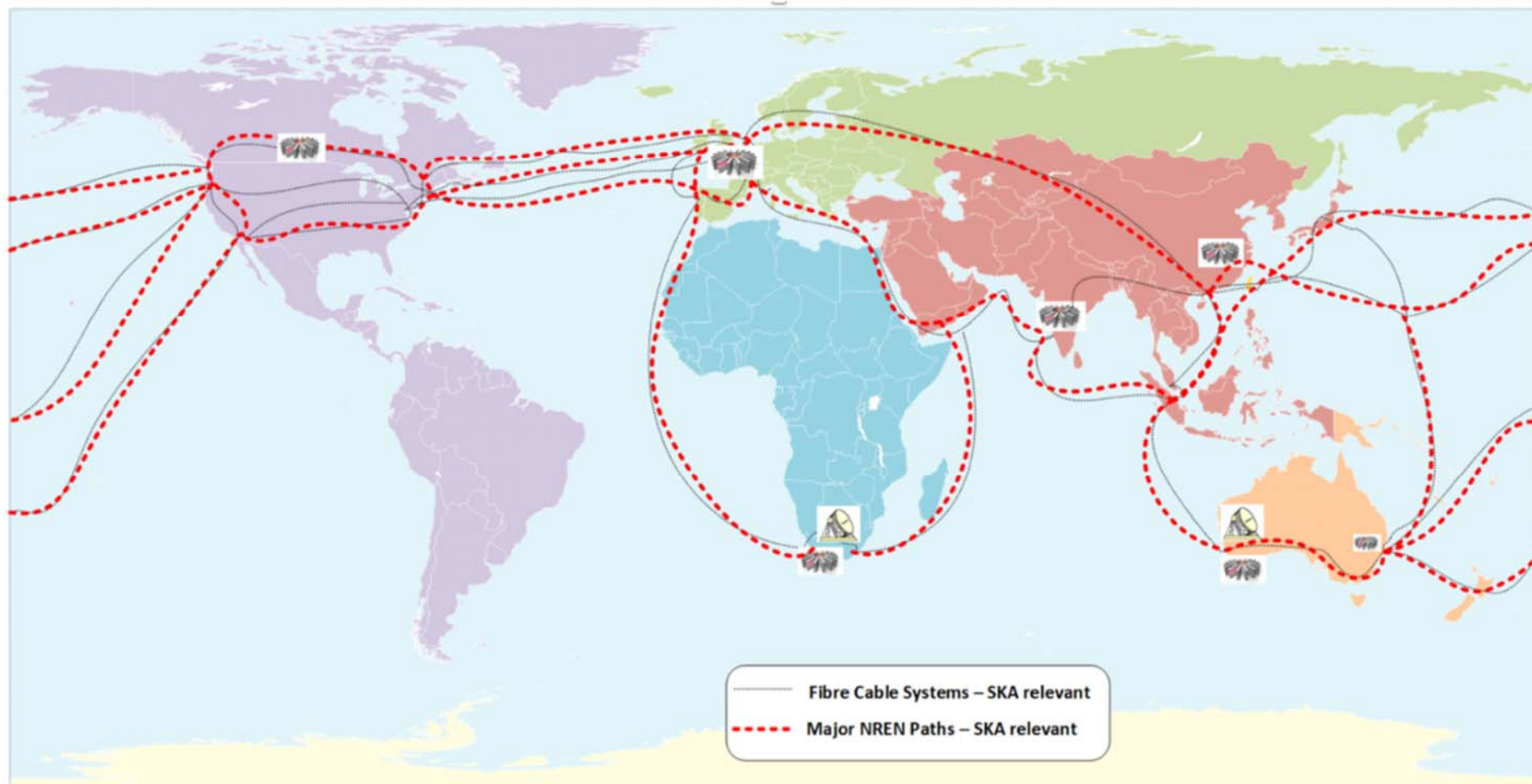
À terme, d'autres secteurs industriels et technologiques pourraient bénéficier des retombées du projet SKA. Le développement des capacités de calcul devrait notamment profiter au domaine de l'intelligence artificielle. La réalisation du réseau SKA figure ainsi parmi les cas d'usage principaux du programme numérique pour l'exascale (NumPEX), financé par le plan d'investissement France 2030 et destiné au développement de logiciels, de méthodes d'IA, de modèles de programmation, de flux de travail de données et d'outils adaptés à l'exascale ⁽³⁾. Le retour d'expérience d'Eviden sur ce sujet pourrait également être partagé au travers de structures publiques telles que le laboratoire français *Extreme computing lab for computing astronomical telescopes* (ECLAT) ⁽⁴⁾ dont l'entreprise est membre aux côtés du CNRS.

(1) En euros 2021.

(2) Le pétaoctet est une unité de mesure de données numériques. 1 pétaoctet équivaut à 1 000 téraoctets soit un million de gigaoctets.

(3) L'exascale ou l'informatique exascale désigne le recours à des supercalculateurs capables de traiter un exaflop, soit un milliard de milliards de calculs par seconde.

(4) Ce laboratoire regroupe le CNRS, l'INSU, l'INRIA, l'observatoire de la Côte d'Azur, l'observatoire de Paris-PSL et Eviden.



Localisation et maillage des futurs centres régionaux du SKAO (SRC)

Au-delà, le projet SKA constitue un véritable incubateur pour le développement de nouvelles technologies. Les contraintes logistiques et techniques inhérentes à la construction des sites d'observation imposent de trouver des solutions en termes d'approvisionnement énergétique, de stockage électrique et de production verte. Plusieurs entreprises françaises – Bertin énergie, Air Liquide, Électricité de France (EDF), Total Énergies, Kemiwatt – se sont ainsi déjà positionnées pour étudier la faisabilité d'une projection en Afrique du Sud. De futurs appels d'offres seront lancés par le SKAO pour répondre aux besoins du réseau. Le CNRS et le ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'espace accompagneront alors les industriels pour déposer des dossiers de candidature. À cet effet, un agent de liaison a été désigné au sein du CNRS.

B. L'ACCORD FIXE LES OBLIGATIONS ET LES DROITS DE LA FRANCE AU SEIN DE L'ORGANISATION

1. En adhérant à l'observatoire, la France s'engage à s'acquitter d'une contribution financière de 48 millions d'euros sur la période 2022-2030

Le coût total du projet SKA a été établi à 1 986 millions d'euros en 2020 pour la période 2021-2030. Cette estimation se décompose en 1 282 millions d'euros pour la construction, 664 millions d'euros pour les coûts d'opération et 40 millions d'euros pour le programme de développement. Les pays hôtes, qui contribuent aux coûts de construction et d'opération du SKAO – Afrique du Sud, (14 %) Australie (14 %) et, Royaume-Uni (15 %) –, s'engagent à une hauteur substantielle pour la construction (47 %) et pour les coûts d'opération (48 %). Afin de sécuriser les financements, le retrait d'un des membres n'est pas possible au cours des dix premières années du projet.

Au titre de sa future participation, la France devra s'acquitter d'une contribution financière estimée, en 2022, à 48 millions d'euros. Ce total, mentionné au quatrième considérant de l'accord du 11 avril 2022, représente environ 2 % du budget du SKAO et serait versé annuellement selon le calendrier suivant :

Année	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Montant <i>(en millions d'euros, valeur 2021)</i>	6	6	6	6	4	4	4

En amont, un accord entre le CNRS et le SKAO a formalisé, dès 2022, l'engagement de la France dans la structure et a permis la participation des laboratoires et entreprises nationales aux premières étapes de la construction des télescopes. À ce titre, pour les exercices 2022 et 2023, 12 millions d'euros ont d'ores et déjà été versés.

Par ailleurs, le ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'espace a décidé d'indexer la participation française à hauteur de 4 % afin de

compenser la non-indexation des années précédentes. Ces revalorisations tiennent notamment compte de l'inflation et sont déterminées par le Conseil du SKAO. Par la voix de ce dernier, les États membres ont également décidé l'instauration d'une contribution additionnelle d'un montant de 158 millions d'euros à compter de 2025. Cette rallonge est justifiée par les surcoûts engendrés par la pandémie de covid-19 et la guerre en Ukraine. Dans ce cadre, la participation française s'élèverait *a minima* à 3,8 millions d'euros et au maximum à 4,6 millions d'euros ⁽¹⁾. Après réévaluation, la part de la France devrait correspondre à 2,86 % du budget de l'organisation sur la période 2022-2030, ce qui en ferait le huitième contributeur en volume.

Pays	Part des contributions
Afrique du Sud	17,64 %
Allemagne	1,30 %
Australie	18,06 %
Canada	7,42 %
Chine	10,35 %
Espagne	2,21 %
France	2,86 %
Inde	5,96 %
Italie	6,63 %
Pays-Bas	2,59 %
Portugal	1,87 %
Royaume-Uni	19,97 %
Suède	1,49 %
Suisse	1,65 %

Les crédits prévus pour honorer ces engagements sont inscrits à l'action 18 *Recherches scientifiques et technologiques dans le domaine de l'environnement* du programme 172 *Recherches scientifiques et technologiques pluridisciplinaires* de la mission « *Recherche et enseignement supérieur* » de la loi de finances.

Enfin, le financement des centres de données régionaux, les SRC, n'est pas compris dans l'enveloppe du SKAO. Il reviendra aux membres de mobiliser les ressources nécessaires à leur exploitation. Le budget global de ce futur réseau des SRC n'est pas encore défini et fait l'objet de discussions entre États. Dans cette perspective, la France pourra s'appuyer sur des infrastructures déjà existantes, telles que le grand équipement national de calcul intensif (GENCI), sur le

(1) Cette fourchette variable dépend de l'adhésion potentielle de nouveaux membres, à savoir la Corée du Sud et le Japon.

supercalculateur de l'entreprise commune européenne pour le calcul à haute performance (EuroHPC) ainsi que sur des projets de recherches récemment achevés, à l'instar de l'*advanced european network of e-infrastructures for astronomy with the SKA* (AENEAS).

2. L'accord comprend six articles définissant les modalités de participation de la France à l'observatoire

L'accord entre le gouvernement de la République française et le SKAO est composé de six articles qui déterminent le cadre juridique et financier de l'adhésion de la France à cette organisation intergouvernementale.

L'article 1^{er} définit l'objet de l'accord, soit l'adhésion de la France au SKAO et l'acquisition du statut de partie à la convention portant création de l'observatoire.

L'article 2 précise les conséquences de la participation française. En rejoignant le SKAO, la France bénéficie de l'ensemble des droits dévolus aux autres États membres. Elle obtient un accès aux programmes scientifiques et siège aux organes de gouvernance de l'observatoire, en particulier au Conseil du SKAO. Elle s'engage à respecter les décisions et les accords conclus par les instances de l'organisation.

L'article 3 fixe les modalités de la participation financière française en renvoyant aux programmes de financement prévus par la convention du 12 mars 2019 ainsi qu'au calendrier de financement de la construction et des opérations (COFS).

L'article 4 précise la date d'entrée en vigueur de l'accord, celui-ci prenant effet trente jours après le dépôt de l'instrument d'adhésion auprès du dépositaire de la convention instituant le SKAO.

L'article 5 traite du règlement des différends entre membres ou avec le SKAO. Tout litige relatif à l'interprétation ou à l'application de l'accord doit être réglé en priorité par voie de consultation et de négociation à l'amiable. À défaut, le différend est porté devant la Cour permanente d'arbitrage (CPA).

L'article 6 inclut dans l'accord la convention instituant le SKAO et ses deux annexes, le protocole sur les privilèges et immunités (annexe A) et le protocole financier (annexe B).

La ratification de cet accord recoupe plusieurs enjeux stratégiques pour notre pays en termes de connaissances académiques, de progrès technologiques, de perception environnementale, de développement industriel et de crédibilité diplomatique. Alors que le contexte international est marqué par une remise en question des bénéfices de la science, la France gagnerait à faire valoir son excellence en la matière en s'associant à des pays amis dans l'intérêt de la communauté mondiale.

EXAMEN EN COMMISSION

Le mercredi 7 janvier 2026, à 10 heures 30, la commission examine le projet de loi autorisant l'approbation de l'accord entre le Gouvernement de la République française et l'Observatoire du réseau d'antennes d'un kilomètre carré (SKAO) relatif à l'adhésion de la France à l'Observatoire.

M. le président Bruno Fuchs. Projet majeur dans le domaine de l'astrophysique, l'observatoire du réseau d'antennes d'un kilomètre carré (SKAO) est une infrastructure internationale d'observation spatiale, déployée sur deux sites : en Australie et en Afrique du Sud.

Cet observatoire a pour objet l'étude de questions scientifiques allant de la naissance de notre univers aux origines de la vie. Grâce à une capacité d'observation unique au monde, SKAO, qui constitue un saut qualitatif important par rapport aux instruments existants, est porteur d'espoirs scientifiques.

M. Jean-Paul Lecoq, rapporteur. La première question que j'ai posée aux astrophysiciens ainsi qu'aux différents acteurs des ministères de la recherche et des affaires étrangères que j'ai auditionnés était de savoir si, pour bien parler de ce sujet, il était nécessaire de se rendre sur place. Leur réponse, unanime, était : « évidemment ». Comme je n'ai pas pu le faire, faute de fonds pour cela...

M. le président Bruno Fuchs. Mais, monsieur le rapporteur, vous n'en avez pas formellement fait la demande ! Notre commission dispose de crédits suffisants pour faire les missions nécessaires. Celle-ci aurait probablement pu être programmée si une demande m'avait été formulée.

M. Jean-Paul Lecoq, rapporteur. Quoi qu'il en soit, ma présentation s'en trouvera peut-être quelque peu altérée.

Connaître et comprendre l'espace est un vaste sujet scientifique, dont l'importance en géopolitique est trop souvent oubliée ou occultée. La recherche spatiale à l'œuvre dans cet observatoire a un triple intérêt : scientifique, industriel et géopolitique.

Tout a commencé lorsque des scientifiques de différentes nationalités se sont rassemblés à la fin des années 1980 pour poursuivre un même projet : connaître la période de ré-ionisation, notamment grâce à l'hydrogène, et comprendre la formation des premières étoiles. Ils se sont organisés de manière assez informelle jusqu'à la création, en 2011, de l'organisation SKA, une société privée à but non lucratif. Celle-ci permettait de collecter des financements, de mettre en œuvre les projets de construction de télescopes et de sélection des sites d'implantation.

Au vu de l'ampleur prise par le projet – des dizaines de milliers d'antennes installées sur des continents différents, une projection financière significative nécessitant une sécurisation sur le long terme, une durée d'exploitation conséquente, l'implication directe de plusieurs États, la nécessité d'une gestion équitable des données collectées –, il est apparu impératif de structurer le tout sous la forme d'une organisation intergouvernementale, à l'instar

de ce qui a été fait pour l'observatoire européen austral et l'organisation européenne pour la recherche nucléaire (CERN).

À cette fin, des négociations internationales ont débuté en 2015, aboutissant à la signature de la convention portant création de l'observatoire du réseau d'antennes d'un kilomètre carré, à Rome, le 12 mars 2019, par l'Afrique du Sud, l'Australie, la Chine, l'Italie, les Pays-Bas, le Portugal et le Royaume-Uni. Ce texte est entré en vigueur le 15 janvier 2021. Par la suite, six autres pays ont rejoint l'organisation : la Suisse en 2022, l'Espagne en 2023, le Canada, l'Allemagne et l'Inde en 2024, puis la Suède en 2025. Sans en être membres mais dotés d'un statut d'observateur, trois pays contribuent activement aux travaux du SKAO et pourraient à terme adhérer à l'observatoire : la Corée du Sud, la France et le Japon. Huit pays africains partenaires sont également engagés dans une action coordonnée visant à soutenir les futurs développements du projet SKA dans la région : le Botswana, le Ghana, le Kenya, Madagascar, Maurice, le Mozambique, la Namibie et la Zambie.

Parmi les avancées scientifiques et technologiques parallèles aux recherches spatiales, on peut relever la transmission de données en très grande quantité et leur réception de bonne qualité sans perte.

Lors de nos auditions, les représentants des ministères ont également mentionné le respect de l'environnement. Certes, le bilan carbone du projet ne pourra pas être nul mais tout est mis en place pour que les émissions soient les plus faibles possible. Ces recherches constantes pour améliorer tout l'environnement des télescopes pourront être utilisées dans d'autres secteurs pour rendre nos actions un peu moins néfastes pour la planète.

S'agissant des conséquences sociales mentionnées dans l'étude d'impact, les ministères ont expliqué que les antennes ne pouvaient être installées que dans des endroits quasi déserts, pour éviter toute perturbation des signaux, qui fausserait les données. Notons d'ailleurs que la simple alimentation électrique de ces antennes est déjà une gageure, puisqu'un fil électrique génère des ondes.

Dans ces zones désertiques vivent des peuples autochtones. Par exemple, en Australie, la terre où sont installées les antennes appartient à une tribu qui possède des artefacts aux endroits précis où elles devaient être posées initialement. Les scientifiques ont travaillé avec la tribu et une anthropologue pour modifier le lieu d'implantation afin que la culture de la tribu soit respectée. Par ailleurs, les tribus peuvent participer aux réunions du conseil de l'observatoire pour être informées des décisions prises et pouvoir l'alerter lorsqu'un projet ou une action nuirait à leur culture. De plus, afin d'inclure au mieux les populations locales, des programmes de formation existent. En Afrique du Sud, ce sont principalement des femmes qui sont formées. L'espoir du ministère français de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'espace est que ces formations permettent à certaines femmes de devenir ingénieures près de chez elles.

Quel est l'intérêt pour la France de faire partie de cet observatoire né de la volonté d'un consortium de scientifiques internationaux et d'industriels ? Le Centre national de la recherche scientifique (CNRS) a été très impliqué dans le passé, avant de devoir se retirer pour des raisons financières. Ce projet ne peut aboutir en France que si les scientifiques, les industriels et l'État marchent ensemble. S'il a un certain coût pluriannuel, il représente aussi un investissement pour la science. En devenant membre, la France obtient le droit de vote au sein du conseil et peut avoir une influence sur ses décisions et ses orientations. Les prévisions pour les années à venir ont été faites en prenant en compte la participation de la France au projet. Ne pas y adhérer mettrait donc en péril le calendrier d'avancée des recherches. De plus,

dans la mesure où la France contribue financièrement depuis des années, ne pas rejoindre l'observatoire représenterait une perte complète de retour sur investissement.

Enfin, il ne faut pas oublier la dimension géopolitique. Renforcer nos liens culturels, scientifiques, éducatifs, de jumelage et de coopération au sens large permet de garder des enceintes de discussion ouvertes. L'histoire nous l'a montré : en juillet 1975, en pleine guerre froide, le vaisseau soviétique Soyouz et le vaisseau américain Apollo se sont arrimés. Cette première mission conjointe était un symbole de trêve. Pendant deux jours, les équipages ont vécu ensemble et ont envoyé des messages de paix et de coopération. Les scientifiques peuvent servir la diplomatie en faveur de la paix. Cet observatoire a par ailleurs déjà permis de rapprocher l'Afrique du Sud et la France. Il nous permettra également d'améliorer nos relations bilatérales avec tous les autres membres non européens.

Quant à l'argument du coût que peut représenter l'adhésion de la France à SKAO, voyez plutôt l'exemple des États-Unis : le président Trump a d'abord décidé d'assécher les crédits alloués à la recherche et à la science, puis il s'est attaqué aux crédits consacrés à l'éducation et à la santé. Ce n'est pas ce que je veux pour notre pays.

Pour conclure, je tenais à vous avouer qu'une audition avec un astrophysicien, c'est une vraie expérience : un voyage immobile dans des espaces inimaginables.

M. le président Bruno Fuchs. Ce modèle de collaboration entre les scientifiques et les tribus autochtones est un élément de plus qui aurait justifié un déplacement de votre part, monsieur le rapporteur.

Nous en venons aux interventions des orateurs des groupes politiques.

M. Aurélien Taché (LFI-NFP). Je découvre ce très enthousiasmant projet à l'occasion de l'examen du texte. Voilà la preuve que l'humanité, quand elle le décide, peut encore faire autre chose qu'organiser des conflits et que nous avons dans le domaine de la coopération scientifique des projets formidables à construire, à un moment où Donald Trump remet en cause le principe même de la coopération. C'est très impressionnant de savoir que nous pourrions peut-être disposer de télescopes qui permettront d'observer la formation des premières étoiles.

Je note que ce sont des pays anglophones qui sont à l'initiative de cet ambitieux projet. J'espère que les pays francophones arriveront à en mener d'une telle ampleur. C'est évidemment très positif que la France s'associe à ces travaux. Renforcer nos liens avec l'Afrique du Sud et notre présence en Asie-Pacifique est une bonne chose. C'est pourquoi nous soutiendrons ce texte et trouverions formidable que notre commission puisse aller voir sur place cette belle réalisation humaine que sont les antennes.

M. Jean-Paul Lecoq, rapporteur. Lors des auditions, j'ai demandé pourquoi le projet avait été implanté en Afrique du Sud et en Australie, sachant que l'observatoire européen austral est au Chili ; on m'a répondu que c'est parce que l'hémisphère Sud est tourné en permanence vers le centre de notre galaxie. Or, cet hémisphère comprend peu d'espaces francophones.

Cela étant, la France a toujours joué un rôle important en astronomie. Je ne doute d'ailleurs pas que nos scientifiques nous écoutent ce matin.

M. le président Bruno Fuchs. Le président de la République également, qui doit être ravi de voir que vous soutenez sa vision stratégique...

M. Jean-Paul Lecoq, rapporteur. Le président de la République, qui me considère comme un individu potentiellement dangereux, m'écoute toujours quand j'explique quelque chose !

M. Pierre Pribetich (SOC). Le projet SKA incarne ce que la coopération internationale peut produire de plus ambitieux au service de ce qui devrait nous réunir : la connaissance et l'innovation. En construisant le plus grand télescope au sol jamais conçu, l'humanité se dote d'un outil sans équivalent pour mieux comprendre ses origines, l'évolution de l'univers et les lois fondamentales qui le gouvernent. Concrètement, SKAO ouvrira la voie à de nombreuses découvertes, qu'il s'agisse de la formation des planètes, de l'origine des champs magnétiques et cosmiques ou des trous noirs. En tant qu'ancien chercheur au CNRS en électromagnétisme et professeur des universités, je ne peux que m'émerveiller devant la création d'un tel réseau, qui rassemblera 200 télescopes paraboliques et 130 000 antennes phasées et qui couvrira une gamme d'ondes allant de 50 mégahertz à 20 gigahertz.

Implanté en Afrique du Sud et en Australie, le SKA est aussi un projet fortement politique, au sens noble du terme. Il repose sur un traité international, une gouvernance partagée et une vision de long terme. Enfin, avec beaucoup d'humilité, il poursuit la recherche de signaux extraterrestres, comme les programmes Search for Extra-Terrestrial Intelligence (SETI).

La France, après avoir dû un temps renoncer, a fait le choix responsable et stratégique de rejoindre le projet en 2022. Cet engagement traduit une conviction très forte : investir dans les grandes infrastructures de recherche, c'est investir dans notre souveraineté scientifique, dans notre capacité d'innovation et dans notre compétitivité industrielle. En soutenant le SKA, la France affirme ainsi sa place parmi les grandes nations scientifiques, mais surtout sa volonté de bâtir un avenir fondé sur la connaissance, la coopération et la responsabilité.

Notre groupe votera avec enthousiasme en faveur du texte. Toutefois, monsieur le rapporteur, nous souhaitons appeler votre attention sur un point essentiel : malgré la forte ambition de la réduire, notamment en atteignant 90 % d'électricité d'origine renouvelable, l'empreinte carbone du projet demeure très importante. Il suffit de voir les projections statistiques relatives à la consommation énergétique de l'intelligence artificielle, qui va poser un problème à nos sociétés. Existe-t-il une estimation globale des émissions de CO₂ pendant tout le cycle de vie du projet ? Quels leviers supplémentaires sont envisagés pour réduire son empreinte carbone, afin de nous conformer à l'évolution de notre monde ?

M. Jean-Paul Lecoq, rapporteur. Je suis aussi enthousiasmé que vous par le sujet mais, vous, vous en parlez en spécialiste.

Du point de vue des émissions de carbone, l'exploitation des données pose toujours problème car les calculateurs et autres outils qu'elle utilise consomment énormément d'énergie. Il faut savoir d'où provient cette énergie et comment elle sera produite et utilisée. Ce travail d'analyse est en cours et se poursuivra aussi localement mais une part importante de l'énergie nécessaire sera certainement produite sur place et d'origine solaire, car les déserts bénéficient d'un fort ensoleillement. Toutefois, cela laisse entier le problème de la quantité consommée.

À l'heure où l'on parle d'agressions bien concrètes entre États, l'observation de l'espace peut paraître bien éloignée de notre quotidien et on se demande parfois pourquoi on la finance. Je rappelle toutefois que, récemment, tous les Airbus sont restés cloués au sol à cause d'éruptions solaires et de dégagements d'ondes : l'espace peut donc avoir un impact

immédiat et concret sur notre vie quotidienne. Il importe donc d’avoir un regard sur l’ensemble de notre environnement, bien au-delà de la ceinture orbitale de la Terre.

Mme Laetitia Saint-Paul (HOR). Monsieur le rapporteur, je suis ravie que, pour une fois, vous souteniez un projet présidentiel. Cela montre que l’espace est un sujet qui dépasse tous les clivages. En vous entendant regretter de ne pas avoir pu vous rendre sur place, j’ai pensé à Sophie Adenot, l’astronaute française qui fait notre fierté et qui rejoindra la station spatiale internationale dans moins de quarante jours, et je vous imaginais participant à ce déplacement.

Toujours est-il que le groupe Horizons & Indépendants, qui soutient les avancées dans les domaines de la cosmologie, de l’astrophysique des galaxies, de la formation stellaire, du champ magnétique cosmique et de la détection d’ondes gravitationnelles, votera ce texte.

M. Jean-Paul Lecoq, rapporteur. Je n’ai rien à ajouter aux compliments de ma collègue, que je remercie de son invitation à partir dans la station spatiale. Comme je le disais notamment à Thomas Pesquet lorsqu’il a été reçu par notre commission, je serais plutôt candidat pour être parmi les premiers voyageurs vers Mars.

M. Aurélien Taché (LFI-NFP). Vous préférez la planète rouge, monsieur le rapporteur, ce qui finalement est cohérent.

M. Jean-Paul Lecoq, rapporteur. En effet, puisqu’on nous a annoncé que la vie s’arrêterait, et quitte à choisir, je préférerais ce voyage, même si c’est un aller simple : j’aurais beaucoup de choses à raconter et les antennes et radars que nous créons aujourd’hui devraient précisément permettre de réceptionner ces informations.

L’espace, c’est un rêve de gosse – je me souviens de l’album de Tintin Objectif Lune.

M. le président Bruno Fuchs. Je comprends mieux, monsieur le rapporteur, que vous renonciez au déplacement que vous auriez pu faire en Australie et en Afrique du Sud pour tout miser sur Mars. Cela vous honore !

Mme Constance Le Grip (EPR). Monsieur le rapporteur, votre travail nous permet de rêver, de nous échapper très loin et de porter notre regard au-delà des étoiles, vers le puissant Univers. J’ai, comme vous, découvert ce projet à la faveur de l’examen du texte que nous examinons. Il est bon d’avoir, dans la vie politique et parlementaire, des moments où l’on peut se pencher sur un objet inconnu qui nous émeut et nous impressionne à mesure que nous l’approchons, le souffle coupé par les perspectives qu’il offre, ainsi que des moments d’unanimité et de consensus. La science et le progrès peuvent autoriser ces moments de concorde.

Le projet de loi fixe précisément le cadre juridique et financier de la participation française à une infrastructure internationale majeure de radioastronomie déployée sur deux sites, en Australie et en Afrique du Sud. La France, impliquée dans le projet SKA depuis le début des années 2000, participe déjà à cette infrastructure. SKAO est née d’un effort scientifique de très longue durée et cette ambition spectaculaire a permis à la France de déployer son excellence en matière de recherche astronomique pour faire de la diplomatie scientifique en activant un levier d’influence scientifique et industrielle autour d’un projet d’intérêt majeur pour l’humanité et en développant des partenariats stratégiques, notamment avec l’Afrique du Sud. La pleine intégration de notre pays dans ce projet renforcera sa visibilité et son attractivité scientifique.

Pour toutes ces raisons, le groupe EPR votera avec enthousiasme et conviction ce projet de loi.

M. Jean-Paul Lecoq, rapporteur. Merci de votre analyse, à laquelle je n'ai rien à ajouter. Je salue votre engagement en faveur du texte et du rapport.

M. Frédéric Petit (Dem). Monsieur le rapporteur, votre travail est enthousiasmant. J'ai bien noté que vous vous rapprochiez de Mars et avez même imaginé un rapprochement avec... Jupiter.

Les Démocrates voteront évidemment ce texte. J'insisterai toutefois sur deux points.

Le premier, en écho à la discussion qui a eu lieu à propos des engagements du président de la République et du rôle du Parlement, porte sur la séparation des pouvoirs, principe auquel, en tant que démocrate, je crois profondément mais dont l'application me semble très brouillonne dans le débat politique actuel. La séparation des pouvoirs, où chacun a son rôle, ne signifie pas la lutte entre des pouvoirs exécutif et législatif qui devraient se détruire l'un l'autre. Il est donc tout à fait normal que le président de la République prenne des engagements, qui relèvent de son rôle, mais je ne me sens pas obligé de voter ce texte pour autant.

L'autre point porte sur la diplomatie d'influence, que j'appelle pour ma part « diplomatie des sociétés civiles » : ce travail international nécessite des outils qui ne relèvent pas à 100 % de la puissance publique et je me réjouis que ce soit un collègue issu de la gauche qui le constate. De tels projets ne peuvent être conçus en administration centrale : nous sommes obligés d'inventer de nouveaux outils. Le privé non lucratif n'est pas le diable. Il n'y a pas d'autre solution pour mener un travail planétaire dans ce domaine et ce mécanisme est de plus en plus fréquent dans les domaines scientifique, artistique ou médical ; je pense par exemple à la fondation Alliance internationale pour la protection du patrimoine dans les zones en conflit (Aliph). On peut faire de la géopolitique au nom de la nation avec des projets qui ne sont pas portés entièrement par l'administration centrale mais que nous contrôlons quand même.

M. Jean-Paul Lecoq, rapporteur. Je partage cette analyse. Pour les scientifiques comme pour les sportifs et les acteurs des arts, les rencontres internationales sont gage de paix, d'échanges et de partage de culture. Tout ce qui favorise les liens entre les peuples dans le cadre de ces activités est bon.

Pour ce qui est des rapports entre privé et public, les États s'engagent de plus en plus et vont prendre le pas sur le privé. Lorsqu'un projet est créé à l'initiative du privé, par exemple par une fondation, c'est souvent parce que son intérêt scientifique n'est pas immédiatement reconnu par les États mais par d'autres acteurs, financeurs privés ou instituts. Lorsque le projet s'installe, les États viennent s'y accrocher et prendre une part majeure dans son financement mais ce projet n'aurait pu exister sans initiative privée, car – et ce n'est, dans ma bouche, pas un reproche – le fait d'utiliser des deniers publics ne favorise guère l'aventure.

Voilà une quinzaine d'années, les communes ont eu le droit de mener des expérimentations ; même si elles échouaient en utilisant de l'argent public, ces expérimentations étaient reconnues comme gage de progrès. Elles ne sont cependant pas encore tout à fait acceptées à l'échelle nationale ou centrale, où chaque denier public doit être justifié et produire un retour sur investissement. Le privé prend peut-être plus de risques mais lorsque le projet démontre son utilité publique et son intérêt général, il est bon que les États

viennent y prendre toute leur part, pour des montants certainement plus élevés que celui des fonds privés. Ce cheminement est intéressant.

M. le président Bruno Fuchs. On pourrait débattre de la dernière partie de votre analyse, relative au financement des projets scientifiques mais c'est vous le rapporteur et je n'ouvrirai pas cette discussion.*

Article unique (autorisation de l'approbation de l'accord entre le Gouvernement de la République française et l'observatoire du réseau d'antennes d'un kilomètre carré relatif à l'adhésion de la France à l'observatoire, signé à Londres le 11 avril 2022)

La commission **adopte** l'article unique **non modifié**.

L'ensemble du projet de loi est ainsi **adopté**.

**ANNEXE 1 :
TEXTE DE LA COMMISSION DES AFFAIRES ÉTRANGÈRES**

Article unique

Est autorisée l'approbation de l'accord entre le Gouvernement de la République française et l'Observatoire du réseau d'antennes d'un kilomètre carré (SKAO) relatif à l'adhésion de la France à l'Observatoire (ensemble une annexe), signé à Londres le 11 avril 2022, et dont le texte est annexé à la présente loi.

ANNEXE 2 : LISTE DES PERSONNES AUDITIONNÉES PAR LE RAPPORTEUR

- **Ministère de l'Europe et des affaires étrangères**

- **M. Audelin Chappuis**, sous-directeur de la sous-direction de l'enseignement supérieur et de la recherche ;
- **Mme Rosalie Prat**, rédactrice à la sous-direction de l'enseignement supérieur et de la recherche ;
- **Mme Valeria Manzione**, rédactrice à la mission des accords et des traités ;

- **Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'espace**

- **M. Guy Perrin**, chargé de mission astronomie et recherches spatiales ;
- **M. Éric Aubry**, chargé de mission au département des infrastructures de recherche.