

Évolutions de la chaîne d'approvisionnement des puces

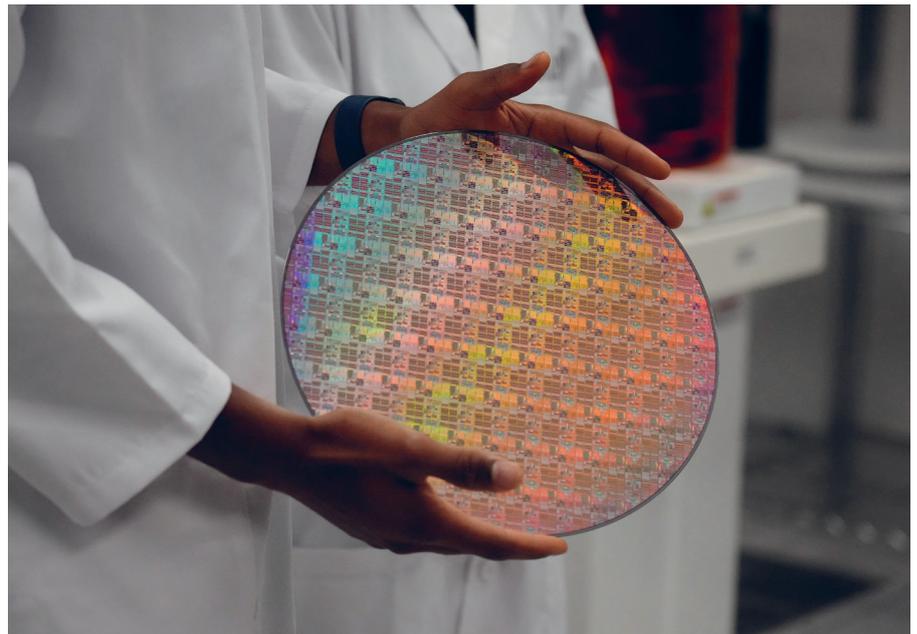
Les semi-conducteurs sont au cœur de l'économie mondiale et de la réflexion des gouvernements sur la sécurité. Leur chaîne d'approvisionnement est en train de bifurquer et de se séparer en deux branches contrôlées par les États-Unis, d'une part, et la Chine, d'autre part. Elle tend également à une plus grande localisation régionale, en particulier en Asie de l'Est, en Asie du Sud-Est et en Europe.

Par Quentin Merle

La mondialisation du secteur des semi-conducteurs n'est plus d'actualité, car les gouvernements considèrent de plus en plus la technologie par le prisme de la sécurité nationale, a déclaré Morris Chang, fondateur de la Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC). La rivalité entre les États-Unis et la Chine sur ce marché en est le meilleur exemple. Les deux pays cherchent en effet à diminuer leurs dépendances mutuelles en adoptant des stratégies de découplage ou, plus récemment, de réduction des risques (voir CSSA n° 337). Selon le Rapport sur le commerce mondial 2023, les tensions liées à la sécurité entre ces deux acteurs ont considérablement ralenti le commerce de technologies telles que les semi-conducteurs en 2022.

Sur la couverture de son numéro de mai 2024, *The Economist* montre une carte du monde déchirée illustrant un ordre économique fragile, proche de l'effondrement. Dans une économie mondiale de plus en plus instable, l'on peut se demander quelle sera l'évolution de la chaîne d'approvisionnement des semi-conducteurs au fur et à mesure que les stratégies des gouvernements s'attacheront à la scinder.

La première tendance est la bifurcation progressive de la chaîne d'approvisionnement des semi-conducteurs, qui se caractérise par un processus ambigu et poreux de



Une plaquette de silicium sur le site où Applied Materials prévoit de construire un centre de recherche, à Sunnyvale, en Californie, en mai 2023. *Jim Wilson / Reuters*

divergence groupée, plutôt que par une séparation claire et rapide des relations commerciales, comme le prévoient souvent les stratégies nationales de sécurité. Alors que les États-Unis et la Chine tentent d'exercer un contrôle sur leurs chaînes d'approvisionnement des semi-conducteurs, les deux puissances restent fortement interconnectées par des dépendances économiques mutuelles.

La deuxième tendance est l'expansion de la dynamique de localisation au sein de la chaîne d'approvisionnement mondiale des semi-conducteurs. La localisation consiste à développer la production nationale ou régionale afin de réduire la dépendance à l'égard des sources étrangères. Ce choix motivé par les tensions géopolitiques et la nécessité de renforcer la résilience de la chaîne d'approvisionnement est particuliè-

rement visible en Asie de l'Est, en Asie du Sud-Est et en Europe. La présente analyse examine plus en détail ces deux évolutions.

Une chaîne interconnectée

Essentiels à la vie moderne, les semi-conducteurs constituent la technologie la plus sophistiquée jamais produite dans l'histoire de l'humanité. Leur chaîne d'approvisionnement complexe est cyclique et interconnectée, ce qui la rend difficile à démanteler. Au cours des dernières décennies, elle s'est fragmentée en trois grandes étapes de production axées sur la performance et l'innovation au service de l'efficacité énergétique, tout en visant une réduction de la taille et du coût des puces. Pour commencer, les ingénieurs conçoivent la puce et élaborent avec soin la structure de ses circuits électroniques. Ensuite, les puces sont fabriquées sur des plaquettes (ou *wafers*) de silicium dans des salles blanches en utilisant des procédés tels que la photolithographie, qui permet de réaliser de minuscules circuits couche par couche. Pour finir, les puces sont détachées des plaquettes, conditionnées dans des boîtiers de protection et rigoureusement testées pour garantir leur fonctionnalité avant d'être intégrées dans des appareils électroniques (voir l'étude du CSS).

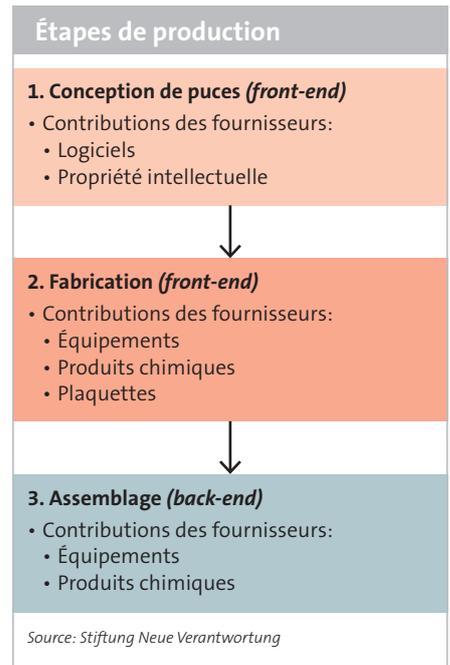
Ces dernières décennies, le secteur des semi-conducteurs fonctionnait avec une chaîne d'approvisionnement interconnectée dont tous les acteurs collaboraient afin de garantir l'efficacité économique. Dans un premier temps, toutes les étapes de production étaient dominées par les États-Unis. Le deuxième et le troisième stade se sont ensuite déplacés vers l'Asie. La Chine est devenue un acteur majeur de ce marché dans les années 2000, notamment en tant que pays consommateur. En parallèle, des fonderies telles que TSMC et Samsung, qui produisent également leurs propres puces, se sont spécialisées dans la fabrication de puces conçues dans le monde entier. À la fin des années 2000, la chaîne d'approvisionnement des semi-conducteurs se caractérisait par un achat de matériaux au niveau mondial et une fabrication en Asie de l'Est, ce qui a permis des progrès rapides et une grande efficacité. Cette organisation a commencé à s'effiloche à partir des années 2010 alors que les gouvernements se sont mis à accorder une place grandissante aux questions de sécurité, en plus de l'efficacité économique.

La rivalité Chine/États-Unis

Les logiques de sécurité nationale des gouvernements américain et chinois sont en train de diviser la chaîne d'approvisionnement

des semi-conducteurs. Les deux puissances cultivent en effet leurs écosystèmes respectifs, qu'elles ont l'intention de contrôler. En 2019, l'administration Trump a mobilisé ses partenaires afin de bloquer la fourniture de puces avancées à Huawei. Cette décision a marqué le début du mouvement entrepris par les États-Unis pour réorganiser leur secteur des semi-conducteurs. L'administration Biden a ensuite affiné sa politique industrielle, souvent désignée par l'expression «*small yard, high fence*», en s'employant à protéger des technologies critiques telles que l'intelligence artificielle (IA) tout en maintenant des interactions économiques plus larges. Éléments clés de cette nouvelle approche de politique industrielle, la loi sur la réduction de l'inflation et la loi sur les puces et la science de 2022 ont permis le déblocage d'importantes subventions publiques afin d'encourager notamment la recherche sur les semi-conducteurs et leur fabrication au niveau national. Les États-Unis ont également entrepris de bâtir, avec des alliés «partageant les mêmes vues», un écosystème de semi-conducteurs qui soit à la fois résistant aux chocs extérieurs et capable de jouer un rôle stratégique au sein de l'économie mondiale.

En accord avec les priorités du programme de sécurité économique de Xi Jinping, la Chine s'est également attachée à mettre en place un écosystème local et autosuffisant de semi-conducteurs. Le gouvernement chinois a développé son industrie nationale des semi-conducteurs depuis le début des années 2000. Cette politique industrielle a été accélérée par le Fonds d'investissement pour l'industrie des circuits intégrés en Chine («*Big Fund*») de 2014 et la feuille de route «*Made in China 2025*» de 2015. Les subventions publiques massives octroyées par le Big Fund visaient à faire émerger des champions chinois des semi-conducteurs et à renforcer le contrôle de l'État sur ce secteur. «*Made in China 2025*» prévoyait d'atteindre une autosuffisance de 40% dans le domaine des puces d'ici 2020 et de 70% d'ici 2025. Près de dix ans plus tard, le niveau d'autosuffisance de la Chine se situe autour de 20%. Depuis, Pékin a commencé à mettre en œuvre une politique industrielle plus sophistiquée, comme en témoignent la campagne anticorruption menée contre les dirigeants du Big Fund, les investissements accrus dans la recherche et le développement (R&D) et le travail pour améliorer l'efficacité des partenariats public-privé. Symbole du regain d'efforts de la Chine, le Big Fund a levé en 2024 un montant record de 47 milliards de dollars.



Un marché chinois crucial

Contrairement à ce que laissent penser les logiques de sécurité des gouvernements, la chaîne d'approvisionnement mondiale des semi-conducteurs n'est pas près de se scinder totalement en deux écosystèmes distincts. Les forces du marché sont si puissantes que l'on assiste plutôt à une lente bifurcation. En effet, les entreprises américaines sont encore très dépendantes du marché chinois. Quant aux entreprises chinoises, pour rester compétitives, elles ont besoin d'accéder à des matériaux de départ et à des technologies de pointe en provenance de l'étranger.

Les grandes sociétés de semi-conducteurs américaines et européennes dépendent encore en grande partie du marché chinois et suivent avec réticence l'objectif de leurs gouvernements de diminuer la place de la Chine dans la chaîne d'approvisionnement. En 2023, la Chine représentait plus de 50% du marché mondial des semi-conducteurs, ce qui en fait le plus grand pays consommateur de cette technologie sur la planète. Malgré les mesures restrictives prises par le gouvernement des États-Unis, les ventes des entreprises américaines à la Chine ont augmenté de 36% au cours de l'exercice 2021 et de 4% en 2022. En 2023, la plupart des entreprises américaines de semi-conducteurs comptaient la Chine parmi leurs trois principaux marchés.

Ces entreprises contestent également l'approche de leur gouvernement. Après la

deuxième série de mesures de contrôles à l'exportation prises par les États-Unis en octobre 2023, Nvidia, Intel et Qualcomm se seraient opposées au gouvernement américain en soulignant le risque de conséquences involontaires telles que la perte de leur avantage concurrentiel. Elles ont également essayé d'adapter leurs puces au marché chinois en contournant les contrôles à l'exportation américains. Nvidia, leader dans la conception de puces d'IA, a ainsi réagi aux mesures de 2022 limitant la vente de puces d'IA avancées à la Chine en produisant des puces spéciales (A800 et H800) situées juste en dessous du seuil de restriction. Lorsque les États-Unis ont resserré leurs contrôles à l'exportation en octobre 2023, Nvidia a de nouveau adapté ses puces d'IA au marché chinois. À cette époque, Nvidia réalisait encore plus d'un cinquième de son chiffre d'affaires en Chine. L'entreprise craint aujourd'hui que de nouveaux contrôles à l'exportation nuisent gravement à sa compétitivité. En 2023, Qualcomm et Intel, les deux sociétés américaines les plus dépendantes du marché chinois, effectuaient respectivement les deux tiers et un quart de leurs chiffres d'affaires en Chine.

La Chine reste un marché important pour les entreprises aux États-Unis, mais aussi en Europe. ASML, le plus grand fabricant européen de semi-conducteurs, a réalisé 7251 milliards d'euros de chiffre d'affaires net en Chine, soit plus du triple de ses ventes en 2021 et un quart de ses ventes totales en 2023. Bien qu'une partie de cette hausse puisse s'expliquer par les perturbations subies par la chaîne d'approvisionnement avant 2023 et les nouveaux contrôles à l'exportation qui ont incité les entreprises chinoises à acheter en masse, la perte du marché chinois constituerait un gros problème pour ASML.

Les dépendances de la Chine

Compte tenu des fortes dépendances étrangères qui subsistent à tous les stades de la production, la Chine est encore loin de l'autosuffisance visée par le programme de sécurité économique de Xi Jinping. Si la part de la Chine dans la capacité de fabrication mondiale sur toute la chaîne d'approvisionnement des semi-conducteurs est passée de 10% en 2016 à environ 20% en 2024, la moitié de la production chinoise est encore assurée par des entreprises à capitaux étrangers, telles que les Sud-Coréennes Samsung et SK Hynix, ou la Taïwanaise TSMC. Dans la première étape de production, la conception des puces, aucune entreprise chinoise ne figure parmi les

dix premières et deux seulement se classent dans les 15 plus grandes sociétés mondiales en termes de chiffre d'affaires. Et celles-ci dépendent fortement d'outils de conception américains tels que l'automatisation de la conception électronique ou les blocs de propriété intellectuelle. Dans la deuxième étape de production, la fabrication des puces, seules deux entreprises chinoises comptent parmi les dix leaders mondiaux. Si des fabricants chinois tels que SMIC et le groupe Huahong se développent rapidement, ils restent à la traîne par rapport à leurs concurrents internationaux et sont fortement tributaires d'équipements de production étrangers tels que les machines à ultraviolets extrêmes d'ASML. En ce qui concerne les matériaux de départ, la Chine dépend également de l'étranger, principalement de ses voisins d'Asie de l'Est. Par exemple, la chaîne d'approvisionnement chinoise des semi-conducteurs ne pourrait pas se passer des résines photosensibles japonaises. La Chine ne produit que 2% de ses résines photosensibles utilisées pour la fabrication de puces avancées et en importe la majorité de fabricants japonais.

Le seul domaine où la Chine occupe une place prépondérante dans la production mondiale est celui des semi-conducteurs d'ancienne génération. Le seuil définissant ces puces n'est pas fixé de manière universelle et évolue avec le temps, mais on considère actuellement qu'il est égal ou supérieur à un nœud de processus de 28 nm. Les puces d'ancienne génération offrent un équilibre entre performance et efficacité énergétique. Elles sont principalement utilisées dans les applications pour lesquelles le coût joue un rôle important, telles que les processeurs mobiles, les systèmes automobiles et les équipements réseau. La Chine représente aujourd'hui un tiers de la production mondiale de puces d'ancienne génération – une proportion qui a doublé au cours des dix dernières années et devrait continuer à croître dans un avenir proche. La Chine est également la mieux placée dans la troisième étape de production, c'est-à-dire le conditionnement, l'assemblage et le test, qui a toujours connu les marges bénéficiaires les plus faibles du secteur et nécessite beaucoup de main-d'œuvre.

Malgré certains progrès, la Chine reste dépendante à toutes les étapes de production de fournisseurs étrangers qu'il sera difficile de remplacer à brève échéance. Face au piège du revenu intermédiaire et au risque de stagnation des gains de productivité, les dirigeants chinois craignent de ne pas profiter des progrès de l'IA générative, l'IA

La Suisse, vue de plus près

Représentant moins de 1% des échanges commerciaux de la Suisse, le secteur national des puces est relativement réduit et diversifié, même s'il se concentre autour de l'Asie de l'Est. La principale force de la Suisse réside dans la R&D. Par conséquent, le pays s'attache à entretenir des relations productives avec l'UE, qui lui permettent d'accéder à des collaborations dans le domaine de la recherche. Pour l'instant, le Conseil fédéral s'oppose à une politique industrielle en matière de puces, mais compte tenu de l'importance croissante de ce secteur, l'Assemblée fédérale a approuvé à la mi-juin 2024 une motion chargeant le Conseil fédéral d'élaborer une stratégie suisse pour les semi-conducteurs («Swiss Chip Strategy»).

Le déménagement en 2020 de la fondation RISC-V des États-Unis vers la Suisse neutre, en raison de tensions géopolitiques, constitue une évolution notable. Avec son architecture matérielle *open source*, RISC-V offre un substitut intéressant aux normes du secteur. Par conséquent, elle est de plus en plus utilisée par des entreprises chinoises telles que Huawei. L'administration Biden aurait indiqué début 2024 son intention d'examiner l'usage de RISC-V par la Chine. Il convient donc d'observer attentivement cette évolution et de se préparer à différents scénarios.

capable de générer de nouveaux contenus à partir d'une invite en puisant dans une vaste base de données d'exemples. Évolution récente la plus prometteuse, l'IA générative devrait entraîner la prochaine vague de productivité. Mais sans accès aux puces avancées étrangères et ne progressant que lentement vers l'autosuffisance, la Chine rencontre de sérieuses difficultés pour concrétiser ces gains de productivité.

Une localisation mondiale

Dû à des fortes dépendances économiques mutuelles, la chaîne d'approvisionnement des semi-conducteurs ne se divise que lentement en deux branches distinctes. En parallèle, elle tend à se localiser dans différentes régions, ce qui la rend plus résiliente mais aussi plus coûteuse. Les exemples les plus notables sont l'Asie du Sud-Est, l'Asie de l'Est avec la résurgence du Japon et la position cruciale de Taïwan, ainsi que l'Europe.

L'Asie du Sud-Est constitue un pôle neutre de plus en plus essentiel dans le paysage des semi-conducteurs. Une main-d'œuvre qualifiée, un environnement commercial favorable et un appui solide des gouvernements

en font un lieu d'investissement lucratif pour les entreprises du monde entier, y compris de Chine. Les pays de la région représentent environ 25% des exportations de semi-conducteurs sur la planète, ce qui en fait les deuxièmes acteurs mondiaux dans ce domaine. Alors que Singapour et la Malaisie participent depuis longtemps à la chaîne d'approvisionnement des semi-conducteurs, la place du Vietnam dans le secteur ne s'est développée que récemment. Des entreprises américaines comme Intel, dont le premier site de production étranger a été implanté en Malaisie dans les années 1970, redoublent d'efforts dans la région en mobilisant sept milliards de dollars d'investissements. Les sociétés européennes misent également avec force sur la région. Infineon, un grand fabricant de puces pour l'industrie automobile, investira plus de cinq milliards de dollars au cours des cinq prochaines années. Les entreprises chinoises se développent aussi en Asie du Sud-Est, parfois même en établissant des partenariats avec des sociétés américaines, à l'image de celui conclu entre TongFu Microelectronics et le concepteur de puces américain AMD.

Avec la résurgence du Japon et le rôle croissant de Taïwan, l'Asie de l'Est incarne à la perfection la localisation de cette chaîne d'approvisionnement. Le Japon produit depuis longtemps des semi-conducteurs de pointe. Le pays, qui regroupait six des dix premières entreprises du secteur dans les années 1980, se replace aujourd'hui avec succès dans la chaîne d'approvisionnement des puces. En 2021, le gouvernement japonais a lancé une stratégie visant à se concentrer sur les semi-conducteurs pour des raisons de sécurité économique. L'objectif est de tripler les ventes nationales de semi-conducteurs d'ici 2030 en faisant produire des puces avancées par une entreprise japonaise, Rapidus, et JASM, une coentreprise de TSMC, à partir de 2027.

La chaîne d'approvisionnement taïwanaise des semi-conducteurs occupe également une place prépondérante dans toutes les étapes de production. En 2023, Taïwan réunissait près de la moitié de la capacité mondiale en fonderies de semi-conduc-

teurs, était leader dans la troisième étape de production et représentait plus de 20% du marché de la conception de circuits intégrés, juste derrière les États-Unis. Si TSMC est en train de se développer dans le monde, sa dernière technologie restera implantée à Taïwan, ce qui permettra au pays de conserver sa position clé dans un avenir proche.

Malgré sa longue histoire, l'industrie européenne des semi-conducteurs est en stagnation depuis quelque temps. L'élaboration en 2023 du règlement européen sur les semi-conducteurs marque un changement stratégique visant à renforcer la présence de l'Europe dans ce secteur au niveau mondial. Il a pour objectif de soutenir les jeunes entreprises, d'améliorer les politiques industrielles des États membres et de coordonner les efforts en vue de doubler la part de l'Europe dans la production mondiale de puces pour atteindre 20% d'ici 2030. En dépit des vives critiques, cette approche et cet objectif ambitieux traduisent la volonté de l'Europe de s'imposer de nouveau comme un acteur majeur dans ce domaine. La bifurcation entre les États-Unis et la Chine n'est donc pas la seule tendance qui marque le secteur mondial des semi-conducteurs: on observe également une localisation croissante dans des régions telles que l'Asie du Sud-Est, l'Asie de l'Est et l'Europe.

Perspectives

Les semi-conducteurs sont au cœur de la réflexion des gouvernements sur la sécurité et l'économie mondiale. Leur chaîne d'approvisionnement se caractérise par deux évolutions majeures: une bifurcation progressive entre les États-Unis et la Chine, limitée par les interdépendances économiques des deux puissances, et des efforts croissants de localisation à travers le monde. Les responsables politiques et les entreprises doivent intégrer ces modifications dans leurs stratégies pour l'avenir.

ASML estime ainsi qu'en 2030, 10% de l'offre mondiale découlera des exigences de sécurité des gouvernements, et non des besoins économiques. Tout décalage entre ces deux aspects perturbera l'environnement hautement interconnecté de la chaîne d'ap-

Lectures complémentaires

John Lee, «Southeast Asia and the Chip Wars: Navigating a Decoupling World», *Yusof Ishak Institute*, 29 avril 2024.

Paul Triolo, «A New Era for the Chinese Semiconductor Industry: Beijing Responds to Export Controls», *American Affairs* 8:1 (2024).

Reva Goujon, Jan Peter Kleinhans et Laura Gormley, «Thin Ice: US Pathways to Regulating China-Sourced Legacy Chips», *Rhodium Group*, 13 juin 2024.

provisionnement des semi-conducteurs, qui nécessite une allocation efficace des ressources.

Les progrès rapides de l'IA générative ne font qu'accroître la dépendance mondiale vis-à-vis de Taïwan, centre névralgique des puces d'IA. TSMC produit l'immense majorité des puces d'IA pour des entreprises telles que Nvidia et dispose d'un leadership technologique indispensable en la matière. Dans un contexte où l'avenir de l'IA est étroitement lié à la résilience de la chaîne d'approvisionnement des semi-conducteurs, cette situation renforce encore la place de Taïwan.

Enfin, la taille du secteur des semi-conducteurs devrait doubler par rapport à 2021 pour atteindre mille milliards de dollars en 2030. Face à ce marché en pleine croissance, le manque de talents pour alimenter l'expansion mondiale préoccupe davantage les dirigeants des sociétés de semi-conducteurs que les risques géopolitiques. Les entreprises privées et les gouvernements n'ont donc pas les mêmes préoccupations – un fait si simple trop souvent oublié.

Voir le site thématique du CSS pour en savoir plus sur l'intelligence artificielle et les politiques de sécurité.

Quentin Merle est Chercheur au Center for Security Studies (CSS) à l'ETH de Zurich.

Les **analyses de politique de sécurité** du CSS sont publiées par le Center for Security Studies (CSS) de l'ETH de Zurich. Le CSS est un centre de compétence en matière de politique de sécurité suisse et internationale. Deux analyses paraissent chaque mois en allemand, français et anglais.

Éditrice: Névine Schepers
Révision linguistique: Névine Schepers
Layout et graphiques: Miriam Dahinden-Ganzoni, Rosa Guggenheim

Feedback et commentaires: analysen@sipo.gess.ethz.ch
Plus d'éditions et abonnement: www.css.ethz.ch/cssanalysen

Parus précédemment:

Défis du réarmement: l'exemple de la poudre No 344
La cybersécurité dans l'espace No 343
Les relations de Pyongyang avec Moscou et Pékin No 342
Comparaison des politiques d'infrastructures critiques No 341
La coopération entre l'Europe et l'Indopacifique No 340
Risques nucléaires et mesures de réduction No 339

© 2024 Center for Security Studies (CSS), ETH Zurich
ISSN: 2296-0228; DOI: 10.3929/ethz-b-000681215