

N° 407

# SÉNAT

SESSION ORDINAIRE DE 2024-2025

Enregistré à la Présidence du Sénat le 5 mars 2025

## RAPPORT

FAIT

*au nom de la commission des affaires étrangères, de la défense et des forces armées (1)  
sur 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  
(procédure accélérée),*

Par M. Jean-Pierre GRAND,

Sénateur

(1) Cette commission est composée de : M. Cédric Perrin, président ; MM. Pascal Allizard, Olivier Cadic, Mmes Hélène Conway-Mouret, Catherine Dumas, Michelle Gréaume, MM. André Guiol, Jean-Baptiste Lemoyne, Claude Malhuret, Akli Mellouli, Philippe Paul, Rachid Temal, vice-présidents ; M. François Bonneau, Mme Vivette Lopez, MM. Hugues Saury, Jean-Marc Vayssouze-Faure, secrétaires ; MM. Étienne Blanc, Gilbert Bouchet, Mme Valérie Boyer, M. Christian Cambon, Mme Marie-Arlette Carlotti, MM. Alain Cazabonne, Olivier Cigolotti, Édouard Courtial, Jérôme Darras, Mme Nicole Duranton, MM. Philippe Folliot, Guillaume Gontard, Mme Sylvie Goy-Chavent, MM. Jean-Pierre Grand, Joël Guerriau, Ludovic Haye, Loïc Hervé, Alain Houpert, Patrice Joly, Mmes Gisèle Jourda, Mireille Jouve, MM. Alain Joyandet, Roger Karoutchi, Ronan Le Gleut, Didier Marie, Thierry Meignen, Jean-Jacques Panunzi, Mme Évelyne Perrot, MM. Stéphane Ravier, Jean-Luc Ruelle, Bruno Sido, Mickaël Vallet, Robert Wienie Xowie.

Voir les numéros :

Sénat : 104 et 408 (2024-2025)



## SOMMAIRE

	<u>Pages</u>
<b>L'ESSENTIEL.....</b>	<b>5</b>
<b>A. PRESENTATION ET HISTORIQUE DU PROJET .....</b>	<b>7</b>
1. <i>Organisation et gouvernance .....</i>	<i>7</i>
2. <i>La genèse du projet .....</i>	<i>8</i>
3. <i>2000-2021 : Le long chemin vers l'adhésion française.....</i>	<i>9</i>
➤ <i>Une implication française dès l'origine .....</i>	<i>9</i>
➤ <i>Le retrait de la France en raison de problématiques budgétaires malencontreuses .....</i>	<i>9</i>
➤ <i>L'engagement de SKA-France.....</i>	<i>9</i>
➤ <i>2021 : la candidature française pour devenir le 13<sup>ème</sup> État membre de SKAO.....</i>	<i>10</i>
4. <i>Un projet « modulaire » sur le long terme.....</i>	<i>11</i>
➤ <i>2022-2030 : un déploiement des premières infrastructures en cours, avec déjà des résultats tangibles .....</i>	<i>11</i>
➤ <i>2030- ? : la finalisation de SKA1 .....</i>	<i>13</i>
➤ <i>... et au-delà.....</i>	<i>13</i>
<b>B. UN DÉFI TECHNOLOGIQUE INÉDIT .....</b>	<b>14</b>
1. <i>Un réseau d'antennes unique au monde... ..</i>	<i>14</i>
2. <i>... porteur de promesses exceptionnelles.....</i>	<i>18</i>
<b>C. LES ENJEUX DE DÉVELOPPEMENT DURABLE AU CENTRE DU PROJET.....</b>	<b>19</b>
1. <i>Un lien exemplaire avec les populations locales .....</i>	<i>19</i>
2. <i>Une démarche volontariste en matière de protection de l'environnement.....</i>	<i>20</i>
3. <i>L'attention prêtée à la préservation de la biodiversité .....</i>	<i>21</i>
4. <i>L'élaboration de puissants centres de données décarbonés grâce à la compétence française ..</i>	<i>21</i>
5. <i>Le double défi de la production électrique .....</i>	<i>22</i>
6. <i>L'engagement pour un ciel « sombre et calme » .....</i>	<i>23</i>
<b>D. IMPACTS ET ENJEUX POUR LA FRANCE.....</b>	<b>24</b>
1. <i>La contribution financière pour la phase « Deployment baseline » (2022-2030) .....</i>	<i>24</i>
2. <i>L'application du principe de « Juste retour sur investissement » .....</i>	<i>25</i>
3. <i>Un atout-clé en termes de diplomatie scientifique.....</i>	<i>26</i>
<b>E. LE CONTENU DE L'ACCORD.....</b>	<b>27</b>
<b>EXAMEN EN COMMISSION.....</b>	<b>31</b>
<b>ANNEXE 1 : LISTE DES PERSONNES AUDITIONNÉES .....</b>	<b>35</b>



## L'ESSENTIEL

Le présent projet de loi a pour objet l'approbation de l'accord, signé à Londres le 11 avril 2022, 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.

Projet phare dans le domaine de l'astrophysique, l'Observatoire du réseau d'antennes d'un kilomètre carré est une ambitieuse infrastructure internationale d'observation spatiale, déployée sur deux sites, en Australie et en Afrique du Sud, et qui devrait représenter, à terme, une surface collectrice d'environ 1km<sup>2</sup>. Il a pour objet l'étude des questions scientifiques essentielles allant de la naissance de notre univers aux origines de la vie. Grâce à sa capacité d'observation unique au monde, SKAO, qui constitue un saut qualitatif immense par rapport aux instruments existants, est porteur d'espoirs scientifiques augurant une révolution de notre compréhension de l'Univers.

Douze pays sont actuellement membres de cet Observatoire : l'Afrique du Sud, l'Allemagne, l'Australie, le Canada, la Chine, l'Inde, l'Italie, l'Espagne, les Pays-Bas, le Portugal, le Royaume Uni et la Suisse ; il compte en outre quatre « observateurs » dont la France. Cette dernière en effet avait dans un premier temps dû renoncer à adhérer au projet pour des raisons financières, avant de le réinscrire, en 2018, dans sa Stratégie nationale des infrastructures de recherche, ce qui a conduit à l'accord faisant l'objet du présent rapport.

Depuis sa conception, le projet SKAO a développé une démarche de développement durable particulièrement vertueuse, avec notamment d'importants efforts pour limiter sa consommation énergétique, développer la part des énergies renouvelables, et réduire l'impact sur la biodiversité en Australie comme en Afrique du Sud. Enfin, une attention toute particulière a été portée au dialogue avec les populations autochtones sur les deux sites.

Avec une participation financière fixée en 2021 à 48 millions d'euros pour la période 2022-2030, la France contribuera à hauteur de 2,86% du budget de l'Observatoire. Elle bénéficiera d'un double retour sur investissement : industriel, avec le contrat, estimé à 20 millions d'euros portant sur la réalisation des méga-centres de données dédiés à l'Observatoire ; et scientifique, dans la mesure notamment où elle pilotera les questions relatives au « milieu interstellaire », qui constituent un volet-clé du projet.

**La commission des affaires étrangères, de la défense et des forces armées a adopté ce projet de loi, dont le Sénat est saisi en premier.**



## A. PRESENTATION ET HISTORIQUE DU PROJET

### 1. Organisation et gouvernance

**Douze pays sont actuellement membres de l'Observatoire SKAO :** l'Afrique du Sud, l'Allemagne, l'Australie, le Canada, la Chine, l'Inde, l'Italie, l'Espagne, les Pays-Bas, le Portugal, le Royaume Uni et la Suisse ; il compte en outre quatre « observateurs » : la Corée du Sud, la France, le Japon et la Suède, parmi lesquels deux ont entamé un processus d'adhésion à part entière : la Suède et la France. Le projet SKAO rassemble ainsi l'ensemble des acteurs majeurs de la communauté astronomique mondiale, à l'exception notable des États-Unis d'Amérique, lesquels ont privilégié l'extension de leur *Very Large Array (VLA)*. Un certain nombre de pays partenaires sont également associés au projet.

La gouvernance de l'organisation est confiée à un Conseil, au sein duquel chaque membre est représenté par deux délégués<sup>1</sup> (un « institutionnel » et un « scientifique », le délégué « institutionnel » disposant d'une voix ; les observateurs ne participent pas aux votes). Le Conseil était présidé, depuis 2017 et jusqu'à une date toute récente, par Catherine Cesarsky, Haut Conseiller scientifique au Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA)<sup>2</sup>.

**Le Conseil est garant de l'orientation stratégique et scientifique globale de SKAO, de sa bonne gouvernance et de la réalisation de ses objectifs.** Il désigne le directeur général de l'organisation et vote le budget. Ses réunions sont préparées par un Comité du Conseil, uniquement accessible aux membres.

Pour ses décisions stratégiques, budgétaires, techniques et scientifiques, le Conseil s'appuie sur un **Comité des finances** (*Administrative and Finance Committee* « AFC ») et sur un **Comité consultatif scientifique et technique** (*Science and Engineering Advisory Committee* « SEAC »), auxquels la France participe comme observateur.

Le premier, l'AFC, est constitué de deux représentants par délégation. Il veille à la bonne gestion financière, l'efficacité, la transparence et la

---

<sup>1</sup> Il s'agit pour la France d'un représentant du Ministère de l'Enseignement supérieur et de la recherche (Guy Perrin) et de la directrice de SKA-France (Chiara Ferrari).

<sup>2</sup> Les États membres de SKA ont choisi en 2021 Catherine Cesarsky comme première présidente du Conseil de SKAO après qu'elle a été la présidente du Board de SKA Organisation depuis 2017. Ce choix, sans lien avec ses fonctions au titre du CEA, est motivé par son parcours et son expertise comme ancienne directrice générale de l'European Organisation for Astronomical Research in the Southern Hemisphere (ESO), qu'elle a dirigé de 1999 à 2007, période pendant laquelle elle a eu la responsabilité de la fin de la construction du Very Large Telescope européen et du lancement de l'Extremely Large Telescope.

Le Conseil est actuellement dirigé par un astrophysicien italien, le Docteur Filippo Zerbi.

responsabilité de l'organisation, et apporte son expertise au Conseil en matière budgétaire.

Le second, le SEAC, est constitué de personnalités proposées par les pays membres pour intervenir en leur qualité d'experts (une chercheuse CNRS dans le cas de la France). Il apporte une expertise scientifique et technique, tant sur la construction de l'Observatoire que sur ses productions scientifiques.

## 2. La genèse du projet

Si l'idée du projet apparaît dès les années 1990, elle ne se concrétise qu'en 2011 avec la création de **SKA Organisation**, société privée à but non lucratif de droit britannique, qui, à compter de 2012, met en place un « bureau projet » en vue de coordonner la définition technique des instruments de l'Observatoire, et, plus largement, de dessiner la programmation de la première phase (SKA1) du projet. Cette organisation est actuellement en cours de dissolution<sup>1</sup> pour faire place à l'organisation internationale *SKA Observatory* qui prend le relai du projet.

**L'organisation internationale SKA Observatory (SKAO) fut créée par la Convention (figurant en annexe au projet de loi), signée à Rome en mars 2019 par ses sept membres fondateurs (Afrique du sud, Australie, Chine, Italie, Pays-Bas, Portugal et Royaume-Uni), et entrée en vigueur le 15 janvier 2021.**

Depuis lors, l'organisation a été rejointe successivement par la Suisse en janvier 2022, l'Espagne en avril 2023, le Canada en avril 2024, l'Allemagne et l'Inde en novembre 2024.

L'adhésion de la France fera d'elle le 13<sup>ème</sup> membre de l'organisation.

La Suède et la Corée du Sud ont quant à elles signé des accords de collaboration scientifique, qui théoriquement préfigurent de futurs accords d'accession.

**La construction de SKA1 a été officiellement lancée par le Conseil de SKAO le 1<sup>er</sup> juillet 2021, avec une cérémonie de lancement des travaux en décembre 2022.**

---

<sup>1</sup> Tous ses actifs ayant d'ores et déjà été transférés à l'organisation internationale SKAO, la société SKA Organisation n'est plus active et devrait être retirée du registre des entreprises du Royaume Uni à la mi-2025.

### 3. 2000-2021 : Le long chemin vers l'adhésion française

#### ➤ Une implication française dès l'origine

Depuis l'origine, le projet en gestation a suscité un vif intérêt de la part de la communauté scientifique française. À partir des années 2000, le CNRS/INSU s'est investi dans sa conception et plusieurs laboratoires français ont participé aux études techniques préparatoires.

Par la suite, le CNRS sera l'un des membres fondateurs de SKA Organisation, ce qui permettra aux ingénieurs et scientifiques français de participer à ce titre à cinq des onze consortiums d'ingénierie internationaux qui ont conçu les télescopes SKA.

#### ➤ Le retrait de la France en raison de problématiques budgétaires malencontreuses

Lorsque le projet s'est structuré en 2011 avec la création de SKA Organisation pour constituer son « bureau projet », une contribution minimale de 250 k€ a été demandée à chacun des partenaires - sachant que celles de certains pays s'élevait à 2,7 M€ par an.

**Le CNRS/INSU ne pouvant dégager une telle somme en l'absence d'inscription du projet sur la feuille de route des infrastructures de recherche, la France, a dû, dans un premier temps, renoncer à participer en tant que membre à SKA Organisation.**

Cependant, durant toute la période où elle a dû se mettre « en retrait » en raison de cette problématique budgétaire, elle maintient un niveau de coopération bilatérale élevé avec l'organisation sur des projets dits « SKA-éclaireurs » (notamment, la station française de l'interféromètre basse fréquence LOFAR, et sa version autonome NenuFAR, construits et opérés à l'Observatoire Radio-astronomique de Nançay).

#### ➤ L'engagement de SKA-France

Les communautés scientifique et industrielle françaises s'organisent alors dès juillet 2016 de manière informelle au sein du **consortium SKA-France** pour bâtir une offre française. Ce dernier publie notamment, en 2017, un **livre blanc SKA France** avec la collaboration de 178 auteurs issus de 40 instituts et de six entreprises privées<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> [https://ska-france.oca.eu/images/SKA-France-Media/FWB\\_051017.pdf](https://ska-france.oca.eu/images/SKA-France-Media/FWB_051017.pdf).

Le document identifie notamment les forces scientifiques françaises et leurs atouts industriels capables de répondre, entre autres, à des enjeux de flux de données et de développement durable.

Son action, relayée par la communauté scientifique française qui ne cesse de réaffirmer son intérêt pour le projet, aboutit à la création en 2018 de la **Maison SKA-France** regroupant sept établissements de recherche et sept entreprises dont Thales Alenia Space, Atos ou encore Air Liquide. En plus de fédérer les forces françaises, cette structure permet au CNRS, son chef de file, de réunir les 250 k€ annuels nécessaires à la participation française au projet.

Le 26 juillet 2018 au Cap, le CNRS, chef de file de la Maison SKA-France, devient ainsi le 12<sup>ème</sup> membre de l'Organisation SKA<sup>1</sup> *via* la convention SKAO-CNRS (*Deed of Adherence*) du 12 juillet 2018.

La Maison SKA-France participe dès lors activement aux échanges autour des enjeux scientifiques et techniques qui définiront la construction et l'utilisation des futurs instruments. Pendant cette période, elle va également œuvrer à convaincre le gouvernement français d'adhérer au projet.

Le projet SKA intègre officiellement la feuille de route nationale des infrastructures de recherche du Ministère de l'Enseignement supérieur et de la recherche (MESRI) en 2018, sans toutefois que cela préjuge de sa participation financière future pour la construction de l'Observatoire.

➤ **2021 : la candidature française pour devenir le 13<sup>ème</sup> État membre de SKAO**

Au terme d'une instruction du Ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (MESRI) et après une validation au niveau interministériel le 12 décembre 2020, l'expression d'intention de la France pour rejoindre SKAO ainsi que sa contribution à hauteur de 48 millions d'euros entre 2022 et 2030, à porter sur le Programme 172 de la Mission interministérielle Recherche et enseignement supérieur (MIREs), sont validés.

La France exprime officiellement en février 2021 son souhait de rejoindre les autres pays membres lors du premier conseil de SKAO. « *La délégation française entame une phase de négociation avec SKAO avec l'ambition d'une adhésion de la France dès 2022* », rapporte Nicolas Dromel, chef du Département des grandes infrastructures de recherche du MESRI.

L'adhésion de la France est acceptée à l'unanimité des membres de SKAO, et fait l'objet d'une déclaration du Président de la République française à l'occasion de sa visite en Afrique du Sud le 28 mai 2021.

**L'accord d'adhésion est signé le 11 avril 2022 à l'ambassade de France à Londres**, dans l'attente de sa ratification par le Parlement français, en application de l'article 53 de la Constitution.

---

<sup>1</sup> Au titre de membre spécial de l'organisation - c'est-à-dire sans nécessité de financer les arriérés de cotisation et en restant à un niveau de contribution minimum.

#### 4. Un projet « modulaire » sur le long terme

SKA est un observatoire modulaire dont des éléments peuvent être ajoutés au fil du temps en fonction des financements disponibles.

Le projet avait été historiquement décomposé en deux phases : une première phase, dite « SKA1 », ou encore *Design Baseline*, visant environ 10% de la capacité du projet final ; une seconde phase, ou « SKA2 », représentant l'objectif ultime ambitionné par le projet, soit une surface collectrice totale d'1 km<sup>2</sup>.

➤ **2022-2030 : un déploiement des premières infrastructures en cours, avec déjà des résultats tangibles**

Le projet visant à la réalisation de la phase SKA1 est divisé en étapes *Assembly Array* (AA) ; la période 2022-2030 correspond à ses quatre premières étapes ; la quatrième étape « AA\* » est également dite « *Deployment baseline* ». Leur construction, qui est d'ores et déjà intégralement financée<sup>1</sup>, est programmée comme suit :

	Stations <sup>2</sup> SKA-Low (Australie)	Antennes. SKA-Mid (Afrique du Sud)
AA0.5	4	4
AA1	18	8
AA2	64	64
AA* ( <i>Deployment baseline</i> )	307	144

Les calendriers de mise en œuvre des deux sites sont les suivants<sup>3</sup> :

**Site australien (SKA-Low) :**

AA0.5 : fin 2024,

AA1 : fin 2025,

AA2 : fin 2026 (« *science verification* »),

AA\* : mi-2028 (Fin de la *Deployment baseline*).

**Site africain (SKA-Mid) :**

AA0.5 : début 2025,

AA1 : début 2026,

AA2 : début 2027 (« *science verification* »),

---

<sup>1</sup> Le financement est notamment garanti par le fait que le retrait du projet n'est pas possible durant les dix premières années.

<sup>2</sup> Chaque station de SKA-Low comporte 256 antennes.

<sup>3</sup> À la date du Conseil de novembre 2024, 78% des contrats avaient été passés et 35,3% des travaux avaient été réalisés (un léger retard par rapport aux 41,2% prévus à ce stade d'avancement). 37,6% du budget prévu pour la construction a été dépensé.

AA\* : mi-2028 (Fin de la *Deployment baseline*).

Sont ensuite programmés, une fois l'installation opérationnelle :

2027-2030 : planning et propositions pour les *Key science projects* (KSP) ;

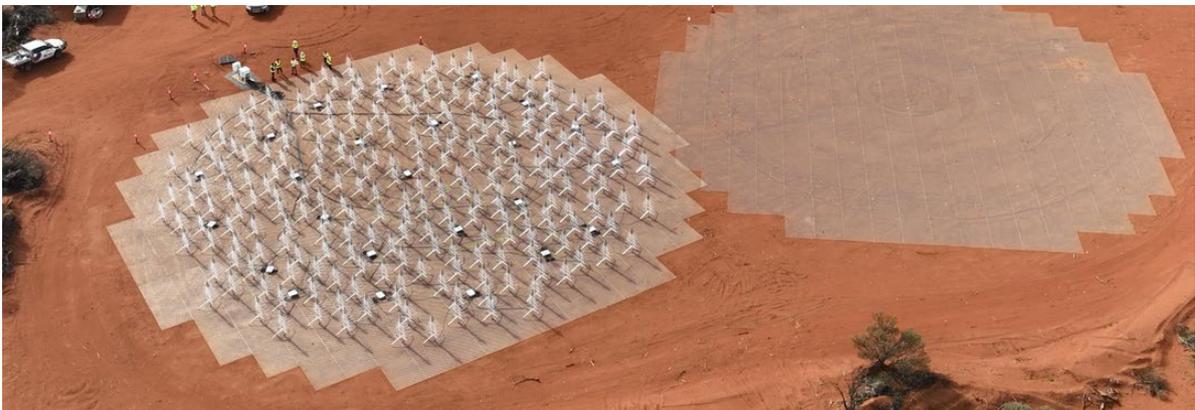
2029 : début des programmes « à risque partagé ».

Dans le détail, à ce jour :

**Sur le site australien** : Quatre stations sont opérationnelles. 404 emplacements de stations ont été préparés, dont 169 tapissés de grillage. Les tests de la configuration AA0.5 ont été réalisés en novembre-décembre 2024. Des premières franges<sup>1</sup> ont pu être observées le 12 septembre à partir des deux premières stations installées. Des premières données ont été obtenues, notamment **des images de la Voie lactée, du Soleil et de galaxies très brillantes en radio comme Centaurus A et M87**. Ces premières images ont été rendues publiques lors du congrès de l'Union Astronomique Internationale en août 2024 en Afrique du Sud<sup>2</sup>.



© SKAO



© SKAO

<sup>1</sup> Lignes alternativement brillantes et obscures qui se manifestent dans le phénomène des interférences.

<sup>2</sup> Voir <https://www.skao.int/en/news/560/first-image-released-one-ska-low-station>.

**Sur le site africain** : une première antenne (SKA#2) a été assemblée et installée ; les antennes SKA#3&4 sont en cours d'intégration sur site. 16 fondations ont été réalisées et 250 km de route sont en cours de réhabilitation pour accéder aux antennes les plus éloignées.



© SKAO

➤ **2030- ? : la finalisation de SKA1**

L'objectif suivant sera de finaliser la Phase 1 de SKA (SKA1, ou *Design baseline*, étape également dénommée « AA4 »), qui comprendra **131 072 antennes log-périodiques et 197 paraboles au total, soit 10% de la surface collectrice d'1 km<sup>2</sup> constituant l'objectif ultime : ce sera l'enjeu des négociations pour le financement post-2030.**

SKA1 représente une version certes réduite du projet final mais n'en constituera pas moins, de loin, le plus puissant observatoire radio au monde dans les bandes de fréquence couvertes par SKA.

➤ **... et au-delà...**

Même si l'objectif final demeure la construction, à terme, d'un réseau d'une surface collectrice totale d'1 km<sup>2</sup>, on ne parle désormais plus d'un développement du projet en deux étapes, SKA1 et SKA2, mais plutôt **d'une augmentation continue des deux réseaux d'antennes**, en fonction du financement qui sera disponible après 2030, ainsi que de l'éventuelle adhésion de nouveaux membres.

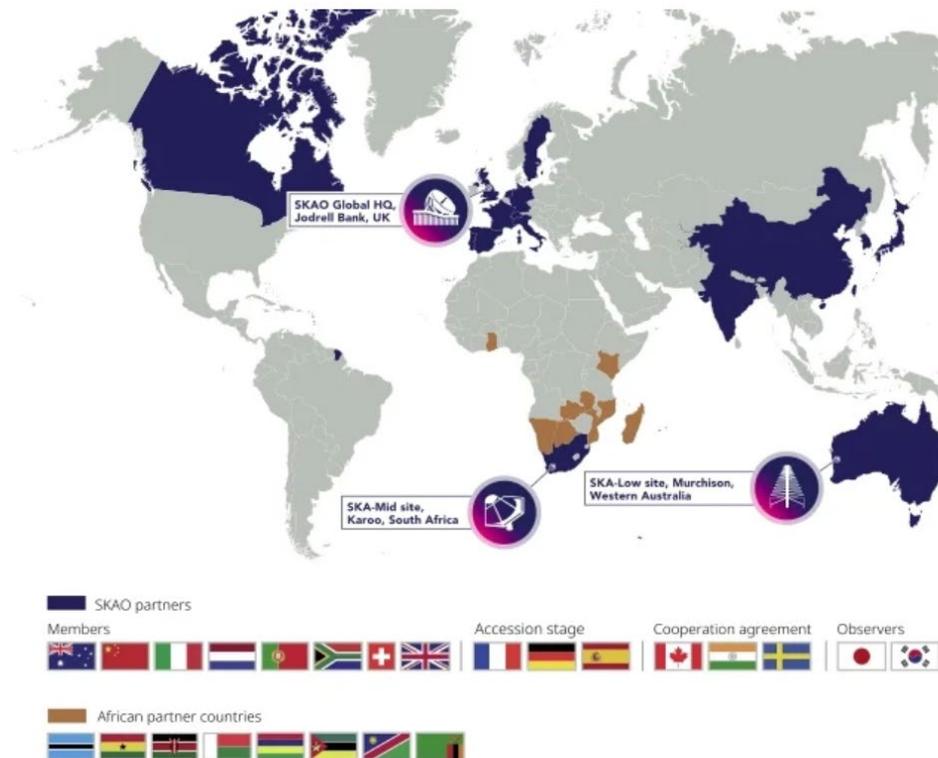
A ce jour aucune programmation n'est établie au-delà de la Phase 1.

## B. UN DÉFI TECHNOLOGIQUE INÉDIT

### 1. Un réseau d'antennes unique au monde...

L'Observatoire SKA est conçu selon le principe de **l'interférométrie** : **un procédé de mesure qui utilise le phénomène d'interférence des ondes** ; cette technique permet, en combinant les signaux de plusieurs antennes, d'obtenir une résolution équivalente à celle d'un miroir (ou radiotélescope) d'un diamètre équivalant à l'écart entre les instruments combinés, de sorte que plus l'espacement entre les antennes est grand, plus l'image finale est précise. Elle permet ainsi de construire progressivement une image de très haute qualité, même à partir d'une source très faible, si on lui laisse suffisamment de temps.

**L'Observatoire est physiquement déployé sur trois sites**, sur lesquels il emploie actuellement 224 personnes (dont 202 sur son siège anglais) :



Source: [Wikipedia](#)

➤ **Son siège**, à partir duquel sont pilotés les deux réseaux d'antennes collectrices, est implanté à **Jodrell Bank, près de Manchester**.



© University of Manchester

➤ Un premier réseau d'antennes dit « **SKAO-Low** », situé **dans le désert de Murchison, en Australie occidentale**, couvre les plus basses fréquences, comprises entre 50 et 350 Mhz. Il représentera, à l'issue de la phase dite « *Deployment baseline* » (AA\*) estimée en 2030, **78 592 antennes phasées fixes** dites « à dipôles *log-périodiques*<sup>1</sup> » (en forme de « sapin de Noël ») :



© SKAO

<sup>1</sup> L'antenne « log-périodique » fonctionne en exploitant le principe des fréquences de résonance : Chaque élément dipôle résonne à une fréquence spécifique, et leurs longueurs sont calculées de manière à ce que les fréquences de résonance se chevauchent, permettant ainsi à l'antenne de fonctionner sur une large gamme de fréquences.



À l'issue de la phase SKA1 (dite « *Design baseline* »), ce réseau « basses fréquences » devrait comporter 131 072 antennes. La distance inter-antennes maximale – ce qui constitue un facteur très important en interférométrie pour la qualité de la résolution obtenue - atteindra 150 km.

➤ Le second site, dit « SKAO-Mid », situé dans le désert de Karoo en Afrique du Sud, est dédié aux fréquences comprises entre 350 Mhz et 15 Ghz, captées au moyen de 144 antennes paraboliques<sup>1</sup> orientables de 15m de diamètre<sup>2</sup>.



<sup>1</sup> À l'issue de la phase dite « *Deployment baseline* » (AA\*), estimée en 2030.

<sup>2</sup> Les antennes paraboliques sont des dispositifs utilisés pour transmettre et recevoir des signaux électromagnétiques, caractérisés par leur forme circulaire réfléchissante qui concentre les signaux vers un point focal, maximisant ainsi leur réception.



© SKAO

**A l'issue de la phase SKA1 dite « *Design baseline* », ce site comptera 197 antennes de ce type, avec une distance inter-antennes maximale de 74 km.**

Le réseau total de SKA1 représentera alors une surface collectrice<sup>1</sup> représentant **le dixième de la surface d'1 km<sup>2</sup> prévue par la version ultime du projet.**

SKAO représente, de l'avis des scientifiques, un saut qualitatif immense par rapport aux instruments existants. Dès la phase 1, **SKA sera l'une des plus formidables machines jamais déployées par l'homme, et de loin la plus impressionnante en termes de débit de données et de puissance de calcul engagée.** Comparé au *Very Large Array*<sup>2</sup>, le meilleur instrument actuel dans la gamme de fréquences dites « intermédiaires », SKA1-Mid aura une résolution 4 fois supérieure, sera 5 fois plus sensible, et 60 fois plus rapide pour couvrir de grands champs. De même, SKA1-Low sera 8 fois plus sensible et 125 fois plus rapide que LOFAR<sup>3</sup>, le meilleur instrument actuel dans la gamme des basses fréquences.

Dans sa configuration finale (non programmée à ce jour), SKA2 sera l'instrument ultime de la radioastronomie du XXI<sup>ème</sup> siècle.

---

<sup>1</sup> La « surface collectrice » désigne la surface des collecteurs déployés (antennes) et non la surface au sol de l'installation.

<sup>2</sup> Le Karl G. Jansky Very Large Array (le « Très grand réseau Karl-G.-Jansky ») est un radiotélescope situé dans la plaine de San Augustin au Nouveau-Mexique (États-Unis). Rattaché au National Radio Astronomy Observatory, il est formé de 27 antennes paraboliques larges de 25 m, se déplaçant sur des rails disposés selon un tracé formant un immense Y (deux branches de 21 km et un pied de 19 km). Il couvre les longueurs d'onde intermédiaires entre l'Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array (ALMA) (domaine du millimétrique) et SKAO (domaine du centimétrique et décimétrique.)

<sup>3</sup> Le Low-Frequency Array (LOFAR) est un radiotélescope géant constitué d'un réseau d'interféromètres, répartis dans six pays européens dont la France, soit 20 000 antennes omnidirectionnelles. Il est le plus grand radiotélescope en réseau au monde, capable de couvrir une aire d'observation de plusieurs centaines de mètres carrés, et captant des fréquences très basses.

## 2. ... porteur de promesses exceptionnelles

SKAO permettra notamment une observation approfondie de **l'hydrogène atomique (soit 75% de la masse de l'Univers hors matière sombre) depuis ses origines jusqu'à aujourd'hui**. L'observatoire sera également en mesure de détecter une multitude d'autres espèces, que ce soit des espèces chimiques comme des molécules organiques, ou des radiations continues, sans signature spectrale spécifique. Il permettra par ailleurs de mesurer **la polarisation des radiations** et donc le **champ magnétique de l'Univers**.

Ainsi, SKAO devrait rendre possibles des avancées majeures sur les questionnements essentiels de l'astrophysique et de la physique modernes, notamment :

- **la détection de la formation des premières étoiles** par ionisation du gaz d'hydrogène atomique. L'observation de ces étoiles, qui remontent à une période située entre 100 et 280 millions d'années après le *Big Bang*, permettra de faire le lien avec les observations de la mission Planck de l'Agence spatiale européenne (ESA)<sup>1</sup>.

- **la formation et l'évolution des galaxies** des origines à nos jours, avec la transformation du gaz d'hydrogène en étoiles, l'alimentation du cœur des galaxies et le rôle des trous noirs supermassifs qu'ils abritent.

- **l'étude des pulsars** : Les pulsars correspondent à des étoiles à neutron résultant de l'effondrement d'étoiles massives et dotées d'un fort champ magnétique. Ils constituent de véritables laboratoires de physique qui dépassent ce que l'humain peut faire sur Terre du fait de leur extraordinaire densité et de leurs gigantesques champs magnétiques.

- **la détection d'ondes gravitationnelles** à la fois primordiales (remontant au *Big Bang*) et dues à la fusion de trous noirs supermassifs (résultant de la fusion et de la croissance des galaxies).

- **la mesure des champs magnétiques dans l'Univers**, depuis des échelles cosmologiques jusqu'à des échelles comparables à une fraction de la distance Terre-Soleil. Les champs magnétiques jouent un rôle majeur dans la structuration et l'évolution des objets du cosmos, et demeurent difficiles à mesurer sans un instrument comme SKA.

---

<sup>1</sup> Planck est un observatoire spatial développé par l'Agence spatiale européenne (ESA) avec une participation de l'agence spatiale américaine, la NASA. Le satellite Planck observe deux types de rayonnement qui constituent les principales sources d'information sur la structure de l'Univers à ses débuts : le fond diffus cosmologique, dans le domaine spectral des micro-ondes, qui reflète la structure de l'Univers primordial, et le fond diffus infrarouge qui nous renseigne sur la formation des structures à grande échelle de l'Univers (galaxies et amas de galaxies) les plus anciennes.

## C. LES ENJEUX DE DÉVELOPPEMENT DURABLE AU CENTRE DU PROJET

### 1. Un lien exemplaire avec les populations locales

Contrairement au projet américain du *Thirty Meter Telescope* (TMT), qui a déclenché une violente opposition de la part des autochtones hawaïens<sup>1</sup> qui n'avaient à aucun moment été consultés, le projet SKAO a été conçu depuis son origine en concertation et en association avec les populations locales, en Australie comme en Afrique du Sud.

➤ **L'Observatoire est implanté en Australie sur le territoire des Wajarri**, population aborigène représentant 3% de la population australienne. **Une attention toute particulière a été portée à la prise en compte et au respect de la culture Wajarri**, et les membres du Conseil ont été formés à la culture et à l'histoire de ce peuple. Un comité de protection du patrimoine s'occupe des questions relatives au patrimoine culturel. Dans ce cadre, certains sites d'implantation de stations ont été modifiés pour préserver le patrimoine Wajarri.

Des aborigènes Wajarri participent à tous les Conseils se déroulant en Australie et viennent également assister à des séances du Conseil en Europe ou en Afrique du Sud.

Le projet SKA-Low est par ailleurs soumis à l'accord d'utilisation des terres autochtones (ILUA) de l'observatoire radio-astronomique Inyarrimanha Ilgari Bundara Murchison.

➤ **Dans le cas de l'Afrique du Sud, le projet SKA a notamment été porté par des scientifiques compagnons de route de Nelson Mandela qui ont lutté contre l'apartheid et qui y voient un moyen d'éducation de la société sud-africaine, en particulier noire, et un vecteur de progrès technologique pour l'industrie locale.** Ainsi, SKAO mène des actions de formation dans le désert du Karoo, et parvient à embaucher des techniciens autochtones issus de ces formations, notamment des femmes qui, sinon, n'auraient pas eu accès à ce type de formation et d'emploi.

Un archéologue et un paléontologue ont été nommés pour le site SKA-Mid afin de veiller à la conservation et à la préservation des ressources patrimoniales, qui sont particulièrement importantes pour l'histoire de la communauté du Karoo et de l'Afrique du Sud dans son ensemble.

**Sur les deux sites, SKAO a su forger des liens avec les populations autochtones, mettant en valeur leurs cultures et participant au développement local, de sorte que le projet est, dans les deux cas, accueilli très favorablement.**

---

<sup>1</sup> Le choix autoritaire du site du volcan Maunakea, qui constitue un lieu sacré pour la culture hawaïenne, a été ressenti comme un héritage colonial et a fait l'objet de violentes manifestations en 2019, qui ont bloqué la réalisation du projet.



© CNRS

Exposition *Shared sky* (2014) : en Afrique du Sud (haut) et en Australie (bas), en présence d'aborigènes australiens et d'artistes africains

## 2. Une démarche volontariste en matière de protection de l'environnement

Le projet SKAO, dès sa conception, a clairement intégré les problématiques de développement durable, mettant notamment en place un ***Sustainability Action Group*** supervisé par un comité de pilotage. L'entreprise *Think Sustainability* a été engagée pour assister SKAO dans sa stratégie de durabilité<sup>1</sup>.

SKAO a par ailleurs développé un plan pour le suivi et la minimisation de l'impact environnemental de l'Observatoire sur chacun des deux sites :

➤ **S'agissant de SKA-Low** (Australie), un plan de gestion environnementale a été élaboré en 2023-2024. Il repose sur les principes clés de la norme ISO 14001:2004, relative à la gestion de l'environnement (EnvMS). Il définit les objectifs environnementaux du projet, les responsabilités de SKAO et des entreprises sous contrat en matière de gestion environnementale. Il a également pour objectif une approche cohérente des aspects et des impacts environnementaux, sociaux et culturels.

➤ **S'agissant de SKA-Mid** (Afrique du Sud), le plan de gestion environnementale définit les exigences et les mesures d'atténuation relatives au projet. SKA-Mid travaille en étroite collaboration avec SARAO (*South African Radio Astronomy Observatory*) et les entreprises sous contrat pour le respect de ce plan. Avant le début des travaux, des visites écologiques et

---

<sup>1</sup> Voir notamment la présentation qui en est faite sur le site <https://www.skao.int/en/explore/sustainability-skao>.

patrimoniales du site ont été effectuées par des spécialistes afin de définir l'empreinte finale du projet et d'exclure d'éventuelles zones. Il a été décidé que l'organisme national SANParks serait désigné comme autorité de gestion des terres de la zone centrale où SKA-Mid est construit. La zone centrale du site a par ailleurs été déclarée parc national, ce qui lui confère une protection supplémentaire. SKA-Mid fait l'objet d'audits qui ont conclu à un score de conformité de plus de 93% en 2024.

### 3. L'attention prêtée à la préservation de la biodiversité

La préservation de la biodiversité constitue un point de vigilance majeur du projet SKA et fait l'objet d'actions sur les sites australien comme sud-africain.

➤ SKA-Low est construit sur le territoire relativement vierge du désert de Murchison. **Le permis obtenu pour son installation couvre la biosécurité (gestion des végétaux endémiques et exotiques), l'empreinte environnementale et la biodiversité.** Les animaux domestiques (bovins et ovins) présents sur site ont été retirés et SKAO travaille à la réhabilitation de la terre ; le retour de la flore et de la faune endémiques est un enjeu majeur, qui est encadré dans le cadre dudit permis. Un plan particulier pour la protection de *Egernia stokesii*, une espèce de saurien endémique, a par ailleurs été mis en place.

➤ SKA-Mid est quant à lui implanté dans le désert du Karoo sur un territoire agricole. **Le permis exige que les coordonnées GPS de l'emplacement original des espèces protégées, ainsi que celles de leurs nouveaux emplacements, accompagnées de photos, soient conservées. En outre, les espèces transplantées doivent faire l'objet d'un suivi afin de déterminer leur état de santé.** Pour se conformer aux exigences du permis de récolte de la flore, des visites environnementales sont effectuées avant toute activité de défrichage, afin de s'assurer que les espèces végétales protégées – soit 29 espèces en 2024- sont identifiées et prises en compte.

➤ Enfin le démontage de l'Observatoire, en fin du projet, est lui aussi encadré.

### 4. L'élaboration de puissants centres de données décarbonés grâce à la compétence française

**Avec un volume prévisible de données produites annuellement équivalent au trafic internet mondial en 2015, les problématiques liées à l'empreinte numérique constituent un enjeu majeur du projet.**

**Les acteurs français, coordonnés par le CNRS, se sont particulièrement impliqués sur cet aspect du projet, mettant ainsi en valeur l'excellence française : ils se sont notamment concentrés sur la conception de**

**calculateurs performants à l'impact environnemental réduit.** Côté industriel, la société **Atos** développe depuis plus de dix ans une approche globale de ce volet, depuis l'alimentation en énergie des supercalculateurs jusqu'au mode de traitement des données, avec pour objectif de **développer des centres de calcul à bilan carbone nul**<sup>1</sup>. Pour cela, l'entreprise entretient une collaboration active avec les scientifiques, les développeurs de composants et les développeurs d'applications.

Afin de minimiser la quantité d'informations en circulation, l'entreprise mise sur des mécanismes de traitement s'appuyant sur l'intelligence artificielle (IA).

## 5. Le double défi de la production électrique

La consommation d'électricité devrait être le poste budgétaire le plus coûteux du projet, après les salaires : **l'objectif de consommation électrique de l'Observatoire est actuellement établi à 11 MW, ce qui fait de la production électrique une problématique majeure**, faisant apparaître un double enjeu, quantitatif et qualitatif.

**Le premier défi identifié, dès la phase de conception du projet, a en effet été la minimisation de la consommation électrique de l'Observatoire.** Ainsi, le « budget énergétique » total de 11 MW adopté par SKAO<sup>2</sup> représente **environ la moitié de ce qu'il aurait été si aucune contrainte de ce type n'avait été imposée**, ce qui induit une très importante économie au cours des 50 ans de durée de vie prévue pour l'Observatoire.

Le second enjeu concerne la qualité de l'énergie produite, avec l'objectif d'**une fraction d'énergie renouvelable supérieure à 80%**. Des compromis entre les coûts de construction, les coûts d'exploitation à long terme et la durabilité, ainsi qu'entre la capacité de production à partir de panneaux solaires photovoltaïques durables, le stockage sur batterie et la capacité de production à partir de combustibles fossiles seront cependant inévitables lorsque SKAO conclura ses contrats de fourniture énergétique pour les sites éloignés de SKA-Low et SKA-Mid.

---

<sup>1</sup> Comme l'exprimait Jean-Marc Denis, Responsable de la Stratégie, des Big Data et de la Sécurité au sein du groupe Atos : « SKA représente une vitrine technologique unique qui va nous permettre d'appliquer notre expertise en matière d'optimisation et de décarbonation des supercalculateurs pour relever ce défi d'une envergure exceptionnelle. D'autre part, les innovations qui émergeront de ce projet pourront être mises à profit pour construire des centres de données décarbonés et plus puissants pour des clients plus classiques ».

<sup>2</sup> SKAO attribue en effet un budget d'électricité maximal à chacun de ses sous-systèmes, afin de maîtriser sa consommation totale.

## 6. L'engagement pour un ciel « sombre et calme »

Les deux sites du télescope SKA sont implantés dans des déserts, présentant un environnement presque vierge en termes de radiofréquences. Ce choix est motivé par le fait que les autres sources terrestres d'interférences sont susceptibles de perturber les observations astronomiques, ce qui implique une réglementation stricte relativement aux équipements utilisés à proximité des radiotélescopes : Ces sites spéciaux sont appelés **zones de « silence radio »**.

Cependant, satellites et avions survolent régulièrement les sites de l'Observatoire, produisant potentiellement des interférences dans les bandes de fréquences observées par les télescopes SKA. C'est pourquoi début 2022, suite aux appels de l'Union astronomique internationale face aux menaces présentées pour l'astronomie par les constellations de satellites en orbite terrestre basse, SKAO et le NOIRLab (de la *National Science Foundation* des États-Unis) ont décidé la création du **Centre pour la protection du ciel sombre et calme contre les interférences des constellations de satellites (CPS)**.



Dans ce cadre, SKAO œuvre à négocier des accords spéciaux en vue d'atténuer l'impact des constellations de satellites et faire du ciel nocturne une ressource durable pour tous ; des avancées significatives<sup>1</sup> ont ainsi pu être obtenues.

---

<sup>1</sup> Space X et One Web ont notamment accepté de participer à ces discussions et envisagent de modifier le revêtement de leurs satellites pour en atténuer la luminosité.

## D. IMPACTS ET ENJEUX POUR LA FRANCE

### 1. La contribution financière pour la phase « *Deployment baseline* » (2022-2030)

Dans les « *Considérants* » de l'Accord, la contribution financière de la France est fixée à 48 M € (2021) sur la période 2022-2030, correspondant à la phase dite « *Deployment baseline* », soit 2,86% d'un budget total estimé à 1,678 Md € (2021). Ce budget est honoré à partir de l'Action 18 du Programme 172 de la MIRE<sup>1</sup>.

Le budget global est réparti comme suit entre les différents pays membres - ces ratios étant susceptibles d'évoluer, notamment en fonction des potentielles décisions d'adhésion des deux derniers observateurs (Corée du Sud et Japon) :

Pays	Ratios
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%
<b>Total</b>	<b>100,00%</b>

L'article 3 de l'Accord programme les versements français comme suit : pour les exercices 2024 à 2027 : 6 M € (2021) ; pour les exercices 2028, 2029 et 2030 : 4 M € (2021).

Dans le détail, il est en outre précisé :

- Que pour les années 2022 et 2023, dans l'attente de la ratification du traité par la France, un accord signé en 2022 entre le CNRS et SKAO

---

<sup>1</sup> La Mission interministérielle Recherche et Enseignement supérieur (MIRE) est chargée de rédiger le projet de budget des programmes et actions dans ce domaine. Elle réunit des représentants de plusieurs ministères dans le but de permettre un arbitrage concerté en amont des débats sur le Projet de Loi de Finance (PLF). La MIRE regroupe ainsi, en 10 programmes, les crédits budgétaires de six départements ministériels et englobe la quasi-totalité de l'effort de recherche civile publique.

puis reconduit fin 2023, a fait du CNRS une *collaborating organisation* de SKAO (la France pouvant participer au Conseil de l'organisation en qualité d'observatrice), et a permis le versement des contributions annuelles françaises de 6 M € (2021) pour ces deux années.

- Que le Ministère de l'Enseignement supérieur et de la recherche (MESR) a souhaité indexer le montant de sa participation à 4% depuis 2024 afin de compenser les déficits d'indexation des années précédentes<sup>1</sup>. Les montants suivants ont ainsi été versés pour la contribution française : 2022 : 6 000 000 €, 2023 : 6 379 800 €, 2024 : 6 985 362 €, 2025 : 7 198 610 €.
- Que le Conseil a par ailleurs décidé une contribution additionnelle des États membres, à partir de 2025, d'un montant total de 158 M € pour faire face aux surcoûts du Covid-19 et à ceux consécutifs à la guerre en Ukraine. La part française est estimée au minimum à 3,8 M € (avec un maximum de 4,6 M € pour conserver le ratio de contribution française dans l'hypothèse où ni le Japon ni la Corée du Sud ne deviendraient membres de l'organisation).
- Que l'exploitation des données de l'observatoire SKAO nécessite en outre des centres de données régionaux, les *SKA Regional Centers* (SRC), dont le financement est hors enveloppe SKAO, complétés par un réseau, le *SRC Network* (SRCNet)<sup>2</sup>. Chaque pays s'appuiera sur ses propres ressources et sur des ressources communes à obtenir *via* des appels d'offres européens. À terme, la France devrait contribuer pour environ 3% des besoins globaux du SRCNet, en dehors des besoins spécifiques de la communauté scientifique française pour l'exploitation des données SKA<sup>3</sup>.

Ainsi, au total, en intégrant ces paramètres, la participation française pour la phase de déploiement (2022-2030) pourrait s'établir **entre 55 et 60 M €**, sur un budget total estimé à 1,986 Md €.

## **2. L'application du principe de « Juste retour sur investissement »**

La négociation de l'Accord a porté notamment sur le retour sur investissement (« *fair work return* »), garanti par son préambule qui stipule : « *Considérant la décision des membres du Conseil de SKAO en date du 24 mai 2021,*

---

<sup>1</sup> Les contributions sont indexées depuis 2022 par les pays qui en ont la possibilité. La France a quant à elle pour objectif d'indexer la sienne au taux réel.

<sup>2</sup> Le budget du SRCNet (le réseau des SKA Regional Centers) n'est pas connu à ce jour. Le coût dépendra par ailleurs du modèle de gouvernance et économique adopté.

À l'horizon de la mise en opération de SKA1 - après 2030- il est estimé qu'un total d'environ 80 ETP (Équivalents Temps Pleins) devront être fournis par les participants au SRCNet, auxquels s'ajouteront les ETP nécessaires au fonctionnement des futurs nœuds.

<sup>3</sup> Les ressources françaises potentielles sont multiples entre les infrastructures de recherche telles que le Grand Équipement national de calcul intensif (GENCI), la machine EuroHPC Jules Verne dont les Pays-Bas sont partenaires, auxquelles s'ajoutent les ressources européennes.

prise conformément au paragraphe 2 de l'article 6 de la Convention et recommandant à l'unanimité l'adhésion de la France au SKAO dans les conditions suivantes : [...]

– un niveau approprié de retour sur investissement industriel garanti à la France dans le cadre des activités d'approvisionnement liées à la construction de SKAO. »

**La France ayant exprimé le souhait d'être le leader du volet « Centres de traitement de données », ce retour sur investissement industriel, estimé à environ 20 M €, devrait bénéficier pour l'essentiel au groupe Atos/Eviden, auquel incombera le défi majeur de concevoir et de réaliser, avec un impact environnemental minimum, des méga-centres de données dédiés à l'Observatoire, qui devront être en mesure de traiter un volume de données annuel équivalant au trafic internet mondial de 2015.**

Ce contrat dit des *Science Processing Centers* (SPC) consiste concrètement en deux très grands centres de calcul, sur chacun des deux sites, chargés de la première étape de l'étalonnage et du traitement des données. Chacun d'eux redistribuera les 350 Po de données<sup>1</sup> qu'il aura produites chaque année vers le réseau de centres de données et calcul continentaux (les *SKA Regional Centers, SRCs*) qui permettront l'exploitation scientifique de ces données dans chacune des cinq régions mondiales participant au projet.

La réalisation des SPC pourrait conduire à un partenariat avec l'entreprise DDN (*Datadirect Network*), qui a déjà remporté fin 2023 le contrat de *co-design* des SPC (250 k€/an), ou avec d'autres partenaires classiques d'ATOS comme NVIDIA et SiPearl, ATOS étant un intégrateur.

Il est précisé par ailleurs qu'un des contrats portés par l'Espagne ("*Low & Mid Timing distribution Systems*", pour environ 1.5 M €) a été attribué à une filiale espagnole du groupe français SAFRAN.

### 3. Un atout-clé en termes de diplomatie scientifique

Le bénéfice attendu pour la communauté scientifique française est considérable : la participation de la France à SKAO sera l'occasion de **mettre en valeur l'excellence française au sein de ce projet-phare** : Lors de son déploiement, elle participera aux différents défis technologiques (infrastructures de calcul, approvisionnement en énergie, logistique, cryogénie, etc.) et environnementaux soulevés par le projet ; à terme, la communauté scientifique française impliquée dans l'exploitation de SKA devrait dépasser 400 chercheurs et chercheuses une fois l'instrument opérationnel, avec un accès aux télescopes de l'Observatoire proportionnel à

---

<sup>1</sup> Un pétaoctet (Po) est une unité de mesure de la mémoire ou de la capacité de stockage de données qui équivaut à 2 octets à la puissance 50. Il y a 1024 téraoctets (To) dans un pétaoctet et environ 1024 Po dans un exaoctet (Eo).

la participation française<sup>1</sup>. **La France a par ailleurs négocié pour ses scientifiques le pilotage des questions relatives au « milieu interstellaire »<sup>2</sup>, qui constitue un volet-clé du projet, touchant aux molécules les plus complexes de l’univers.**

Comme tout projet d’une telle ampleur, SKAO constituera également, pour les communautés scientifiques qui y participeront, un incubateur et un accélérateur de compétences dont bénéficieront pleinement les chercheurs français.

### E. LE CONTENU DE L’ACCORD

L’accord comprend, après une série de « Considérants », six articles, auxquels est annexée la Convention portant création de l’Organisation SKAO, comportant elle-même deux annexes, « Protocole sur les privilèges et immunités » et « Protocole financier ».

Les « **Considérants** » de la Convention rappellent le processus et le résultat des négociations ayant conduit à l’adhésion de la France, et notamment :

- Définissent le montant de la **contribution française**, soit 48 M € (2021) pour la période 2022-2030,
- Posent le principe d’un « *niveau approprié de retour sur investissement industriel garanti à la France* ».

**L’article 1<sup>er</sup>** énonce **l’objet de l’accord**, qui vise à définir les modalités d’adhésion de la France à la Convention portant création de l’Observatoire du réseau d’antennes d’un kilomètre carré (figurant en annexe à l’accord).

En vertu de **l’article 2**, la France bénéficiera de tous les **droits, avantages et obligations** attribués à chaque signataire de la Convention. En tant que tel, elle participe à toutes les décisions de l’organisation et a accès à ses programmes scientifiques.

**L’article 3** précise la **contribution financière française**, son indexation et son programme de financement pour la période allant de 2024 à 2030<sup>3</sup> :

Année	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
M. EUR (prix 2021)	6	6	6	6	4	4	4

<sup>1</sup> L’article 13 de la Convention stipule en effet que l’allocation des créneaux horaires pour utiliser les infrastructures de SKA se fera « selon le principe d’un accès des membres et des membres associés proportionnel à leur prise de participation au sein du projet ».

<sup>2</sup> Cette négociation fut complexe du fait du poids relativement modeste de la France au sein de SKAO (2,86% du budget) et de son intégration tardive parmi les membres.

<sup>3</sup> Les contributions de 2022 et 2023 (2 x 6M€) ayant d’ores et déjà été acquittées, d’où le montant de 48M € (2021) affiché en « Considérant ».

Les **modalités d'entrée en vigueur** de l'accord et de règlement des différends sont précisées aux **articles 4 et 5**.

L'**article 6** précise que la **Convention portant création de l'Observatoire du réseau d'antennes d'un kilomètre carré**, annexée au présent accord, ainsi que ses deux annexes, fait partie intégrante de l'accord d'adhésion.

Cette **Annexe** comporte 20 articles, assortis de deux annexes.

Après un **article 1<sup>er</sup>** consacré à la **définition des termes** employés, l'**article 2** de la Convention fixe le **statut** de SKAO en tant qu'organisation internationale dotée d'une personnalité juridique, ainsi que les capacités nécessaires à l'accomplissement des missions, son siège et les modalités d'hébergement de ses sites.

L'**objet** de l'Observatoire, tel que défini à l'**article 3**, est la mise en œuvre du projet SKAO. S'agissant des **privilèges et immunités**, l'**article 4** renvoie au protocole du même nom annexé à la Convention (Annexe A).

L'**article 5** de la Convention décrit le **projet SKA**, découpé en plusieurs phases ; il précise que SKA-1 est déployé sur deux sites, l'un en Afrique du Sud et l'autre en Australie.

Les **modalités d'adhésion** ainsi que les différentes formes de **coopération** avec les pays tiers sont décrites à l'**article 6**.

L'Observatoire dispose d'un **Conseil et d'un directeur général**, décrits **aux articles 7, 8 et 9**. Le Conseil, où siègent les seuls États membres, est l'organe directeur de l'Observatoire, responsable de sa direction stratégique et scientifique et de sa bonne gestion. Le directeur général est nommé par le Conseil.

Les **règles financières** de l'Observatoire sont définies, selon l'**article 6**, par le Protocole financier annexé à la Convention (Annexe B).

L'**article 11** attribue au Conseil la compétence de déterminer la politique de l'Observatoire en matière de **propriété intellectuelle**.

De même, en vertu de l'**article 12**, le Conseil établit les règles en matière **d'achat nécessaires à l'accomplissement des missions** de l'Observatoire, fondées « *sur les principes de juste retour sur investissement, d'équité, de transparence et de concurrence* ».

L'**article 13** de la Convention est consacré aux **opérations et aux modalités d'accès** à l'Observatoire. L'allocation des créneaux horaires pour utiliser les télescopes est définie dans le cadre de la politique en matière d'accès qui est approuvée par le Conseil par un vote à l'unanimité, suivant un principe de proportionnalité des accès à la participation financière.

Les modalités de **règlement des différends** au sein de l'Observatoire pour l'application de la Convention sont précisées à l'**article 14** ; l'**article 15** précise les modalités **d'amendement** à la Convention.

L'article 16 est consacré aux modalités de **dénonciation** de la Convention, après un délai de dix ans.

Les modalités **d'extinction et de dissolution** de l'Observatoire par le Conseil sont décrites à l'article 17, et les cas de **manquement d'un État membre à ses obligations** ainsi que le processus à mettre en place par le Conseil dans cette hypothèse, à l'article 18. Le Conseil peut notamment mettre fin au statut de membre de l'État défaillant.

Les articles 19 et 20 de la Convention déterminent les modalités de son **entrée en vigueur** ainsi que les obligations liées au **dépositaire de la Convention**.

Les deux annexes jointes à la Convention précisent, d'une part, les privilèges et immunités liés à l'Observatoire, dans la mesure où SKAO jouit d'une immunité de juridiction ainsi que d'exonérations fiscales (premier protocole figurant en Annexe A) ; d'autre part ses modalités financières (second protocole, en Annexe B).

\*

\* \*

**L'accord faisant l'objet du présent rapport est un projet-phare qui permettra des avancées majeures dans notre compréhension de l'Univers. Pour la communauté scientifique française, la participation de notre pays à ce projet représente un enjeu majeur, qui contribuera également à mettre en valeur l'excellence française vis-à-vis des défis technologiques et environnementaux auxquels il est confronté.**



## EXAMEN EN COMMISSION

*Réunie le mercredi 5 mars 2025, sous la présidence de M. Cédric Perrin, président, la commission des affaires étrangères, de la défense et des forces armées a procédé à l'examen du rapport de M. Jean-Pierre Grand sur le projet de loi n° 104 (2024-2025) 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. Jean-Pierre Grand, rapporteur.** – Monsieur le Président, Mes chers collègues,

L'accord qui vous est soumis aujourd'hui a pour objet l'adhésion de la France à l'Observatoire du réseau d'antennes d'un kilomètre carré (dont l'acronyme, d'après sa dénomination anglaise, est « SKAO »), signé à Londres le 11 avril 2022 entre la France et cet Observatoire.

Cette convention, à visée purement scientifique, sans lien avec les questions d'affaires étrangères ou de défense qui constituent l'ADN de notre commission, n'en nécessite pas moins une ratification parlementaire dans la mesure où il fait l'objet d'un accord gouvernemental. Il relève de la diplomatie scientifique, et permettra de mettre en valeur l'excellence française dans le cadre d'une organisation scientifique internationale prestigieuse.

Projet phare dans le domaine astrophysique, SKAO constituera à terme une ambitieuse infrastructure internationale d'observation spatiale, déployée sur deux sites, en Australie et en Afrique du Sud, dans le but d'étudier des questions scientifiques essentielles allant de la naissance de notre univers aux origines de la vie. Douze pays sont actuellement membres de cet Observatoire : l'Afrique du Sud, l'Allemagne, l'Australie, le Canada, la Chine, l'Espagne, l'Italie, l'Inde, les Pays-Bas, le Portugal, le Royaume Uni et la Suisse ; il compte en outre quatre « observateurs » : la Corée du Sud, la France, le Japon et la Suède, parmi lesquels deux ont entamé un processus d'adhésion à part entière : la Suède et la France.

Physiquement, l'Observatoire est composé, outre son siège implanté à Manchester, de deux réseaux d'antennes géants, permettant d'observer un élément chimique essentiel de l'Univers : l'hydrogène atomique, qui représente 75% de sa masse et y est présent depuis l'origine. Les deux réseaux d'antennes sont complémentaires en termes de fréquences couvertes :

Le premier réseau, situé dans le désert de Murchison, en Australie occidentale, couvre les plus basses fréquences, comprises entre 50 et 350 Mhz. Il est prévu d'y implanter, d'ici 2030, 78 592 antennes dites « à dipôles *log-périodiques* » (en forme de « sapin de Noël »), et à terme plus de 131 000.

Le second site, implanté dans le désert de Karoo en Afrique du Sud, sera dédié aux fréquences comprises entre 350 Mhz et 15 Ghz, captées au

moyen de 144 antennes paraboliques de 15m de diamètre prévues d'ici 2030, avec un objectif à terme de 197 antennes.

Le projet SKAO était initialement conçu comme modulaire : sa première phase, en cours de déploiement, dite « SKA1 », correspond à 10% environ de la surface collectrice d'1km<sup>2</sup> prévue par le projet final, et bénéficie d'un financement et d'un calendrier fermes jusqu'en 2030. L'objectif suivant sera de finaliser SKA1, ce qui fait actuellement l'objet de pourparlers entre les pays membres de l'Observatoire. Les phases suivantes, qui ambitionneraient de multiplier par 10 les capacités de SKA 1 pour parvenir à l'objectif ultime du « kilomètre carré », demeurent optionnelles et ne sont pas véritablement programmées à ce stade. La montée en puissance des deux réseaux d'antennes se fera en fait progressivement, en fonction du financement qui sera disponible après 2030.

Grâce à son envergure unique au monde et à sa capacité d'observation hors pair, SKAO est porteur d'espoirs scientifiques qui augurent une révolution de nos connaissances cosmologiques : il devrait permettre notamment des avancées majeures dans la compréhension des âges sombres de l'Univers, de l'énergie noire, de la formation des étoiles, de l'évolution des galaxies, du magnétisme cosmique et des ondes gravitationnelles. Pour la communauté astronomique mondiale, il représente l'un des projets les plus ambitieux et prometteurs jamais entrepris, et constitue un saut qualitatif immense par rapport aux instruments existants : Comparé au *Very Large Array* américain, le meilleur instrument actuel dans les fréquences intermédiaires, SKA1-MID aura une résolution 4 fois supérieure, sera 5 fois plus sensible, et 60 fois plus rapide. De même, SKA1-LOW sera 8 fois plus sensible et 125 fois plus rapide que le radiotélescope européen LOFAR, le meilleur instrument actuel dans la gamme des basses fréquences.

On saluera la démarche de développement durable particulièrement vertueuse intégrée au projet SKAO depuis sa conception : ainsi, d'importants efforts ont été réalisés en vue de limiter sa consommation énergétique, de développer la part des énergies renouvelables, qui devrait atteindre 80%, et de réduire l'impact sur la biodiversité en Australie comme en Afrique du Sud.

Une attention toute particulière a également été portée au dialogue avec les populations autochtones, de sorte que sur les deux sites SKAO fait figure de modèle d'intégration locale. En Australie, le peuple aborigène Wajarri a été associé au projet, et a obtenu une modification des sites d'implantation prévus initialement afin d'éviter tout impact sur son patrimoine culturel. En Afrique du Sud, un archéologue et un paléontologue ont été nommés pour garantir la préservation des ressources patrimoniales du site. Dans les deux cas, SKAO a forgé des liens avec les populations, mettant en valeur leurs cultures et participant au développement local.

J'en viens aux enjeux que représente le projet pour notre pays, qui sont triples :

Le premier enjeu, en termes de bénéfices scientifiques, n'est plus à démontrer et l'ensemble des membres de la communauté astronomique française appelle de ses vœux la participation de notre pays au projet. La France a notamment réussi à négocier pour ses scientifiques le pilotage des questions relatives au « milieu interstellaire », qui constitue un volet-clé du projet, touchant aux molécules les plus complexes de l'univers.

S'agissant de l'enjeu financier, l'accord prévoit que la France contribue à hauteur de 48 M €, soit 2,86 % du budget total, sur la période 2022-2030 correspondant à la phase de déploiement de SKA1. Ce montant, qui fait l'objet d'une indexation de 4% par an, se trouvera de plus augmenté par une contribution exceptionnelle comprise entre 3,8 M€ et 4,6 M€ du fait de divers surcoûts. Aucun budget n'est défini à ce jour pour les phases ultérieures. Au total, le coût annuel moyen sur la période 2022-2030 devrait avoisiner pour la France 6 M€, ce qui, compte tenu de l'intérêt majeur du projet, apparaît entièrement justifié.

Enfin, l'enjeu industriel a constitué un point important des négociations en amont de l'accord. Le préambule du texte énonce en effet le principe selon lequel « un niveau approprié de retour sur investissement industriel est garanti à la France ». Concrètement, les négociations ont permis de garantir un « juste retour industriel » estimé à 20 M€, qui devrait bénéficier pour l'essentiel au groupe Atos/Eviden, auquel incombera le défi majeur de concevoir et de réaliser, avec un impact environnemental minimum, des méga-centres de données dédiés à l'Observatoire, qui devront être en mesure de traiter un volume de données annuel équivalant au trafic internet mondial de 2015.

Historiquement, la France s'était activement impliquée via le CNRS dans la conception du projet, dès les années 1990, avant de faire le choix, en 2011, de quitter l'Organisation, faute de financement, au grand regret de la communauté astronomique française ; cependant, cette dernière, qui n'a cessé de réaffirmer depuis lors l'intérêt majeur du projet, a finalement obtenu en 2018 qu'il soit réinscrit dans la Stratégie nationale des infrastructures de recherche. Aussi, convaincu qu'il serait particulièrement dommage qu'un tel projet se fasse sans la France, c'est avec un sincère enthousiasme que je vous propose d'autoriser la ratification de cet accord d'importance majeure pour notre communauté scientifique.

Avant de vous laisser la parole pour d'éventuelles questions, je ne résiste pas à l'envie de partager avec vous les premières images époustouflantes, recueillies par SKA-LOW en août 2024, de la Voie lactée et d'autres galaxies comme Centaurus A et M87.

*(Vidéo)*

Je vous précise enfin que l'examen en séance publique de ce texte devrait se tenir mercredi prochain, selon une procédure simplifiée, ce à quoi la conférence des Présidents, de même que votre rapporteur, a souscrit.

Je vous remercie.

**EXAMEN DE L'ARTICLE UNIQUE**

*Article unique*

*L'article unique constituant l'ensemble du projet de loi est adopté sans modification.*

## ANNEXE 1 : LISTE DES PERSONNES AUDITIONNÉES

### Pour le Ministère de l'Europe et des affaires étrangères :

- M. Laurent Toulouse, sous-directeur à la sous-direction de l'enseignement supérieur et la recherche, Direction générale de la Mondialisation,
- Mme Rosalie Prat, rédactrice diplomatie scientifique, pôle pilotage des opérateurs et stratégies sectorielles, Direction générale de la Mondialisation,
- M. Pierre Dousset, conseiller juridique, Mission des Accords et Traités, Direction des affaires juridiques.

### Pour le Ministère chargé de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation :

- M. Guy Perrin, Chargé de mission Astronomie et recherches spatiales, Direction Générale de la Recherche et de l'Innovation.