



RÉSUMÉ

## Résumé

### 1. SnT2021 : une conférence virtuelle tenue selon des modalités hybrides

La conférence SnT2021, sixième de la série « Sciences et techniques » de l'Organisation du Traité d'interdiction complète des essais nucléaires (OTICE), s'est tenue du 28 juin au 2 juillet 2021. Cette conférence, qui était consacrée aux innovations scientifiques et techniques jugées importantes pour l'OTICE et son réseau de surveillance, visait principalement à recenser les possibilités et les moyens d'améliorer la surveillance et la vérification des essais nucléaires. Avec plus de 1 600 participantes et participants, il s'agissait de la conférence la plus fréquentée de la série. Au total, 89 présentations orales ont été données, et les fichiers de diapositives et de vidéos correspondant à 365 affiches ont été téléversés. D'autres statistiques sont fournies à l'annexe 2 du présent rapport.

La conférence s'est tenue pendant la pandémie mondiale de COVID-19. Du fait des restrictions imposées aux déplacements et aux réunions en présentiel, il a fallu changer de formule. La journée d'ouverture s'est tenue selon des modalités hybrides, avec une participation en ligne depuis le monde entier et un public limité à quelque 200 personnes sur place, au palais de la Hofburg à Vienne (Autriche). Même le premier jour, l'essentiel du public a suivi les manifestations en ligne, et un grand nombre d'intervenantes et intervenants, de même que plus de 1 000 personnes, ont participé à distance. Les autres jours, la conférence s'est tenue exclusivement en ligne, les locaux du Centre international de Vienne (CIV) servant de plateforme pour l'organisation des séances de la conférence.

Les affiches ont été téléversées préalablement à la conférence et sont donc restées accessibles plus longtemps. Les intervenantes et intervenants ont pu prendre part à 10 tables rondes qui ont suscité un grand intérêt, certaines ayant été

suivies en ligne par plus de 250 personnes. Les affiches ont bénéficié d'un niveau d'exposition nettement supérieur à celui qu'elles ont eu lors des conférences « normales » qui se sont tenues en présentiel par le passé. Bien qu'il y ait des avantages certains à échanger en présentiel, les visioconférences et les conversations en ligne ont aussi permis aux personnes y participant d'échanger avec les intervenantes et intervenants.

Appelée vSnT2021, la plateforme virtuelle de la conférence était hébergée par Superevent B.V. et toutes les personnes inscrites pouvaient y accéder à partir de navigateurs ou d'appareils mobiles. Pendant la semaine de la conférence, 1 458 personnes se sont inscrites et connectées à la plateforme, ce qui représente un record de fréquentation. Les séances de la conférence se sont tenues dans des salles virtuelles Webex et ont été diffusées en direct sur des « scènes » via la plateforme vSnT2021, qui a démontré une grande fiabilité technique, aucun problème majeur n'étant à signaler pendant la conférence.

Bien que les modalités techniques de la conférence virtuelle aient été très différentes de celles des conférences précédentes, le programme était globalement identique à celui des précédentes éditions. La majeure partie du temps, les séances se déroulant sur les trois scènes ont été retransmises en direct et en simultané, les internautes pouvant facilement passer de l'une à l'autre. Les séances étaient gérées depuis le CIV, principalement par le personnel du Secrétariat. Chaque séance était prise en charge par une petite équipe d'appui technique de trois à quatre personnes ainsi que par une équipe responsable des thèmes traités comprenant l'organisateur ou l'organisatrice de la séance et une personne chargée de coordonner les questions-réponses. Tous les débats d'experts étaient tenus par des intervenantes et intervenants hors site. Pour certains de ces débats, l'animateur ou l'animatrice se trouvait également à distance. Le cas échéant, l'organisateur ou l'organisatrice du Secrétariat présent dans la salle de réunion du CIV veillait au bon déroulement des débats.

to read the full report

Les intervenantes et intervenants étaient vivement encouragés à envoyer les enregistrements de leurs présentations à l'avance, pour qu'elles soient téléversées dans la base de données Indico utilisée pour la conférence. Pour les présentations orales, soit des enregistrements étaient diffusés, soit les intervenants s'exprimaient en direct. Les transitions entre les présentations faites en direct et les parties enregistrées étaient gérées par les équipes Webex du Secrétariat et il n'y a eu pratiquement aucun problème technique. Les séances ont été enregistrées et mises à disposition sous forme de vidéos sur YouTube. Le programme de la conférence figure en annexe 1 du présent rapport, et des liens renvoient aux enregistrements des différentes séances disponibles sur YouTube.

Les fichiers téléversés des présentations orales et par affiches représentent une source d'informations inestimable. Dans le présent rapport, les désignations qui figurent dans les résumés des discussions, des débats d'experts et des présentations comportent des hyperliens donnant accès à ces fichiers téléversés. En particulier pour ce qui est des présentations par affiches, ces fichiers sont un moyen exceptionnel de conserver les connaissances, dont on ne disposait pas lors des précédentes conférences tenues en présentiel. Cet aspect des conférences virtuelles est très important pour la préservation des informations des conférences et il est fortement recommandé de poursuivre cette pratique à l'avenir, quelles que soient les modalités d'organisation des prochaines conférences SnT.

Environ 80 % des résumés soumis et acceptés ont donné lieu à des présentations, ce qui représente un pourcentage plus élevé que lors des conférences SnT précédentes. S'agissant des affiches, seules celles que leurs auteurs ont téléversées sont considérées comme ayant été présentées et donc prises en compte dans le présent rapport. Un tel degré d'adaptation aux modalités est remarquable, d'autant plus que celles-ci n'ont été annoncées qu'en février, soit plusieurs mois après la date limite de soumission des résumés.

S'il est vivement souhaitable que les futures conférences SnT se déroulent en présentiel, certains aspects importants des modalités virtuelles de la conférence offrent des avantages qui justifient qu'on les conserve. Grâce aux présentations et à la diffusion des séances en ligne, même les personnes se trouvant dans l'impossibilité de voyager peuvent participer, ce qui permet d'organiser encore davantage de présentations intéressantes. Grâce au téléversement à l'avance, les affiches et les tables rondes correspondantes ont bénéficié d'une exposition plus longue et ont touché un public plus large. Par ailleurs, les présentations ont été étayées par une documentation de plus haut niveau grâce au téléversement des affiches et des diapositives, ainsi qu'à l'enregistrement des débats et discussions. Il conviendrait de conserver ces éléments pour les prochaines conférences.

## 2. Journée d'ouverture, interventions d'invités, discussions de haut niveau, débats d'experts

Jusqu'alors, le contenu des conférences SnT dépendait en grande partie des résumés soumis. En 2021, la conférence était axée sur les interventions d'invités et les débats d'experts, au cours desquels ont pu être soulevées des questions importantes pour l'OTICE, y compris des sujets peu abordés dans les résumés soumis. Deux grands thèmes ont dominé la conférence SnT2021 : le vingt-cinquième anniversaire de l'ouverture à la signature du Traité, qui a été l'occasion de revenir sur les avancées scientifiques et technologiques ainsi que d'envisager les perspectives d'évolution, et la pandémie de COVID-19, qui a été un test de résilience pour le système de surveillance.

Le vingt-cinquième anniversaire du Traité a fait l'objet des débats tenus pendant la journée d'ouverture et d'une série de tables rondes et d'interventions d'invités. On trouvera au chapitre 2 du présent rapport un compte rendu des débats de la journée

to read the full report

d'ouverture. Le message liminaire prononcé à la première séance par le Secrétaire exécutif, M. Lassina Zerbo, est reproduit dans son intégralité. Il est suivi d'une description de la cérémonie d'ouverture, et reprend les observations des personnalités politiques présentes et le dialogue facilité sur l'évolution du Traité, de l'Organisation et de ses technologies, ainsi que sur la fonction de modèle d'inclusion et de coopération scientifique de l'OTICE (« CTBT@25 Years: Evolution of the CTBT, the Organization and Its Technologies and CTBT's Model Function of Inclusion and Science Cooperation »). À la deuxième séance de la journée d'ouverture, un discours liminaire a été prononcé par M. Dimitri Kusnezov sur le thème de l'intelligence artificielle et de ses incidences sur les missions de l'OTICE (« Artificial Intelligence: What, Why and How It Could Transform Our Missions ») ; un débat d'experts s'est tenu sur le thème des sciences et techniques spatiales au service du développement durable, de la paix et de la sécurité dans le monde (« Space Science and Technology for Global Sustainable Development, Peace and Security ») ; et un autre débat d'experts Union européenne-OTICE a eu pour thème « Garantir un monde sans essais nucléaires pour les jeunes et les générations futures » (« Securing a Nuclear-Test-Free World for Youth and the Next Generations »). Le chapitre 2 traite également du thème de la contribution de la jeunesse, qui a occupé une place importante tout au long de la conférence.

On trouvera au chapitre 3 un récapitulatif des interventions d'invités consacrées au vingt-cinquième anniversaire du Traité. Elles représentent une source d'informations très précieuse car elles regroupent une grande diversité de points de vue sur le développement du réseau de surveillance au cours des 25 dernières années, ainsi que des discussions sur les difficultés actuelles et des recommandations pour l'avenir. Les interventions d'invités ont été les suivantes :

– Défis et avancées dans le domaine de la surveillance des explosions nucléaires expérimentales dans le cadre du Traité, par Paul G. Richards

- [102-718](#) – Les 25 ans du réseau de surveillance hydroacoustique de l'OTICE, par Martin Lawrence
- [103-714](#) – 25 ans de surveillance des infrasons : réalisations et nouveaux défis, par Elisabeth Blanc
- [104-717](#) – Le réseau de surveillance des radionucléides du SSI : un mécanisme exceptionnel dont le potentiel n'est pas encore pleinement exploité, par Anders Ringbom
- [Is6-454](#) – Perspectives de l'apprentissage automatique pour le traitement automatisé des données sismologiques, hydroacoustiques et infrasonores, par Christos Saragiotis
- [Is1-353](#) – Les nouvelles applications du CID en matière d'analyse technique spécialisée des données sismologiques, hydroacoustiques et infrasonores, par Ivan Kitov
- [P3.5-507](#) – Après 25 ans de développement progressif, est-il possible d'améliorer encore les méthodes d'analyse spectrale du CID pour la mesure des radionucléides par l'OTICE ?, par Boxue Liu
- [Is2-283](#) – Progrès dans le traitement des signaux hydroacoustiques au CID au cours des deux dernières décennies et projets pour l'avenir, par Ronan Le Bras
- [Is3-381](#) – Système de traitement des données infrasonores au CID, du commencement à la maturité, par Pierrick Mialle
- [Is4-332](#) – Progrès de la modélisation du transport atmosphérique au Secrétariat de l'OTICE au cours des deux dernières décennies et projets pour l'avenir, par Jolanta Kusmierczyk-Michulec
- [Is7-604](#) – Examen et perspectives des méthodes de filtrage des radionucléides permettant de distinguer les signaux d'explosions nucléaires de la radioactivité normale de l'atmosphère, par Theodore Bowyer

to read the full report

- [I05-727](#) – État d'avancement des préparatifs à l'appui des inspections sur place, par Peter Labak
- [Is5-239](#) – Établissement de la première liste provisoire complète du matériel d'inspection, par Gregor Malich

De plus, trois discussions de haut niveau ont été tenues sur les thèmes suivants : la Terre solide et sa structure (« The Solid Earth and Its Structure »), les océans et leurs propriétés (« The Oceans and Their Properties »), et l'atmosphère et sa dynamique (« The Atmosphere and Its Dynamics »). Les discussions suivantes sont résumées dans le chapitre 4 :

- [H1-720](#) – Imagerie des profondeurs de la Terre à l'aide d'ondes sismiques, par Barbara Romanowicz
- [H2-716](#) – Améliorer la surveillance des océans grâce à l'extension du Réseau sismographique mondial au plancher océanique, par John Orcutt
- [H3-715](#) – Prédicibilité de l'évolution du système terrestre et de l'atmosphère : rétrospective et défis futurs – Météo, climat et qualité de l'air, par Guy Brasseur

Le chapitre 5 porte sur les débats techniques d'experts organisés à l'occasion du vingt-cinquième anniversaire du Traité. Les experts ont évoqué les difficultés auxquelles était confronté le système de surveillance et les moyens innovants d'y répondre. Les sept discussions techniques ont été les suivantes :

- [J03](#) – Leçons tirées des explosions nucléaires expérimentales passées et intérêt des signaux enregistrés pour les sciences de la surveillance
- [J04](#) – Innovations intéressant l'OTICE : Système de surveillance international (capteurs du SSI)
- [J05](#) – Innovations intéressant l'OTICE : analyse des

données au CID (besoins, idées et méthodes de mise en œuvre)

- [J06](#) – Applications civiles et scientifiques : perspectives
- [J07](#) – Données régionales de la surveillance dans le contexte du Traité
- [J08](#) – Humain ou machine ?
- [J09](#) – Synergie entre les systèmes de surveillance face à l'atténuation des risques et aux défis mondiaux

Des discussions liminaires ont précédé certains des débats techniques. Les interventions [I06](https://conferences.ctbto.org/event/7/contributions/1382721)<https://conferences.ctbto.org/event/7/contributions/1382721>, sur les applications civiles et scientifiques des données du SSI (« Civil and Scientific Applications of IMS Data »), de M<sup>me</sup> Zeinabou Mindaoudou Souley, et [I06-719](#), sur le développement durable, la réduction des risques de catastrophe et le régime de vérification de l'OTICE (« Sustainable Development, Disaster Risk Reduction and the CTBTO Verification Regime »), de M. Öcal Necmioğlu, ont servi d'introduction au débat [J06](#). L'intervention [I08](https://conferences.ctbto.org/event/7/contributions/1384723)<https://conferences.ctbto.org/event/7/contributions/1384723>, sur la distinction entre connaissances et données (« Knowledge Versus Data »), de M. Stuart Russell, a servi d'introduction au débat [J08](#). Les interventions [I07-529](#), sur l'utilisation des données infrasonores aux fins de la notification rapide par les Centres d'avis de cendres volcaniques (« Use of Infrasound Data for Early Notification of Volcanic Ash Advisory Centres »), de M. Philippe Hereil, et [I09-742](#), sur la notion de risque et ses évolutions (« Welcome to Risk: As We Know It, or Do We? »), de M<sup>me</sup> Loretta Hieber-Girardet, ont servi d'introduction au débat [J09](#).

Le chapitre 5 contient également un résumé de deux présentations spéciales sur l'« ère Anthropocène », qui ont été données en mémoire du scientifique Paul Crutzen (1933-2021) : l'une sur les raisons multiples de l'Anthropocène et la contribution de Paul Crutzen au non-dépassement des limites

to read the full report

planétaires (« Multiple Reasons for the Anthropocene: Paul Crutzen's Contribution to Saving Planetary Boundaries », [110-749](#)), par M. Hartmut Grassl, et l'autre sur les retombées de radionucléides artificiels marquant le commencement de l'ère Anthropocène (« Artificial Radionuclide Fallout: A Marker for the Start of the Anthropocene Epoch », [110-752](#)), par M. Colin Waters. Le chapitre 5 contient également des résumés du débat sur la communication sur les incertitudes des scientifiques auprès des responsables politiques et du public (« Communicating Uncertainty Among Scientists to Policy Makers and the Public », [J11](#)) et d'une [session](#) consacrée aux Centres nationaux de données (CND).

Présentations orales et par affiches

À l'exception de celles données pendant la journée d'ouverture, toutes les présentations de la conférence SnT2021 ont eu lieu en ligne, soit oralement, soit au moyen d'affiches. Les résumés ont été soumis entre octobre 2020 et janvier 2021, et le livret des résumés a été distribué sous forme de livre électronique peu avant la conférence. Un pourcentage élevé (environ 80 %) des résumés acceptés ont donné lieu à des présentations. Pour les présentations orales, soit les interventions ont été retransmises en direct sur le Web, soit des enregistrements envoyés au préalable ont été diffusés. Les présentations par affiches ont pris la forme de courtes vidéos de présentation et de diapositives téléversées, et les intervenantes et intervenants qui le souhaitent ont également pu participer à l'une des 10 tables rondes basées sur des affiches.

Les présentations orales et par affiches soumises étaient regroupées sous cinq thèmes différents :

### **Thème 1 : La Terre, système complexe**

- T1.1 L'atmosphère et sa dynamique
- T1.2 La Terre solide et sa structure
- T1.3 Les océans et leurs propriétés

### **Thème 2 : Les événements et sites d'essais nucléaires**

- T2.1 Caractérisation des événements qui présentent un intérêt aux fins du Traité
- T2.2 Difficultés des inspections sur place
- T2.3 Les sources sismoacoustiques en théorie et en pratique
- T2.4 Rayonnement de fond et dispersion des radionucléides dans l'atmosphère et sous la surface
- T2.5 Données rétrospectives issues de la surveillance des essais nucléaires

### **Thème 3 : Les techniques de vérification et leur application**

- T3.1 Conception de systèmes de capteurs et capteurs avancés
- T3.2 Laboratoires, y compris les installations mobiles et les installations de terrain
- T3.3 Télédétection, imagerie et plateformes d'acquisition de données
- T3.5 Algorithmes d'analyse des données
- T3.6 Intelligence artificielle et apprentissage automatique

### **Thème 4 : Évaluation et optimisation des performances**

- T4.1 Évaluation et suivi des performances du régime de vérification complet et de ses composantes
- T4.3 Informatique, systèmes d'alimentation et autres technologies habilitantes
- T4.4 Durabilité du réseau
- T4.5 Résilience du régime de surveillance de l'OTICE, y compris les enseignements tirés de la pandémie de COVID-19

### **Thème 5 : Le Traité dans un contexte mondial**

- T5.1 La science dans les débats de politique générale et les enseignements tirés d'autres accords et régimes relatifs à la maîtrise des armements
- T5.2 Expérience relative à des questions intéressant tous les États telles que l'atténuation des risques de

to read the full report

catastrophe, les études sur le changement climatique et les objectifs de développement durable, et autres contributions possibles

#### T5.3 Renforcement des capacités, éducation et sensibilisation du public

Consacré aux présentations orales et par affiches, le chapitre 6 constitue la plus grande partie du rapport, soit environ les deux tiers. Il est organisé en fonction des thèmes de la conférence. Les points clefs des présentations orales et par affiches sont indiqués pour chaque thème, et des résumés sont fournis pour chaque présentation. Quand il est fait référence à une présentation dans une partie consacrée aux points clefs, un hyperlien permet d'accéder au résumé correspondant ainsi qu'à la base de données Indico. Comme indiqué précédemment, il n'est fait mention dans le présent rapport que des présentations qui ont été données ou pour lesquelles des fichiers d'accompagnement ont été téléversés dans la base de données Indico de la conférence.

Le Thème 4.5, intitulé « Résilience du régime de surveillance de l'OTICE, y compris les enseignements tirés de la pandémie de COVID-19 », était particulier à l'édition 2021. La pandémie mondiale qui a commencé au début de 2020 a mis à rude épreuve de nombreux systèmes, et le régime de surveillance de l'OTICE n'a pas fait exception. Cela étant, la crise a été un test de résilience significatif et utile pour tous les systèmes soumis à des tensions importantes, notamment du fait des confinements et des restrictions imposées aux déplacements. Cette question a été abordée lors des présentations orales et par affiches du Thème 4.5, et elle a fait l'objet d'un débat d'experts ([J02](#)) et de deux manifestations spéciales particulières ([M1](#) et [M2](#)), qui ont été l'occasion de mettre en commun les points de vue des stations, des CND et du Secrétariat. Les opérateurs de stations ont dû faire face à des problèmes logistiques, à un allongement des délais d'expédition des pièces de rechange, à de strictes restrictions des déplacements, à des difficultés

dans l'expédition des échantillons de radionucléides aux fins de l'assurance qualité et du contrôle-qualité, à des retards dans les étalonnages programmés des stations et à des instabilités dans les liaisons de communication. La communication, la disponibilité et la flexibilité permanentes qui ont été observées dans le soutien apporté aux opérateurs de stations ont joué un rôle essentiel dans la gestion du réseau.

#### 4. Intérêt pour les activités de l'OTICE et les sciences de la vérification

Le chapitre 7 récapitule les points clefs de la conférence, en particulier ceux qui peuvent présenter un intérêt particulier pour les activités futures de l'OTICE et pour les sciences de la vérification. Si les précédents chapitres se rapportaient à des thèmes précis, celui-ci couvre des points abordés en lien avec différents thèmes, sujets, interventions d'invités et débats d'experts. Organisé en fonction des sujets traités, ce chapitre est structuré comme suit :

1. Capteurs et mesures
  - Technologies de surveillance des radionucléides
  - Détecteurs sismiques
  - Surveillance des infrasons
  - Technologies de surveillance hydroacoustique
  - Étalonnage
2. Systèmes d'alimentation électrique, gestion des données et systèmes de communication
3. Maintenance
4. Évaluation et optimisation des performances
5. Résilience du régime de surveillance de l'OTICE : la pandémie de COVID-19
6. Propagation des signaux

7. Modélisation du transport atmosphérique
8. Abondance des radionucléides
9. Traitement des signaux correspondant aux radionucléides
10. Traitement des données sismiques, hydroacoustiques et infrasonores
11. Données et événements du passé, physique des événements et méthodes de filtrage
  - Données sur des événements du passé
  - Essais nucléaires annoncés de la République démocratique populaire de Corée
  - Physique des sources et modélisation
  - Méthodes de filtrage et calcul des paramètres des événements
  - Explosion dans le port de Beyrouth (Liban) (4 août 2020)
  - Bulletins et catalogues d'événements
12. Inspections sur place
13. Applications civiles et scientifiques

Des extraits du chapitre 7 sont reproduits ci-après afin d'illustrer la richesse des informations présentées à la conférence SnT2021. Pour des raisons de concision, il n'a pas été possible de mentionner toutes les contributions marquantes. Les lecteurs et lectrices sont vivement encouragés à consulter le rapport complet pour tirer le meilleur parti de cet important recueil de présentations.

### Capteurs et mesures

Il est essentiel que le Secrétariat se tienne au fait des progrès réalisés dans le domaine des capteurs de tous types pour

pouvoir rester performant, assurer la durabilité du réseau, et préserver et renforcer les capacités de vérification en lien avec le Traité. Le débat d'experts [J04](#) a principalement porté sur les capteurs de nouvelle génération qui peuvent être déjà disponibles ainsi que sur les efforts d'innovation consacrés au développement de nouveaux capteurs. Parmi les sujets abordés, on peut citer les réseaux de capteurs d'infrasons, les détecteurs sismiques à la fois rotatifs et directionnels, les stations hydroacoustiques équipées d'hydrophones à conception modulaire, les câbles et capteurs sous-marins SMART (Science Monitoring and Reliable Telecommunications), les sismomètres et hydrophones à fibre optique, ainsi que des concepts améliorés pour les stations de surveillance des radionucléides et les systèmes de détection des gaz rares de nouvelle génération. Il a également été question des capteurs dans le cadre du Thème 3.1, qui leur était consacré, ainsi que dans des présentations données sur d'autres sujets.

### Technologies de surveillance des radionucléides

Actuellement, la plupart des nouveaux capteurs conçus servent à la détection des radionucléides. Plusieurs systèmes de mesure du xénon de nouvelle génération affichant de meilleures capacités de détection vont bientôt être installés et font actuellement l'objet d'étalonnages, de validations et d'essais d'acceptation (MIKS et Xenon International, par exemple). Deux systèmes ont été validés à l'issue du processus d'acceptation (SAUNA III et SPALAX NG). Le premier système SAUNA III a été mis en service en septembre 2021, peu après la conférence SnT. Au cours de la conférence, les présentations [02.4-510](#), [P3.1-512](#) et [P3.2-518](#) ont mis en lumière les travaux consacrés au système SPALAX NG et les évolutions futures des systèmes de détection des gaz rares. La présentation [P3.1-434](#) a porté sur les résultats des essais du système de détection modernisé du prototype d'ensemble MIKS, et les présentations [P3.1-616](#) et [02.4-138](#) ont eu pour thème la première phase des essais d'acceptation de Xenon International. Lors de

to read the full report



L'intervention d'invité [104-717](#), il a été suggéré qu'en considérant le réseau comme un système de mesure unique, on ouvrirait la voie à de nombreuses améliorations encore possibles, tant du point de vue des mesures que de l'analyse des données. Les résultats des essais du premier réseau de détection du radon au monde, qui se compose de cinq systèmes SAUNA CUBE espacés de 200 à 500 kilomètres, ont fait l'objet de la présentation [P3.1-375](#).

La technologie utilisée pour le prélèvement de particules radioactives est bien établie et fiable, mais il est nécessaire de la faire évoluer pour permettre l'analyse de plus gros volumes d'air. Dans la présentation [P3.1-669](#), il a été question de l'intégration d'un précipitateur électrostatique au système RASA 2.0 pour le prélèvement de particules radioactives. La présentation [P3.1-299](#) a porté sur l'intégration de l'échantillonneur d'air automatisé de nouvelle génération Cinderella G2. Les travaux sur des matériaux affichant un meilleur taux d'adsorption du radon, tels que les zéolites dopées par des métaux, qui sont intéressants pour leurs capacités d'absorption et de purification, ont été décrits dans les présentations [03.1-316](#) et [P3.1-670](#).

La présentation [P3.1-303](#) a porté sur la mise en œuvre expérimentale d'un système de détection en coïncidence permettant de mesurer des échantillons de particules à la station expérimentale de l'OTICE à Vienne. Un nouveau détecteur de tellurure de cadmium-zinc a été décrit lors de la présentation [P3.1-309](#). Les mesures de la coïncidence gamma-gamma de nouvelle génération pourraient considérablement améliorer la fiabilité de la détection des particules radioactives qui présentent un intérêt pour la surveillance des explosions nucléaires. Les présentations [P3.1-<https://conferences.ctbto.org/event/7/contributions/1055312>](#) et [P3.1-187](#) ont porté sur la mise au point et l'expérimentation de prototypes. La présentation [03.2-482](#) a consisté à comparer les performances de différents systèmes de détection du radon à haute et

basse résolution aux fins de la détection bêta-gamma. La présentation [P3.1-216](#) a porté sur la mise au point d'une cellule de détection de rayonnements bêta en silicium destinée à remplacer un module dans les systèmes Xenon International de nouvelle génération.

### Détecteurs sismiques

Les évolutions des détecteurs sismiques terrestres ont été peu abordées. Il a été question des détecteurs des sismomètres rotationnels dans la présentation [P3.1-180](#), qui a principalement porté sur les aspects métrologiques de ce domaine. La présentation [P3.1-666](#) a porté sur un gyroscope à fibre optique destiné à mesurer le mouvement de rotation du sol. Lors de la présentation [P2.1-162](#), il a été suggéré d'employer des capteurs de rotation portatifs spécialement adaptés aux applications sismologiques afin d'améliorer la résolution du tenseur isotrope des moments sismiques grâce à l'analyse du mouvement de rotation du sol. L'une des principales origines du bruit en sismométrie de précision à longue période est la fluctuation de température des éléments mécaniques des appareils et des capteurs. Pour réduire ce bruit, il a été suggéré, lors de la présentation [P3.1-393](#), d'utiliser de petits thermomètres de précision.

### Capteurs d'infrasons

Ces dernières années, un nombre croissant de capteurs d'infrasons à faible coût ont été mis au point. Lors de la présentation [P3.1-221](#), il a été question des activités menées par le Secrétariat pour en suivre la mise au point et chercher de nouvelles possibilités pour le système de surveillance de demain. La présentation [P3.1-618](#) a porté sur le développement du réseau de surveillance des infrasons au moyen de microbarographes numériques à condensateurs peu coûteux. L'ajout de capteurs supplémentaires aux réseaux de surveillance des infrasons accroît leur pouvoir de résolution, ce qui facilite la détection des signaux faibles et l'identification

to read the full report

de plusieurs ondes simultanées provenant de différentes directions. La présentation [P3.1-665](#) a montré qu'en augmentant le nombre de capteurs des réseaux, on pouvait considérablement améliorer le niveau de détail et le pouvoir de résolution des analyses de ces réseaux. La présentation [P3.1-520](#) a porté sur un système de réduction du bruit du vent qui répondait à tous les besoins des stations de surveillance des infrasons du réseau du SSI et était adapté à toutes leurs contraintes topologiques.

### Technologies de surveillance hydroacoustique

La présentation [P4.4-276](#) a été l'occasion de faire le point sur les projets actuellement menés par le SSI concernant la remise en état des sections endommagées, les études sur l'atténuation des risques et les mesures de protection des capteurs hydroacoustiques à hydrophones. La présentation [P1.3-270](#) a porté sur la mise au point d'une nouvelle configuration modulaire permettant le remplacement *in situ* des composants défaillants pour la prochaine génération de stations à hydrophones.

L'important potentiel des technologies basées sur la fibre optique, notamment des capteurs d'inclinaison optiques de faible profondeur, des capteurs de déformation à fibre optique et de la détection acoustique distribuée (DAS), a été souligné lors du débat d'experts [J04](#). Au cours des 10 dernières années, des méthodes reposant sur l'utilisation de techniques laser en plus des câbles de télécommunications déjà en place ont été mises au point. Elles permettent de mesurer les signaux sismiques, acoustiques et thermiques avec une précision étonnante. Dans certains cas, leur résolution spatiale est inférieure au mètre et dans d'autres, les câbles font plus de 100 kilomètres. La présentation [O3.1-384](#) a porté sur les possibilités d'intégration de capteurs à fibre optique répartis au sein des systèmes hydroacoustiques du SSI. La présentation [O1.3-705](#) a été l'occasion de faire le point sur l'utilisation de

câbles sous-marins SMART pour la surveillance de l'ensemble des océans et de la Terre. Lors de la présentation [P3.1-293](#), les observations réalisées par DAS à l'aide d'un câble sous-marin à fibre optique ont été comparées aux données obtenues à l'aide d'hydrophones installés au même endroit.

### Étalonnage

L'étalonnage est une question commune à toutes les technologies. Il revêt une importance particulière pour un système de surveillance mondiale au sein duquel les données de nombreux capteurs sont collectées et fusionnées en vue de recouper des éléments indiquant la survenue d'événements. L'accent a été mis sur les questions d'étalonnage pendant le débat d'experts [J04](#), à l'occasion duquel l'importance de la traçabilité par la hiérarchie nationale d'étalonnage, l'assurance qualité et la surveillance à l'aide de mesures par comparaison a été soulignée. Il a été proposé de faire reconnaître la traçabilité des capteurs du SSI auprès du Système international d'unités et des organismes de normalisation internationalement reconnus. La présentation [O4.1-213](#) a porté sur les efforts déployés par les spécialistes de la métrologie pour améliorer les normes de mesure sur la base desquelles est déterminée la qualité des données dans les activités de surveillance de l'OTICE. Il s'agit de promouvoir des relations plus étroites avec les parties prenantes concernées, dans l'objectif de mettre en place des normes de mesure primaires. Le projet décrit portera également sur les caractéristiques techniques de capteurs de référence pouvant faire le lien entre capacités d'étalonnage en laboratoire et besoins de traçabilité des mesures sur le terrain.

La présentation [P3.1-243](#) a décrit une application Web développée au Secrétariat pour l'étalonnage des systèmes géophysiques, qui pourrait être appliquée à toutes les techniques de forme d'onde du SSI. La présentation [O3.1-467](#) a porté sur un système d'étalonnage externe dont la mise au

to read the full report

point sera bientôt achevée. L'ensemble capteur d'infrasons-étalonneur externe intégré fonctionne comme un capteur à étalonnage automatique. La présentation [P4.1-336](#) a porté sur un système qui génère des renseignements complets sur le réseau, pouvant être utilisés en amont dans le cadre des activités d'assurance qualité. La présentation [P1.2-631](#) avait pour thème l'estimation de l'occurrence d'intervalles suspects entre les instruments. La présentation [P3.5-250](#) a porté sur des outils de vérification automatique de la qualité des fichiers d'étalonnage destinés aux stations de surveillance des radionucléides. La présentation [P3.5https://conferences.ctbto.org/event/7/contributions/1106/234](https://conferences.ctbto.org/event/7/contributions/1106/234) avait pour thème les mesures de contrôle-qualité effectuées pour surveiller et corriger les dérives de gain des détecteurs nucléaires de radioxénon utilisant une source de  $^{137}\text{Cs}$ . La présentation [P3.5-280](#) a décrit une méthode de surveillance des variations de gain dans les capteurs bêta-gamma de radioxénon. Bien qu'il soit possible d'utiliser plusieurs lignes de rayons gamma, le détecteur bêta ne produit pas de crêtes claires. Les statistiques de comptage de la ligne de diffusion Compton donnent des résultats fiables. Lors de la présentation [P3.1https://conferences.ctbto.org/event/7/contributions/1067485](https://conferences.ctbto.org/event/7/contributions/1067485), il a été démontré qu'il était possible de produire des radionucléides gazeux à des fins d'assurance qualité et d'étalonnage. La présentation [P4.1-196](#) a décrit comment suivre les dérives de gain des capteurs de rayonnements gamma. La présentation [P1.3-284](#) a porté sur une méthode visant à améliorer les estimations de la localisation relative des hydrophones du SSI. Ces travaux démontrent qu'il est essentiel de connaître la position précise de chaque hydrophone du triplet d'une station à hydrophones du SSI pour pouvoir localiser avec précision un événement par estimation de l'azimut en amont. La présentation [O3.1-579](#) a porté sur la mise à l'essai d'un système innovant d'étalonnage des capteurs d'infrasons.

### **Systèmes d'alimentation électrique, gestion des données et systèmes de communication**

Ayant pour objectif de maintenir un haut niveau de disponibilité des données sur l'ensemble du réseau du SSI, les systèmes d'alimentation électrique de nouvelle génération ont été conçus pour renforcer la résilience des stations du SSI en cas de panne de grande ampleur. La présentation [O4.3-266](#) a décrit cinq prototypes standardisés de systèmes d'alimentation destinés au SSI qui ont été élaborés, certifiés et soumis à des essais d'acceptation approfondis en usine. Ces nouveaux systèmes font actuellement l'objet d'essais de longue durée en conditions réelles. La présentation [O4.3-514](#) a porté sur un système d'alimentation électrique modulaire adapté au réseau du SSI. Tous ces systèmes d'alimentation sont équipés de systèmes informatiques qui communiquent en continu des données sur leur état de fonctionnement. La présentation [P4.3-329](#) a décrit un dispositif assurant l'alimentation en continu d'une station sismologique. La présentation [P4.3-653](#) a porté sur un modèle prévoyant l'incorporation d'un système d'alimentation plus robuste pour les stations du SSI.

L'informatique en nuage s'est considérablement développée au cours des dernières années. L'utilisation de la suite progicielle « NDC in a box » sur des plateformes en nuage pourrait permettre aux CND d'étendre leurs capacités et d'accroître leur utilisation des données du SSI en mettant à profit les ressources infonuagiques pour les analyses et l'extraction de données, ce qui réduirait les problèmes de bande passante et d'infrastructure au niveau local ([O4.3-167](#)).

La présentation [P4.3-334](#) a porté sur un nouveau configurateur mis au point pour l'interface standard de connexion des stations. Il est important d'appliquer de bonnes pratiques de gestion des bases de données pour garantir la transmission des produits en temps réel, de même que la protection et la disponibilité des données dans la base de données principale, sur les serveurs

to read the full report

et dans les sauvegardes, en évitant tout trafic inutile pouvant surcharger le réseau (P4.3-066, P4.3-140). La présentation P4.3-570 a montré comment les informations d'un système de gestion du réseau pouvaient être mises à profit pour analyser les interruptions de transmission de données, déterminer ainsi les causes profondes de ces interruptions et identifier les améliorations devant être apportées à l'infrastructure. La présentation P4.3-558 a traité des difficultés liées à l'utilisation de liaisons par radiofréquence pour la communication intrasite dans les stations du SSI transmettant des données de forme d'onde.

La présentation P4.3-414 a porté sur les principales modifications apportées à la conception du Système de communication avec les experts (SCE), une application sécurisée en ligne qui permet à des utilisateurs et utilisatrices inscrits des États signataires et du Secrétariat d'accéder aux documents officiels de l'OTICE ainsi qu'à d'autres informations. La présentation P4.3<https://conferences.ctbto.org/event/7/contributions/1204445> a décrit un projet qui visait à créer un nouveau domaine de messagerie électronique sur une infrastructure distincte réservée aux données de vérification. Le domaine @ctbto.int a été choisi pour les systèmes de vérification.

## Maintenance

Malgré la COVID-19, la disponibilité moyenne des données, toutes technologies confondues, a été très élevée en 2020-2021. Les défis futurs sont notamment le vieillissement du réseau du SSI et la poursuite des travaux visant à achever et à développer le réseau de stations certifiées avec un budget de maintenance constant et sans augmentation du personnel. Plusieurs moyens ont été mis en œuvre par le Groupe de la maintenance du SSI pour améliorer la disponibilité des données (04.4-528), notamment la normalisation du matériel, l'amélioration de l'infrastructure, le stockage amélioré des pièces de rechange,

la formation technique pratique améliorée, une meilleure documentation et la mise en œuvre de l'expédition sécurisée des détecteurs au germanium extrapur.

Il est très difficile de maintenir à niveau le réseau hydroacoustique d'hydrophones du SSI. La présentation P4.4-276 a récapitulé les projets en cours concernant le maintien à niveau du SSI. Ces projets reposent sur des solutions de remise en état des sections endommagées, sur des études visant à atténuer les risques et sur des mesures de protection. Des configurations modulaires innovantes destinées à faciliter la réparation des composants sous-marins et à améliorer la résilience ont été décrites, ainsi que des mesures de protection du matériel électronique à terre.

Les travaux sur la maintenance prédictive et les capacités de surveillance de l'état de fonctionnement se poursuivent (P4.4-152, 04.4-209, P4.4-382), avec pour objectifs la détection des pannes de composants et la mise au point de techniques de maintenance préventive pour les stations du SSI. Les travaux en cours visent à élaborer des modèles permettant de comprendre les données sur l'état de fonctionnement et leurs tendances, ainsi que des algorithmes pour l'intégration de la surveillance prédictive dans l'analyse des données sur l'état de fonctionnement. Les présentations 04.4-135 et P4.4-134 ont décrit l'exploitation d'une station sismologique provisoire du SSI pendant la mise à niveau majeure d'un dispositif sismique. Ayant permis de limiter les incidences de la mise à niveau sur la surveillance sismique pour un coût raisonnable, cette station provisoire s'est révélée être un investissement avantageux.

## Évaluation et optimisation des performances

L'exploitation et le maintien à niveau d'un réseau mondial de systèmes de surveillance posent de sérieuses difficultés. L'acquisition et la transmission en temps quasi réel de données continues et segmentées, de même que le traitement

to read the full report

et l'analyse ultérieures de ces données, doivent répondre à de stricts critères de disponibilité, de qualité et de régularité des données opérationnelles, et ce sur la durée. Les performances dépendent essentiellement de technologies de base, telles que le système informatique et le réseau électrique. L'évaluation et l'optimisation des performances du système de vérification de l'OTICE font intervenir des facteurs tels que les améliorations de l'efficacité et de la rentabilité, la fiabilité et la sécurité. Les présentations du Thème 4.1 ont principalement porté sur l'évaluation et la modélisation des performances, bien que ce sujet ait aussi été abordé lors d'autres séances, débats d'experts et interventions d'invités. La pandémie de COVID-19 a engendré des difficultés sans précédent pour le système de surveillance. Malgré la pandémie mondiale, la disponibilité moyenne des données, toutes technologies confondues, a été très élevée en 2020-2021.

Les personnes qui se sont exprimées lors du débat d'experts [J04](#) et de l'intervention d'invité [I04-717](#) ont fait des observations sur les avantages des miniréseaux et sur l'intérêt qu'il y avait à accroître le nombre de capteurs. S'agissant des capteurs d'infrasons, il a été indiqué que la mise au point de capteurs à faible coût/faible consommation d'énergie pouvait faciliter le remplacement des capteurs individuels par des miniréseaux. Il a également été recommandé de développer l'utilisation de stations auxiliaires. Au cours de l'intervention d'invité, il a été noté qu'il fallait étendre la détection du xénon par le réseau à cause de la brièveté de la période des isotopes concernés. Lors du débat d'experts [J04](#), il a été suggéré qu'après l'entrée en vigueur, la Conférence des États parties pourrait envisager de faire passer de 40 à 80 le nombre de systèmes de détection des gaz rares, car ceci renforcerait considérablement les capacités de vérification mises en œuvre dans le cadre du Traité.

L'état d'avancement du projet de refonte des systèmes de traitement des données sismologiques, hydroacoustiques et infrasonores du CID a été décrit à l'occasion de la

présentation [P4.1-324](#). Ce projet vise à créer un logiciel libre plus moderne pour le traitement des données sismologiques, hydroacoustiques et infrasonores, ainsi qu'à faciliter la maintenance et le développement du système. Lors de la présentation [P4.1-113](#), il a été souligné qu'il était nécessaire de mettre à jour le manuel de traitement des données sismologiques, hydroacoustiques et infrasonores du CID, rédigé en 2002. La présentation [O4.1-624](#) a décrit une méthode innovante de traitement des caractéristiques de source des événements infrasonores. Pour localiser les événements, l'inférence bayésienne habituelle est associée à un échantillonnage réalisé sur la base d'un métamodèle. La présentation [O4.1-519](#) a porté sur une méthode stochastique entièrement automatisée de calcul de la répartition optimale des stations au sein d'un réseau sismologique permanent ou temporaire. Lors de la présentation [P4.1-339](#), des données sur des explosions de relativement faible intensité ont été mises à profit pour évaluer la précision de la localisation et l'estimation de la magnitude des événements enregistrés par le réseau du SSI. La présentation [O4.1-121](#) a porté sur le nouveau simulateur de champ de rayonnement RaFTS (Radiation Field Training Simulator), une méthode innovante reposant sur l'injection de signaux. La présentation [P3.1-115](#) a mis en lumière les performances obtenues après la mise à niveau majeure d'une station composite de surveillance des infrasons installée dans un lieu éloigné aux conditions climatiques difficiles.

Les tests relatifs à l'état de préparation des CND sont pour ceux-ci une excellente occasion de procéder à des tests basés sur une enquête de scénario de détection d'explosions nucléaires dans le cadre de la surveillance prévue par le Traité. La présentation [O4.1-636](#) a décrit en détail le scénario du test effectué en 2019. Deux CND ont décrit leurs enquêtes dans le cadre des présentations [P4.1-365](#) et [P4.1-613](#). Le processus du test relatif à l'état de préparation des CND de 2019 a pris du retard en raison du report à 2020 et 2021 des réunions en présentiel du personnel des CND.

to read the full report

### **Résilience du régime de surveillance de l'OTICE : la pandémie de COVID-19**

La pandémie de COVID-19 a été l'occasion pour les opérateurs des stations et réseaux, ainsi que pour le Secrétariat, de tester leur capacité à faire face aux limitations et aux restrictions des réseaux. À la suite de cette crise, de nombreux enseignements ont été tirés et un grand nombre de solutions ont été mises en œuvre, ou sont en cours de mise en œuvre. Parmi les nombreux enseignements tirés, il a notamment été question des suivants :

Il s'est avéré que l'exploitation à distance des réseaux était une solution fonctionnelle, voire efficace. Néanmoins, pour la maintenance des stations, un bon appui local est essentiel.

Il est crucial pour une exploitation et une maintenance efficaces des stations de renforcer les capacités de maintenance et de dépannage à distance.

L'appui local des stations est d'une importance vitale pour le dépannage et les réparations. La bonne formation du personnel d'appui local est essentielle et réduit considérablement les déplacements nécessaires.

Il est extrêmement important d'élaborer et de mettre en place des moyens de communication fiables avec les opérateurs locaux et les opérateurs de stations, de même qu'avec toutes les parties prenantes à l'exploitation et à la maintenance des stations. Il s'est révélé bénéfique d'adopter une approche plus souple de la communication, s'appuyant sur différents canaux. Pour être résilientes, les stations doivent être robustes, ce qui implique notamment de les équiper de capteurs de qualité, de capacités de stockage des données en local et de systèmes énergétiques à consommation minimale.

Une bonne logistique des pièces de rechange constitue la base d'une maintenance efficace, en particulier en cas de panne. Il convient donc de prévoir des dépôts locaux de pièces de rechange, des composants remplaçables à chaud et des tests préalables approfondis des pièces de rechange.

Les visites de maintenance préventive et l'exploitation régionalisée (par exemple dans les régions au climat extrême) permettent de réduire les temps d'arrêt et les interruptions de la disponibilité des données.

La formation à distance, l'apprentissage en ligne et les vidéos de dépannage peuvent permettre de surmonter les restrictions imposées aux déplacements.

### **Propagation des signaux**

Il est crucial d'approfondir les connaissances sur les milieux de propagation de tous les signaux faisant l'objet d'une surveillance. Le milieu de propagation (le sol pour les signaux sismiques, l'atmosphère pour les infrasons et les radionucléides, et l'océan pour les signaux hydroacoustiques) détermine le temps que met un signal pour parvenir jusqu'aux capteurs, il affecte la puissance du signal et, pour ce qui est des formes d'onde, il modifie la forme du signal du fait de la dispersion. Lors de la conférence Snt2021, des discussions de haut niveau ont porté sur les propriétés du sol ([H1-720](#)), de l'atmosphère ([H3-715](#)) et des océans ([H2-716](#)).

La plupart des organismes de surveillance s'appuient sur des modèles terrestres unidimensionnels (1-D) rapides et dépendants de la distance pour calculer rapidement et quasiment en temps réel la localisation des événements sismiques. Le progiciel de calcul de la propagation sismique à l'échelle régionale (RSTT), qui a fait l'objet de la présentation [P1.2https://conferences.ctbto.org/event/7/contributions/857120](https://conferences.ctbto.org/event/7/contributions/857120), permet de déterminer les principales incidences de la structure tridimensionnelle (3D) de la croûte terrestre et du manteau supérieur sur les temps de propagation sismique à l'échelle régionale, tout en affichant une vitesse de prédiction rapide (de l'ordre de la milliseconde). Le CID et de nombreux CND ont pris une part très active aux essais du RSTT et apporté des contributions importantes qui ont donné lieu à des améliorations considérables, s'agissant en particulier du

to read the full report

modèle d'incertitude ([J05](#)). Les améliorations apportées au modèle RSTT permettent une meilleure estimation du temps de propagation des signaux régionaux.

L'apprentissage automatique reproduit efficacement les calculs du temps de propagation, ce qui permet de faire appel à des modélisations de la Terre de pointe dans le système opérationnel ([O3.6-118](#)). La présentation [O3.5-119](#) a été l'occasion de proposer des comparaisons cohérentes de la précision de localisation sismique de modèles de vitesse en 2D et en 3D ayant été conçus grâce à différents algorithmes d'inversion paramétrique et de lancer de rayons. Lors de la présentation [P1.2-369](#), la différence entre la vitesse de propagation des ondes de Rayleigh et de Love servant au calcul de l'anisotropie radiale a été analysée. Les présentations [O1.2-165](#) et [O1.2-412](#) ont porté sur l'analyse des données des ondes P aux fins de l'amélioration des modèles de vitesse au Moyen-Orient. D'autres exemples d'exploitation régionale du RSTT ont été cités lors des présentations [P2.5-086](#), [P2.5-092](#) et [O5.3-072](#). La présentation [P1.2-041](#) a porté sur la modélisation de la vitesse des ondes de cisaillement ( $V_s$ ) dans la lithosphère à l'échelle continentale grâce à l'analyse conjointe du bruit de fond sismique et de données sur les séismes. La présentation [P1.2-368](#) a décrit les résultats d'un forage réalisé dans des roches crustales et d'études sismiques actives.

Lors de l'intervention d'invité [I03-714](#), il a été expliqué que la classification des signaux infrasonores et la localisation précise des événements étaient complexes en raison du manque d'homogénéité et de l'évolution constante de l'atmosphère, ainsi que des conditions environnementales très changeantes sur les sites d'enregistrement. La variabilité de l'atmosphère moyenne est très importante. Des observations sur le long terme ont mis en évidence des lacunes dans les connaissances sur les modèles atmosphériques. Les événements acoustiques dans l'atmosphère peuvent donner lieu à de fausses détections d'événements. La présentation [P1.1-627](#) a porté sur un cadre

hybride permettant d'établir des modèles de probabilité a priori à partir de modélisations des formes d'onde.

Lors de la présentation [P1.3-490](#), il a été question des calculs 3D sur la propagation des signaux acoustiques océaniques dans un océan stratifié. La présentation [P1.3-526](#) a porté sur une méthode associant mode normal et équation parabolique pour la modélisation de la propagation des signaux acoustiques océaniques. Lors de la présentation [P1.3-408](#), il a été souligné qu'il était nécessaire de prendre en compte les variations dans le temps et dans l'espace possibles de la vitesse du son dans les océans, car elles peuvent avoir des incidences sur la propagation acoustique dans les fréquences moyennes et élevées.

#### Modélisation du transport atmosphérique

Du fait de sa dynamique et de sa variabilité, l'atmosphère pose des difficultés particulières. La modélisation du transport atmosphérique est nécessaire pour établir le lien entre un événement sismique et une série de détections de radionucléides. La présentation [Is4-332](#) a décrit la mise en œuvre d'un système de modélisation du transport atmosphérique. Le système de modélisation exploité actuellement repose sur FLEXPART, un modèle lagrangien de dispersion des particules, et il met à profit des données météorologiques mondiales. La simulation inverse est la méthode privilégiée quand une source est inconnue. Dans les cas particuliers où l'emplacement de la source est connu, on procède à une modélisation prévisionnelle. Grâce à l'optimisation de FLEXPART et aux nouveaux serveurs acquis en 2019 pour les opérations de modélisation du transport atmosphérique, il est à présent possible de réaliser une simulation en moins de quatre heures. Les présentations [Is4-332](#), [O2.4-056](#) et [P2.4https://conferences.ctbto.org/event/7/contributions/986637](#) ont décrit les activités entreprises dans le cadre du troisième défi sur la modélisation du transport

to read the full report

atmosphérique, un exercice international lancé en novembre 2019 qui porte sur l'abondance du radioxénon. Il est très difficile d'appliquer des modèles atmosphériques en microrésolution à des terrains complexes. Les présentations [01.1-596](#) et [P1.1-650](#) ont porté sur des travaux pratiques menés sur le terrain en vue d'évaluer les performances des modèles. Il a été question des différences entre les sensibilités prévisionnelle et inverse.

### Abondance des radionucléides

Il est essentiel de pouvoir faire la distinction entre les signaux des explosions nucléaires et la radioactivité naturelle et anthropique de l'atmosphère. Il apparaît que l'abondance mondiale d'isotopes du xénon est plus élevée aujourd'hui que ce qui avait été envisagé au moment de la rédaction du Traité, il y a 25 ans, principalement à cause du xénon émis par les producteurs d'isotopes médicaux. S'il est difficile de distinguer les signaux d'explosions nucléaires de la radioactivité normale de l'atmosphère, c'est principalement en raison de la grande variabilité de cette radioactivité dans le temps et dans l'espace ([Is7-604](#)). L'exploitation des données recueillies dans les installations choisies peut se révéler utile pour éliminer l'effet de ces sources.

Bien que les rapports isotopiques sur la radioactivité normale soient généralement différents de ceux associés à une explosion nucléaire, des incertitudes subsistent quant à l'interprétation des mesures du SSI. Si l'on pouvait déterminer la source des émissions civiles de xénon, la vérification gagnerait en fiabilité. Les présentations [P2.4-211](#) et [P2.4-078](#) ont porté sur STAX (Source Term Analysis of Xenon), un réseau expérimental de capteurs visant à détecter et à quantifier les isotopes du xénon émis par la filière de production des isotopes médicaux et par d'autres installations nucléaires. La présentation [P2.4-206](#) a décrit des mesures qui améliorent la caractérisation des émissions de radionucléides provenant d'un réacteur électronucléaire. Dans la présentation [02.4-138](#), il a été

question des premières observations de  $^{125}\text{Xe}$ , de  $^{127}\text{Xe}$  et de  $^{129\text{m}}\text{Xe}$  dans l'environnement. De même, la présentation [P2.4-607](#) a porté sur le radioxénon émis par des sources d'activation telles qu'un réacteur ou une puissante source de neutrons de spallation. Des études de cas montrent qu'il est possible que le  $^{133}\text{Xe}$  et le  $^{135}\text{Xe}$  détectés par le passé aient eu pour origine une source de neutrons de spallation. La présentation [02.4-510](#) a porté sur l'analyse des détections de radioxénon par le système SPALAX-NG de nouvelle génération, qui a été installé près de Paris en 2019. La grande sensibilité de ce système a permis de réaliser un grand nombre de détections multi-isotopiques, notamment de  $^{133}\text{Xe}$ , de  $^{135}\text{Xe}$  et de  $^{131\text{m}}\text{Xe}$ . Les résultats de la modélisation du transport atmosphérique ont montré que les isotopes détectés provenaient du principal émetteur situé à Fleurus (Belgique), mais aussi d'un producteur local de radioéléments destinés à la médecine. La présentation [02.4-709](#) a porté sur deux méthodes statistiques, l'une paramétrique et l'autre non paramétrique, qui, quand elles sont employées pour mesurer l'activité massique du  $^{133}\text{Xe}$ , permettent de mieux comprendre la radioactivité naturelle de l'atmosphère et les valeurs anormales. L'application de ces méthodes statistiques a été illustrée par des exemples dans les présentations [02.4-406](#), [P2.4-260](#) et [P2.4-261](#).

### Traitement des signaux correspondant aux radionucléides

Les observations de radionucléides faites par le SSI sont un élément important du régime de vérification de l'OTICE car elles permettent de distinguer les explosions conventionnelles des explosions nucléaires. Lors du débat [J05](#), les expertes et experts ont noté que d'importants progrès avaient été enregistrés dans le domaine du traitement des radionucléides. Il est désormais possible d'utiliser à la fois les détections et les non-détections pour établir des distributions de probabilités concernant le lieu d'émission initial et de calculer le moment et l'ampleur de l'émission. Quatre difficultés majeures ont été citées : 1) Comment faire fusionner les mesures du xénon et

to read the full report



des aérosols ? 2) Comment prendre en compte l'abondance normale des radionucléides ? 3) Comment utiliser les rapports isotopiques comme outil de filtrage ? et 4) Comment produire automatiquement une liste de mesures associées, comme on le fait avec les formes d'onde ?

S'il est difficile de distinguer les signes d'explosions nucléaires de la radioactivité normale de l'atmosphère, c'est principalement en raison de la grande variabilité de cette radioactivité dans le temps et dans l'espace ([Is7-604](#)). L'émission de radioxénon produit par activation peut occasionnellement donner lieu à des interférences dans l'analyse du radioxénon par spectroscopie bêta-gamma. Lors de la présentation [O3.5-456](#), des simulations ont été utilisées pour tester l'hypothèse selon laquelle les taux d'activité isotopique pouvaient permettre de distinguer les isotopes résultant de l'activation de ceux produits par la fission. La présence d'argon 37 est un indicateur caractéristique d'une explosion nucléaire souterraine. La présentation [P3.5-483](#) a porté sur une méthode d'évaluation des émissions de <sup>37</sup>Ar provenant de réacteurs de recherche qui consistait à examiner un substitut approprié, tel que le <sup>41</sup>Ar, pour lequel on disposait de données sur les rejets à la cheminée.

Les présentations [P3.5-507](#) et [O3.5-573](#) ont donné un aperçu des méthodes d'analyse des radionucléides employées au CID. Les améliorations qui pourraient y être apportées sont notamment l'optimisation des spectres standard à l'aide d'analyses de régression, l'ajustement en 3D et les comptages d'ensemble, ainsi que l'apprentissage automatique. Lors de la présentation [P3.5-610](#), il a été proposé de mener des projets scientifiques pour approfondir encore les méthodes permettant d'associer des échantillons multiples à un même événement d'émission de radionucléides et de remonter jusqu'aux sources connues. Dans les présentations [O3.6-225](#) et [P3.6-509](#), un modèle de classification des spectres de coïncidence bêta-gamma pour le radioxénon reposant sur

l'apprentissage profond (technique CNN) a été proposé pour la présélection des échantillons présentant un intérêt aux fins du Traité. La présentation [P3.6https://conferences.ctbto.org/event/7/contributions/1158516](https://conferences.ctbto.org/event/7/contributions/1158516) a porté sur la détection automatique des radionucléides au moyen de réseaux de neurones profonds utilisés avec les données de détecteurs de rayons gamma. La présentation [P3.5-245](#) a décrit l'élaboration d'un processus automatisé de fusion des flux de données sur les radionucléides et de ceux de la modélisation du transport atmosphérique. Ce processus produit également des cartes virtuelles interactives permettant une consultation rapide des données. La présentation [P3.5-026](#) a décrit une méthode de classement des spectres de radionucléides comme étant « probablement normaux » ou « nécessitant un examen ». Cette méthode ne fait appel en rien à la science des radionucléides.

#### **Traitement des données sismiques, hydroacoustiques et infrasonores**

Le thème de l'analyse des données (y compris l'intelligence artificielle et les méthodes d'apprentissage automatique) a été abordé dans le discours liminaire prononcé pendant la journée d'ouverture ([G3](#)), lors de deux débats d'experts ([J05](#), [J08](#)), dans plusieurs interventions d'invités ([I01-722](#), [I08-723](#), [Is1-353](#), [Is6-454](#)) et dans de nombreuses présentations orales et par affiches, notamment en rapport avec les Thèmes 3.5 et 3.6. Les débats et les présentations ont principalement porté sur le recours à l'apprentissage automatique et à l'intelligence artificielle, sur les outils d'analyse, sur la transition de l'analyse des paramètres de temps d'arrivée vers l'analyse des formes d'onde complètes, sur l'amélioration des connaissances sur les incertitudes, sur les applications de traitement synthétique des données et sur les nouveaux paradigmes et méthodes de la filière.

NET-VISA est un modèle génératif physique de sismologie mondiale qui a récemment été intégré au logiciel opérationnel

to read the full report

du CID. Ses avantages ont été examinés à l'occasion d'interventions d'invités ([I08-723](#), [Is6-454](#)), de la présentation orale [O3.6-400](#) et de plusieurs présentations par affiches ([P1.1-158](#), [P3.6-651](#), [P4.1-294](#), [P4.1-330](#)). Au départ, NET-VISA avait été créé pour associer des événements sismiques, mais aujourd'hui il prend aussi en charge les données d'événements hydroacoustiques ([Is2-283](#)) et infrasonores ([Is3-381](#), [P1.1https://conferences.ctbto.org/event/7/contributions/791158](#)). NET-VISA est appelé à devenir le système d'association de phases par défaut. Un nouvel outil appelé SIG-VISA ([I08-723](#), [Is2-283](#)) est actuellement mis au point. Il prendra en compte les formes d'onde complètes et ses analyses couvriront également le profil global des formes d'onde et le taux de décroissance de la coda, la superposition des signaux, la continuité spatiale des résidus de temps de propagation, la répétabilité des formes d'onde, entre autres. L'importance des modèles physiques a aussi été soulignée à plusieurs reprises, ceux-ci étant nécessaires pour que l'explicabilité reste un aspect important du processus d'interprétation (débat [J08](#)).

Le progiciel « NDC in a box » est développé, distribué et pris en charge par le Secrétariat. Il permet aux CND d'assurer diverses fonctions, telles que la réception, l'archivage, le traitement et l'analyse des données provenant des stations du SSI. La présentation [P3.5-584](#) a démontré comment le détecteur F généralisé (Gen-F) avait été intégré dans le cadre de détection du logiciel de détection et d'extraction de caractéristiques (logiciel DFX) d'un CND. La présentation [P4.1-294](#) a porté sur les résultats des essais de la dernière version, qui intègre le système d'association NET-VISA à l'outil SeisComp3.

Lors de la présentation [I01-722](#), il a été souligné qu'une transition importante s'opérait dans l'analyse des données : les temps d'arrivée sont progressivement abandonnés au profit des formes d'onde complètes. La présentation [O3.5-398](#) a porté sur la détection des ondes Lg par corrélation croisée aux fins de la localisation de nouveaux événements

sismiques à l'aide d'un réseau sismologique provisoire épars. La présentation [Is1-353](#) a décrit de nouvelles applications possibles de l'analyse technique d'experts. Lors de la présentation [P3.5-194](#), il a été question d'un outil d'estimation de la profondeur semi-automatique qui a été conçu pour les événements d'une profondeur inférieure à 3 kilomètres. Dans la présentation [O1.2-277](#), deux méthodes complémentaires ont été proposées pour améliorer les rapports signal/bruit et permettre l'identification automatique des phases de profondeur cohérentes. L'outil Spot Check ([P3.5-355](#), [P3.5-354](#)) est basé sur la corrélation croisée des données de forme d'onde et exploite les informations provenant des événements historiques du BRE. La présentation [P3.5https://conferences.ctbto.org/event/7/contributions/1110183](#) a décrit les travaux réalisés en vue d'améliorer l'efficacité des détections de corrélation croisée des données de forme d'onde sur la base des modèles de métadonnées d'événements et d'une analyse réseau des stations corroborantes. Disponible gratuitement, l'outil Coda Calibration Tool (CCT) est une plateforme Java rapide et simple d'emploi ([P3.5-453](#)) qui offre des résultats trois à quatre fois moins variables que les estimations traditionnelles, réalisées à partir d'ondes directes.

L'identification automatique d'événements sismiques répétitifs tels que les répliques et les explosions minières peut contribuer à améliorer la qualité des bulletins automatiques et à réduire la charge de travail des analystes ([P2.3-356](#)). Basé sur un réseau de neurones profonds, l'outil ArrNet ([P3.6-707](#)) peut affiner avec fiabilité la sélection automatique des arrivées et améliorer la qualité des listes d'événements créées de façon automatique, réduisant ainsi le temps d'examen interactif.

Contrairement à celle des stations composites, l'estimation de l'azimut arrière des stations 3-C est parfois instable ([Is6-454](#)). BazNet ([P3.6-706](#)) est un réseau de neurones profond qui produit des prédictions d'azimut station par station accompagnées d'une mesure de l'incertitude. Lors de la présentation [O3.5-462](#),

to read the full report

des arguments ont été donnés en faveur de l'exploitation des trois composantes des dispositifs sismiques 3-C afin que la cohérence des éléments horizontaux puisse être mise à profit. Bien que chaque élément d'information soit utile pour la vérification, on pourrait encore mieux exploiter les mesures multitechnologiques en fusionnant les données, c'est-à-dire en intégrant des sources de données disparates dans une analyse unifiée et complète des événements ([P3.5-476](#), [P3.5-127](#), [O2.3-130](#), [P2.3-116](#), [P2.3-246](#), [P2.3-366](#) et [P3.1-265](#)). Les signaux de forme d'onde sont généralement contaminés par du bruit provenant de sources diverses. La présentation [P3.6-124](#) a décrit la mise en œuvre d'une méthode de débruitage sismique basée sur un modèle CNN profond amélioré par apprentissage. La présentation [P3.6https://conferences.ctbto.org/event/7/contributions/1147615](https://conferences.ctbto.org/event/7/contributions/1147615) a porté sur l'élaboration d'un réseau de neurones profond de nouvelle génération, conçu pour prédire le bruit de fond des infrasons.

### **Données et événements du passé, physique des événements et méthodes de filtrage**

Au cours des 25 années écoulées depuis l'ouverture du Traité à la signature, il n'y a eu que quelques explosions expérimentales. S'il s'agit là d'une bonne nouvelle, cela ne facilite pas la validation des outils et méthodes du réseau de surveillance de l'OTICE. Comme il l'a été dit lors du débat d'experts [J03](#), le trésor que représentent les observations d'explosions nucléaires expérimentales effectuées par le passé est d'une grande utilité pour l'établissement d'études de cas réalistes permettant de valider les méthodes, l'objectif étant d'identifier la source d'un événement présentant un intérêt pour la surveillance dans le contexte du Traité. Ces données peuvent également servir à mettre en évidence les difficultés que pose la surveillance des explosions nucléaires ainsi qu'à élaborer des formations et des tests des performances pour les CND. Il y a un besoin de données historiques provenant du plus grand nombre possible de régions et de milieux géologiques.

Les signaux émis lors d'essais réalisés dans l'atmosphère, sous l'eau et sous terre doivent être préservés. La plupart des activités en cours se concentrent sur les données sismiques car les données hydroacoustiques et infrasonores du passé sont rares, tout comme celles sur les radionucléides.

Il convient de prendre en compte quatre aspects en ce qui concerne les données historiques : 1) comprendre quelles données sont disponibles et peuvent être récupérées et utilisées, 2) savoir numériser ou scanner les données, 3) utiliser les métadonnées et 4) mettre les données à la disposition du secteur dans son ensemble. L'étalonnage à l'aide de mécanismes d'événements connus est l'un des moyens dont on dispose pour récupérer les réponses inconnues enregistrées par les capteurs d'événements. La comparaison des données enregistrées à l'aide des instruments dont les réponses sont connues et inconnues nous aide à comprendre les réponses inconnues. Les présentations [O2.5-298](#) et [P2.5-297](#) ont décrit le catalogue de données sismiques correspondant à 47 essais nucléaires effectués sur le site de Lop Nor (Chine) entre 1964 et 1996. Les présentations [P2.5-594](#) et [P2.5-499](#) ont porté sur la récupération et la numérisation des sismogrammes d'explosions nucléaires pacifiques réalisées par l'Union soviétique dans des environnements géologiques et géographiques très divers. Les rapports spectraux d'amplitude ont été mis à l'essai en tant que critère de distinction. Les explosions chimiques anciennes peuvent également servir d'événements de référence pour l'étalonnage des réseaux sismologiques régionaux. La présentation [P2.5-176](#) a décrit les données sur les grandes explosions chimiques effectuées au Kazakhstan à l'époque soviétique. D'autres données sur les événements sismiques du passé ont fait l'objet des présentations [P2.5https://conferences.ctbto.org/event/7/contributions/1016086](https://conferences.ctbto.org/event/7/contributions/1016086) et [P2.5-089](#) (Asie centrale) et [P2.5-181](#) (Kazakhstan). La présentation [O2.5-481](#) a porté sur une publication sur la surveillance des radionucléides dans l'atmosphère en lien avec 35 essais nucléaires réalisés

to read the full report

entre 1964 et 1996. La plupart de ces essais ont eu lieu dans l'atmosphère, mais des débris nucléaires provenant de rejets d'essais nucléaires souterrains ont également été observés.

Bien que le dernier essai nucléaire annoncé de la République populaire démocratique de Corée remonte à 2017, les travaux d'analyse sont toujours en cours. La présentation [02.1-275](#) a porté sur des détections des stations à hydrophones du SSI lors des phases primaire et tertiaire de cet essai. Il semble qu'il s'agisse des premières détections de ce type effectuées par des stations à hydrophones du SSI. La présentation [P2.1-643](#) a donné une vue d'ensemble du rôle joué par la modélisation du transport atmosphérique dans l'analyse des détections de radionucléides émis lors des essais réalisés en République populaire démocratique de Corée. Des rapports isotopiques correspondant à des explosions nucléaires, recueillis dans des conditions atmosphériques favorables, ont été observés pour deux tests (2006, 2013). Les résultats concernant deux essais ont été cohérents mais non concluants, seul du  $^{133}\text{Xe}$  ayant été détecté (janvier 2016, 2017). Pour deux autres essais (2009 et septembre 2016), il n'a pas été possible de détecter de traces de radioxénon potentiellement liées.

La présentation [P2.1-123](#) a porté sur des analyses discriminantes associant les rapports  $\text{Pg/Lg}$  et  $\text{Pn/Lg}$  interspectraux des stations régionales. Ces analyses ont permis de distinguer les effondrements de cavités de l'ensemble des explosions nucléaires. Cependant, la distinction entre les séismes et les effondrements de cavités est ambiguë. La présentation [P2.1-371](#) a décrit l'élaboration d'une méthode rapide et automatisée de caractérisation complète des sources sismiques, qui a permis d'identifier correctement tous les essais nucléaires annoncés par la République populaire démocratique de Corée.

Étant donné que les essais souterrains annoncés n'ont pas tous donné lieu à la détection de signaux indiquant la présence de radionucléides, il est important de comprendre les conditions

qui affectent ces rejets de gaz et de particules. La présentation [02.4-477](#) a porté sur les résultats d'une série d'expériences à méso-échelle destinées à améliorer la compréhension des interactions entre la puissance de la source et les paramètres environnementaux. La présentation [02.1-208](#) a porté sur les implications, s'agissant de la teneur isotopique du radioxénon libéré, de l'évolution de la cavité après une explosion nucléaire souterraine. L'analyse approfondie qui a été présentée suggère que les rapports isotopiques étaient plus différents de l'abondance civile que ne le prédisaient les modèles standard idéalisés. L'analyse suggère également que la quantité réduite de radioxénon libéré est inférieure à celle des modèles standard.

L'énergie des explosions nucléaires n'est pas la préoccupation directe de l'OTICE mais il s'agit néanmoins d'une donnée intéressante pour les États signataires car elle leur permet de mieux connaître les capacités du réseau du SSI. Comme il l'a été décrit dans la présentation [101-722](#), les données historiques sur les essais ont montré qu'une grande partie de l'énergie était absorbée par l'écrasement des roches situées à proximité immédiate de la cavité et dans le cercle large des déformations anélastiques dues à l'explosion.

L'une des principales difficultés qui se posent pour l'OTICE est de faire la distinction entre les nombreux événements naturels et anthropiques détectés et une possible explosion nucléaire. Des méthodes de filtrage ont été conçues pour les signaux captés par l'ensemble des technologies du réseau de surveillance. Pour ce qui est du filtrage des radionucléides, la présentation [1s7-604](#) a décrit des méthodes permettant de distinguer les signaux d'explosions nucléaires de la radioactivité normale présente dans l'atmosphère. Il arrive parfois qu'il y ait erreur sur les attributs, ce qui donne de faux positifs. La présentation [P2.3-415](#) a porté sur l'analyse de données sur la séquence d'éruption et d'effondrement d'un volcan datant de 2018, qui sont analogues aux événements

to read the full report

consécutifs à une explosion nucléaire. L'élaboration initiale de l'échelle de magnitude en mb et du critère mb/Ms devant permettre le filtrage des événements reposait principalement sur les données d'onde de volume enregistrées par des instruments standard à courte période. Aujourd'hui, grâce à l'utilisation conjointe d'instruments à courte période et à large bande, on bénéficie d'une meilleure compréhension des variations dans les valeurs en mb, ce qui améliore le filtrage des événements ([P2.3-240](#)).

Les informations sur les tenseurs des moments jouent un rôle important dans la compréhension de l'origine des événements. Il est difficile de calculer ces tenseurs pour les événements sismiques de faible intensité. La présentation [P1.2-659](#) a porté sur une nouvelle analyse des méthodes d'inversion des amplitudes des ondes P et S et d'inversion des formes d'onde complètes des stations 3-C, utilisées conjointement aux polarités du mouvement initial. Comme il a été souligné dans la présentation [Is1-353](#), les similitudes des signaux produits par les séismes et les explosions sont un problème important quand le mécanisme focal est utilisé en tant que paramètre de sélection. La profondeur est un paramètre très utile pour le filtrage des événements et son calcul est l'objectif principal de l'application ParMT. La présentation [01.2-277](#) a porté sur la caractérisation des incertitudes associées au calcul de la profondeur télé-sismique.

Une sous-section a été spécialement consacrée aux résultats de l'analyse des signaux captés à la suite de l'explosion tragique qui s'est produite au port de Beyrouth (Liban) le 4 août 2020. Cette explosion a produit des signaux sismiques, acoustiques, infrasonores et hydroacoustiques qui se sont propagés dans la lithosphère, dans l'atmosphère et dans l'hydrosphère. Lors des présentations, des informations provenant de différents capteurs et technologies du système de surveillance de l'OTICE ont été mises à profit pour estimer l'énergie dégagée par l'événement. Il est compliqué d'établir des estimations

exactes à partir des données sismiques du fait de l'incertitude liée au couplage des données sur l'explosion en surface et de celles des ondes sismiques. La plupart des estimations d'énergie étaient comprises entre 0,5 et 1 kt ([02.1-656](#), [02.1-228](#), [02.1-191](#), [P2.1-195](#), [02.1-290](#), [02.1-656](#), [P2.1-540](#), [P1.1-401](#), [P1.1-137](#), [P1.1-588](#) et [P1.1-672](#)). L'intérêt de combiner des données provenant de différentes technologies a été démontré. Par exemple, en associant un signal sismique à des signaux infrasonores, on est parvenu à réduire considérablement les erreurs de localisation.

La présentation [P4.1-446](#) a porté sur une analyse des statistiques d'événements de forme d'onde associés à une sismicité essentiellement naturelle, qui ont été traitées et analysées par le CID au cours des 20 dernières années, et diffusées quotidiennement dans le BRE depuis février 2000. Le retraitement complet de la base de données infrasonores du SSI a été décrit dans les présentations [01.1-389](#) et [P1.1-399](#), et il couvre la période allant de janvier 2003 à décembre 2020 et des données pouvant provenir de 53 stations. Les stations à hydrophones du SSI fournissent des données de qualité, qui affichent un bruit de fond de faible intensité. La présentation [P1.3-402](#) a porté sur l'analyse de données récoltées pendant des années et traitées à l'aide de l'algorithme de détection du logiciel DTK-PMCC. Les présentations [P2.5-086](#) et [P2.5-089](#) ont décrit la création d'un bulletin sismologique unifié pour l'Asie centrale, à partir de données recueillies entre 1949 et 2009. La présentation [P1.2-155](#) a eu pour thème la cohérence entre les magnitudes des tremblements de terre du CID et celles du Centre sismologique international (CSI). Lors de l'intervention d'invité [I08-723](#), il a été suggéré d'envisager l'utilisation de bulletins présentant plusieurs hypothèses et probabilités. Il a été noté que la politique de signalement des événements devrait prendre en compte une analyse du coût relatif des faux positifs et des faux négatifs.

to read the full report

## Inspections sur place

Deux interventions d'invités ont porté sur la composante inspections du régime de vérification. Les inspections sur place ont également été couvertes dans le cadre du Thème 2.2. La présentation [I05-727](#) a donné un aperçu du développement remarquable des capacités d'inspection et de leurs interrelations. L'un des principaux objectifs de ces travaux est l'établissement du premier projet de liste complète du matériel destiné aux inspections sur place ([I05-239](#)). La présentation [P4.4-257](#) a décrit les phases de développement du programme d'essai des techniques d'inspection. Le programme de formation des inspecteurs, qui sont désignés par les États signataires, est un autre résultat important des travaux accomplis au cours des 25 dernières années. Jusqu'à présent, trois cycles de formation ont été menés à bien. Le potentiel des développements et innovations techniques des inspections a été mis en évidence dans la présentation [I05-727](#), notamment l'achèvement du cycle de développement des techniques existantes, l'élaboration d'autres techniques telles que la sismométrie de résonance, les prospections sismiques actives et les forages, les gains d'efficacité et d'efficience dans le déroulement des inspections, ainsi que le renforcement des capacités d'inspection dans des conditions environnementales non standard et dans des environnements autres que souterrains.

L'infrastructure joue un rôle décisif dans la conduite des inspections sur place. Celle qui a été mise en place à la fois au siège du Secrétariat à Vienne (Centre de soutien aux opérations d'inspection sur place) et au Centre TeST comprend l'installation de stockage et de maintenance du matériel d'inspection à Seibersdorf (Autriche). L'infrastructure sur le terrain est tout aussi importante. La présentation [P2.2-220](#) a décrit le concept et l'organisation actualisés du Centre de soutien aux opérations d'inspection sur place en tant que composante ad hoc du Centre d'opérations de l'OTICE.

La présentation [P2.2-575](#) a traité de la certification, de l'étalonnage et de la maintenance du matériel d'inspection.

Plusieurs présentations ont porté sur les techniques d'inspection et sur les signatures correspondantes. La présentation [O2.1-420](#) a décrit une nouvelle méthode de détection des cavités créées par une explosion nucléaire souterraine, qui repose sur l'utilisation de la puissance spectrale à intervalles définis du bruit sismique ambiant. La présentation [O3.1-296](#) a porté sur le potentiel de la sismique répétitive pour l'identification du point zéro au moyen de la surveillance des phénomènes dynamiques consécutifs à une explosion. La présentation [P3.2-691](#) a décrit dans leurs grandes lignes la configuration et la conception du laboratoire de terrain de nouvelle génération consacré aux inspections sur place, s'agissant en particulier des exigences en matière de mesure des isotopes du xénon et de l'argon présentant un intérêt pour les inspections. Il a également été question des améliorations apportées à des systèmes de détection du xénon destinés à une utilisation sur le terrain dans le cadre d'inspections ([P3.2-https://conferences.ctbto.org/event/7/contributions/1075424](https://conferences.ctbto.org/event/7/contributions/1075424), [P3.2-518](#)). La présentation [O3.2-654](#) a porté sur les difficultés que présente la mesure de <sup>37</sup>Ar. La présentation [P2.1-474](#) a donné lieu à une discussion sur l'évaluation de la viabilité du <sup>39</sup>Ar en tant qu'indicateur potentiel pour le long terme. S'agissant du traitement de l'imagerie, des présentations ont été données sur différents capteurs optiques et radar ([O3.3-117](#), [O3.3-https://conferences.ctbto.org/event/7/contributions/1079085](https://conferences.ctbto.org/event/7/contributions/1079085), [P3.3-586](#), [P3.3-132](#)).

## Applications civiles et scientifiques

L'intervention d'invité [I06-721](#), qui a porté sur les applications civiles et scientifiques des technologies de l'OTICE, a été présentée par le Directeur de la Division du CID, qui a souligné que le but premier du régime de vérification était de s'assurer du respect du Traité. Néanmoins, cet instrument dispose expressément que les États parties peuvent bénéficier

to read the full report

de l'utilisation des données du SSI, qui constituent une ressource précieuse, à des fins pacifiques et scientifiques. La Commission préparatoire a décidé de fournir des données pour deux applications civiles spécifiques : les alertes aux tsunamis et les situations d'urgence radiologique et nucléaire. Le lien fort qui unit la communauté scientifique et technique et l'OTICE permet au SSI de rester à l'avant-garde de l'innovation et de veiller à ce que toute explosion nucléaire soit détectée (débat [J04](#)). Depuis 2011, le centre virtuel d'exploitation de données (vDEC) permet à des scientifiques et à des chercheurs d'accéder aux données du SSI. Les applications scientifiques et civiles ont été abordées lors du débat [J06](#), ainsi que dans les interventions d'invités [I06-719](#) et [I09-742](#). De nombreuses présentations orales et par affiches, en particulier dans le cadre du Thème 5.2, ont été consacrées à des questions intéressantes pour tous les États telles que l'atténuation des risques de catastrophe, les études sur les changements climatiques et les objectifs de développement durable des Nations Unies, et autres contributions possibles. Il a été largement question de la surveillance et de la compréhension des éruptions volcaniques et des séismes dans les présentations faites au titre des Thèmes 1.1, 1.2, 1.3, 2.3 et 5.2.

Il est clair que les données du SSI pourraient être mises à profit pour d'autres applications civiles que l'alerte rapide aux tsunamis et la coopération internationale en situations d'urgence nucléaire et radiologique. Par exemple, la surveillance des éruptions volcaniques récentes a été abordée lors des présentations [P1.1-133](#), [P1.1-588](#), [O1.1-457](#), [P2.3-708](#), [P1.1-253](#) et [P5.2-395](#). Les progrès de la recherche démontrent le rôle important que joue le réseau du SSI, ainsi que les avantages que peuvent lui apporter des réseaux de surveillance des infrasons régionaux bien conçus et optimisés ([P1.1-264](#)), qui permettent d'alerter la société civile et d'atténuer les risques volcaniques ([O1.1-536](#) et [P1.1-133](#)). Il est essentiel de prendre en compte le potentiel des approches multidisciplinaires ([I07-529](#)).

to read the full report