

CONFERENCE DU DESARMEMENT

CD/1423
4 septembre 1996

FRANCAIS
Original : ANGLAIS

RAPPORT DU GROUPE SPECIAL D'EXPERTS SCIENTIFIQUES A LA CONFERENCE
DU DESARMEMENT SUR SON TROISIEME ESSAI TECHNIQUE ET L'INTERET
PRESENTE PAR CELUI-CI EU EGARD A LA COMPOSANTE SISMOLOGIQUE
DU SYSTEME DE SURVEILLANCE INTERNATIONAL ETABLI PAR LE
TRAITE D'INTERDICTION COMPLETE DES ESSAIS NUCLEAIRES

Résumé analytique

Le Groupe spécial d'experts scientifiques a développé ces dernières années un système expérimental de surveillance sismologique mondiale destiné à tester les concepts qui pourraient être utilisés pour le futur système de surveillance international (SSI) du traité d'interdiction complète des essais. Ces activités, connues sous le nom de troisième Essai technique du Groupe (GSETT-3), ont été fondées sur l'expérience précédente du Groupe spécial; 60 pays y ont participé.

Le GSETT-3 a commencé en grandeur réelle le 1er janvier 1995 et continue de se dérouler. Le présent rapport donne une vue d'ensemble des résultats enregistrés et des conclusions faites après une année et demie de fonctionnement. Il contient aussi des recommandations précises résultant de l'Essai. Ces recommandations pourraient être utilisées pour faciliter un passage harmonieux et ordonné du réseau établi pour le GSETT-3 au SSI envisagé.

Concepts généraux

Le GSETT-3 a servi à valider la viabilité et l'efficacité des concepts d'un système international de surveillance sismologique qui avaient été exposés à l'origine dans le CD/1254. Ces concepts sont les suivants : un centre international de données (CID) centralisé et unique; un réseau sismologique de haute qualité conçu spécifiquement pour cela et composé d'environ 50 stations primaires et de 100 à 150 stations auxiliaires; des centres nationaux de données (CND) dans les pays participants; et un système de communications moderne pour l'échange de données entre ces éléments.

Bien qu'au cours du GSETT-3 l'accent ait été mis sur la surveillance sismologique, des expériences pratiques ont démontré que la conception du système était suffisamment souple pour incorporer la collecte, le traitement, l'archivage et la distribution des données établies à l'aide d'autres technologies de surveillance. Ainsi, le système mis en place pour le GSETT-3 peut fournir l'infrastructure nécessaire à la surveillance radiologique, hydroacoustique et infrasonore envisagée pour le SSI. En fait, ces concepts sont reflétés dans le projet de traité (CD/NTB/WP.330/Rev.1).

Réseau de stations et communications

Pour conduire le GSETT-3, les pays participants ont établi et exploité des stations primaires et des stations auxiliaires. Au total, 43 stations primaires et 90 stations auxiliaires ont fait partie du réseau établi pour le GSETT-3. Les réseaux sismologiques primaire et auxiliaire décrits dans le projet du traité ont évolué par rapport aux réseaux partiels mis en place pour le GSETT-3 et sur la base des délibérations du Comité spécial sur une interdiction des essais nucléaires. Toutes les stations du réseau du GSETT-3 ne sont pas incluses dans le SSI proposé. Toutefois, à l'heure actuelle, le réseau opérationnel du GSETT-3 comprend 32 des 50 stations primaires et 38 des 120 stations auxiliaires envisagées pour le SSI.

Le Groupe spécial a pris deux mesures en vue de la transition en bon ordre du réseau du GSETT-3 au réseau sismologique du SSI envisagé :

- 1) le retrait de certaines stations du GSETT-3 qui ne feraient pas partie du SSI proposé; et 2) la poursuite des démarches entreprises auprès d'autres pays dont les stations seraient intégrées au SSI proposé pour les encourager à se joindre au GSETT-3 (CD/1398). La participation au GSETT-3 de stations supplémentaires qui ne sont pas envisagées pour le SSI a été utile pour remplacer temporairement des stations du SSI non encore disponibles et indispensable pour fournir un volume de données à traiter réaliste, nécessaire au développement du CID.

Le Groupe spécial a élaboré des spécifications techniques pour les stations sismologiques du SSI et testé la validité de ces spécifications dans le cadre du GSETT-3. Il en a conclu qu'il faudrait porter une attention particulière à la fois aux spécifications techniques des équipements et aux considérations d'implantation des stations.

Le GSETT-3 a permis d'accumuler une vaste expérience de la mise en place et de la maintenance des types de liaisons nécessaires pour la transmission des données. Ces communications mettent en jeu tout un éventail de liaisons - satellites, circuits terrestres spécialisés, liaisons à hyperfréquences, faisceaux hertziens - et ont été mises en place à l'échelon bilatéral entre chaque CND et le CID. Cependant, les arrangements pris pour les communications lors du GSETT-3 n'ont pas été planifiés et mis en oeuvre de manière optimale du point de vue du coût ou de l'efficacité.

Au cours du GSETT-3, les données des stations sismologiques auxiliaires ont été collectées en utilisant deux types de communications : lignes téléphoniques à la demande (commutées) et demandes retransmises par le réseau informatique Internet. L'utilisation d'Internet sur une base expérimentale pour le GSETT-3 a été probante, en termes de coût et d'efficacité, mais son emploi dans le cadre du futur traité, dans une situation opérationnelle, pourrait faire problème, pour des raisons de sécurité, de rapidité et de fiabilité.

Centres nationaux de données (CND)

Au cours du GSETT-3, les centres nationaux de données ont joué un rôle capital dans l'exploitation et la maintenance de stations et de liaisons fiables et formé une interface efficace entre le CID du GSETT-3 et les Etats participants, à travers laquelle les données et les produits pouvaient être extraits et évalués.

En sus de leurs principales fonctions, qui concernaient la fourniture des données provenant des stations sismologiques, les CND ont joué un rôle actif dans l'évaluation des résultats de l'Essai. De nombreux CND ont fourni des informations complémentaires sur les événements sismiques, à partir de l'analyse des données issues des réseaux nationaux ou régionaux. De telles contributions nationales pourraient être utiles dans le cadre du SSI, par exemple en contribuant à l'étalonnage du réseau.

Centre international de données (CID)

Un centre international de données expérimental a été établi pour le GSETT-3 après des travaux préparatoires longs et complexes. Le CID du GSETT-3 a fonctionné en permanence depuis le 1er janvier 1995, avec seulement des interruptions mineures, faisant office de centre de collecte, de traitement et de distribution des données pour tout le réseau du GSETT-3. Il a été amélioré et développé sensiblement pendant l'Essai. A quelques exceptions près, les principaux problèmes techniques ont été résolus.

Le GSETT-3 a montré qu'un CID unique, de la structure et de la taille définies pour l'Essai, pouvait accomplir avec succès les tâches envisagées dans le cadre du SSI, à savoir :

- acquérir et archiver le volume de données sismologiques prévu pour le SSI qui serait établi par le traité;
- analyser régulièrement cet important volume de données dans les délais voulus;
- produire et distribuer des produits standard définis, utiles à la surveillance et à l'évaluation du système.

Nombre des fonctions envisagées pour le CID du SSI ont déjà été remplies par celui du GSETT-3. De nouvelles améliorations sont toutefois nécessaires, en particulier concernant la sécurité des données et la redondance.

Performance sismologique

La performance sismologique n'a pas cessé de s'améliorer tout au long de l'expérience. En raison de ressources limitées, peu d'efforts ont été consacrés à de nouveaux concepts sismologiques. La priorité a été donnée à la production d'un bulletin quotidien détaillé au moyen de méthodes sismologiques traditionnelles. Les résultats de l'évaluation de la performance sont documentés dans un rapport très complet (GSE/CRP.262) qui indique aussi des domaines précis dans lesquels des travaux supplémentaires sont nécessaires. De nouveaux logiciels destinés à accroître l'automatisation et l'efficacité de la détection des signaux et de l'association des phases ont sensiblement contribué à améliorer le fonctionnement du système; cependant, des améliorations concernant d'autres procédures, telles que la détermination de la profondeur et de la magnitude, restent nécessaires.

Bien qu'un degré élevé de traitement automatique et efficace des données soit souhaitable, il est reconnu que l'examen et la révision (si besoin est) par des analystes s'imposeront toujours. Les efforts doivent se poursuivre pour améliorer et affiner les procédures automatiques et réduire la nécessité de l'intervention d'un analyste dans le déroulement de ces procédures et dans la correction de leurs résultats.

Les capacités de détection et de localisation du réseau du GSETT-3 sont actuellement très hétérogènes. Les simulations du réseau ont montré que ces capacités seraient plus homogènes à mesure que l'on se rapprocherait de la configuration du SSI. Il faudra toutefois mettre au point et étalonner le réseau si l'on veut atteindre les capacités de détection et de localisation prévues pour un SSI opérationnel.

Documentation

Le Groupe spécial a élaboré une documentation très complète pour son troisième Essai. Celle-ci comprend une description détaillée du plan de l'Essai, des instructions détaillées sur tous les aspects des opérations, des informations sur les installations participantes et les procédures et les résultats de l'évaluation de l'opération. Cette documentation, représentant environ 1 000 pages imprimées, est disponible à la fois sur papier et sous forme électronique. Toutefois, en raison de la limitation des ressources, elle n'est pas encore complète. Il faudrait par ailleurs établir la documentation supplémentaire nécessaire pour les manuels d'exploitation du futur SSI.

Le GSETT-3 a montré qu'une documentation détaillée était essentielle. La version électronique s'est révélée être particulièrement utile, en facilitant la distribution et en permettant de tenir les informations à jour. D'importantes parties de la documentation concernent directement celle qui devra figurer dans les manuels pour le SSI envisagé.

Recommandations pour le passage au SSI

La vaste expérience accumulée en réalisant le GSETT-3 fait apparaître un certain nombre de résultats qui pourraient se révéler être utiles pour établir et exploiter le futur SSI. Ces recommandations pourraient servir de guide pour passer sans heurt du GSETT-3 au SSI.

Modifications techniques recommandées

- Il faudrait une transition en bon ordre du réseau du GSETT-3 au réseau du SSI, avec l'inclusion des stations prévues pour le SSI au fur et à mesure qu'elles seront disponibles.
- Il conviendrait d'évaluer en permanence les contributions des stations primaires et auxiliaires et de recommander au besoin des remplacements.
- Il faudrait réexaminer complètement les spécifications techniques des stations sismologiques du SSI, en partant des données issues du GSETT-3.
- Des procédures d'authentification des données devraient être évaluées et mises en place.
- Les caractéristiques techniques et la fiabilité des stations et des communications devraient être évaluées et mises à niveau si nécessaire.
- Un dispositif de communication des données pour le SSI, d'un meilleur rapport coût-efficacité que celui qui a été utilisé dans le cadre du GSETT-3, doit être établi.
- Une redondance et une sécurité plus grandes à tous les niveaux du système (stations, communications, CND, CID du SSI) sont nécessaires.
- Il faut mettre au point les produits du CID en insistant sur les fonctions à remplir, la fiabilité et la convivialité.

- Le CID du SSI devrait élaborer des procédures améliorées pour tester les logiciels de traitement des données.
- Les données recueillies à l'aide d'autres technologies de surveillance devraient continuer d'être intégrées dans le système du CID établi pour le GSETT-3.

Améliorations recommandées concernant les procédures sismologiques

- Il faudrait continuer d'affiner le traitement automatique des données au CID du SSI, notamment en ce qui concerne la détection, l'identification des phases et l'association des phases.
- Il faut améliorer les contrôles automatiques de cohérence pour réduire le nombre d'erreurs d'appréciation des événements.
- Il faudrait procéder à l'étalonnage des procédures de localisation des événements par le réseau, conformément au plan établi par le Groupe spécial.
- Il y a lieu d'ajuster les méthodes de localisation des événements et de détermination de l'incertitude entachant les localisations.
- Des routines améliorées pour l'extraction des données des stations auxiliaires sont nécessaires.
- Les méthodes d'estimation des magnitudes sismiques (notamment Ms) devraient être revues et améliorées.
- Les méthodes existantes d'estimation de la profondeur des événements doivent être revues et affinées; d'autres méthodes devraient être envisagées.
- Les méthodes de calcul des paramètres de caractérisation de la source devraient être testées et mises en oeuvre.

Dispositions recommandées sur le plan de l'organisation

- Les documents du GSETT-3 devraient être établis de telle manière qu'ils puissent servir de manuels d'exploitation complets et à jour pour le SSI et de manuels de référence aux fins de l'assurance de la qualité ainsi que de la formation. La nouvelle documentation devrait être mise à disposition sous forme électronique, comme dans le cadre du GSETT-3.
- Il faudrait élaborer et appliquer un plan d'assurance de la qualité pour le SSI.
- Il convient de planifier la mise en place d'un CID opérationnel pour le SSI, en tirant parti du GSETT-3.

- Les rôles des CND par rapport au CID du SSI doivent être définis plus complètement, notamment dans les domaines suivants : accessibilité rapide et complète des données, transfert des données, surveillance et maintenance des stations et assurance de la qualité.
- L'évaluation périodique des procédures scientifiques et techniques et des produits du CID établi pour le SSI devrait être effectuée par un groupe indépendant d'experts qualifiés extérieur au Centre.
- Un plan de formation du personnel du futur CID du SSI et, en fonction des demandes, des CND s'impose.
- Il conviendrait de poursuivre la pratique des ateliers régionaux et d'autres activités nécessaires pour coordonner et promouvoir les activités du SSI.

1. Introduction

Le Groupe spécial d'experts scientifiques établi dans le cadre de la Conférence du désarmement met au point depuis plusieurs années un système de surveillance sismologique mondial expérimental pour tester des dispositifs qui seront éventuellement utilisés dans un système de surveillance international (SSI) créé par un futur traité d'interdiction complète des essais nucléaires. Ces activités ont abouti au troisième Essai technique du Groupe (GSETT-3) et ont été fondées sur plusieurs années d'expériences menées dans le domaine de la surveillance sismologique, notamment sur deux essais techniques mondiaux qui ont été réalisés par le Groupe en 1984 et 1991.

Le système utilisé pour le GSETT-3 a commencé d'être exploité intégralement à titre expérimental le 1er janvier 1995. Le présent rapport donne une vue d'ensemble des résultats du GSETT-3 et de l'expérience acquise à cet égard, après un an et demi de fonctionnement efficace. Il contient en outre des recommandations précises issues de l'essai en question, recommandations dont l'on pourrait s'inspirer pour faciliter une transition souple et ordonnée du GSETT-3 au SSI envisagé.

Les principaux objectifs du GSETT-3 sont les suivants :

- mettre au point et tester de nouveaux dispositifs pour un système de surveillance sismologique expérimental international, en mettant à profit l'expérience acquise antérieurement;
- constituer une base concrète permettant de fournir à la Conférence du désarmement des informations techniques régulières;
- mettre sur pied un système expérimental capable d'évoluer et de s'adapter aux futurs besoins de la Conférence du désarmement.

Pour atteindre ces objectifs, le Groupe a mis au point et testé un système de surveillance sismologique expérimental comprenant trois éléments principaux :

- un réseau de stations primaires et auxiliaires extrêmement sensibles, réparties dans le monde entier et exploitées conformément à des règles internationalement convenues;
- des centres nationaux de données (CND) situés dans les pays participants et chargés d'assurer l'exploitation des stations ainsi que de mettre rapidement les données à disposition par le biais du système international;
- un centre international de données expérimental (CIDE) chargé de collecter, de traiter et d'archiver les données enregistrées et de fournir aux participants des données et des analyses en temps opportun.

L'utilisation et l'évaluation des liaisons à grande vitesse en continu ou à la demande entre le CIDE et les installations nationales ont fait partie intégrante des activités menées dans le cadre du GSETT-3.

Le GSETT-3 est une opération mondiale sans précédent qui a pour but de tester dans des conditions opérationnelles réelles les éléments essentiels d'un système de surveillance sismologique et notamment les capacités suivantes :

- assurer rapidement l'acquisition des données d'un réseau mondial de stations et leur traitement dans une installation centrale;
- fournir rapidement et commodément des données fiables à tous les Etats participants;
- automatiser au maximum la collecte, le traitement et la distribution des données;
- tenir des archives permanentes de toutes les données recueillies ou créées par le système;
- assurer la sécurité des données et le contrôle de la qualité de ces données;
- fournir une architecture qui permette d'apporter les modifications et les améliorations jugées souhaitables.

Pendant le GSETT-3, l'accent a été mis sur la surveillance sismologique; cela dit, la conception du système s'est révélée être assez souple pour permettre la collecte, l'archivage et la distribution des données obtenues à l'aide de techniques autres que sismologiques - par exemple, l'analyse de la radioactivité, la surveillance hydroacoustique et la détection des infrasons.

2. Réseaux de stations sismologiques

Les réseaux de stations sismologiques primaires et auxiliaires décrits dans le projet de traité (CD/NTB/WP.330/Rev.1) ont été mis au point à partir des réseaux partiels mis en place pour le GSETT-3 et sur la base des délibérations du Comité spécial sur une interdiction des essais nucléaires. Dans la présente section, le Groupe décrit l'état actuel du réseau utilisé pour le GSETT-3, présente sous une forme résumée les types de stations et d'instruments intégrés au réseau, décrit le fonctionnement effectif de différents types de stations et les effets des conditions locales et établit des comparaisons entre le réseau du GSETT-3 et celui qui est envisagé pour le SSI. Enfin, il fait des recommandations qui pourront être utiles pour compléter la composante sismologique du SSI envisagé.

2.1 Réseaux de stations sismologiques primaires et auxiliaires du GSETT-3 et leur contribution aux opérations des réseaux du SSI

Les stations sismologiques faisant partie des réseaux sismologiques primaires et auxiliaires du GSETT-3 sont énumérées aux tableaux 1 et 2 et de l'annexe 1, respectivement. Les tableaux 1a et 2a fournissent la liste des stations primaires et auxiliaires du SSI et indiquent celles d'entre elles qui participaient au GSETT-3 à la date d'août 1996. On trouvera dans les tableaux 1b et 2b la liste des stations supplémentaires qui ont participé au GSETT-3 mais qui ne feront pas partie des réseaux du SSI.

Au total, 43 stations sismologiques primaires et 90 stations auxiliaires situées dans 49 pays ont participé au GSETT-3 à ce jour, outre que plusieurs pays ont apporté leur concours sous d'autres formes, par exemple en fournissant des données supplémentaires provenant de leur réseau national, de telle sorte que 60 pays en tout ont participé à cet essai.

On trouvera dans la figure 2.1 une carte du réseau de stations sismologiques primaires du SSI, où des symboles différencient les miniréseaux des stations à trois composantes et montrent les stations qui participent actuellement au GSETT-3. Trente-deux des 50 stations primaires du SSI participent actuellement au GSETT-3.

On trouvera dans la figure 2.2 une carte du réseau de stations sismologiques auxiliaires du SSI, où des symboles représentent différemment les stations à trois composantes et les miniréseaux et indiquent les 38 stations, sur 120 au total, qui participent actuellement au GSETT-3. Il avait été prévu que la plupart, voire la totalité, des 90 stations auxiliaires participant au GSETT-3 allaient être intégrées au SSI : la proportion relativement faible des stations retenues aujourd'hui pour le SSI s'explique par ceci que, premièrement, il y avait surreprésentation (par rapport aux besoins) des stations auxiliaires en Amérique du Nord, en Europe et en Australie, pour la simple raison que ces stations étaient disponibles et pouvaient être utiles pour l'acquisition d'une expérience pratique, et que, deuxièmement, les experts du SSI ont réduit sensiblement le nombre des stations auxiliaires situées dans ces régions et tenté de couvrir d'une façon raisonnablement uniforme d'autres zones continentales et des régions du globe où les communications, notamment, restaient difficiles et où peu de stations avaient été en mesure de participer au GSETT-3.

Le Groupe spécial a pris deux mesures pour assurer une transition ordonnée du réseau du GSETT-3 au réseau envisagé pour le SSI : premièrement, il a retiré du réseau du GSETT-3 les stations qui ne feraient pas partie du SSI envisagé et, deuxièmement, il a fait de nouvelles tentatives d'encourager davantage de pays dont les stations seraient intégrées dans le SSI à participer au GSETT-3 (CD/1398).

2.2 Types de stations et normes relatives aux instruments ainsi qu'à la disponibilité des données

Seize des stations primaires fonctionnant actuellement dans le cadre du GSETT-3 sont des miniréseaux dont 14 feront partie du réseau primaire du SSI; 17 autres, qui doivent être ajoutées à celui-ci (tableau 1a) seront aussi des miniréseaux. Les miniréseaux existants sont de taille et de forme extrêmement diverses, puisqu'ils vont des nappes télésismiques de grande ouverture aux miniréseaux de moyenne ou petite ouverture ayant chacun une configuration géométrique et un appareillage différents. Les miniréseaux contribuent d'une façon prépondérante à la capacité de détection à l'échelle mondiale, comme cela est indiqué plus loin, et il n'est pas nécessaire de prescrire une configuration particulière pour ceux du SSI, chacun étant conçu en fonction des conditions locales et de la répartition des événements sismiques qu'il est censé détecter.

Les stations à trois composantes du réseau sont plus uniformes, étant donné que la plupart d'entre elles sont constituées de trois sismographes orthogonaux à large bande placés sur un site unique. Toutefois, les sismographes et les appareils électroniques équipant ces stations sont très divers.

Le Groupe spécial a mis au point des caractéristiques techniques pour les stations sismologiques du SSI (CD/1211) et a commencé, à sa quarante-quatrième session, à examiner les modifications que l'on pourrait leur apporter compte tenu des données d'expérience issues du GSETT-3. On s'est aperçu au cours du GSETT-3 que des stations qui ne satisfaisaient pas à ces spécifications techniques rigoureuses avaient néanmoins contribué d'une façon importante à l'Essai. Le Groupe spécial reste d'avis qu'il convient d'accorder une grande attention aux caractéristiques techniques du matériel et à l'emplacement des stations.

Pendant le GSETT-3, on a étudié attentivement la disponibilité au CIDE des données provenant de chaque station primaire. Le CIDE et les centres nationaux de données s'efforcent de déterminer les causes des pertes de données. Le Groupe spécial a estimé qu'un taux de disponibilité des données de 99 % au CIDE serait un objectif raisonnable (voir GSE/CRP/243). Dans l'avenir, il importera néanmoins de déterminer si cet objectif pourra être atteint à un coût acceptable. Sur un grand nombre de circuits qui reliaient les stations au CIDE pendant le GSETT-3, les communications ont été extrêmement fiables : on estime donc qu'il sera possible de mettre au point des liaisons fiables pour le SSI (voir ci-dessous). La plupart des pertes de données ont été causées au niveau des stations par des coupures de courant, la foudre ou des pannes de matériel. Pour garantir un taux de disponibilité des données de 99 % au CIDE, il faudra renforcer d'importance ces stations afin de se prémunir contre de tels problèmes, notamment grâce à l'utilisation d'un matériel à faible consommation d'électricité, à un approvisionnement rapide en pièces de rechange et à un personnel technique capable d'aller dépanner rapidement les stations isolées, étant entendu que toutes ces mesures feront augmenter le coût des stations.

2.3 Performances des stations et modification du réseau

Pendant le GSETT-3, on a établi le nombre des localisations d'événements sismiques auxquelles chaque station a contribué. Dans une certaine mesure, cela dépend du nombre de tremblements de terre et d'autres événements sismiques - par exemple, des tirs chimiques - qui se produisent dans le rayon de détection des stations ainsi que du réglage des détecteurs automatiques, les facteurs les plus importants étant toutefois le type de station (miniréseau ou station à trois composantes) et le bruit de fond ambiant.

Les huit stations primaires qui ont le mieux fonctionné lors du GSETT-3, à savoir celles qui ont enregistré le nombre le plus important d'événements, sont les stations composites, qui ont toutes été soigneusement placées dans des sites de faible sismicité. Quelques-unes des stations primaires participant au GSETT-3 ont été relativement inefficaces, en raison principalement, d'un bruit de fond élevé. Pendant le GSETT-3 aucune des stations inefficaces n'a été retirée, sauf lorsqu'il existait de sérieux problèmes de communications empêchant la réception des données. Dans le cadre

du SSI, par contre, la qualité de la contribution des stations fera l'objet d'une surveillance constante et on aura l'occasion de proposer des modifications à apporter au réseau.

2.4 Authentification des données

Le Groupe spécial a recommandé (CD/1185) d'authentifier les données recueillies par les stations primaires et éventuellement par les stations auxiliaires, pour accroître la confiance dans l'intégrité des données. On pourrait par exemple "signer" les données. Un test de vérification du dispositif d'authentification a été effectué sur le terrain et a établi la viabilité de cette méthode, qui a été communiquée au Groupe spécial. Le système essayé permet de repérer aisément les tentatives de modifier les données ou d'accéder au capteur ou au matériel d'authentification. Une coopération internationale plus vaste est nécessaire pour continuer de tester et d'affiner ces dispositifs. Tout cela entraînera certainement des dépenses supplémentaires, car il sera nécessaire d'installer dans les stations du matériel d'authentification des données.

2.5 Communications

Le GSETT-3 a permis d'acquérir une vaste expérience de la mise en place et de l'exploitation des types de liaisons nécessaires et disponibles pour assurer la transmission de données en continu ou par tranches. Les arrangements adoptés pour le GSETT-3 concernant la communication des données transmises par les stations primaires (voir GSE/CRP/262) n'ont pas été conçus ni mis en place d'une façon optimale du point de vue du coût ou de l'efficacité - ils ont été établis principalement sur une base bilatérale entre les CND et le CIDE. Toute une gamme de moyens de communication a été utilisée par les stations, les CND et le CIDE, notamment les circuits satellitaires spécialisés, les circuits téléphoniques terrestres, les liaisons à hyperfréquences et les faisceaux hertziens. Dans de nombreux cas, plusieurs méthodes ont été combinées. Pour faire des économies et tirer parti des circuits de transmission de données existant et compte tenu de l'absence de projet commun et uniforme pour les communications lors du GSETT-3, les CND de la Norvège, de la Fédération de Russie et des Etats-Unis ont servi de noeuds temporaires pour transmettre les données recueillies par d'autres pays participant à l'Essai.

En règle générale, les flux de données transmises au CIDE par les stations passent par un CND. Cependant, il arrive que les données soient acheminées des stations au CIDE par un centre de relais autre que le CND. Il arrive aussi que les données passent par des centres de relais à partir de pays où il n'existe pas de CND. Au cours du GSETT-3, en aucun cas les données n'ont été envoyées directement d'une station primaire au CIDE.

En pourcentage, les temps de bon fonctionnement des liaisons entre les CND et le CIDE sont assez élevés. La disponibilité globale des données au CIDE (exprimée en fraction du total possible est très diverse mais ne dépasse 99 % pendant une période prolongée que dans deux cas (France et Japon).

Les protocoles et les modes de présentation mis au point pour le GSETT-3 ont été suivis dans de nombreux pays. En ce qui concerne les données primaires, un protocole a été élaboré pour remédier aux pertes de données causées par des défaillances des liaisons ou des pannes d'ordinateur à l'un ou l'autre des deux bouts, qui duraient parfois plusieurs jours. En général, les courtes interruptions des communications n'entraînent pas de pertes de données mais en retardent la réception au CIDE. Le manque de fiabilité de l'alimentation en courant est la cause la plus fréquente des pannes qui affectent les liaisons.

Le GSETT-3 a offert la possibilité d'utiliser et de tester une innovation dans le domaine des communications par satellite : les microstations. Les communications par microstations sont déjà utilisées par plusieurs réseaux de transmission nationaux (Canada, Etats-Unis, France et Israël) et pour certaines liaisons régionales dans le cadre du réseau du GSETT-3. Etant donné que le futur réseau de communication du SSI aura probablement à transmettre en continu des quantités de données sismologiques deux ou trois fois plus importantes que celles qui ont été transmises pendant le GSETT-3, il convient d'envisager d'utiliser des moyens de communication spécialisés tels que les microstations. Les microstations à faible consommation de courant actuellement disponibles peuvent fonctionner à l'énergie solaire et sont donc intéressantes, notamment pour les sites éloignés ou isolés. Elles offrent généralement un très bon rapport coût-efficacité.

Au cours du GSETT-3, les données provenant des stations sismologiques auxiliaires ont été recueillies à l'aide de moyens de communication de deux types : les lignes téléphoniques commutées et les demandes adressées par le biais du réseau Internet à un gestionnaire automatique des demandes de données (AutoDRM). Ce dernier est un système basé sur le courrier électronique, qui permet à l'ordinateur d'un CND de répondre automatiquement aux demandes de données ou de renseignements d'une autre nature qui sont adressées à ce centre. Les appels par lignes téléphoniques commutées, qui sont utilisées principalement pour contacter des sites non reliés au réseau Internet, peuvent être très onéreux en raison du coût des communications téléphoniques à grande distance. Environ 24 stations situées dans 21 pays utilisent cette technique qui s'est révélée être moins fiable qu'Internet, mais il faut prendre en considération le fait que la plupart des stations utilisant des lignes commutées se trouvent en des endroits reculés dans des pays dotés de moyens de communication peu développés. Les systèmes de gestion automatique des demandes de données (AutoDRM), qui diffèrent quelque peu d'un CND à un autre, se sont révélés être très efficaces et ils sont économiques en raison du faible coût actuel des liaisons Internet. Des données provenant de plus de 50 stations auxiliaires ont été fournies au CIDE de cette façon. Bien que l'on ait bénéficié des avantages offerts par Internet sur le plan du coût et de l'efficacité pour extraire des données sismologiques auxiliaires à titre expérimental au cours du GSETT-3, l'utilisation de ce réseau aux fins du traité envisagé pourrait susciter des inquiétudes pour des considérations de sécurité, de rapidité et de fiabilité dont il faudrait tenir compte dans une situation opérationnelle.

Le coût de la plupart des liaisons internationales utilisées pour fournir des données au CIDE en continu est élevé, soit 100 000 dollars des Etats-Unis par année en moyenne, avec d'importantes variations qui n'ont guère de rapport

avec les distances réelles ou le volume de données transmises et qui reflètent souvent des différences entre les taxes locales. Pour ce qui est des données des stations auxiliaires, les utilisateurs ont pu jusqu'à présent se servir gratuitement du réseau Internet. Le coût de l'utilisation des lignes téléphoniques commutées pouvant atteindre plusieurs dollars la minute et chaque appel durant en moyenne cinq minutes, la note de téléphone mensuelle de certaines stations dépasse parfois 5 000 dollars.

2.6 Recommandations

Sur la base de l'expérience acquise au cours du GSETT-3, le Groupe spécial formule au sujet du réseau de stations sismologiques et des communications les recommandations suivantes qui pourront être utiles à la commission préparatoire :

- Il faudrait poursuivre la transition ordonnée qui a été engagée pour passer des réseaux de stations primaires et auxiliaires du GSETT-3 aux réseaux envisagés pour le SSI.
- Il conviendrait d'achever la mise au point des spécifications techniques prévues pour les stations sismologiques du SSI en s'inspirant de l'expérience acquise pendant le GSETT-3.
- Il y aurait lieu de continuer à évaluer la contribution des stations primaires et auxiliaires à la détection et à la localisation des événements sismiques.
- Il faudrait prendre des mesures internationales pour continuer de tester et d'affiner le dispositif d'authentification des données.
- Il conviendrait d'entreprendre l'étude approfondie d'une conception mondiale unifiée des communications pour toutes les installations du SSI envisagé.
- Il s'agirait d'adopter une version du système AutoDRM qui permette d'extraire les données stockées par les stations auxiliaires dans le cadre du SSI envisagé, si c'était compatible, dans l'ensemble, avec la conception mondiale des communications.
- Il faudrait examiner l'effet des dispositions tarifaires et des taxes sur le coût des communications que devront assumer les centres et stations qu'il est prévu d'intégrer au SSI.

3. Les centres nationaux de données (CND)

Les centres nationaux de données (CND) servent d'interface entre l'Etat participant et l'élément international du système établi pour le GSETT-3. Le CND est le point de passage par lequel chaque Etat participant fournit des données brutes provenant des stations nationales faisant partie du réseau de surveillance sismologique et reçoit du CIDE mis en place pour le GSETT-3 des résultats traités.

Bien que la plupart des CND participant au GSETT-3 fournissent des données primaires ou auxiliaires, la communication de données provenant de l'une ou l'autre de ces sources n'est pas une condition de participation des CND à l'essai. Etant donné le principe d'une répartition géographique équilibrée des stations primaires et auxiliaires, on n'a pas besoin de stations dans certains pays. Lorsqu'il existe, le CND constitue un point de contact entre le pays participant et le système international, qu'il fournisse ou non des données provenant de stations sismologiques.

Par ailleurs, des accords bilatéraux ou autres ont été passés dans le cadre du GSETT-3, en vue de la communication des données provenant de stations primaires ou auxiliaires au CIDE par un intermédiaire autre que le CND. Ainsi, dans certains cas, les données sont envoyées directement au CIDE par un noeud de communications qui transmet les données sismologiques provenant de plusieurs pays.

3.1 Fonctions d'un centre national de données (CND)

Les principales tâches dont le CND s'occupe dans le cadre du GSETT-3 sont d'assurer la maintenance des stations primaires et auxiliaires, la gestion des liaisons, ainsi que la transmission au CIDE de données primaires en continu et, sur demande, de segments de tracés sismiques auxiliaires et de signaler au CIDE tout problème concernant la qualité des données.

A titre plus officieux, les CND ont transmis des bulletins sismologiques établis à l'aide des données de leur réseau national (dénommés "données supplémentaires") et fourni des réponses et des études qui ont amélioré le fonctionnement du GSETT-3 et qui ont contribué à son évaluation ou à son examen. Ils ont ainsi apporté des données décrivant la propagation des ondes sismiques dans la zone entourant chaque station sismologique. Ces données sont très utiles, lorsque l'on procède à l'étalonnage du réseau sismologique, pour effectuer des localisations précises et des estimations fiables de la magnitude des événements sismiques.

Dans le cas où les stations de l'Etat ne sont pas intégrées dans le réseau sismologique du GSETT-3, on encourage tout de même le CND de l'Etat en question à participer aux activités du réseau, c'est-à-dire à fournir des données supplémentaires ou à contribuer à l'évaluation du GSETT-3 en analysant les produits du CIDE et en faisant des observations à leur sujet.

Les autres activités et tâches du CND varient en fonction des besoins du pays concerné. Ces besoins peuvent comprendre, par exemple, l'interprétation détaillée des produits du CIDE, l'extraction et l'analyse de données complémentaires provenant du CIDE, l'intégration de données provenant d'autres sources et la communication des résultats à d'autres autorités nationales. Le Groupe spécial est convenu de mettre des données sismologiques provenant du GSETT-3 à la disposition d'autres organismes nationaux intéressés par l'intermédiaire de leur CND.

Les installations utilisées pour le GSETT-3 varient considérablement selon les tâches assignées par l'Etat à son CND. Aucune prescription n'a été formulée concernant le matériel ou le personnel d'un CND participant au GSETT-3.

3.2 Evaluation des CND participant au GSETT-3

Lorsqu'ils étaient chargés de la maintenance des stations sismologiques, les CND se sont acquittés de cette tâche aussi efficacement que les ressources à leur disposition le leur permettaient. Quelques CND n'ont pas été en mesure d'améliorer leurs stations et leurs liaisons autant qu'ils l'auraient voulu, faute de moyens financiers. On trouvera au chapitre 2 des informations sur la fiabilité des stations et des communications.

En plusieurs occasions, le CIDE n'a pas été informé par le CND qu'une station posait un problème particulier. Tout incident technique affectant la transmission des données au CIDE devrait être signalé au plus tôt à ce dernier. Le CIDE a eu parfois du mal à entrer en contact avec le personnel d'un CND en dehors des heures de travail habituelles, au sujet d'un problème qui concernait une station primaire.

Quoique 34 pays se soient engagés à communiquer les bulletins établis sur la base de leur réseau national (données supplémentaires), le nombre des pays envoyant effectivement ces données au CIDE a augmenté très lentement au cours du GSETT-3 et 23 seulement l'ont fait à ce jour.

Très peu de CND ont communiqué des renseignements sur la rapidité de propagation des ondes sismiques et les courbes d'atténuation de leur amplitude sur les plans local et régional dans la zone d'implantation de leurs stations. A présent, le CIDE coopère directement et séparément avec les CND pour obtenir ces renseignements.

Les CND ont été invités à participer de plusieurs façons à l'évaluation du GSETT-3. Quelques-uns ont achevé leurs propres études d'évaluation et en ont présenté les résultats dans des documents qui ont été distribués au cours des réunions du Groupe spécial. Dans nombre de ces études, le CND a comparé la localisation de certains événements sismiques effectuée par le réseau du GSETT-3 et celle du réseau national, comparaisons qui ont été très utiles pour l'évaluation du GSETT-3. Des documents décrivant les résultats de diverses études qui portaient sur différents aspects du réseau du GSETT-3 ont été présentés et le CIDE s'en est servi pour évaluer ses opérations de traitement et ses procédures.

3.3 Recommandations

On peut considérer que le CND sera le centre technique qui permettra à tout Etat de communiquer avec le système de surveillance international (SSI) et inversement. Il sera essentiel que le CID mis en place pour le SSI ait les informations nécessaires pour contacter n'importe quel CND en dehors des heures de travail habituelles, au sujet de questions techniques se rapportant aux stations qui en dépendront.

Les CND devraient considérer la maintenance des stations et des liaisons comme étant leur première priorité et il importe qu'ils prennent toutes mesures utiles pour que les données des stations primaires et auxiliaires soient disponibles dans de bonnes conditions. Les problèmes techniques concernant ces données devraient être signalés sans retard au CID du SSI. La liaison entre le CND et le CID revêtira une grande importance et devrait

servir à tenir ce dernier constamment informé de l'état des stations et des liaisons de communication. Il faudrait en outre que le CID se serve de cette liaison pour tenir le CND informé de toute question relative aux opérations.

En plus de leurs fonctions principales qui consistent à communiquer les données provenant des stations sismologiques, les CND devraient jouer un rôle actif dans l'étalonnage du réseau du SSI en fournissant des informations établies sur la base des conditions locales et des données supplémentaires de bonne qualité extraites de leur bulletin national, moyennant lesquelles il soit possible d'affiner le réglage du réseau sismologique. Les CND devraient notamment coopérer avec le CID du SSI pour trouver les événements très bien localisés qui ont été détectés tant par le SSI que par un réseau sismologique national et qui peuvent être utilisés pour constituer progressivement un ensemble de données d'étalonnage en vue des opérations de traitement effectuées par le CID.

Au cours du GSETT-3, il est devenu de plus en plus évident que la plupart des CND ne fonctionnaient pas en mode opérationnel - en d'autres termes, ils travaillent essentiellement pendant les heures de bureau habituelles et ont un système de maintenance du matériel qui ne permet pas d'en assurer le dépannage dans les meilleurs délais. Ce mode de fonctionnement peut causer de longues interruptions du service de données en cas de panne du système. Si le SSI exige une capacité opérationnelle élevée, il faudra prendre des dispositions en vue de prévoir du matériel de secours, une permanence aux CND et aux stations et la rémunération des heures supplémentaires faites. Ces besoins devront être pris en compte lorsque l'on examinera la question des coûts.

4. Le Centre international de données expérimental (CIDE) du GSETT-3

Le CIDE est le centre de coordination du GSETT-3 et assure à ce titre la collecte, le traitement et la distribution des données pour tout le réseau. Le CIDE fournit également des produits et des services à tous les participants et s'occupe du stockage de toutes les données recueillies dans le système mondial. Il supervise en outre le fonctionnement du réseau mondial de stations dans son ensemble. Ses tâches sont résumées à la section 4.1 du présent chapitre, son fonctionnement est examiné dans les sections 4.2 à 4.5, et les améliorations les plus importantes à y apporter sont indiquées dans la section 4.6.

4.1 Principales fonctions

Les principales fonctions du CIDE pendant le GSETT-3 sont les suivantes :

- Acquisition des données. Le CIDE reçoit les données brutes provenant des réseaux de stations et les données supplémentaires qui lui sont fournies par les CND. Toutes les données doivent être communiquées suivant des modes de présentation et des protocoles standard. Le CIDE a recours à un grand nombre de liaisons de communication pour faire face à cette tâche.

- Archivage. Toutes les données reçues et tous les produits du CIDE sont archivés au CIDE à l'aide d'un système de gestion des bases de données. Environ un million de méga-octets sont ainsi archivés chaque année.

- Détection automatique des signaux. Le CIDE traite les données brutes et caractérise les signaux distincts du bruit de fond. La qualité des données brutes est contrôlée chaque année dans le cadre de ces opérations de traitement et les données de qualité médiocre sont rejetées.
- Localisation et caractérisation automatiques des événements. Le CIDE dresse des listes d'événements à partir des signaux détectés. Plusieurs versions, qui sont de plus en plus précises, sont élaborées à mesure que les données sont reçues et traitées au CIDE. Les paramètres de caractérisation sont calculés pour chaque événement. L'incertitude de chaque paramètre est évaluée.
- Extraction des données auxiliaires. La première version de la liste d'événements établie automatiquement est fondée uniquement sur les données primaires, mais les versions ultérieures utilisent également les données auxiliaires. Sur la base de cette liste, le CIDE extrait automatiquement les données provenant de celles des stations auxiliaires qui semblent être les plus susceptibles de contribuer fortement à la localisation et à la caractérisation des événements.
- Analyse interactive. Des analystes examinent les données brutes et les résultats du traitement automatique pour améliorer la qualité de la liste d'événements. Le Bulletin révisé des événements (BRE) est le produit final de l'analyse.
- Autres produits du CIDE. Le CIDE commencera à produire des résumés analytiques et des estimations des capacités du système, qui donneront un aperçu des variations du seuil de détection dans le temps et dans différentes régions (surveillance des variations du seuil).
- Distribution. Les données et les produits sont distribués aux CND, qui les font tenir aux autres utilisateurs - par exemple, les institutions scientifiques. Les CND peuvent à ce titre assurer un service d'abonnements à la carte et fournir en outre des produits à la demande. Il est aussi possible d'appeler le CIDE sur le World Wide Web et de consulter ses produits et certaines de ses données par ce biais.
- Surveillance des systèmes. Le CIDE surveille toutes les stations et liaisons ainsi que tous ses propres systèmes et établit chaque jour un résumé de leur état de fonctionnement. Les problèmes sont consignés dans des registres et dans la base de données.
- Documentation. Toutes les fonctions du CIDE devraient être décrites exhaustivement dans des documents afin que les CND soient en mesure de reproduire les résultats obtenus par le CIDE.

4.2 Opérations de traitement des données

Une grande partie des fonctions qu'il est envisagé de confier au futur CID du SSI ont déjà été remplies par le CIDE établi pour le GSETT-3. Après plus de trois années de mises au point et d'essais de fonctionnement, dont une année et demie d'exploitation intégrale et continue, les principaux problèmes ont été résolus et toutes les opérations sont exécutées d'une façon

satisfaisante, à quelques exceptions près. Il ressort de l'expérience acquise dans le cadre du GSETT-3 qu'il faut en général un an à compter du lancement d'une nouvelle opération pour régler tous les problèmes y relatifs.

4.2.1 Expérience globale des opérations

Le CIDE fonctionne intégralement 24 heures sur 24 et sept jours sur sept depuis le 1er janvier 1995. En raison d'une défaillance des disques contenant la base de données relatives aux opérations, qui a entraîné une panne du système de disques doublés utilisé à l'époque, le CIDE est demeuré hors service pendant sept jours en mai 1995. A cette exception près, il a traité et analysé les données pour tous les jours de collecte et produit 20 224 analyses d'événements en 1995. Toutefois, il n'a pas fait d'analyse complète des données pour les journées marquées d'une trop forte sismicité ou après s'être heurté à de graves problèmes de matériel.

L'étape finale de l'analyse faite au CIDE, qui est l'une de celles qui prennent le plus de temps, consiste à explorer rapidement les tracés sismiques bruts pour retrouver les événements que le système automatique n'a pas repéré. Cette tâche n'a pas toujours été effectuée en 1995, faute de temps, mais l'analyse a été en principe réalisée du 22 janvier au 10 juin 1996 pour tous les jours de collecte, si ce n'est que le CIDE, pendant une série importante de répliques qui a eu lieu en février, s'est servi d'analyses "abrégées" des répliques en question. Le 15 juin, le CIDE est passé à un rythme de cinq jours d'analyse interactive par semaine, mais il a néanmoins l'intention d'analyser les données pour tous les jours de collecte.

Une cinquantaine de personnes dont huit ou dix spécialistes internationaux invités effectuent actuellement au CIDE des opérations et des mises au point ayant un rapport avec les techniques sismologiques. Une part importante des activités de mise au point sont réalisées à l'extérieur du CIDE.

4.2.2 Acquisition, archivage et traitement des données

La plupart des opérations exécutées au CIDE - par exemple, l'acquisition, l'archivage et la distribution des données - sont maintenant entièrement automatisées et ne doivent être contrôlées, remises en route ou reconfigurées qu'en cas d'erreur due aux logiciels ou au matériel informatique. Cette automatisation est nécessaire pour maîtriser les coûts et fournir des services rapides à tout moment. Seule l'analyse nécessite un personnel très nombreux après le traitement automatique initial.

Les données transmises en continu par plus de 40 stations primaires, dont la plupart étaient des miniréseaux, sont parvenues au CIDE sans grands problèmes en dépit de la complexité du logiciel. La mise au point de certaines caractéristiques techniques prévues pour ce logiciel, notamment en ce qui concerne le traitement des signaux d'étalonnage et l'amélioration de l'interface-utilisateur, n'est cependant pas terminée.

L'automatisation du traitement des données a donné de bons résultats dans l'ensemble. La plupart des problèmes ont été dus à la capacité et à la fiabilité insuffisantes de la mémoire de masse utilisée précédemment, qui a

été remplacée en mai 1996. Celle-ci ne permettait de stocker que trois ou quatre mois de données et était trop lente pour faire face à la demande. La nouvelle a une capacité de travail en ligne 24 fois plus importante et devrait être beaucoup plus fiable. Les données antérieures à mai 1996 sont encore dans l'ancien système. Il est en outre apparu que le logiciel de traitement perdait probablement des messages, de telle sorte que des demandes qui émanaient des CND sont peut-être passés inaperçues. Le système de traitement des messages a été renforcé en décembre 1995 et rien n'indique que des messages aient été perdus depuis lors.

4.2.3 Détection automatique des signaux et localisation automatique des événements

Il importe que l'analyse automatique initiale soit d'excellente qualité pour les raisons suivantes :

- Les bulletins établis automatiquement intéressent les CND parce qu'ils sont produits dans les dix heures suivant un événement.
- Une localisation initiale relativement bonne permettrait d'optimiser les demandes de données adressées aux stations auxiliaires.
- Une diminution du nombre d'erreurs d'appréciation des événements ou d'événements non signalés réduirait la charge de travail des analystes.
- Les bulletins établis automatiquement fournissent une information objective (quoique parfois inexacte) sur un événement anormal.

Pendant le GSETT-3, il est établi trois listes automatiques d'événements : la liste d'événements alpha (LEA) qui est basée sur les seules données communiquées par les stations primaires, la liste d'événements alpha-bêta (LEAB), et la liste quotidienne d'événements (LQE) qui contiennent aussi des données provenant des stations auxiliaires. La LQE est la meilleure liste automatique d'événements. Produite environ dix heures après les événements, elle est le point de départ de l'analyse interactive. Comme on le verra ci-après, on évalue la qualité du traitement automatique en fonction de celle de la LQE.

Beaucoup a été fait pendant le GSETT-3 afin d'améliorer le traitement automatique. Pour la première étape, qui est celle de la détection des signaux, un nouveau programme dénommé DEE - détection et extraction d'éléments - a été mis au point et appliqué en janvier 1996. Le système DEE offre un contrôle de la qualité des données sur les tracés qui est bien meilleur et le nombre d'erreurs de détection a considérablement diminué depuis son adoption. Régler les détecteurs automatiques de façon à obtenir une détection optimale prend beaucoup de temps, puisqu'il faut choisir les bandes et les faisceaux de fréquences ainsi que les seuils de détection pour chaque station. Quoi qu'il en soit, environ un tiers des événements consignés dans le BRE sont ajoutés par les analystes et n'ont donc pas été repérés par les détecteurs automatiques. Il faut connaître l'heure exacte du début d'un événement pour localiser ce dernier avec précision. En 1995, 20 % seulement des heures de début déterminées automatiquement ont été approuvées par les analystes. Après la mise en oeuvre du système DEE, ce chiffre est passé à 50 %.

Sur la base de l'heure du début et de l'identification de la phase, il est possible de reconstituer les événements et de les localiser. Un nouveau programme dénommé AM - Association à l'échelle mondiale - a été mis au point et appliqué en mars 1996. Son principal avantage est la rapidité avec laquelle il permet d'effectuer les calculs et donc de traiter sans retard les données provenant de l'intégralité des réseaux du futur SSI, même pendant les jours marqués par de fortes répliques. La qualité des listes automatiques d'événements s'est également améliorée grâce, en partie, aux systèmes DEE et AM. Actuellement, environ la moitié des événements figurant dans la meilleure liste automatique - la LQE - est considérée par les analystes comme étant le résultat d'erreurs d'appréciation ou des événements sur lesquels les données sont insuffisantes. 15 % du nombre total des événements enregistrés dans le BRE y sont ajoutés par les analystes et ont donc échappé au système automatique. Il y a là une nette amélioration par rapport à 1995, année pour laquelle 30 % des événements ont été ajoutés par les analystes. Pendant l'analyse interactive, on modifie la profondeur de 60 % des événements et la localisation de tous les événements.

Il faudrait poursuivre les efforts entrepris dans le domaine du traitement des données (cela pourrait nécessiter de cinq à dix personnes) pour améliorer la qualité des produits automatiques. Toutefois, ce n'est qu'à très long terme (à supposer que l'on puisse y parvenir), que l'on pourra arriver à une qualité du traitement automatique suffisamment élevée pour réduire le nombre des analystes.

4.2.4 Extraction de données auxiliaires

La fonction du réseau auxiliaire est d'affiner la localisation des événements et la caractérisation de leur source effectuées par le réseau primaire. La première liste automatique d'événements n'utilise que des données provenant des stations primaires, mais des demandes automatiques de données complémentaires sont ensuite adressées à certaines stations auxiliaires choisies selon les événements figurant sur la première liste. La localisation des événements est ensuite modifiée sur la base des données provenant des stations auxiliaires. Cette opération est répétée, de sorte que les demandes supplémentaires, si besoin est, sont fondées sur les événements qui figurent sur la deuxième liste et une troisième liste automatique d'événements est ainsi établie.

Le choix des stations auxiliaires est l'une des opérations qui sont les plus fréquemment améliorées au CIDE. Le but est d'obtenir de ces stations toutes les données utiles concernant un événement, mais de garder le coût des communications aussi bas que possible en réduisant autant que faire se peut le volume des données demandées. Pendant les six derniers mois de 1995, le CIDE a adressé aux stations auxiliaires environ un demi-million de demandes de données. Durant le GSETT-3, de nombreux problèmes se sont posés, aussi 37 % de tous les événements consignés dans le BRE ont-ils été localisés sans données auxiliaires.

- Le choix des stations est fondé sur les listes automatiques d'événements qui contiennent de nombreuses erreurs de caractérisation ou de localisation. En outre, beaucoup d'événements qui se sont effectivement produits sont omis par le traitement automatique et doivent être rajoutés à la

liste par les analystes durant l'analyse interactive. En général, pour les événements ajoutés ou très mal localisés, on ne peut pas utiliser les données des stations auxiliaires car aucune demande n'est faite dans le cadre de l'analyse interactive. Par contre, il arrive que des demandes inutiles soient présentées du fait des erreurs d'appréciation et cela augmente le coût des communications du CIDE. La qualité des listes automatiques d'événements s'est améliorée, ce qui a entraîné une légère amélioration globale. Afin d'utiliser pleinement le réseau auxiliaire, il faudrait qu'il y ait également une extraction finale de données auxiliaires sur la base des événements revus par les analystes, suivie d'un second tour d'analyse interactive.

- L'extraction de données des stations auxiliaires a soulevé de nombreux problèmes techniques. La situation s'est sensiblement améliorée durant le GSETT-3, bien qu'il y ait encore quelques difficultés, en particulier avec les stations nouvellement ajoutées ou éloignées. A l'heure actuelle, il est répondu à environ 90 % des demandes.

- L'algorithme utilisé au CIDE pour choisir les stations auxiliaires est aujourd'hui plus efficace, mais doit être encore amélioré. Jusqu'à présent, l'extraction de données auxiliaires par le CIDE a été axée sur l'amélioration de la localisation, mais il est également important d'affiner la caractérisation de la source. Il faudrait peut-être pour cela que l'on mette davantage l'accent sur l'extraction des phases S, des phases sensibles à la profondeur et des ondes de surface.

4.2.5 Analyse interactive

Durant les premiers mois de 1996, 11 sismologues ont travaillé à l'examen des résultats du traitement automatique et à l'établissement du BRE. Il semble qu'il faille au moins ce nombre d'analystes expérimentés pour établir le BRE dans les 48 heures qui suivent le jour de collecte. L'analyse interactive est absolument nécessaire pour obtenir un produit de grande qualité.

A maints égards, la qualité du BRE, produit final de l'analyse effectuée au CIDE, a été excellente. Les comparaisons faites avec les bulletins régionaux disponibles indiquent que presque toutes les solutions d'événements qui figurent dans le BRE correspondent à d'authentiques événements sismiques. Pour les régions où il a été procédé à des investigations détaillées à l'aide d'informations provenant de réseaux locaux denses, seuls quelques événements figurant dans les BRE se sont révélés être fictifs. Dans les sections suivantes, les méthodes utilisées pour déterminer les paramètres des événements sont examinées plus en détail.

4.2.6 Localisation des événements

Le GSETT-3 a été l'occasion de faire un premier contrôle de la précision avec laquelle les événements sismiques étaient localisés suivant les procédures expérimentales du CIDE. Dans le cadre de la procédure de localisation, la précision des coordonnées de l'épicentre est actuellement évaluée et indiquée dans les BRE. Il ne faut pas confondre cette estimation avec la précision d'une localisation, qui correspond à l'erreur réelle de localisation pour un site connu. La précision est estimée en comparant la différence entre la localisation faite par le CIDE à l'aide des données

provenant de stations primaires et auxiliaires participant au GSETT-3 et les localisations déterminées indépendamment du Centre, soit pour des sites connus (par exemple, les tirs industriels dans des sites miniers connus), soit d'événements sismiques dont les données sont fournies par des réseaux locaux ou régionaux. Dans la majorité des cas, l'incertitude des localisations effectuées dans le cadre du GSETT-3 est supérieure à 1 000 km². Il y a deux raisons fondamentales qui expliquent les erreurs importantes dans les localisations faites lors du GSETT-3 : la couverture du réseau établi pour le GSETT-3 n'est ni homogène ni optimale et ce réseau n'a pas été étalonné. Quelques essais d'étalonnage à échelle réduite ont été effectués dans des régions où le réseau est proche de celui qui sera mis en place pour le SSI. Ces essais ont montré que les localisations pour lesquelles étaient utilisées les données d'étalonnage s'en trouvaient sensiblement améliorées.

4.2.7 Détermination de la profondeur

A l'heure actuelle, on attribue à la plupart des événements qui sont indiqués dans les BRE une profondeur par défaut de zéro kilomètre, quelle que soit leur profondeur réelle. Cela n'est d'aucune utilité pour la caractérisation de la source. L'étalonnage des réseaux devrait permettre de déterminer la profondeur d'un plus grand nombre d'événements, mais il est également nécessaire de mettre au point de meilleures méthodes de calcul de la profondeur - par exemple, en trouvant davantage de phases de profondeur par sommation des tracés en utilisant des spectres de longue période et en incorporant des modèles de vélocité en trois dimensions. Toutefois, le Groupe spécial reconnaît qu'à cet égard il y a des limites à ce que l'on peut faire.

4.2.8 Amplitudes et magnitudes

Les amplitudes sont mesurées automatiquement. Les analystes ne modifient pas régulièrement les mesures automatiques. Il est donc difficile d'estimer la précision de la détermination automatique. A l'heure actuelle, il n'est pas possible d'établir les amplitudes des phases ajoutées pendant l'analyse interactive. La mise en oeuvre d'une application du nouveau programme DEE basée sur les événements le permettra. En raison de l'importance que revêt l'amplitude pour la caractérisation de la source, il conviendrait de s'attacher davantage à obtenir une amplitude fiable de toutes les phases.

En s'aidant des amplitudes et des périodes, le CIDE calcule les magnitudes, qui sont à l'heure actuelle de trois sortes : ML, mb et Ms. L'objectif est d'obtenir automatiquement des magnitudes fiables, comparables à celles qu'établissent les observatoires sismiques et qui sont de la plus grande utilité pour les CND dans leur tâche de vérification. Des efforts ont été entrepris pour juguler les difficultés à cet égard, mais il faudra persévérer dans cette voie.

4.2.9 Données relatives aux longues périodes

En 1995, le CIDE a commencé d'utiliser également les données relatives aux longues périodes pour calculer la magnitude des ondes de surface (Ms). Il est très utile de connaître cette magnitude pour caractériser les événements, mais elle est difficile à déterminer dans le cas des petits événements - à l'heure actuelle, ce paramètre est calculé pour moins de 10 %

des événements. Il conviendrait d'améliorer les méthodes de détection des ondes de surface et d'association de ces ondes aux événements. On pourrait utiliser les données recueillies à des distances régionales pour augmenter encore le nombre d'événements auxquels sont associées des ondes de surface. Des travaux sur la question sont en cours.

4.3 Opérations à l'échelle du système

4.3.1 Respect des délais

L'amélioration du traitement automatique des données a permis au CIDE de respecter rigoureusement les délais impartis, même durant les périodes de sismicité accrue - par exemple, lors d'une série de répliques. Toutefois, les pannes du matériel qui affectent les composantes clés pourraient encore se traduire par des retards. Il faut incorporer au système de gestion une plus grande redondance du matériel.

Pour respecter les délais, il sera peut-être nécessaire de consacrer davantage de ressources à l'augmentation du nombre de stations que requerra le réseau intégral du SSI. La mise en service du nouveau logiciel de traitement automatique des événements devrait au moins offrir la possibilité d'exécuter cette opération dans les temps. Il n'existe qu'une expérience très limitée de la combinaison des résultats obtenus à l'aide de différentes techniques en un seul produit final et des effets de cette méthode sur les temps d'exécution.

4.3.2 Services d'abonnement de distribution de données

A l'heure actuelle, les CND peuvent s'abonner aux listes automatiques d'événements (à l'exception de la LQE) et au BRE ainsi qu'aux rapports établissant l'état de fonctionnement des liaisons et des stations. En outre, ils peuvent obtenir en temps quasi réel la totalité des tracés que reçoit le CIDE en continu.

La retransmission de données en continu aux CND n'a rencontré qu'un succès mitigé pendant le GSETT-3, encore que très peu de CND aient demandé ce type d'abonnement en raison du volume considérable de données à manipuler. De nombreuses petites bogues ont été trouvées et supprimées dans le logiciel d'acheminement. La principale amélioration prévue est de repérer les lacunes dans la réception des données continues afin de pouvoir les combler par la suite. La retransmission de données auxiliaires devrait également être possible.

Les autres services d'abonnement ont bien fonctionné durant le GSETT-3, et quelques options utiles, telles que la possibilité de ne recevoir que les données concernant les événements se produisant dans certaines régions, ont été ajoutées. Il reste à donner aux CND les segments de tracés associés aux événements consignés dans le BRE et à ajouter un bulletin comprenant les paramètres de caractérisation de la source pour chaque événement. Pour accomplir leurs tâches en matière de vérification, il faut que les CND puissent disposer également de ces produits. Il conviendrait en outre qu'ils aient la possibilité de recevoir ces produits immédiatement, au lieu d'une fois par jour.

La teneur et la présentation des renseignements que l'on trouve sur le World Wide Web ont été grandement améliorées et sont maintenant considérées comme étant très utiles. Les CND qui ont l'habitude d'interroger les bases de données ont constaté que l'accès direct à celle du CIDE était un moyen très rapide d'obtenir des renseignements, encore que cette méthode ne soit pas facile à utiliser.

Les performances, en 1995, du système AutoDRM exploité par le CIDE pour répondre aux demandes ponctuelles, n'auraient pas été acceptables pour un CIDE opérationnel. Certaines demandes sont restées sans réponse, des retards de plusieurs heures ont été chose courante et le CIDE a aussi parfois effacé les réponses avant que les CND aient eu la possibilité de les lire. Il se pourrait que les retards excessifs aient été dus à la mémoire de masse, qui était insuffisante et a été remplacée en mai 1996. Il n'a pas été possible de fournir aux CND les segments de tracés associés à des événements précis, ce qui a compliqué la tâche des centres pour demander des données. Une archive de données segmentées qui devrait satisfaire à la plupart des demandes liées à des événements est actuellement à l'étude. Quelques autres options utiles manquent également - par exemple, la possibilité de demander communication de toutes les détections, même si celles-ci ne sont pas associées à un événement par le CIDE. En 1995, le CIDE a répondu à environ 5 000 demandes de données, ce qui représentait un volume total de données de deux gigaoctets. Il faut s'attendre que ce volume augmentera substantiellement lorsque le système sera opérationnel et que la présentation de demandes aura été simplifiée.

4.3.3 Surveillance du système

Les CND qui se sont abonnés ont reçu régulièrement des rapports de situation. On peut trouver sur le Web un diagramme du déroulement des opérations qui indique en temps quasi réel l'état du traitement des données au CIDE, ce qui permet aux CND de détecter en quelques minutes d'éventuels problèmes de traitement des données dans leurs stations. La figure 4.1 donne un exemple de diagramme de ce genre. Le CIDE est également doté de moyens de surveillance interne importants, qui devraient être encore améliorés de façon que les problèmes puissent être décelés et corrigés immédiatement.

4.4 Procédures qui devront encore être éprouvées

Quelques-unes des fonctions qu'il est envisagé d'attribuer au CID du SSI ne sont pas remplies à l'heure actuelle par le CIDE ou le sont depuis si peu que l'on n'a qu'une expérience très limitée des problèmes que pourrait poser leur exécution. Ces fonctions sont les suivantes :

- Authentification. La méthode d'authentification qui consiste à ajouter une signature numérique aux données à l'aide d'un code privé, puis à vérifier ces données par un code public, a été mise à l'épreuve pour un capteur, avec succès, mais n'a pas encore reçu d'application générale.
- Caractérisation des événements. L'élaboration initiale des routines nécessaires pour calculer un ensemble complet de paramètres de caractérisation des événements est chose faite. Toutefois, l'intégration de ces routines aux opérations et aux produits du CIDE est si récente que les CND n'ont presque aucune expérience des problèmes que pourraient soulever les routines en

question ni de l'utilisation des paramètres. Il se pourrait que quelques paramètres supplémentaires soient nécessaires et que, pour en augmenter l'utilité, il faille y incorporer une correction des distances et des variations régionales. Le CIDE sortira un nouveau produit : le bulletin de caractérisation des événements.

- Bulletin d'événements filtrés. Ce document implique l'application d'un ensemble de critères standard pour filtrer les événements dont on pense qu'ils présentent les caractéristiques de phénomènes naturels ou de phénomènes non nucléaires résultant de l'activité humaine. Le bien-fondé de cette idée a été démontré, mais son utilité dépend dans une large mesure des paramètres de caractérisation des événements, aussi n'a-t-on que très peu d'expérience pratique de l'utilisation de ce produit du CIDE.

- Bulletin de résumés analytiques. Ce document implique que des résumés condensés et de grande qualité soient établis des données, des produits et de l'état de fonctionnement du CIDE. Le bien-fondé de cette idée a été démontré, mais celle-ci n'a pas encore été mise à l'épreuve dans des conditions d'exploitation.

- Surveillance des variations du seuil. Il s'agit là d'une méthode visant à fournir une évaluation continue de la limite supérieure de la magnitude de tout événement sismique qui pourrait s'être produit à un moment et en un lieu précis. Une version expérimentale a été mise au point et éprouvée, mais cette opération n'est pas encore exécutée au CIDE.

- Autres moyens techniques. Le CIDE a récemment commencé à traiter les données établies à l'aide d'autres techniques, en tirant parti du procédé de traitement mis au point pour les données sismiques. Le traitement des données hydroacoustiques est celui qui est le plus proche du traitement des données sismiques et l'intégration a commencé. Toutefois, cela nécessitera beaucoup de travail, en particulier en ce qui concerne l'incorporation dans un bulletin unique des données établies au moyen des quatre techniques envisagées.

- Documentation. Cette question est examinée au chapitre 6 du présent rapport.

4.5 Personnel et formation

4.5.1 Besoins en personnel du CIDE mis en place pour le GSETT-3

Le personnel du CIDE est composé de spécialistes du plus haut niveau. A l'heure actuelle, 65 personnes travaillent au CIDE. Il convient de souligner que la plupart des postes nécessitent des connaissances et une expérience spécialisées. Les analystes possèdent une licence en géophysique ou une formation équivalente et plusieurs années d'expérience de l'analyse sismologique. Les informaticiens (matériel et logiciel) sont eux aussi licenciés. Beaucoup d'autres postes exigent des diplômes d'études supérieures en géophysique.

4.5.2 Formation

Durant le GSETT-3, sept stagiaires internationaux ont reçu une formation sur le tas en ce qui concerne différents aspects des opérations effectuées au CIDE et 11 experts ont participé à la conception et à l'évaluation du CIDE.

Les personnes invitées au CIDE avaient toutes une solide formation en sismologie et avaient acquis une vaste expérience en la matière dans leurs instituts nationaux. Pour qu'elles soient efficaces au CIDE, il leur a fallu suivre une formation supplémentaire dont la durée (de six semaines à six mois) était fonction du poste occupé.

4.6 Recommandations

Au CIDE, le traitement des données sismiques a évolué par suite du GSETT-3 et il est maintenant, à maints égards, plus proche de ce que l'on peut attendre d'un CID opérationnel au sein d'un SSI. Toutefois, de nouvelles améliorations sont nécessaires. A considérer le long terme, il faudrait que le CIDE évolue en permanence afin de tirer parti des innovations scientifiques et techniques. Les performances du système devraient être évaluées continuellement afin d'assurer la qualité et l'utilité des produits. Il convient que le programme de formation mis en oeuvre au CIDE soit élargi pour satisfaire aux besoins prévus du CID opérationnel établi par le SSI. Le CIDE peut également apporter un concours précieux en formant le personnel dans les installations nationales, afin de le préparer pour le SSI.

Le fonctionnement du CIDE a parfois été moins bon par suite de pannes du matériel et de défaillances des logiciels. Il est important que le CID opérationnel du SSI soit doté d'une redondance suffisante côté matériel de telle sorte que son exploitation puisse continuer sans interruption ou être reprise sans perte de données. Le remplacement des disques doublés par un nouveau modèle concourra, espère-t-on, à cela, mais il conviendra de prendre d'autres mesures encore. Par exemple, les stations du SSI ou les CND correspondants devraient, conformément aux spécifications, posséder des mémoires tampons contenant l'équivalent d'une semaine de données. Même en cas de défaillance grave au CID du SSI, il devrait toujours être possible de récupérer les données perdues en demandant aux stations ou aux CND de les retransmettre. Néanmoins, il reste à mettre au point le logiciel qui permettra de le faire automatiquement; à l'heure actuelle, il est difficile d'utiliser au CIDE les mémoires tampons des stations et des CND. Le CID du SSI devrait disposer de données primaires et auxiliaires aussi complètes que celles des stations et des CND.

Il conviendrait de faire subir des essais très complets à tous les logiciels qui seront utilisés par le CID du SSI avant qu'ils ne soient mis en application dans le système opérationnel. L'expérience acquise grâce au GSETT-3 a montré qu'il était difficile, même avec des essais très poussés, de trouver tous les défauts d'un nouveau logiciel.

Comme il a été dit dans les sections précédentes, il est nécessaire de poursuivre le développement du CIDE. Les nouvelles fonctions les plus importantes qu'il faudra lui faire remplir sont l'étalonnage du réseau, la caractérisation très poussée des sources et l'authentification des données.

Il conviendrait également de faciliter la tâche des CND qui souhaitent obtenir des segments de tracés et des paramètres de caractérisation de la source pour chaque événement, soit par abonnement, soit sur demande. L'intégration des données établies à l'aide des quatre techniques retenues dans un bulletin d'événements unique exigera d'importants travaux de mise au point. Les opérations qu'exécute déjà le CIDE pourraient également être améliorées - ce serait notamment le cas du choix des stations auxiliaires, la détermination de la profondeur et l'utilisation des données relatives aux longues périodes. Il conviendrait d'affiner encore le traitement automatique des données. Il serait peut-être utile que le CIDE - puis, à l'avenir, le CID opérationnel établi pour le SSI - demande aux CND de faire des propositions techniques et examine ces propositions en vue d'améliorer les procédures standard.

S'agissant des résultats clés du GSETT-3 en ce qui concerne la précision de la localisation des événements, il y a lieu de signaler, premièrement, que les experts ont constaté qu'il importait d'établir pour le SSI le réseau complet de stations primaires et auxiliaires, tel qu'il était proposé, afin d'arriver à une couverture mondiale sensiblement meilleure que celle du réseau mis en place pour le GSETT-3, et deuxièmement, qu'ils ont reconnu que l'amélioration progressive de la localisation des événements par le réseau nécessiterait un étalonnage très complet de l'ensemble du réseau établi pour le SSI, région par région. Etant donné les dimensions du réseau de stations sismologiques envisagé pour le SSI, il s'agirait là d'une entreprise vaste, et néanmoins nécessaire. L'étalonnage du réseau nécessiterait des informations que l'on trouverait actuellement dans le cadre des divers programmes nationaux de surveillance des tremblements de terre. Dans les zones sismiques (y compris les zones minières), l'étalonnage devrait améliorer rapidement la précision de la localisation des événements lorsque le réseau du SSI serait achevé. On continuerait de l'affiner, en particulier dans les régions à faible sismicité, à mesure que l'on disposerait d'un plus grand nombre de données concernant la nature réelle du terrain ainsi que de modèles terrestres régionaux plus détaillés. En tirant parti de l'information concernant les gros tirs chimiques industriels, on accélérerait beaucoup ce processus et on améliorerait rapidement la précision des localisations à laquelle arrive le réseau du SSI dans ces régions.

5. Performances et capacités sismologiques

Dans le présent chapitre, le Groupe spécial évalue le GSETT-3 en termes de performances sismologiques. En particulier, il examine les produits du CIDE d'un point de vue statistique et les compare avec la pratique sismologique admise et avec d'autres sources de données sismologiques. En raison des ressources limitées qui étaient disponibles durant le GSETT-3, peu d'efforts ont été consacrés à l'élaboration de nouveaux dispositifs sismologiques. La priorité a été donnée à l'établissement d'un bulletin quotidien complet utilisant des méthodes sismologiques traditionnelles. Sont examinées, dans l'ordre, les principales étapes du traitement des données au CIDE. Chaque étape est étudiée et des observations sont faites en ce qui concerne l'importance et l'orientation des efforts qui seront nécessaires pour parvenir à un état de fonctionnement qui soit à la hauteur des objectifs envisagés pour le CID du futur SSI. Le GSETT-3 a commencé le 1er janvier 1995 et des améliorations considérables ont été apportées au cours de l'Essai; en conséquence, seuls les résultats obtenus entre le 1er janvier et le 31 mai 1996 sont étudiés dans le présent chapitre.

5.1 Etat et application des méthodes sismologiques

5.1.1 Détection des signaux

A la fin de janvier 1996, un nouveau logiciel de détection automatique des signaux a été intégré à la première phase de la procédure de traitement des données au CIDE. Plus récemment, l'affinage des paramètres de traitement des détections pour chaque station s'est traduit par un progrès des performances des détecteurs et par une meilleure élimination des détections erronées dues à des données fausses. Néanmoins, en moyenne, seulement 6,4 % des détections effectuées par les miniréseaux primaires et 6,8 % des détections faites par les stations primaires à trois composantes durant la période sur laquelle a porté l'étude ont été finalement associées à des événements dans le BRE. Les détections automatiques représentent 67 % de toutes les arrivées de signaux qui sont consignées dans ce bulletin. Sur ce total, 35 % proviennent de miniréseaux primaires, 22 % de stations primaires à trois composantes et 10 % de stations auxiliaires. Les analystes ajoutent manuellement 33 % des détections.

Observations : Bien que le traitement automatique des signaux détectés ne puisse jamais être complètement efficace et dépourvu d'erreurs, il faudra encore consacrer au système utilisé aujourd'hui d'importants travaux. Il est nécessaire de régler avec précision les processeurs de détection, station par station. En outre, d'autres algorithmes de détection pourraient améliorer les performances.

5.1.2 Traitement postérieur à la détection

Depuis l'installation des nouveaux logiciels, le chronométrage et l'identification automatiques des phases sismiques se sont sensiblement améliorés. Il est moins besoin de procéder après-coup au chronométrage manuel des "prises" automatiques - seulement 50 % environ des détections automatiques consignées dans le BRE le nécessitent aujourd'hui. L'identification des phases s'est également améliorée, comme en témoignent les résultats indiqués dans le tableau ci-après, dans lequel il est fait une comparaison entre le pourcentage des identifications de phase consignées dans le BRE (colonnes) et les identifications de phase effectuées automatiquement (rangées). Par exemple, 92 % des phases identifiées automatiquement comme étant des ondes PKP restent telles dans le BRE, 4 % sont transformés en P, etc. Il convient de noter que seuls sont indiqués les principales phases trouvées dans le bulletin final et les pourcentages supérieurs à 1 (Px, Sx et Tx indiquent respectivement des phases non identifiées des types P, S et télésismique).

TABLEAU 5.1

AUTO BRE	P	PKP	S	Pn	Pg	Sn	Lg	Rg
P	97 %	4 %	8 %	31 %	2 %	-	-	-
PKP	-	92 %	-	-	-	-	-	-
S	-	-	14 %	-	-	6 %	-	-
Pn	1 %	-	4 %	66 %	18 %	-	-	-
Pg	-	-	-	3 %	68 %	-	-	-
Sn	-	-	13 %	-	-	61 %	8 %	-
Lg	-	-	2 %	-	-	2 %	61 %	8 %
Rg	-	-	-	-	-	-	-	64 %
Px	-	-	-	-	10 %	2 %	2 %	-
Sx	-	-	50 %	-	1 %	25 %	27 %	28 %
Tx	1 %	3 %	8 %	-	-	3 %	-	-

Observations : La qualité de l'identification automatique des phases est excellente en ce qui concerne les phases téléseismiques du type P. Les résultats sont moins bons dans le cas des phases régionales, dont environ les deux tiers sont correctement identifiés. C'est avec les phases téléseismiques S que l'on obtient les résultats automatiques les plus médiocres : 14 % seulement des identifications sont confirmés. Il faudra s'attacher à affiner et mettre au point le logiciel d'identification des phases régionales et celles du type S.

5.1.3 Définition des événements

Les critères de définition des événements sont fondés soit sur un certain nombre de phases du type P, soit sur un calcul pondéré des paramètres de définition - notamment l'heure d'arrivée, l'azimut et la lenteur - des phases sismiques détectées. Les critères de définition n'ont pas été modifiés durant le GSETT-3. Ils sont moins restrictifs pour les bulletins automatiques (le résultat du calcul pondéré doit être supérieur ou égal à 3,6) que pour le BRE, qui nécessite soit l'enregistrement de trois premières arrivées par des miniréseaux primaires, soit un résultat du calcul pondéré supérieur ou égal à 4,6.

Durant la période sur laquelle a porté l'étude, 45 % de tous les événements décrits par traitement automatique ont été rejetés par les analystes, qui ont ajouté 25 % des événements consignés dans le BRE. Toutefois, l'utilisation récente d'un nouveau logiciel d'association s'est traduite par une réduction du nombre des événements ajoutés par les analystes (voir la section 4.3.3).

Observations : Le logiciel d'association des événements doit être encore mis au point. De trop nombreuses erreurs d'identification sont faites par la voie automatique et, ce qui est plus important, un trop grand nombre d'événements sont omis par ce procédé et doivent être ajoutés par les analystes.

5.1.4 Extraction de données auxiliaires

L'accroissement du nombre de stations auxiliaires et les améliorations apportées au système d'extraction de données de ces stations durant le GSETT-3 ont eu pour résultat d'augmenter le nombre des événements localisés à l'aide de ces données : 63 % des événements consignés dans le BRE sont maintenant localisés par ce biais. Le nombre moyen de stations auxiliaires contribuant à ces localisations est de 3,5. Aussi bien les statistiques que les études spécifiques indiquent qu'il s'agira de mieux choisir les stations auxiliaires d'où il faudra extraire des données pour arriver à une précision maximale dans la localisation.

Observations : Afin d'utiliser pleinement la capacité de localisation qu'offrirait le réseau envisagé de stations primaires et auxiliaires, il conviendrait de maximaliser, pour chaque événement, la couverture azimutale à des distances régionales et, partant, d'accorder davantage d'attention à la fiabilité des stations auxiliaires, à l'algorithme par lequel sont choisies les données établies par les stations auxiliaires, ainsi qu'à l'estimation du rapport signal/bruit pour les différentes stations auxiliaires. En outre, il serait peut être judicieux d'adopter une méthode progressive pour l'extraction de données auxiliaires, en fondant le choix des stations sur une localisation affinée par étapes. Cela impliquerait que l'on donne aux analystes la possibilité de demander et d'examiner les données des stations auxiliaires.

5.1.5 Localisation des événements

L'algorithme de localisation des événements dont se sert actuellement le CIDE utilise une inversion non linéaire du temps de propagation des ondes, ainsi que des valeurs azimutales et de lenteur fournies par les miniréseaux pour déterminer le lieu et la profondeur des événements sismiques. Il donne également une estimation de l'incertitude (ou de la précision) de la localisation sous la forme d'une ellipse d'erreur, soit d'une zone à la surface de la Terre à l'intérieur de laquelle il y a de fortes chances (90 %) que se situe l'épicentre calculé. Toutefois, sans étalonnage, il se peut que le lieu effectif de l'événement ne se trouve pas dans cette zone théorique, comme l'ont montré nombre de contributions nationales pendant le GSETT-3. En règle générale, l'incertitude de la localisation d'un événement donné est plus grande lorsque la couverture azimutale des stations auxquelles il a été fait appel pour la localisation est médiocre. De même, l'expérience acquise grâce au GSETT-3 a montré que les données provenant de stations auxiliaires bien réparties aidaient à réduire sensiblement l'ellipse d'erreur, particulièrement dans les zones continentales.

Le tableau ci-après (5.2) indique le pourcentage d'événements se situant dans diverses fourchettes de magnitude en fonction de la précision de la localisation. Par exemple, pour 28 % des événements se situant dans la fourchette de magnitude 4,0-4,5, l'ellipse d'erreur est inférieure à 1 000 km²; pour 46 % d'entre eux, celle-ci est comprise entre 1 000 et 10 000 km² et ainsi de suite. Il existe à l'évidence un rapport entre la magnitude de l'événement et l'importance de la zone correspondant à l'ellipse d'erreur; les événements plus importants sont en général enregistrés par un plus grand nombre de stations dont la répartition azimutale est plus étendue. En raison de la répartition inégale des stations, l'incertitude de la localisation varie

fortement d'une région à l'autre; toutefois, il est possible de tirer quelques conclusions générales sur la base de ce tableau. Par exemple, en additionnant les événements dans les rangées appropriées, on constate que pour 21 % environ de la totalité des événements, l'ellipse d'erreur est inférieure à 1 000 km², et que pour 35 % approximativement, elle est supérieure à 10 000 km². De même, si l'on limite le calcul aux événements dont la magnitude mb est supérieure à 4, on constate que pour 35 % d'entre eux, l'ellipse d'erreur est inférieure à 1 000 km², et pour 23 % d'entre eux, elle est supérieure à 10 000 km².

TABLEAU 5.2

Pourcentage d'événements dans chaque fourchette de magnitudes mb en fonction de l'importance de l'ellipse d'erreur. Les chiffres absolus figurent entre parenthèses. Les données couvrent la période allant du 1er janvier au 31 mai 1996.

Importance de l'ellipse d'erreur en km ²	< 4,0 mb	4,0-4,5 mb	4,5-5,0 mb	5,0-5,5 mb	> 5,5 mb
< 1 000	15 % (1 129)	28 % (808)	57 % (344)	91 % (101)	100 % (25)
1 000-10 000	43 % (3 238)	46 % (1 347)	32 % (193)	6 % (7)	- (0)
10 000-100 000	30 % (2 255)	19 % (549)	9 % (53)	3 % (3)	- (0)
> 100 000	12 % (909)	7 % (211)	2 % (12)	- (0)	- (0)

Une estimation précise de la profondeur est faite dans le cadre de la localisation des événements et elle sera importante dans le contexte du filtrage des événements auquel procédera le CID du SSI établi par le futur traité. Durant le GSETT-3, la profondeur des événements a été déterminée suivant plusieurs méthodes, soit, par ordre de fiabilité décroissante : la fixation compte tenu des contraintes exercées par les phases de profondeur (c'était le cas de 7 % des événements consignés dans le BRE pendant la période sur laquelle a porté l'étude); la détermination automatique durant la procédure de localisation (23 %); la fixation ou la limitation arbitraires, par la procédure de localisation ou par l'analyste (70 %).

Observations : La capacité de localisation, mesurée par le nombre d'événements localisés avec une incertitude inférieure à 1 000 km², ne s'améliore que lentement. Même si on peut raisonnablement supposer que la répartition des stations envisagée pour le SSI sera plus homogène, il reste encore beaucoup à faire. Pour 35 % environ des événements d'une magnitude supérieure à 4, l'ellipse d'erreur est inférieure à 1 000 km². Il importera que le CID du SSI puisse se fonder sur une estimation précise de la profondeur des événements pour le filtrage des événements. Pourtant, durant la période sur laquelle a porté l'étude, la profondeur des événements consignés dans le BRE

a été fixée arbitrairement dans 70 % des cas, soit automatiquement, soit par un analyste. Il est très important que le CIDE commence à appliquer son plan d'amélioration de la localisation des événements au moyen de l'étalonnage, plan dont une version initiale figure à l'annexe 2 du document CD/1398, et par l'utilisation d'autres procédures.

5.1.6 Paramètres de la source

Une estimation de la magnitude (mb ou ML) est donnée pour près de 99 % des événements consignés dans le BRE. La magnitude de l'onde de volume (mb) n'y est pas indiquée dans 10 % des cas environ, principalement parce qu'à l'heure actuelle mb n'est calculée que pour les événements auxquels est associée au moins une détection téléseismique des phases P. La magnitude locale (ML) n'est calculée que pour les événements dont la source s'est trouvée à moins de 2 000 km d'une station au moins et est communiquée pour 41 % environ des événements consignés dans le BRE. Restent quelques événements auxquels il n'est attribué aucune valeur de magnitude en raison de l'absence, au CIDE, de traitement approprié après analyse, à l'heure actuelle.

La comparaison avec des bulletins nationaux, tels que le "Preliminary Determination of Epicenters" (PDE), qui est un bulletin hebdomadaire publié par le National Earthquake Information Center de Boulder, au Colorado, donne aujourd'hui des résultats moins concluants, car le PDE a commencé à incorporer des mesures d'amplitude et de période provenant du GSETT-3. Toutefois, les estimations de magnitude que l'on trouve dans le PDE sont aussi basées sur un volume considérable de données provenant de sources indépendantes. En règle générale, les valeurs de mb que l'on trouve dans le BRE se situent en deçà (de 0,21 à 0,25 unité de magnitude, environ) de celles qui sont indiquées dans le PDE. Cette distorsion conduit à une surestimation du nombre des petits événements consignés dans le BRE et à une évaluation optimiste de la capacité de détection du réseau établi pour le GSETT-3, lorsque l'évaluation est fondée sur le rapport magnitude/fréquence. A l'inverse, on constate que le BRE tend à surestimer la magnitude ML, particulièrement en Europe, lorsqu'on compare les valeurs ML indiquées dans le BRE avec celles qui sont calculées par les centres nationaux. Dans certains cas, cette erreur peut atteindre jusqu'à une unité de magnitude entière.

La magnitude de l'onde de surface (Ms) revêtera une importance pour le filtrage des événements au CID mis en place pour le SSI. Durant la période sur laquelle a porté l'étude, des valeurs de Ms ont été calculées pour moins de 8 % des événements consignés dans le BRE et des valeurs de Ms basées sur deux stations ou plus, pour moins de 5 % d'entre eux.

Observations : Le CIDE a adopté de nouvelles procédures de calcul de la magnitude - il lui faudra peut-être davantage de temps pour en évaluer les effets. Toutefois, le CIDE devrait s'attacher à déterminer pourquoi les valeurs de mb et de ML auxquelles il arrive diffèrent de celles qui sont indiquées dans d'autres bulletins pour les mêmes événements. Il convient d'accorder davantage d'attention aux procédures de communication des valeurs de Ms appliquées durant le GSETT-3, étant donné que Ms est un paramètre que l'on se propose d'utiliser pour le filtrage des événements.

5.2 Performances sismologiques générales obtenues durant le GSETT-3

Les performances indiquent la mesure dans laquelle le réseau joue son rôle, qui est de détecter et de localiser avec précision les événements sismiques. Les performances ne peuvent être déterminées que dans les régions où la sismicité est suffisante et pour lesquelles on dispose de bulletins de référence sismique. Les bulletins de référence locaux ou régionaux transmis par les CND à titre de données supplémentaires ("bulletins gamma") seront sans doute les plus précis - leur couverture, leur qualité et les délais de leur établissement sont encore loin d'être uniformes. Pour ce qui est de l'observation de l'évolution à long terme à l'échelle mondiale, la comparaison du BRE établi dans le cadre du GSETT-3 et du PDE est des plus utiles. Cette méthode (les résultats en sont présentés dans la figure 5.1) donne des valeurs moyennes, par rapport à la sismicité mondiale, telle qu'elle est indiquée dans le PDE, et non pas par rapport à la surface terrestre, ce qui pourrait être préférable.

Des études régionales ont montré que, pour toute la région du Pacifique, le BRE est devenu beaucoup plus complet que le PDE en ce qui concerne les événements de faible magnitude. Par conséquent, l'abaissement très sensible des seuils de détection depuis décembre 1995, que montre la figure 5.1, concerne principalement des régions telles que l'Alaska, la Californie, l'Europe et l'Amérique centrale, où la couverture assurée par les stations participant au GSETT-3 s'est sensiblement améliorée comparée à celle du réseau sur lequel est fondé le PDE. En particulier, ce réseau reflète mal aujourd'hui la sismicité dans le Pacifique. En revanche, les performances moyennes en matière de localisation, calculées sur la base de tous les événements que l'on a retrouvés à la fois dans le BRE et dans le PDE (voir le diagramme de la figure 5.1), n'ont que faiblement évolué, ce qui s'explique en partie par le fait qu'un plus grand nombre de petits événements sont aujourd'hui reflétés dans les deux bulletins. Toutefois, il convient de noter que, toujours selon ce diagramme, la localisation des événements a tendance à accuser une distorsion légèrement positive depuis mai 1995, époque à laquelle on a commencé à intégrer dans le PDE les arrivées consignées dans le BRE.

Il y a lieu de garder ces faits présents à l'esprit en interprétant la figure 5.1. Celle-ci présente les seuils de détection observés et, à titre de mesure de la précision des localisations, les zones circulaires équivalentes que l'on obtient en prenant comme rayons les vecteurs différentiels de localisation. (Il a été donné comme valeur cible pour le SSI une zone circulaire équivalente de 1 000 km².)

Il est à noter que les valeurs médianes (soit 50 %) présentent l'avantage d'être moins influencées par les valeurs excentriques, alors que les valeurs situées dans la zone des 90 % sont plus proches de ce que l'on attend généralement d'un réseau fiable. Les seuils de détection indiqués dans la figure 5.1 sont basés sur les magnitudes m_b consignées dans le PDE. Les valeurs de m_b indiquées dans le BRE sont affectées d'une distorsion négative stable d'environ -0,25 unité par rapport à celles du PDE, comme il est mentionné ci-dessus à la section 5.1.6.

5.3 Capacités estimatives du réseau mis en place pour le GSETT-3

Les capacités indiquent la mesure dans laquelle le réseau est à même de détecter et de localiser les événements sismiques, quel que soit le lieu où ils se produisent. Afin d'interpoler les performances pour les régions asismiques, une simulation de réseau probabiliste a été étalonnée en fonction des performances relevées dans un certain nombre de régions. La carte reproduite dans la figure 5.2 a) illustre la capacité de détection interpolée du réseau, telle qu'elle a été estimée pour le mois de mars 1996, sur la base d'un seuil de détection de 90 %. Le réseau primaire utilisé pour le GSETT-3 à cette époque est indiqué par des points. Le seuil de détection est d'environ 3,6 mb ou moins dans le nord-ouest de l'Europe, en Amérique du Nord, en Asie centrale et en Australie. Il est inférieur à 4,2 mb dans la plus grande partie de l'Amérique du Sud et se situe entre 4,2 et 4,6 dans la plupart des régions océaniques de l'hémisphère Sud. La figure 5.2 b) illustre la capacité de localisation interpolée du réseau, telle qu'elle a été estimée pour le mois de mars 1996 sur la base du rayon de la zone circulaire équivalente à 90 %, pour un événement de magnitude 4. Les réseaux primaire et auxiliaire utilisés pour le GSETT-3 à cette époque sont indiqués par des points. Il y a lieu de noter qu'un rayon d'environ 17 km correspond à l'objectif de 1 000 km² fixé pour le SSI. En Europe, en Amérique du Nord et en Australie, les rayons des zones circulaires équivalentes s'établissent à moins de 30 km (superficies inférieures à 2 800 km²) et à moins de 50 km (superficies inférieures à 7 800 km²) pour toutes les régions continentales situées au-delà de 40 degrés de latitude N. En Asie du Sud-Est, en Inde, en Afrique, en Amérique du Sud et en Amérique centrale, la capacité de localisation est tout à fait variable; dans toutes les régions continentales le rayon est très inférieur à 200 km (125 000 km²), alors que dans la plus grande partie des océans de l'hémisphère austral et dans l'Antarctique il demeure supérieur à 400 km (500 000 km²).

Observations : A l'heure actuelle, les capacités de détection et de localisation sont très hétérogènes. La simulation de réseau a montré que cette situation s'améliorera à mesure que la géométrie du réseau se rapprochera de celle qui est prévue pour le réseau du SSI. Toutefois, il sera nécessaire de procéder à la mise au point et à l'étalonnage du réseau pour ramener les seuils de détection et les localisations erronées aux niveaux que l'on est en droit d'attendre d'un SSI opérationnel.

5.4 Recommandations

Dans les observations concrètes qui précèdent, des recommandations détaillées sont faites concernant les domaines dans lesquels il faudra poursuivre les travaux. Ces domaines sont les suivants : l'utilisation des stations auxiliaires, les estimations de la localisation et de la profondeur des événements, la détermination de la magnitude, l'assurance de la qualité et l'étalonnage général du réseau. Il s'agit là de points qui ont été signalés à l'attention des Etats dans les rapports précédents du groupe de travail sur l'évaluation, établi dans le cadre du GSETT-3. Il ne sera pas facile de résoudre ces problèmes - cela nécessitera un travail considérable et minutieux.

On trouvera ci-après d'autres recommandations d'ordre plus général. Il importe que la Conférence y donne suite afin qu'il soit possible de passer sans heurts de l'exploitation du CIDE à celle du CID mis en place pour le SSI.

Recommandations d'ordre général :

1. Les ressources du CIDE sont limitées, aussi celui-ci devrait-il envisager de les affecter à l'amélioration de ses procédures et de ses produits plutôt qu'à l'établissement de bulletins quotidiens. Les efforts qui sont consacrés aujourd'hui à des améliorations auront beaucoup plus d'effet à long terme que les efforts déployés pour établir un bulletin quotidien.
2. Compte tenu de la recommandation ci-dessus, le CIDE devrait consacrer des ressources supplémentaires à la mise en oeuvre du plan d'étalonnage du réseau conçu par le Groupe spécial, plan dont une version initiale figure à l'annexe 2 du document CD/1398.
3. Des efforts accrus sont nécessaires pour affiner le traitement automatique et faciliter ainsi la tâche des analystes.
4. Il conviendrait de mettre à l'épreuve les moyens de contrôle automatique de cohérence afin de réduire le nombre d'erreurs d'appréciation des événements.
5. Un plan formel d'assurance de la qualité devrait être élaboré pour le SSI et il faudrait affecter au CID du SSI les ressources nécessaires à son application.
6. Le GSETT-3 a fait apparaître l'opportunité de mettre en place un groupe d'étude scientifique indépendant. Ce groupe pourrait se réunir périodiquement pour examiner les procédures et les performances du CID établi pour le SSI, ainsi que sa pratique en matière d'assurance de la qualité, et faire des recommandations puis évaluer les effets de ces recommandations une fois qu'elles auraient été mises en oeuvre.
7. Il y a lieu d'encourager fortement une utilisation plus large des données établies par les stations auxiliaires. Cela pourrait améliorer la localisation des événements, la détermination de leur profondeur et l'estimation de leur magnitude.

6. Documentation

Le Groupe spécial a mis l'accent durant le GSETT-3 sur une documentation technique détaillée concernant l'ensemble des installations et des procédures ainsi que l'emploi du matériel et des logiciels. Il a préparé et tenu à jour un grand nombre de documents, qui sont disponibles sur papier et sous forme électronique. Le GSETT-3 a montré que cette documentation détaillée était indispensable.

6.1 Structure de la documentation

La documentation se rapportant au GSETT-3 est reproduite dans le document de séance du Groupe spécial No 243 et comprend quatre volumes principaux où sont réunies de nombreuses annexes techniques :

Volume 1 : Plan

Ce volume a la même forme depuis sa mise en circulation, en juillet 1995. Les tableaux et les chiffres concernant les stations participantes ont été mis à jour régulièrement pendant le déroulement du GSETT-3 et inclus dans les rapports intérimaires du Groupe spécial.

Volume 2 : Opérations

A la demande des membres du Groupe spécial, plusieurs modifications ont été apportées récemment à la partie de la documentation se rapportant aux opérations du CIDE, la plus récente étant un chapitre révisé sur le calcul des magnitudes, achevé en mai 1996. Le Groupe procède actuellement à une révision approfondie de la description de la base de données afin de faciliter la consultation de ce document.

Certaines parties de ce volume, telles que le "IDC User Guide" et les "Message Formats and Protocols" doivent encore être mises à jour.

Volume 3 : Installations

Ce document fournit une information à jour sur les stations qui font actuellement partie du réseau établi pour le GSETT-3.

Volume 4 : Evaluation

Cette partie de la documentation est actuellement mise à jour à mesure que les nouveaux résultats du groupe de travail sur l'évaluation deviennent disponibles. Trois rapports d'évaluation y figurent à présent.

6.2 Evaluation de la documentation

La vaste documentation décrite ci-dessus a servi de base pour l'établissement des manuels et procédures relatifs au GSETT-3. Elle contient aussi des résumés techniques des activités du CIDE et des CND ainsi qu'une présentation des résultats tirés des rapports d'évaluation. Une version imprimée d'un millier de pages a été distribuée aux participants en juillet 1995 et des mises à jour périodiques leur ont été communiquées par la suite.

Le CIDE a fait le nécessaire pour que toute la documentation soit disponible sous forme électronique et il est maintenant possible d'y accéder et de l'actualiser en utilisant Internet. La version électronique de la documentation s'est révélée être particulièrement utile pendant le GSETT-3 parce qu'elle a permis de tenir les informations à jour et de les rendre facilement accessibles.

Un effort de clarification a été fait dans les derniers éléments sortis, mais la documentation dans son état actuel nécessite encore des travaux complémentaires. Certaines parties ne sont pas à jour ou ne sont pas suffisamment détaillées. Il a été difficile en particulier de suivre le rythme des changements qui se sont produits au CIDE en matière de sortie de nouveaux logiciels.

Toutes les sections du volume 2 devront être examinées de manière approfondie; certaines parties font actuellement l'objet d'une mise à jour. Le CIDE a fait un effort remarquable en tenant le volume 3 à jour. Il manque cependant de nombreuses informations sur les caractéristiques des stations.

Les CND devraient aussi s'assurer qu'ils ont fourni au CIDE tous les renseignements requis. Ils disposent au CIDE d'une procédure qui leur permet d'actualiser en ligne ces renseignements. Il est aussi souhaitable de donner des précisions techniques sur le matériel et les logiciels des programmes machines mentionnés dans la documentation.

Un répertoire du volume 5 a déjà été établi; celui-ci contient des informations techniques sur le nouveau logiciel d'association à l'échelle mondiale. D'autres modules de logiciels, notamment pour les techniques non sismologiques, devraient être inclus aussi rapidement que possible dans une structure similaire parce que leurs données sont déjà traitées au CIDE.

6.3 Recommandations

Il est essentiel que la documentation soit complète et à jour si l'on veut assurer le bon fonctionnement d'un système de l'ampleur de celui qui a été mis en place pour le GSETT-3. Il est compréhensible, compte tenu du programme de travail du personnel du CIDE, que la tenue à jour de la documentation n'ait pas été jusqu'ici une priorité. Il faudrait cependant s'efforcer d'arriver à cet égard à un niveau acceptable pour le SSI dont portera création le futur traité. Le Groupe spécial fait les recommandations suivantes :

- Les travaux visant à compléter la documentation actuelle, s'agissant en particulier de l'information sur les installations techniques et des descriptions détaillées du matériel et des logiciels, devraient être poursuivis.
- Il faudrait, dans les manuels relatifs aux techniques qui seraient employées par le SSI, tenir compte de l'expérience accumulée dans le cadre du GSETT-3 et appliquer les normes arrêtées pendant cet essai.
- La documentation du GSETT-3 a été tenue à jour en anglais seulement. En prévision du SSI, il faudrait envisager d'en traduire des parties dans d'autres langues.
- La future documentation du SSI devrait être tenue à jour sous forme électronique, avec accès des participants par Internet ou par d'autres moyens adéquats.

7. Recommandations concernant le passage au SSI

L'objectif du GSETT-3 a été de mettre au point et de tester à l'échelon international un système de surveillance sismologique expérimental susceptible d'évoluer pour satisfaire aux exigences qui pourraient être formulées ultérieurement, ainsi que de fournir à la Conférence du désarmement toutes données d'expérience utiles sur le plan technique.

La tâche que constitue l'établissement d'un système de surveillance internationale opérationnel se précise maintenant peu à peu. L'expérience acquise lors du GSETT-3 peut aider à guider les efforts visant à assurer un passage ordonné à la composante sismologique du SSI.

Le présent rapport a été établi pour faciliter cette transition. Dans le présent chapitre, le Groupe indique, sous forme d'une brève liste de points, les travaux les plus importants à réaliser pour combler l'écart entre un système de surveillance expérimental et un système opérationnel. Certains de ces points sont repris de chapitres précédents pour plus de clarté, tandis que d'autres points de nature plus générale ont été ajoutés.

La liste comprend trois sections. Sont indiquées dans la première les modifications techniques nécessaires qui pourraient être effectuées assez rapidement à mesure que les ressources deviendraient disponibles. Dans la deuxième section, le Groupe énumère les améliorations qu'il est souhaitable d'apporter aux procédures sismologiques et qui, pour la plupart, nécessitent certains travaux de recherche qui prendront du temps. Enfin, il indique les mesures organisationnelles qu'il conseille de prendre.

7.1 Modifications techniques recommandées

- Il faudrait une transition en bon ordre du réseau du GSETT-3 au réseau du SSI, avec l'inclusion des stations prévues pour le SSI à mesure qu'elles seront disponibles.
- Il conviendrait d'évaluer en permanence les contributions des stations primaires et auxiliaires et de recommander au besoin des remplacements.
- Il faudrait réexaminer complètement les spécifications techniques des stations sismologiques du SSI, en partant des données issues du GSETT-3.
- Des procédures d'authentification des données devraient être évaluées et mises en place.
- Les caractéristiques techniques et la fiabilité des stations et des communications devraient être évaluées et mises à niveau si nécessaire.
- Un dispositif de communication des données pour le SSI, d'un meilleur rapport coût-efficacité que celui qui a été utilisé dans le cadre du GSETT-3, doit être établi.
- Une redondance et une sécurité plus grandes à tous les niveaux du système (stations, communications, CND, CID du SSI) sont nécessaires.

- Il faut mettre au point les produits du CID, en insistant sur les fonctions à remplir, la fiabilité et la convivialité.
- Le CID du SSI devrait élaborer des procédures améliorées pour tester les logiciels de traitement des données.
- Les données recueillies à l'aide d'autres techniques de surveillance devraient continuer d'être intégrées dans le système du CID établi pour le GSETT-3.

7.2 Améliorations recommandées concernant les procédures sismologiques

- Il faudrait continuer d'affiner le traitement automatique des données au CID du SSI, notamment la détection, l'identification des phases et l'association des phases.
- Il faut améliorer les contrôles automatiques de cohérence pour réduire le nombre d'erreurs d'appréciation des événements.
- Il faudrait procéder à l'étalonnage des procédures de localisation des événements par le réseau, conformément au plan établi par le Groupe spécial.
- Il y a lieu d'ajuster les méthodes de localisation des événements et la détermination de l'incertitude entachant les localisations.
- Des routines améliorées pour l'extraction des données des stations auxiliaires sont nécessaires.
- Les méthodes d'estimation des magnitudes sismiques (notamment Ms) devraient être revues et améliorées.
- Les méthodes existantes d'estimation de la profondeur des événements doivent être revues et affinées; d'autres méthodes devraient être envisagées.
- Les méthodes de calcul des paramètres de caractérisation de la source devraient être testées et mises en oeuvre.

7.3 Dispositions recommandées sur le plan de l'organisation

- Les documents du GSETT-3 devraient être établis de telle manière qu'ils puissent servir de manuels d'exploitation complets et à jour pour le SSI et de manuels de référence aux fins de l'assurance de la qualité ainsi que de la formation. La nouvelle documentation devrait être mise à disposition sous forme électronique, comme dans le cadre du GSETT-3.
- Il faudrait élaborer et appliquer un plan d'assurance de la qualité pour le SSI.
- Il convient de planifier la mise en place d'un CID opérationnel pour le SSI, en tirant parti du GSETT-3.

- Les rôles des CND par rapport au CID du SSI doivent être définis plus complètement, notamment dans les domaines suivants : accessibilité rapide et complète des données, transfert des données, surveillance et maintenance des stations et assurance de la qualité.
- L'évaluation périodique des procédures scientifiques et techniques et des produits du CID établi pour le SSI devrait être effectuée par un groupe indépendant d'experts qualifiés extérieur au Centre.
- Un plan de formation du personnel du futur CID du SSI et, en fonction des demandes, des CND s'impose.
- Il conviendrait de poursuivre la pratique des ateliers régionaux et d'autres activités nécessaires pour coordonner et promouvoir les activités du SSI.

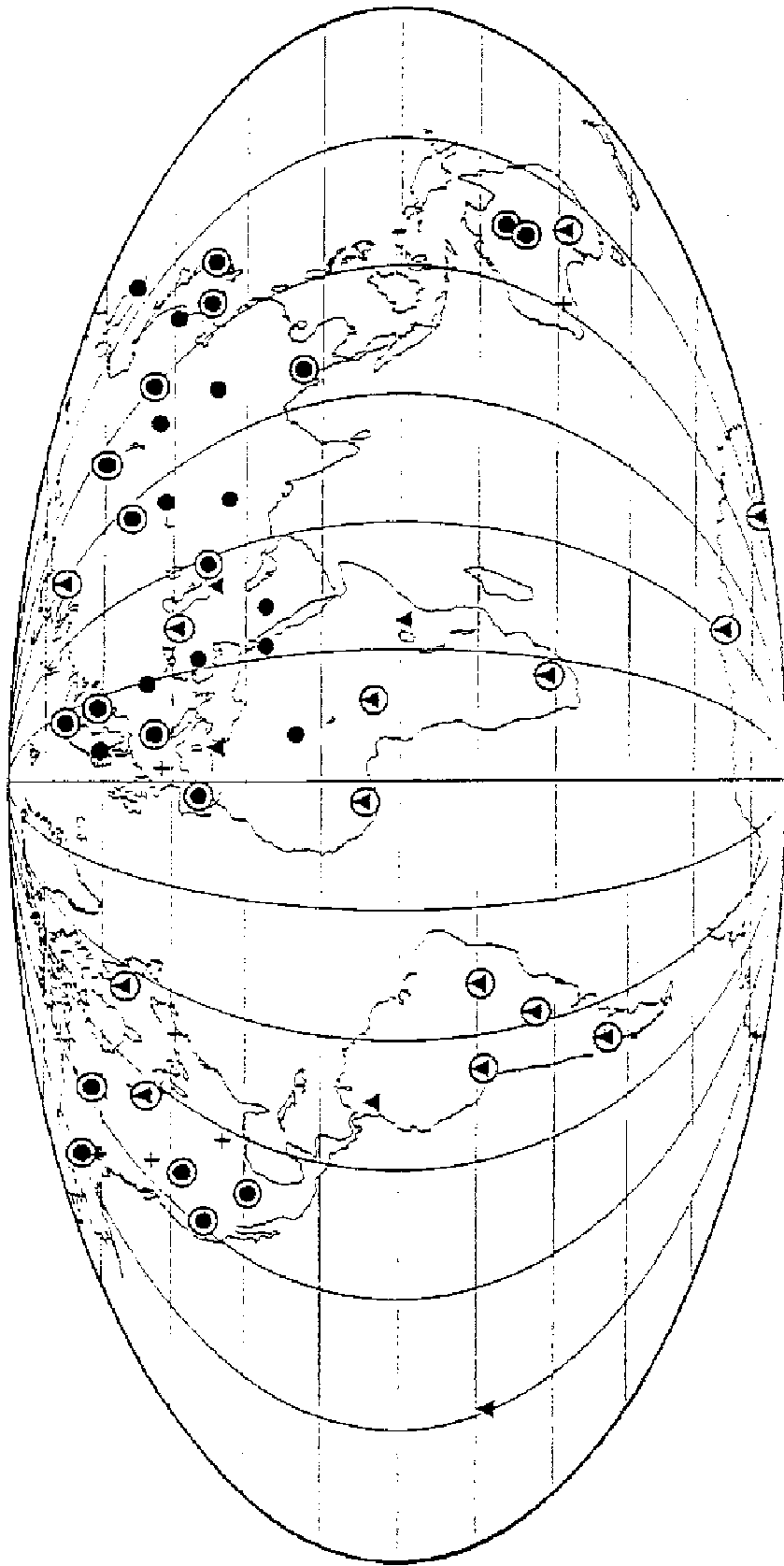


Figure 2.1. Stations sismologiques primaires du SSI. Les miniréseaux existants ou prévus sont représentés par de gros points noirs et les stations à trois composantes par des triangles noirs. Les symboles des stations primaires du SSI qui participent actuellement au GSETT-3 sont entourés d'un cercle. Les stations primaires du GSETT-3 qu'il n'est pas envisagé d'inclure dans le SSI sont représentées par des croix et la liste en est dressée dans le tableau 1b.

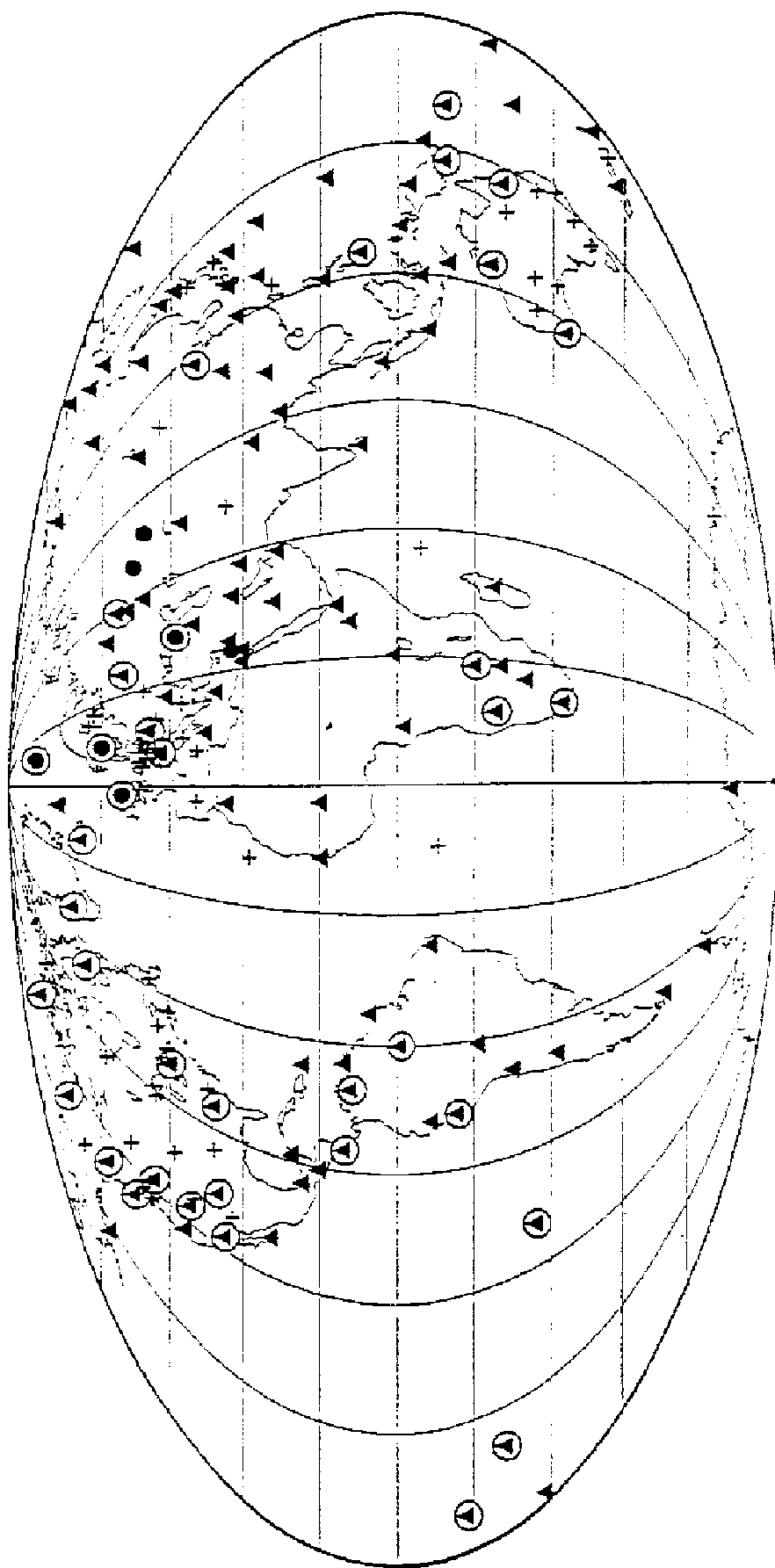


Figure 2.2. Stations sismologiques auxiliaires du SSI. Les miniréseaux existants ou prévus sont représentés par de gros points noirs et les stations à trois composantes par des triangles noirs. Les symboles des stations auxiliaires du SSI qui participent actuellement au GSETT-3 sont entourés d'un cercle. Les stations auxiliaires du GSETT-3 qu'il n'est pas envisagé d'inclure dans le SSI sont représentées par des croix et la liste en est dressée dans le tableau 2b.



SISMOLOGIE : APERÇU/RESEAUX/PRODUITS/DOCUMENTATION/DIVERS/AIDE

Contrôle du déroulement des opérations

Etat d'avancement du traitement des données alpha

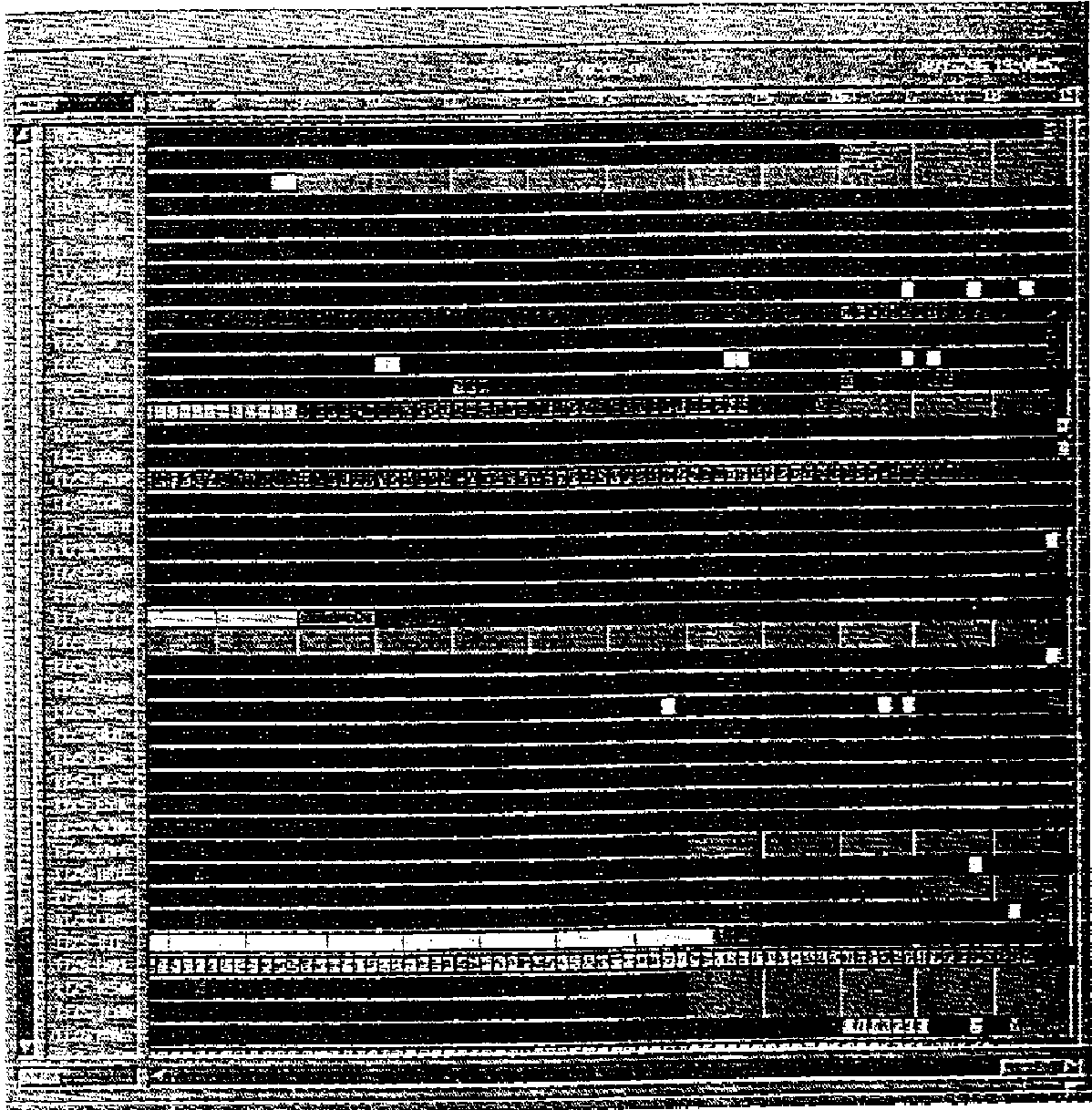


Figure 4.1. Exemple de diagramme du déroulement des opérations. De tels diagrammes sont établis électroniquement au CIDE en temps quasi réel et indiquent l'état d'avancement du traitement des données au CIDE.

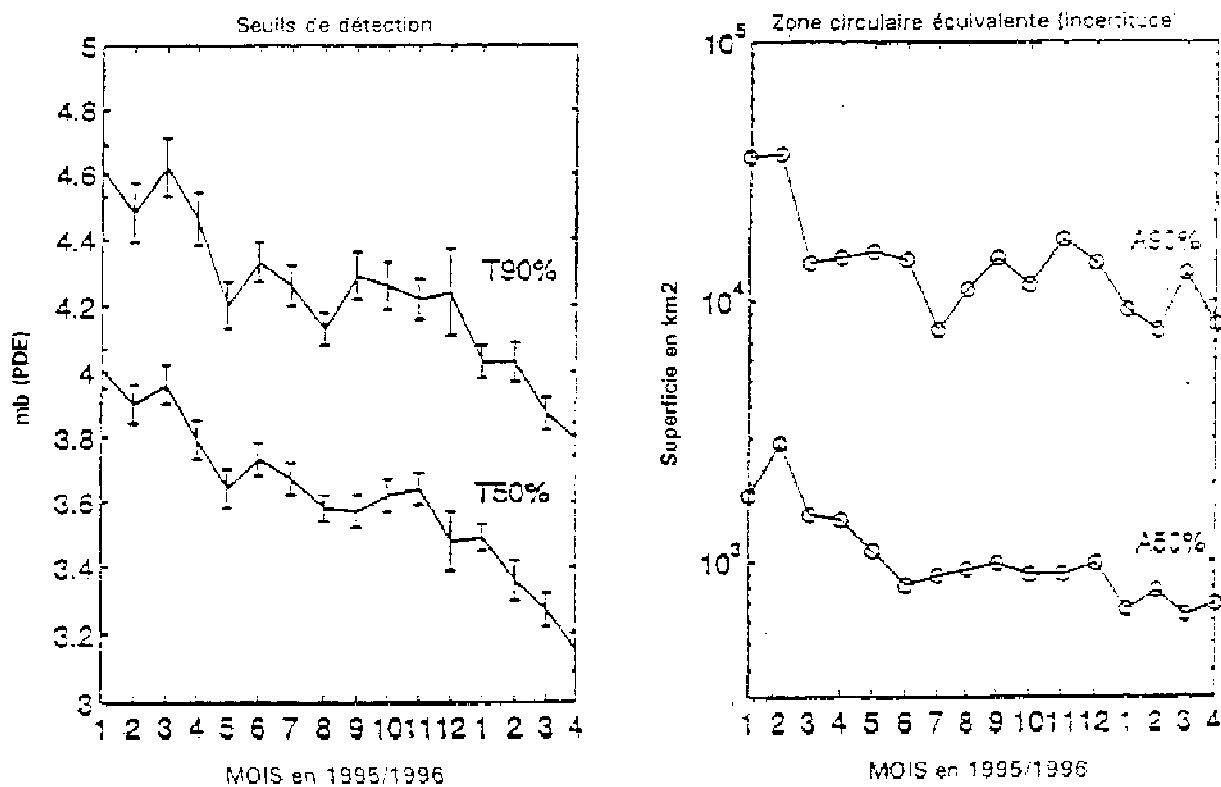


Figure 5.1. Présentation succincte des performances en matière de détection (à gauche) et de localisation (à droite), mois par mois, pendant le GSETT-3. La figure a été établie sur la base d'une comparaison avec le bulletin "Preliminary Determination of Epicentres" (PDE) publié aux États-Unis et reflète donc les valeurs moyennes par rapport à la sismicité mondiale indiquée dans ce bulletin.

Figure 5.2 a) Capacité de détection : Réseau du GSETT-3 - mars 1996

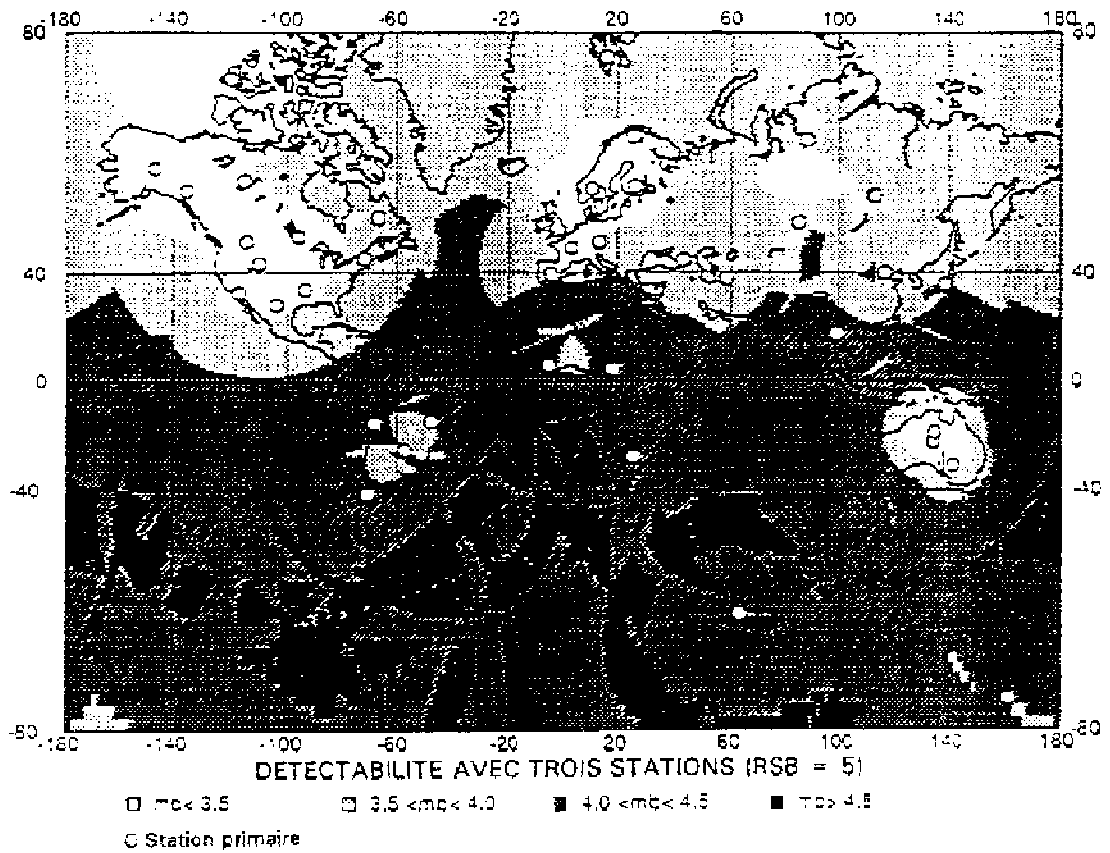
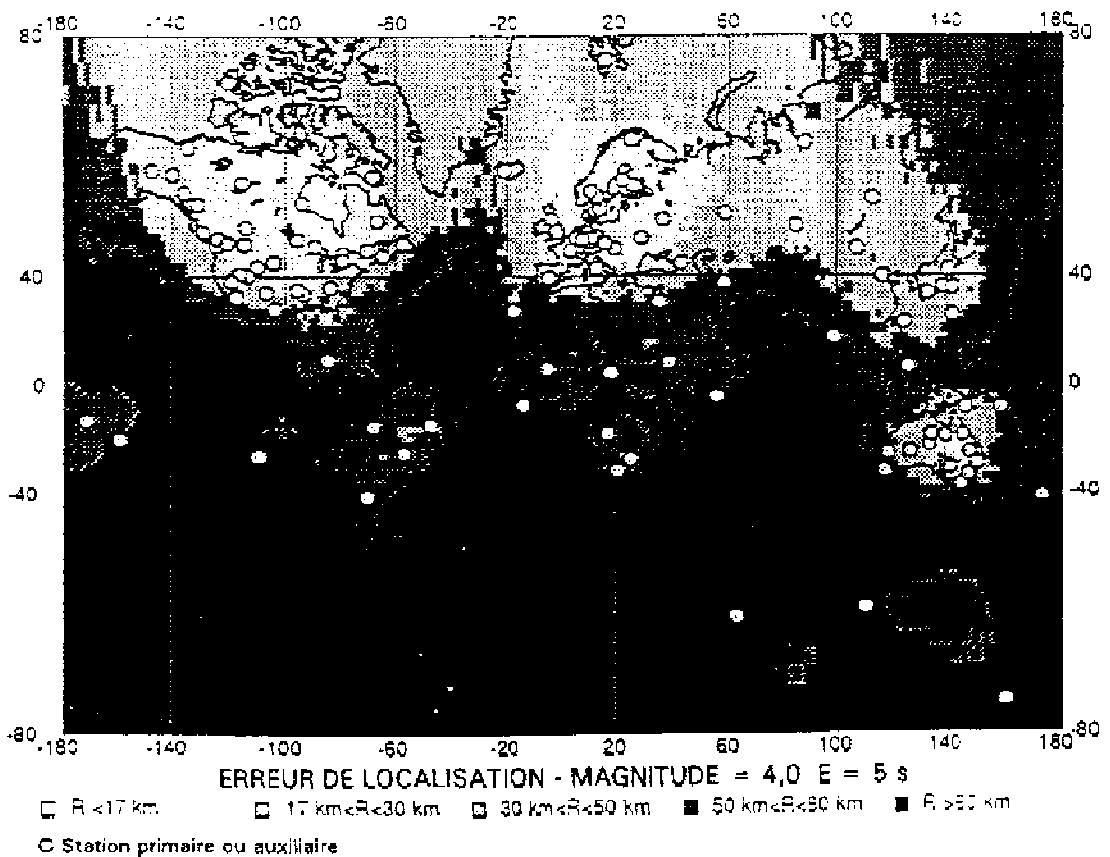


Figure 5.2 b) Capacité de localisation : Réseau du GSETT-3 - mars 1996



ANNEXE 1

Tableau 1a. Liste des stations sismologiques constituant le réseau primaire du SSI

	Etat responsable de la station	Lieu	Latitude	Longitude	Type	Station du GSETT-3 (août 1996)
1	Argentine	PLCA Paso Flores	40,7 S	70,6 O	3-C	oui
2	Australie	WRA Warramunga, NT	19,9 S	134,3 E	miniréseau	oui
3	Australie	ASAR Alice Springs, NT	23,7 S	133,9 E	miniréseau	oui
4	Australie	STKA Stephens Creek, SA	31,9 S	141,6 E	3-C	oui
5	Australie	MAW Mawson, Antarctique	67,6 S	62,9 E	3-C	oui
6	Bolivie	LPAZ La Paz	16,3 S	68,1 O	3-C	oui
7	Brésil	BDFB Brasilia	15,6 S	48,0 O	3-C	oui
8	Canada	ULMC Lac du Bonnet, Man.	50,2N	95,9 O	3-C	oui
9	Canada	YKAC Yellowknife, T.N.-O.	62,5 N	114,6 O	miniréseau	oui
10	Canada	SCH Schefferville, Québec	54,8 N	66,8 O	3-C	oui
11	République centrafricaine	BGCA Bangui	05,2 N	18,4 E	3-C	oui
12	Chine	HAI Hailar	49,3 N	119,7 E	3-C > miniréseau	oui
13	Chine	LZH Lanzhou	36,1 N	103,8 E	3-C > miniréseau	non
14	Colombie	XSA El Rosal	04,9 N	74,3 O	3-C	non
15	Côte d'Ivoire	DBIC Dimbroko	06,7 N	04,9 O	3-C	oui
16	Egypte	LXEG Louqsor	26,0 N	33,0 E	miniréseau	non
17	Finlande	FINES Lahti	61,4 N	26,1 E	miniréseau	oui
18	France	PPT Tahiti	17,6 S	149,6 O	3-C	non
19	Allemagne	GEC2 Freyung	48,9 N	13,7 E	miniréseau	oui
20	à déterminer	à déterminer	à déterminer	à déterminer	à déterminer	non

	Etat responsable de la station	Lieu	Latitude	Longitude	Type	Station du GSETT-3 (août 1996)
21	Iran (Rép. islamique d')	THR Téhéran	35,8 N	51,4 E	3-C	non
22	Japon	MJAR Matsushiro	36,5 N	138,2 E	miniréseau	oui
23	Kazakstan	MAK Makantchi	46,8 N	82,0 E	miniréseau	non
24	Kenya	KMBO Kilimambogo	01,1 S	37,2 E	3-C	non
25	Mongolie	JAVM Javhlant	48,0 N	106,8 E	3-C > miniréseau	non
26	Niger	nouveau site	à déterminer	à déterminer	3-C > miniréseau	non
27	Norvège	NAO Hamar	60,8 N	10,8 E	miniréseau	non
28	Norvège	ARAO Karasjok	69,5 N	25,5 E	miniréseau	oui
29	Pakistan	PRPK Pari	33,7 N	73,3 E	miniréseau	non
30	Paraguay	CPUP Villa Florida	26,3 S	57,3 O	3-C	oui
31	République de Corée	KSRS Wonju	37,5 N	127,9 E	miniréseau	oui
32	Fédération de Russie	KBZ Khabaz	43,7 N	42,9 E	3-C	oui
33	Fédération de Russie	ZAL Zalessovo	53,9 N	84,8 E	3-C > miniréseau	oui
34	Fédération de Russie	NRI Noriïlsk	69,0 N	88,0 E	3-C	oui
35	Fédération de Russie	PDY Peledouy	59,6 N	112,6 E	3-C > miniréseau	oui
36	Fédération de Russie	PET Petropavlovsk-Kamtchatsky	53,1 N	157,8 E	3-C > miniréseau	non
37	Fédération de Russie	USK Oussouriïsk	44,2 N	132,0 E	3-C > miniréseau	non
38	Arabie saoudite	nouveau site	à déterminer	à déterminer	miniréseau	non
39	Afrique du Sud	BOSA Boshof	28,6 S	25,6 E	3-C	oui
40	Espagne	ESDC Sonseca	39,7 N	04,0 O	miniréseau	oui
41	Thaïlande	CMTO Chiang Mai	18,8 N	99,0 E	miniréseau	oui
42	Tunisie	THA Thala	35,6 N	08,7 E	3-C	non

	Etat responsable de la station	Lieu	Latitude	Longitude	Type	Station du GSETT-3 (août 1996)
43	Turquie	BRTR Belbashi Le miniréseau pourra être redéployé à Keskin	39,9 N	32,8 E	miniréseau	non
44	Turkménistan	GEYT Alibeck	37,9 N	58,2 E	miniréseau	oui
45	Ukraine	AKASG Maline	50,4 N	29,12 E	miniréseau	non
46	Etats-Unis d'Amérique	LJTX Lajitas, TX	29,3 N	103,7 O	miniréseau	oui
47	Etats-Unis d'Amérique	MNV Mina, NV	38,4 N	118,2 O	miniréseau	oui
48	Etats-Unis d'Amérique	PIWY Pinedale, WY	42,8 N	109,6 O	miniréseau	oui
49	Etats-Unis d'Amérique	ELAK Eielson, AK	64,8 N	146,9 O	miniréseau	oui
50	Etats-Unis d'Amérique	VNDA Vanda, Antarctique	77,5 S	161,9 E	3-C	oui

Légende : 3-C > miniréseau : Cette mention indique que la station pourrait commencer à fonctionner dans le Système de surveillance international en tant que station à trois composantes et être ultérieurement mise à niveau pour devenir un miniréseau.

Tableau 1b. Liste des stations sismologiques supplémentaires qui font partie du réseau du GSETT-3, mais qui ne sont pas retenues pour le réseau du SSI

	Etat responsable de la station	Lieu	Latitude	Longitude	Type
1	Australie	WOOL Woolibar	31,1 S	121,7 E	3-C
2	Canada	WALA Waterton Lakes	49,1 N	113,9 O	3-C
3	Canada	WHY Whitehorse	60,7 N	134,9 O	3-C
4	France	LOR Lormes	47,3 N	3,9 E	3-C
5	Norvège	NORES Hamar	60,7 N	11,5 E	miniréseau
6	Etats-Unis	LBNH Lisbon	44,2 N	71,9 O	3-C
7	Etats-Unis	MIAR Mount Ida	34,5 N	93,6 O	3-C
8	Etats-Unis	NPO North Pole	64,8 N	146,9 O	3-C

Tableau 2a. Liste des stations sismologiques constituant le réseau auxiliaire

	Etat responsable de la station	Lieu	Latitude	Longitude	Type	Station du GSETT-3 (août 1996)
1	Argentine	CFA Coronel Fontana	31,6 S	68,2 O	3-C	non
2	Argentine	USHA Ushuaia	55,0 S	68,0 O	3-C	non
3	Arménie	GNI Garni	40,1 N	44,7 E	3-C	non
4	Australie	CTA Charters Towers, QLD	20,1 S	146,3 E	3-C	oui
5	Australie	FITZ Fitzroy Crossing, WA	18,1 S	125,6 E	3-C	oui
6	Australie	NWAO Narrogin, WA	32,9 S	117,2 E	3-C	oui
7	Bangladesh	CHT Chittagong	22,4 N	91,8 E	3-C	non
8	Bolivie	SIV San Ignacio	16,0 S	61,1 O	3-C	non
9	Botswana	LBTB Lobatse	25,0 S	25,6 E	3-C	non
10	Brésil	PTGA Pitinga	0,7 S	60,0 O	3-C	oui
11	Brésil	RGNB Rio Grande do Norte	6,9 S	37,0 O	3-C	non
12	Canada	FRB Iqaluit, T.N.-O.	63,7 N	68,5 O	3-C	oui
13	Canada	DLBC Dease Lake, C.-B.	58,4 N	130,1 O	3-C	oui
14	Canada	SADO Sadowa, Ont.	44,8 N	79,1 O	3-C	oui
15	Canada	BBB Bella Bella, C.-B.	52,2 N	128,1 O	3-C	oui
16	Canada	MBC Mould Bay, T.N.-O.	76,2 N	119,4 O	3-C	oui
17	Canada	INK Inuvik, T.N.-O.	68,3 N	133,5 O	3-C	oui
18	Chili	RPN Ile de Pâques	27,2 S	109,4 O	3-C	oui
19	Chili	LVC Limon Verde	22,6 S	68,9 O	3-C	non
20	Chine	BJT Baijiatuan	40,0 N	116,2 E	3-C	oui. comme primaire
21	Chine	KMI Kunming	25,2 N	102,8 E	3-C	non
22	Chine	SSE Sheshan	31,1 N	121,2 E	3-C	non

	Etat responsable de la station	Lieu	Latitude	Longitude	Type	Station du GSETT-3 (août 1996)
23	Chine	XAN Xi'an	34,0 N	108,9 E	3-C	non
24	Iles Cook	RAR Rarotonga	21,2 S	159,8 O	3-C	oui
25	Costa Rica	JTS Las Juntas de Abangares	10,3 N	85,0 O	3-C	oui
26	République tchèque	VRAC Vranov	49,3 N	16,6 E	3-C	oui
27	Danemark	SFJ Søndre Strømfjord, Groenland	67,1 N	50,6 O	3-C	oui
28	Djibouti	ATD Arta Tunnel	11,5 N	42,9 E	3-C	non
29	Egypte	KEG Kottamya	29,9 N	31,8 E	3-C	non
30	Ethiopie	FURI Furi	8,9 N	38,7 E	3-C	non
31	Fidji	MSVF Monasavu, Viti Levu	17,8 S	178,1 E	3-C	non
32	France	NOUC Port Laguerre, Nouvelle-Calédonie	22,1 S	166,3 E	3-C	non
33	France	KOG Kourou, Guyane française	5,2 N	52,7 O	3-C	non
34	Gabon	BAMB Bambay	1,7 S	13,6 E	3-C	non
35	Allemagne/ Afrique du Sud	VNA Station SANAE, Antarctique	71,7 S	2,9 O	3-C	non
36	Grèce	IDI Anógia, Crète	35,3 N	24,9 E	3-C	non
37	Guatemala	RDG Rabir	15,1 N	90,5 O	3-C	non
38	Islande	BORG Borgarnes	64,8 N	21,3 O	3-C	oui
39	à déterminer	à déterminer	à déterminer	à déterminer	à déterminer	non
40	Indonésie	PACI Cibinong, Jawa Barat	6,5 S	107,0 E	3-C	non
41	Indonésie	JAY Jayapura, Irian Jaya	2,5 S	140,7 E	3-C	non
42	Indonésie	SWI Sorong, Irian Jaya	0,9 S	131,3 E	3-C	non
43	Indonésie	PSI Parapat, Sumatera	2,7 N	98,9 E	3-C	non

	Etat responsable de la station	Lieu	Latitude	Longitude	Type	Station du GSETT-3 (août 1996)
44	Indonésie	KAPI Kappang, Sulawesi Selatan	5,0 S	119,0 E	3-C	non
45	Indonésie	KUG Kupang, Nusatenggara Timur	10,2 S	123,6 E	3-C	non
46	Iran (Rép, islamique d')	KRM Kerman	30,3 N	57,1 E	3-C	non
47	Iran (Rép, islamique d')	MSN Masjed-e-Soleyman	31,9 N	49,3 E	3-C	non
48	Israël	MBH Eilat	29,8 N	34,9 E	3-C	non
49	Israël	PARD Parod	32,6 N	35,3 E	miniréseau	non
50	Italie	ENAS Enna, Sicile	37,5 N	14,3 E	3-C	non
51	Japon	JNU Ohita, Kyushu	33,1 N	130,9 E	3-C	non
52	Japon	JOW Kunigami, Okinawa	26,8 N	128,3 E	3-C	non
53	Japon	JHJ Hachijojima, Iles Izu	33,1 N	139,8 E	3-C	non
54	Japon	JKA Kamikawa-asahi, Hokkaido	44,1 N	142,6 E	3-C	non
55	Japon	JCJ Chichijima, Ogasawara	27,1 N	142,2 E	3-C	non
56	Jordanie	--- Ashqof	32,5 N	37,6 E	3-C	non
57	Kazakstan	BRVK Borovoye	53,1 N	70,3 E	miniréseau	non
58	Kazakstan	KURK Kourtchatov	50,7 N	78,6 E	miniréseau	non
59	Kazakstan	AKTO Aktyoubinsk	50,4 N	58,0 E	3-C	non
60	Kirghizistan	AAK Ala-Archa	42,6 N	74,5 E	3-C	non
61	Madagascar	TAN Antananarivo	18,9 S	47,6 E	3-C	non
62	Mali	KOWA Kowa	14,5 N	4,0 O	3-C	non
63	Mexique	TEYM Tepich, Yucatan	20,2 N	88,3 O	3-C	non
64	Mexique	TUVM Tuzandepeti, Veracruz	18,0 N	94,4 O	3-C	non

	Etat responsable de la station	Lieu	Latitude	Longitude	Type	Station du GSETT-3 (août 1996)
65	Mexique	LPBM La Paz, Baja California Sur	24,2 N	110,2 O	3-C	non
66	Maroc	MDT Midelt	32,8 N	4,6 O	3-C	non
67	Namibie	TSUM Tsumeb	19,1 S	17,4 E	3-C	oui
68	Népal	EVN Everest	28,0 N	86,8 E	3-C	non
69	Nouvelle-Zélande	EWZ Erewhon, Ile du Sud	43,5 S	170,9 E	3-C	non
70	Nouvelle-Zélande	RAO Ile Raoul	29,2 S	177,9 O	3-C	non
71	Nouvelle-Zélande	URZ Urewera, Ile du Nord	38,3 S	177,1 E	3-C	non
72	Norvège	SPITS Spitsberg	78,2 N	16,4 E	miniréseau	oui. comme primaire
73	Norvège	JMI Jan Mayen	70,9 N	8,7 O	3-C	non
74	Oman	WSAR Wadi Sarin	23,0 N	58,0 E	3-C	non
75	Papouasie-Nouvelle-Guinée	PMG Port Moresby	9,4 S	147,2 E	3-C	oui
76	Papouasie-Nouvelle-Guinée	BIAL Bialla	5,3 S	151,1 E	3-C	non
77	Pérou	CAJP Cajamarca	7,0 S	78,0 O	3-C	non
78	Pérou	NNA Nana	12,0 S	76,8 O	3-C	oui
79	Philippines	DAV Davao, Mindanao	7,1 N	125,6 E	3-C	oui
80	Philippines	TGY Tagaytay, Luçon	14,1 N	120,9 E	3-C	non
81	Roumanie	MLR Muntele Rosu	45,5 N	25,9 E	3-C	non
82	Fédération de Russie	KIRV Kirov	58,6 N	49,4 E	3-C	non
83	Fédération de Russie	KIVO Kislovodsk	44,0 N	42,7 E	miniréseau	oui
84	Fédération de Russie	OBN Obninsk	55,1 N	36,6 E	3-C	oui
85	Fédération de Russie	ARU Arti	56,4 N	58,6 E	3-C	oui
86	Fédération de Russie	SEY Seymtchan	62,9 N	152,4 E	3-C	non
87	Fédération de Russie	TLY Talaya	51,7 N	103,6 E	3-C	non

	Etat responsable de la station	Lieu	Latitude	Longitude	Type	Station du GSETT-3 (août 1996)
88	Fédération de Russie	YAK Yakoutsk	62,0 N	129,7 E	3-C	non
89	Fédération de Russie	URG Ourgal	51,1 N	132,3 E	3-C	non
90	Fédération de Russie	BIL Bilibino	68,0 N	166,4 E	3-C	non
91	Fédération de Russie	TIXI Tiksi	71,6 N	128,9 E	3-C	non
92	Fédération de Russie	YSS Youjno-Sakhalinsk	47,0 N	142,8 E	3-C	non
93	Fédération de Russie	MA2 Magadan	59,6 N	150,8 E	3-C	non
94	Fédération de Russie	ZIL Zilime	53,9 N	57,0 E	3-C	non
95	Samoa	AFI Afiamalu	13,9 S	171,8 O	3-C	oui
96	Arabie saoudite	RAYN Ar Rayn	23,6 N	45,6 E	3-C	non
97	Sénégal	MBO M'Bour	14,4 N	17,0 O	3-C	non
98	Iles Salomon	HNR Honiara, Guadalcanal	9,4 S	160,0 E	3-C	oui
99	Afrique du Sud	SUR Sutherland	32,4 S	20,8 E	3-C	oui
100	Sri Lanka	COC Colombo	6,9 N	79,9 E	3-C	non
101	Suède	HFS Hagfors	60,1 N	13,7 E	miniréseau	oui. comme primaire
102	Suisse	DAVOS Davos	46,8 N	9,8 E	3-C	oui
103	Ouganda	MBRU Mbarara	0,4 S	30,4 E	3-C	non
104	Royaume-Uni	EKA Eskdalemuir	55,3 N	3,2 O	miniréseau	oui
105	Etats-Unis d'Amérique	GUMO Guam, Iles Mariannes	13,6 N	144,9 E	3-C	non
106	Etats-Unis d'Amérique	PMSA Palmer Station, Antarctique	64,8 S	64,1 O	3-C	non
107	Etats-Unis d'Amérique	TKL Tuckaleechee Caverns, TN	35,7 N	83,8 O	3-C	oui
108	Etats-Unis d'Amérique	PFCA Pinon Flat, CA	33,6 N	116,5 O	3-C	oui. comme primaire
109	Etats-Unis d'Amérique	YBH Yreka, CA	41,7 N	122,7 O	3-C	non

	Etat responsable de la station	Lieu	Latitude	Longitude	Type	Station du GSETT-3 (août 1996)
110	Etats-Unis d'Amérique	KDC Ile Kodiak, AK	57,8 N	152,5 O	3-C	non
111	Etats-Unis d'Amérique	ALQ Albuquerque, NM	35,0 N	106,5 O	3-C	oui
112	Etats-Unis d'Amérique	ATTU Ile Attu, AK	52,8 N	172,7 E	3-C	non
113	Etats-Unis d'Amérique	ELK Elko, NV	40,7 N	115,2 O	3-C	oui
114	Etats-Unis d'Amérique	SPA Pôle Sud, Antarctique	90,0 S	--	3-C	non
115	Etats-Unis d'Amérique	NEW Newport, WA	48,3 N	117,1 O	3-C	oui
116	Etats-Unis d'Amérique	SJG San Juan, PR	18,1 N	66,2 O	3-C	non
117	Venezuela	SDV Santo Domingo	8,9 N	70,6 O	3-C	oui
118	Venezuela	PCR Puerto la Cruz	10,2 N	64,6 O	3-C	non
119	Zambie	LSZ Lusaka	15,3 S	28,2 E	3-C	oui
120	Zimbabwe	BUL Bulawayo	A indiquer	A indiquer	3-C	non

Tableau 2b. Liste de stations sismologiques supplémentaires qui font partie du réseau auxiliaire du GSETT-3, mais qui ne sont pas retenues pour le réseau du SSI

	Etat responsable de la station	Lieu	Latitude	Longitude	Type
1	Australie	ARMA Armidale	30,4 S	151,6 E	3-C
2	Australie	CSY Casey	66,3 S	110,5 E	1-C
3	Australie	FORT Forrest	30,8 S	128,1 E	1-C
4	Australie	MEEK Meekatharra	26,6 S	118,5 E	1-C
5	Australie	QIS Mount Isa	20,6 S	139,6 E	1-C
6	Australie	RMQ Roma	26,5 S	148,8 E	1-C
7	Australie	TOO Toolangi	37,6 S	145,5 E	3-C
8	Australie	WARB Warburton	26,2 S	126,6 E	3-C
9	Australie	YOU Young	34,3 S	148,4 E	3-C
10	Bulgarie	VTS Vitosha	42,6 N	23,2 E	3-C
11	Canada	LMN Caledonia Mtn,	45,9 N	64,8 O	3-C
12	Canada	DAWY Dawson City	64,1 N	139,4 O	3-C
13	Canada	DRLN Deer Lake	49,3 N	57,5 O	3-C
14	Canada	EDM Edmonton	53,2 N	113,4 O	3-C
15	Canada	EEO Eldee	46,6 N	79,1 O	1-C
16	Canada	FCC Fort Churchill	58,8 N	94,1 O	3-C
17	Canada	GAC Glen Almond	45,7 N	75,5 O	3-C
18	Canada	LMQ La Malbaie	47,5 N	70,3 O	3-C
19	Canada	PGC Pac, Geoscience	48,7 N	123,5 O	3-C
20	Canada	PMB Pemberton	50,5 N	123,1 O	3-C

	Etat responsable de la station	Lieu	Latitude	Longitude	Type
21	Canada	PNT Penticton	49,3 N	119,6 O	3-C
22	Canada	RES Resolute Bay	74,7 N	94,9 O	3-C
23	Canada	TBO Thunder Bay	48,6 N	89,4 O	1-C
24	Ethiopie	AAE Addis-Abeba	9,0 N	38,8 E	3-C
25	Finlande	KAF Kangasniemi	62,1 N	26,3 E	3-C
26	Finlande	VAF Ylistaro	63,0 N	22,7 E	3-C
27	Allemagne	BRG Berggiesshübel	50,9 N	13,9 E	3-C
28	Allemagne	BFO Forêt Noire	48,3 N	8,3 E	3-C
29	Allemagne	BUG Bochum	51,4 N	7,3 E	3-C
30	Allemagne	CLZ Clausthal-Zellerfeld	51,8 N	10,4 E	3-C
31	Allemagne	CLL Collm	51,3 N	13,0 E	3-C
32	Allemagne	FUR Fürstenfeldbruck	48,2 N	11,3 E	3-C
33	Allemagne	GRFO Gräfenberg	49,7 N	11,2 E	3-C
34	Allemagne	MOX Moxa	50,6 N	11,6 E	3-C
35	Allemagne	TNS Taunus	50,2 N	8,4 E	3-C
36	Hongrie	PSZ Piszkes	47,9 N	19,9 E	3-C
37	Israël	BGIO Bar Giyora	31,7 N	35,1 E	3-C
38	Italie	AQU L'Aquila	42,4 N	13,4 E	3-C
39	Italie	VSL Villasalto	39,5 N	9,4 E	3-C
40	Japon	OGS Chichijima	27,1 N	142,2 E	3-C
41	Japon	ISG Ishigakijima	24,4 N	124,2 E	3-C

	Etat responsable de la station	Lieu	Latitude	Longitude	Type
42	Japon	KKJ Kaminokuni	41,8 N	140,2 E	3-C
43	Japon	SHK Shiraki	34,5 N	132,7 E	3-C
44	Japon	TSK Tsukuba	36,2 N	140,1 E	3-C
45	Mongolie	ULN Ulaan-Baatar	47,5 N	107,0 E	3-C
46	Pays-Bas	HGN Heimansgroeve	50,8 N	5,9 E	3-C
47	Nouvelle-Zélande	SNZO South Karori	44,3 S	174,7 E	3-C
48	Pakistan	NIL Nilore	33,7 N	73,3 E	3-C
49	Seychelles	MSEY Mahe	4,6 S	55,5 E	3-C
50	Espagne	PAB San Pablo de los Montes	39,5 N	4,3 O	3-C
51	Espagne	TBT Taburiente	28,7 N	17,9 O	3-C
52	Suisse	APL Alpnach	47,0 N	8,2 E	3-C
53	Ukraine	KIEV Kiev	50,7 N	29,2 E	3-C
54	Royaume-Uni	WOL Wolverton	51,3 N	1,2 O	3-C
55	Royaume-Uni	ASCN Isla Ascensión	8,0 S	14,4 O	3-C
56	Etats-Unis	RSSD Black Hills	44,1 N	104,0 O	3-C
57	Etats-Unis	BLA Blacksburg	37,2 N	80,4 O	3-C
58	Etats-Unis	DUG Dugway	40,2 N	112,8 O	3-C
59	Etats-Unis	EYMN Ely	47,9 N	91,5 O	3-C
60	Etats-Unis	TUC Tucson	32,3 N	110,8 O	3-C
61	Etats-Unis	TUL Tulsa	35,9 N	95,8 O	3-C
