



NATO PARLIAMENTARY ASSEMBLY
ASSEMBLÉE PARLEMENTAIRE DE L'OTAN

COMMISSION DES SCIENCES ET DES TECHNOLOGIES (STC)

SOUS-COMMISSION SUR LES TENDANCES TECHNOLOGIQUES ET LA SÉCURITÉ (STCTTS)

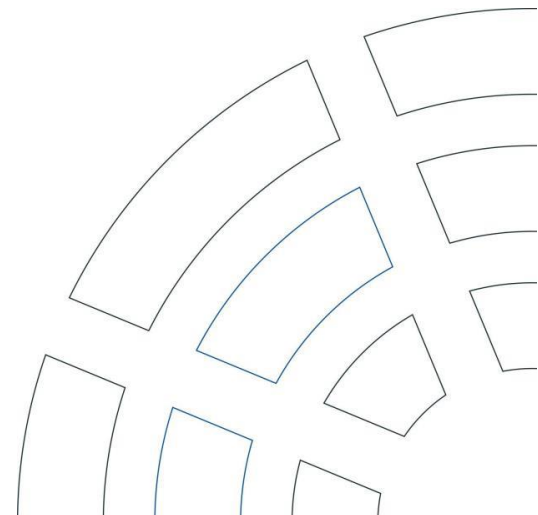
AVANT-PROJET

PRÉSERVER L'AVANCE TECHNOLOGIQUE DE L'OTAN FACE À LA CHINE : L'ENJEU DES SEMI-CONDUCTEURS

Avant-projet de rapport général
Njall Trausti FRIDBERTSSON (Islande)
Rapporteur

057 STC 24 F – Original : anglais – 16 avril 2024

Fondée en 1955, l'Assemblée parlementaire de l'OTAN est une organisation interparlementaire consultative qui est institutionnellement distincte de l'OTAN. Tant qu'il n'est pas adopté par les membres de la commission, le présent document de travail représente exclusivement le point de vue de son rapporteur. Il est basé sur des informations provenant de sources accessibles au public ou de réunions tenues dans le cadre de l'AP-OTAN, lesquelles sont toutes non classifiées.



L'Alliance, qui commémore cette année son 75^e anniversaire, évolue dans un monde caractérisé par une concurrence géopolitique et stratégique. Les technologies émergentes et les technologies de rupture (TE/TR), moteurs de la croissance et de la compétitivité économiques, jouent un rôle central dans cet environnement. Si la supériorité technologique a trait à l'économie, elle a aussi des ramifications dans les domaines de la sécurité et de la défense. Il est donc crucial que l'Alliance conserve son avance technologique. La République populaire de Chine (RPC) est le principal acteur susceptible de remettre en cause la supériorité technologique de l'OTAN.

Les semi-conducteurs jouent un rôle central à cet égard. D'une part, ce sont des composants essentiels pour les appareils électroniques, les technologies modernes et l'innovation. D'autre part, les semi-conducteurs sont emblématiques de la concurrence stratégique, de la fragmentation économique et de l'importance capitale de la technologie dans les questions de sécurité. Plusieurs pays ont ainsi lancé des initiatives visant à réduire leur dépendance vis-à-vis d'acteurs extérieurs pour l'approvisionnement en puces électroniques et à limiter les exportations de ces dernières vers les concurrents. En outre, les semi-conducteurs sont des composants essentiels pour des capacités militaires de pointe. L'Alliance doit faire de la préservation de l'accès aux puces sophistiquées une priorité si elle souhaite conserver son avance technologique.

Cet avant-projet de rapport entend apporter sa pierre à l'édifice. À cette fin, il présente une vue d'ensemble des moyens par lesquels la Chine peut remettre en cause l'avance technologique de l'OTAN, une analyse des semi-conducteurs et de leur rôle central dans la concurrence technologique, ainsi qu'une évaluation des activités actuellement menées par les Alliés et la Chine dans ce domaine. Ces analyses permettent de tirer des conclusions préliminaires et de formuler des recommandations en vue de nouvelles mesures. Il s'agit notamment de mener une évaluation critique des dépendances aux chaînes d'approvisionnement chinoises et des risques encourus tout en maintenant le dialogue avec les dirigeants de la RPC, de renforcer la coordination et la coopération entre les Alliés et leurs partenaires en ce qui concerne les initiatives relatives aux semi-conducteurs, d'intensifier les campagnes de sensibilisation et d'information visant à rassembler de multiples parties prenantes, et d'évaluer la manière dont les activités de l'OTAN relatives aux TE/TR peuvent soutenir les pays membres de l'OTAN dans le domaine des semi-conducteurs.

I-	INTRODUCTION	1
II-	L'AVANCE TECHNOLOGIQUE DE L'OTAN FACE À LA CHINE	2
III-	LES SEMI-CONDUCTEURS, AU CŒUR DE LA CONCURRENCE TECHNOLOGIQUE	5
	A. DÉFINITION ET FONCTIONNEMENT DES SEMI-CONDUCTEURS.....	5
	B. LE RÔLE DES SEMI-CONDUCTEURS DANS LE DOMAINE MILITAIRE	9
IV-	LA CHINE ET LA CONCURRENCE STRATÉGIQUE DANS LE DOMAINE DES SEMI-CONDUCTEURS	11
V-	CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS PRÉLIMINAIRES	14
	BIBLIOGRAPHIE	16

I- INTRODUCTION

1. Alors qu'elle commémore cette année son 75^e anniversaire, l'Alliance doit faire face à des mutations fondamentales de l'ordre international et à l'effondrement de préceptes qui prévalaient par le passé. Il semblerait que des postulats tels que « le changement par le commerce » ou la prévention des conflits grâce à une économie mondiale toujours plus intégrée aient été réfutés. L'économie mondiale ne semble pas vouée à entrer dans un processus de démondialisation et les chiffres globaux du commerce à régresser. Toutefois, les analyses portant sur le découplage, la réduction des risques ou la délocalisation de proximité ou entre partenaires stratégiques pointent un glissement vers une économie mondiale plus fragmentée et compétitive. Les technologies émergentes et de rupture (TE/TR), qui soutiennent l'innovation et la croissance économique, occuperont une place centrale dans cet environnement concurrentiel. Cependant, la supériorité technologique n'est pas seulement importante pour la concurrence économique. Le double usage inhérent à de nombreuses technologies les rend également pertinentes dans les domaines de la sécurité et de la défense. Ainsi que le reconnaît le communiqué du sommet de Vilnius : « Les technologies émergentes et de rupture sont porteuses d'opportunités mais aussi de risques. Elles changent la nature des conflits, gagnent en importance sur le plan stratégique et sont en passe de devenir l'un des principaux champs de la compétition internationale » (OTAN, 2023).

2. Il est donc crucial que l'Alliance conserve son avance technologique, et ce d'autant plus que certains spécialistes affirment que les Alliés ont déjà « perdu » la course à la technologie. Selon le projet *Critical Technology Tracker* de l'*Australian Strategic Policy Institute* (ASPI), « les démocraties occidentales sont en train de perdre la bataille technologique mondiale, y compris la course à la recherche et aux découvertes scientifiques, ainsi que la capacité à retenir les talents internationaux » (Gaida et al., 2023). La République populaire de Chine (RPC) est l'un des principaux concurrents des pays occidentaux. Selon l'ASPI, elle a « posé les jalons qui lui permettront de se positionner comme la première superpuissance scientifique et technologique au monde, en prenant une avance parfois stupéfiante dans la recherche à fort impact dans la majorité des domaines technologiques essentiels et émergents » (Gaida et al., 2023). Les dirigeants chinois visent l'indépendance technologique et adoptent à cette fin une approche « nationale holistique » qui s'appuie sur une augmentation considérable des investissements financiers (*The Economist*, 2024). L'Alliance prend acte de ces efforts et note dans le communiqué du sommet de Vilnius que la RPC cherche « à exercer une mainmise sur des secteurs technologiques et industriels clés, des infrastructures d'importance critique et des matériaux et chaînes d'approvisionnement stratégiques » et qu'elle « utilise le levier économique pour créer des dépendances stratégiques et accroître son influence » (OTAN, 2023).

3. À mesure que le paysage géopolitique se transforme et que la concurrence stratégique s'intensifie, la Chine pourrait être en mesure de disputer à l'OTAN son avance technologique. Si la RPC n'est pas un adversaire de l'Alliance, le concept stratégique 2022 indique clairement qu'elle « affiche des ambitions et mène des politiques coercitives qui sont contraires à nos intérêts, à notre sécurité et à nos valeurs » (OTAN, 2022). Ses activités se répercutent sur l'ensemble de la communauté transatlantique et peuvent induire des conséquences tant sur le plan économique que sur celui de la sécurité. Les prouesses économiques chinoises atteignent l'Europe, où le pays investit dans des infrastructures essentielles telles que les réseaux de télécommunications et de transport. En outre, les chaînes d'approvisionnement sensibles du secteur de la défense dépendent souvent fortement de la Chine. Dans une ère de concurrence géopolitique et stratégique, des acteurs tels que la RPC peuvent tirer parti de ces interdépendances.

4. La concurrence technologique, qui fait partie intégrante de ces plus vastes évolutions, n'a pas que des répercussions économiques. Elle a aussi des incidences en matière de sécurité et de défense. Les semi-conducteurs jouent un rôle central à cet égard. D'une part, ce sont des composants essentiels pour les appareils électroniques et les technologies modernes. La pénurie mondiale de puces survenue entre 2020 et 2023 a touché tous les secteurs d'activité et les récents

progrès de l'intelligence artificielle (IA) reposent sur des semi-conducteurs toujours plus puissants et sophistiqués. Les semi-conducteurs sont donc centraux pour l'économie et l'innovation technologique. On les retrouve également au cœur des systèmes et des capacités militaires de pointe. D'autre part, les semi-conducteurs sont emblématiques de la concurrence stratégique, de la fragmentation économique et de l'importance capitale de la technologie dans les questions de sécurité. Chris Miller, auteur de l'ouvrage primé *Chip War*, affirme que la dernière « guerre des puces » a commencé en 2014 avec l'octroi de subventions par l'État chinois à son industrie nationale afin d'en soutenir le développement (Markwardt et Zacharakis, 2024). Ces dernières années, les États-Unis, l'Union européenne (UE) et d'autres pays ont mis en place des initiatives visant à réduire leur dépendance aux approvisionnements en puces auprès d'acteurs extérieurs. Les États-Unis et leurs partenaires ont, en outre, limité les exportations de puces et d'équipements connexes vers la RPC. La Chine a cependant accompli des avancées sensibles pour ce qui est de la conception et de la fabrication de puces.

5. Les semi-conducteurs, essentiels au développement des TE/TR et à l'établissement des futures capacités militaires, sont au cœur de la concurrence stratégique. L'OTAN doit donc impérativement conserver son avance technologique dans ce domaine. Cela suppose, entre autres, qu'elle conserve sa capacité d'innovation et qu'elle sécurise l'approvisionnement en puces les plus sophistiquées. Cet avant-projet de rapport apporte sa pierre à l'édifice. À cette fin, il présente une vue d'ensemble des moyens par lesquels la Chine peut remettre en cause l'avance technologique de l'OTAN et fournit une analyse des semi-conducteurs et de leur rôle central dans la concurrence technologique ainsi qu'une évaluation des activités actuellement menées par les Alliés et la Chine. Ces réflexions permettent de tirer des conclusions préliminaires et de formuler des recommandations en vue de nouvelles mesures, qui aideront l'OTAN à conserver son avance technologique.

II- L'AVANCE TECHNOLOGIQUE DE L'OTAN FACE À LA CHINE

6. L'avance technologique de l'OTAN est essentielle au maintien de la paix et de la sécurité dans la zone euro-atlantique, et ce depuis l'établissement de l'Alliance il y a 75 ans. En conséquence, l'OTAN a reconnu l'importance stratégique de la technologie dans l'environnement de sécurité internationale en évolution rapide qui est aujourd'hui le nôtre. Pour maintenir l'avance technologique de l'Alliance, les ministres de la défense ont approuvé une stratégie sur les TE/TR et ont créé l'Accélérateur d'innovation de défense dans l'Atlantique Nord (DIANA) en 2021. En outre, le fonds OTAN pour l'innovation (NIF), doté d'un milliard d'euros, a commencé ses travaux. L'Alliance distingue neuf domaines technologiques prioritaires, sur lesquels elle concentre ses efforts : l'IA, les systèmes autonomes, les technologies quantiques, les biotechnologies et l'amélioration des capacités humaines, les systèmes hypersoniques, l'espace, les matériaux et procédés de fabrication innovants, l'énergie et les systèmes de propulsion ainsi que les réseaux de communication de nouvelle génération (OTAN, 2024). Différents organes d'innovation de l'OTAN, y compris l'Organisation pour la science et la technologie (STO), mènent les activités de l'Alliance dans ce domaine.

7. La STO joue un rôle crucial dans le développement technologique des forces militaires de l'Alliance. Elle couvre dans ses rapports les domaines technologiques prioritaires susmentionnés, mais aussi l'électronique et l'électromagnétisme. Les rapports de la STO examinent les répercussions des avancées technologiques sur les opérations militaires, les capacités de défense, les fonctions d'entreprise et l'environnement de la prise de décisions politiques (STO, 2023a, 2023b). Il faut noter que ces technologies ne fonctionnent pas en vase clos. C'est leur convergence et leurs interactions complexes qui ont des effets véritablement perturbateurs et permettent de développer les capacités militaires. Par exemple, l'association synergique des systèmes autonomes, des mégadonnées et de l'IA devrait permettre d'exploiter des technologies et des méthodes innovantes

et d'acquérir un avantage potentiel dans la prise de décisions militaires stratégiques et opérationnelles. Un autre exemple est celui des capteurs quantiques basés dans l'espace qui, en s'appuyant sur la méthode de communication de la distribution quantique de clés, aboutiront à la création de capteurs de haute précision permettant le déploiement de satellites. En outre, les réseaux distribués de capteurs spatiaux, rendus possibles grâce aux capteurs quantiques, seront de plus en plus utilisés dans des applications civiles. Plus petits, plus sensibles et moins gourmands en énergie, ils constitueront un aspect essentiel de la future architecture militaire de renseignement, surveillance et reconnaissance (ISR) d'ici dix à quinze ans.

8. Cependant, l'OTAN et ses États membres ne sont pas les seuls à s'être investis dans l'innovation technologique. Ainsi que le mentionne le communiqué du sommet de Vilnius, « les compétiteurs stratégiques et les adversaires potentiels de l'OTAN investissent massivement dans des technologies pouvant se révéler très efficaces, notamment dans le cadre d'activités hybrides malveillantes, et jouer un rôle décisif dans un conflit » (OTAN, 2023). En conséquence, l'OTAN risque de perdre son avance technologique à mesure que l'écart avec ses rivaux se resserre et que la progression des technologies commerciales et à double usage s'accélère, élargissant l'accès aux technologies militaires à un plus grand nombre d'acteurs. En matière de TE/TR, c'est la RPC qui est la plus à même de disputer à l'OTAN sa position de chef de file. Selon le *Critical Technology Tracker* de l'ASPI, la Chine surpasse ses concurrents dans 37 des 44 technologies concernées, notamment l'espace, la robotique, l'énergie, l'environnement, la biotechnologie, l'IA, les nouveaux matériaux et les technologies quantiques (Gaida et al., 2023). Ces progrès montrent bien que le gouvernement chinois ambitionne de prendre la tête du peloton technologique. Sur la base du concept de fusion civilo-militaire, il est également probable que la Chine prévoie d'exploiter ces technologies à des fins civiles et militaires. Ce qui suit fait donc le point sur les efforts civils et militaires de la Chine. En outre, l'analyse compare les efforts de la Chine à ceux des pays membres de l'OTAN afin d'évaluer l'état de la concurrence stratégique et technologique apparente.

9. La Chine entend devenir un chef de file mondial dans le secteur des technologies, notamment grâce aux progrès dans les domaines **de l'IA et de l'analyse des données**. Cette stratégie vise à accélérer la transition économique de la Chine tout en faisant du pays une cyber-puissance. La RPC a pour cela conjugué une planification politique nationale et des règles strictes de conservation des données avec des efforts concertés visant à exporter des technologies guidées par les données (Gorman, 2021). La Chine a en outre intégré l'IA à ses systèmes militaires, y compris en ce qui concerne la gestion de l'information, les complexes décisionnels, les instruments de défense, la logistique et l'entraînement. Selon l'ASPI, la Chine domine certains aspects de l'IA, de l'informatique et des communications, tels que l'analyse avancée des données ou l'apprentissage automatique, tandis que les États-Unis se distinguent dans d'autres domaines, notamment le calcul à haute performance (Gaida et al., 2023). Dans le même temps, les hauts responsables chinois auraient été surpris par le lancement de ChatGPT, qui semble remettre en question leur avance présumée dans le domaine de l'IA (*The Economist*, 2024).

10. La Chine fait figure de locomotive dans le domaine **de la robotique et des systèmes autonomes**, comme en témoigne le déploiement de robots industriels à un rythme effréné. En 2022, le pays recensait plus de la moitié des robots industriels récemment installés à travers le monde (Richter, 2023). La RPC est également la figure de proue du développement de systèmes sans pilote, l'un des secteurs prioritaires identifiés, en 2017, par le plan de développement de l'IA de nouvelle génération du conseil d'État chinois (Lin, 2023). On estime que les producteurs chinois, l'entreprise DJI au premier chef, ont la mainmise sur près de 80 % du marché mondial des drones commerciaux (Lin, 2023). En outre, la Chine conçoit et déploie activement des systèmes robotiques militaires dans le cadre de ses efforts de modernisation. Elle a mis au point un ensemble de drones et de robots militaires, y compris des robots quadrupèdes ou anthropomorphes capables de manier deux armes à feu. Ces systèmes ont des applications variées dans les domaines de la logistique, de la reconnaissance, du combat et de la gestion de l'information. Ils sont conçus pour fonctionner dans divers environnements, y compris sur des terrains accidentés comme les falaises, les

tranchées et les déserts. On peut citer, par exemple, un robot quadrupède à alimentation électrique capable d'effectuer des tâches logistiques et de reconnaissance dans des environnements difficiles (Saballa, 2022). Selon l'Institut international de recherche pour la paix de Stockholm (SIPRI), la Chine domine également le marché mondial des drones de combat. Elle en a exporté 282 vers 17 pays dans la dernière décennie (Rasheed, 2023 ; Weingarten, 2023). À titre de comparaison, les États-Unis n'ont livré que douze drones de combat au cours de la même période, tous à destination de la France ou du Royaume-Uni. Les véhicules militaires sans pilote (UxV) chinois gagnent eux aussi en puissance (Rasheed, 2023 ; Weingarten, 2023).

11. La Chine est un acteur central de la concurrence stratégique pour ce qui est des **technologies quantiques**. Selon une étude du cabinet *McKinsey and Company* publiée en avril 2023, le montant des investissements publics chinois déclarés dans les technologies quantiques a dépassé ceux de l'UE et des États-Unis de respectivement 8 milliards de dollars et 13 milliards de dollars (Bogobowicz et al., 2023). En revanche, ce sont des entreprises basées aux États-Unis, telles qu'IBM, qui continuent de dominer le développement de technologies quantiques avancées. La recherche chinoise sur les capteurs photoniques, la communication quantique, les communications optiques avancées et la cryptographie post-quantique est à la pointe du progrès mondial, comme le montre le *tracker* de l'ASPI (Gaida et al., 2023). L'ASPI observe que ces capacités « pourraient entraîner une perte significative de capacités et une baisse de la connaissance de la situation pour les services de renseignement, en particulier pour le groupe des "Five Eyes" » (Gaida et al., 2023).

12. La Chine a accompli de sérieux progrès dans le développement de la **technologie hypersonique**. La Conférence de Munich sur la sécurité a indiqué que la Chine était, dès 2017, pionnière en matière de recherche universitaire sur l'hypersonique (Conférence de Munich sur la sécurité, 2019). En 2018, dans son évaluation des implications pour la défense de l'élargissement de l'accès global de la Chine, le département de la défense des États-Unis (DoD) a conclu que la technologie hypersonique est l'un des « [a]utres domaines dans lesquels la Chine concentre d'importantes ressources de recherche et développement » (Département de la défense des États-Unis, 2018). Ainsi, la Chine a alloué d'importants moyens financiers à la construction d'infrastructures de recherche telles que « des tunnels aérodynamiques sophistiqués et des tubes à chocs élaborés qui permettent, en simulant des ondes de souffle, d'étudier les flux hypersoniques » (Stone, 2020). En outre, la Chine a nettement progressé dans la conception de planeurs et de missiles de croisière hypersoniques et a mené des essais poussés dans ce domaine (Stone, 2020). Selon Michael Griffin, ancien sous-secrétaire à la défense pour la recherche et l'ingénierie du DoD, la Chine avait, en mars 2018, effectué vingt fois plus d'essais hypersoniques que les États-Unis (Sayler, 2024).

13. La Chine a beaucoup investi dans son **programme spatial**, y compris dans le développement de capacités militaires dans l'espace. Le programme spatial chinois, géré par l'Armée populaire de libération (APL), poursuit des objectifs civils et militaires. Une analyse des préoccupations en matière de sécurité spatiale menée en 2022 par la *Defense Intelligence Agency* (DIA) des États-Unis concluait que les flottes spatiales de la Chine et de la Russie avaient augmenté d'environ 70 % entre 2019 et 2021 (DIA, 2022). La Chine cherche à se doter de lasers terrestres et spatiaux de grande puissance, de missiles de croisière hypersoniques capables de détruire des satellites hostiles et d'un satellite doté d'un bras robotique et destiné aux activités de capture d'objets en orbite. On estime que la RPC possède environ 250 satellites militaires destinés aux activités ISR et de désignation d'objectifs, ainsi que des capacités antisatellites (ASAT) cinétiques et non cinétiques (Goswami, 2023). La Chine s'appuie sur diverses méthodes afin d'étendre ses capacités dans ce domaine. Le rapport susmentionné note que « [l']APL continue de s'appuyer sur l'acquisition manifeste ou dissimulée de technologies spatiales ou antisatellites étrangères pour étoffer les connaissances chinoises et faire progresser la modernisation technologique en complément de ses activités de recherche nationale » (DIA, 2022). Elle s'appuie sur des méthodes telles que l'espionnage traditionnel et l'espionnage moderne, les informations de sources ouvertes, le transfert de technologies et l'achat de technologies à l'étranger (DIA, 2022).

14. La désignation de la **fabrication de pointe** comme l'une des priorités de la Chine à l'horizon 2025 a entraîné une augmentation des investissements et de la part de marché dans le secteur. En conséquence, l'industrie de la fabrication de pointe connaît une croissance rapide. Elle a dépassé les deux milliards de dollars en 2018. Le secrétaire général de l'OTAN, Jens Stoltenberg, a souligné à plusieurs reprises que la dépendance actuelle vis-à-vis de la Chine pour certaines matières premières essentielles affectait grandement la sécurité de l'Alliance (Clement, 2023). En outre, la production de technologies de défense avancées nécessite souvent des éléments des terres rares (ETR) et d'autres minéraux critiques. Ceux-ci sont également nécessaires aux technologies vertes et aux voitures électriques, ce qui a entraîné une augmentation de la demande. De plus, la Chine a appliqué des restrictions à l'exportation qui menacent les approvisionnements étrangers en minéraux essentiels. La dépendance des Alliés vis-à-vis de la Chine pour leur approvisionnement en matières premières essentielles et en ETR représente une menace supplémentaire pour la sécurité et la stabilité de l'Alliance. Les perturbations du marché de ces ressources pourraient entraîner des bouleversements économiques et sécuritaires au cours de la prochaine décennie, à mesure que la demande augmentera. S'il n'est pas possible de sécuriser les chaînes d'approvisionnement de ces biens, les Alliés devront se tourner vers d'autres options, notamment la production de matériaux de substitution (Clement, 2023).

15. Dans l'ensemble, la Chine a manifestement réalisé des avancées de poids dans le domaine des TE/TR. Elle est le principal acteur susceptible de disputer à l'OTAN son avantage technologique. Cette évolution globale est étroitement liée à la conception et à la production de semi-conducteurs, qui sont indispensables aux TE/TR. Dans le même temps, les progrès réalisés dans le domaine des TE/TR, tels que les nouveaux matériaux et la fabrication de pointe, ouvrent la voie à de nouvelles innovations dans le domaine des semi-conducteurs. En outre, un rapport du *Center for Strategic and International Studies* (CSIS) note que « les principaux systèmes et plateformes de défense des États-Unis » ainsi que « l'économie civile des États-Unis » reposent sur les semi-conducteurs et en dépendent (Shivakumar et Wessner, 2022). Cette observation est valable non seulement pour les États-Unis, mais aussi pour toutes les armées et économies modernes. Les semi-conducteurs ne revêtent donc pas seulement une importance pour la compétitivité économique. En tant que composants essentiels des capacités militaires, ils constituent également la clé de voûte de la défense alliée. Bénéficier d'un accès pérenne aux semi-conducteurs et procéder à leur perfectionnement est donc essentiel au développement des futurs systèmes militaires qui contribueront à maintenir l'avance technologique de l'Alliance. Dans un contexte de concurrence stratégique où les questions économiques, technologiques et de sécurité sont étroitement liées, on ne saurait sous-estimer le rôle des semi-conducteurs.

III- LES SEMI-CONDUCTEURS, AU CŒUR DE LA CONCURRENCE TECHNOLOGIQUE

A. DÉFINITION ET FONCTIONNEMENT DES SEMI-CONDUCTEURS

16. Les semi-conducteurs, également connus sous les noms de circuits intégrés, puces électroniques ou puces informatiques, jouent un rôle clé dans les TE/TR. Ils sont essentiels à la plupart des opérations industrielles et de sécurité nationale et sont au fondement des technologies les plus récentes telles que l'IA, les systèmes autonomes, le calcul haute performance, les communications 5G et l'informatique quantique (Ezell, 2021). Le cabinet McKinsey indique que les ventes mondiales de puces ont dépassé les 500 milliards de dollars l'année dernière et que la valorisation du secteur pourrait franchir le seuil des mille milliards de dollars d'ici la fin de la décennie (Rodgers et al., 2024). Ces chiffres, pourtant très élevés, ne rendent pas justice à l'importance des semi-conducteurs dans l'économie mondiale. En effet, les semi-conducteurs sont au cœur des biens et services nécessaires au fonctionnement de l'économie mondiale (Hawkins, 2023). La pénurie

mondiale de puces survenue entre 2020 et 2023, qui a rejailli sur l'ensemble des secteurs industriels, reflète cette importance.

17. Les semi-conducteurs, 10 000 fois plus fins qu'un cheveu humain et plus petits que la plupart des virus, sont au cœur de tous les appareils électroniques modernes. On les trouve dans les smartphones, les téléviseurs, les réfrigérateurs, les voitures, les ordinateurs, les drones et les avions de chasse. En l'absence des semi-conducteurs, il serait impossible de fabriquer des armes de haute technologie et internet s'effondrerait. Chaque puce électronique contient des milliards de transistors, dont les plus petits ne mesurent que quelques nanomètres. Ces transistors « contrôlent le flux de signaux électriques au sein de tous les appareils numériques, permettent le fonctionnement des microprocesseurs et constituent la base de l'électronique moderne » (Rodgers et al., 2024). Ces transistors et tous les autres éléments qui composent un circuit intégré sont reliés par des fils métalliques très fins en maillage serré, qui, mis bout à bout, peuvent atteindre près de 500 km de long (Rodgers et al., 2024). Plusieurs puces peuvent être gravées de cette manière sur une plaque de silicium. Une plaque classique de 30 cm peut ainsi contenir plusieurs milliers de milliards de transistors.

18. La production de semi-conducteurs de pointe est une activité complexe qui exige une fabrication de haute qualité, efficace et fiable. Les puces les plus sophistiquées nécessitent une technologie de traitement avancée utilisant les nœuds de gravure les plus avancés, de sept ou cinq nanomètres, voire moins. Ces nœuds permettent d'augmenter la densité des transistors, d'améliorer les performances et de réduire la consommation d'énergie. La lithographie par ultraviolets extrêmes est nécessaire à la production des semi-conducteurs de dernière génération. Le développement de semi-conducteurs toujours plus sophistiqués et puissants, auquel s'ajoute l'intégration d'un nombre croissant de ces commutateurs, entraîne une augmentation des coûts et une diminution du rendement des produits. De moins en moins d'entreprises sont en mesure de produire les puces dernier cri nécessaires aux smartphones, car « [l]es processus de conception et de fabrication, désormais extrêmement longs, complexes et coûteux, nécessitent des équipements et des connaissances toujours plus spécialisés » (Rodgers et al., 2024). Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC), Samsung et Intel sont les trois seules entreprises capables de produire à grande échelle les puces les plus récentes (Rodgers et al., 2024).

19. Les semi-conducteurs sont fabriqués dans des usines spécialisées (*fabs*). Construire une nouvelle usine de fabrication de puces sophistiquées est une entreprise de grande envergure, qui peut coûter jusqu'à 20 milliards de dollars (Shepardson et Lee, 2022). Par exemple, TSMC a investi 9,3 milliards de dollars américains dans sa Fab15, une usine de fabrication de plaques de 300 mm à Taïwan (*Compound Semiconductor News*, 2022). Les salles blanches, qui font l'objet de contrôles méticuleux afin d'éliminer les particules de poussière, sont au cœur de ces usines. Comme le souligne un rapport du *Boston Consulting Group*, la construction de *fabs* permettant de produire des semi-conducteurs dernier cri est coûteuse car elle nécessite des outils avancés et onéreux capables de traiter des nœuds nouvelle génération. Elle mobilise en outre des bâtiments plus grands et davantage d'espace (Tembey et al., 2023). Ainsi, tous les acteurs ne peuvent pas établir facilement les *fabs* haute technologie nécessaires à la production de semi-conducteurs de pointe.

20. De plus, des procédés de certification rigoureux doivent être mis en œuvre afin de garantir la conformité des puces électroniques aux normes de sécurité et d'efficacité énergétique. Les conceptions à haut rendement énergétique répondent aux enjeux en matière de durabilité et de consommation d'énergie. L'optimisation du rendement, processus par lequel chaque plaque contient le plus grand nombre possible de puces fonctionnelles, est également essentielle. Des contrôles de qualité rigoureux garantissent la fiabilité des puces et leur conformité aux spécifications. La production durable de puces doit également se faire dans le respect de l'environnement en réduisant autant que possible la production de déchets et la consommation d'eau et d'énergie, en optimisant les ressources et en respectant la législation environnementale. Le recyclage et la mise au rebut responsable des matériaux représentent donc un volet non négligeable du processus de production.

L'augmentation des efforts en matière de développement durable s'accompagne de nouveaux défis et obstacles à l'établissement d'usines.

21. Au cours des soixante dernières années, la puissance des calculateurs à semi-conducteurs a augmenté grâce au rétrécissement des composants électriques essentiels imprimés sur la puce. Selon la « loi de Moore », le nombre de transistors et la capacité de traitement d'une puce électronique doublent tous les deux ans environ, ce qui permet d'accroître la puissance de traitement sans augmenter les prix (Singh et al., 2023). La plupart des semi-conducteurs ont en commun d'être constitués de silicium ou de germanium et de permettre le traitement, le stockage, la détection et la transmission de données ou de signaux. Toutefois, la diversité des types de puces et de leurs fonctions nécessite différentes techniques de conception et de fabrication. Les semi-conducteurs optoélectroniques, qui génèrent ou interagissent avec la lumière, en sont un exemple. Les principales applications des puces optoélectroniques sont les diodes électroluminescentes (LED), les capteurs d'images et les diodes laser pour les communications par fibre optique (Singh et al., 2023). Les puces logiques, les puces mémoire et les puces analogiques, présentées dans l'encadré 1 ci-dessous, sont d'autres semi-conducteurs importants.

Encadré 1 : Diverses catégories de semi-conducteurs

Un rapport du CRS (service de recherches du Congrès des États-Unis) présente une vue d'ensemble des catégories de puces en plus des semi-conducteurs optoélectroniques :

Puces logiques : « Les puces logiques fonctionnent généralement comme le « cerveau » des calculateurs. Elles utilisent un langage binaire (0 et 1) pour traiter les informations. Les puces logiques comprennent les microprocesseurs, tels que les unités centrales de traitement pour le calcul général et les processeurs graphiques pour le rendu vidéo. Cette catégorie inclut également des microcontrôleurs relativement moins coûteux, conçus pour exécuter des tâches précises, par exemple dans les lave-vitres et les sièges électriques des voitures. Le recours à des puces logiques conçues pour des fonctions spéciales comme l'analyse et l'intelligence artificielle – également appelées accélérateurs d'IA – gagne lui aussi du terrain. L'objectif consiste à obtenir de meilleures performances et une meilleure efficacité énergétique. Par exemple, Google et NVIDIA ont conçu des puces logiques optimisées pour les supercalculateurs et l'IA (parfois appelées « puces d'IA ») bien moins gourmandes en énergie que les puces à usage général, ce qui constitue un atout de taille pour les applications susmentionnées. Les principaux champs d'application des puces logiques sont les smartphones, le calcul haute performance (supercalculateurs et serveurs), l'internet des objets (montres, enceintes ou encore caméras de surveillance « intelligentes ») et le secteur automobile (systèmes d'info-divertissement avancés et dispositifs d'aide à la conduite). [...]

Puces mémoire : Les puces mémoire stockent des données. La majorité des ventes de puces mémoire concerne deux types de produits : la mémoire vive dynamique (DRAM) et la mémoire flash NAND. La DRAM conserve généralement les données à court terme tant que l'appareil est sous tension, comme le code nécessaire pour que le processeur d'un ordinateur exécute des programmes. La mémoire flash NAND, elle, stocke les données à long terme et permet ainsi de conserver des photos et de la musique même quand l'appareil est hors tension. Au cours de la dernière décennie, les méthodes utilisées pour améliorer les performances des puces mémoire flash NAND ont évolué. Par le passé, la principale stratégie d'amélioration des performances consistait à rétrécir horizontalement les dispositifs planaires bidimensionnels (2D).

La stratégie actuelle adopte une approche tridimensionnelle (3D) en empilant des couches de cellules mémoire les unes sur les autres, comme les étages d'un gratte-ciel. Cette méthode, qui améliore la capacité de stockage et la vitesse de lecture et d'écriture des données, ne nécessite pas d'équipement de déposition métallique ou de gravure plus coûteux. En outre, la technologie 3D NAND est compatible avec les anciens nœuds de processus de 30 à 50 nm. On évite ainsi les coûts et les difficultés propres à la production de constituants plus petits. La compétition entre fabricants de puces mémoire a permis d'augmenter le nombre de couches empilées dans un dispositif et de renforcer la capacité de stockage des smartphones et des disques statiques à semi-conducteurs, entre autres applications. Le nombre de couches dans les appareils 3D est passé de 24 en 2013 à plus de 200 en juillet 2022. Les puces mémoire sont plus répandues que les puces logiques et sont conçues pour des applications moins spécifiques que celles-ci. Les principaux champs d'application pour les puces mémoire sont la téléphonie mobile, les centres de données et les appareils informatiques personnels. [...]

Puces analogiques : Les puces analogiques proposent un large éventail de fonctions. Elles peuvent notamment s'associer à des capteurs pour convertir et modifier des signaux analogiques (par exemple, la température, la vitesse et la pression, qui peuvent couvrir une gamme de valeurs continues) en signaux numériques utilisés par les calculateurs (données discrètes composées de 0 et de 1). La gestion de l'alimentation électrique est l'une des applications des puces analogiques, permettant de convertir l'énergie électrique (d'un courant alternatif à un courant continu notamment), de la contrôler et de la distribuer au sein d'un véhicule électrique, par exemple. Les puces analogiques sont également utilisées dans les communications, notamment dans la téléphonie mobile (5G, Bluetooth, connectivité sans fil) et les équipements militaires de détection et de surveillance (radar, sonar, imagerie infrarouge). À l'échelle mondiale, plus de la moitié du marché des puces analogiques concerne des dispositifs analogiques « à usage spécifique » personnalisés pour des utilisateurs finaux précis, conçus par de petites équipes et produits en plus petits volumes que les puces logiques et les puces mémoire standard. En 2022, le principal champ d'application pour les puces analogiques à usage général était la gestion de l'alimentation électrique, tandis que les principaux champs d'application pour les puces analogiques à usage spécifique comprenaient les secteurs des communications, de l'automobile et de l'industrie ».

Source Singh, Manpreet, Sargent Jr., John F., and Sutter, Karen M., "Semiconductors and the Semiconductor Industry," Congressional Research Service (CRS), 19 April 2023.

22. Des innovations, qui pourraient ouvrir la voie à des puces d'un ou deux nanomètres, détermineront si les semi-conducteurs continueront de suivre la loi de Moore (Davies et al., 2023 ; Murphy, 2022). Les acteurs du secteur travaillent sur plusieurs pistes, notamment le réagencement des puces et le recours à de nouveaux matériaux. Le réagencement des puces consiste à superposer les transistors à la verticale au lieu de les placer à l'horizontale les uns à côté des autres. Cette méthode permettrait d'augmenter le nombre de transistors au sein d'une puce (Murphy, 2022 ; Rodgers et al., 2024). Réaliser le câblage dans d'autres matériaux que le cuivre pourrait également améliorer les performances. Le graphène est un candidat possible et les chercheurs d'IBM se penchent sur le ruthénium (Murphy, 2022 ; Rodgers et al., 2024). Quoi qu'il en soit, l'innovation n'a pas atteint ses limites. Partout dans le monde, les acteurs du secteur rivalisent d'ingéniosité afin de développer, les premiers, la prochaine génération de semi-conducteurs.

B. LE RÔLE DES SEMI-CONDUCTEURS DANS LE DOMAINE MILITAIRE

23. Les semi-conducteurs occupent une place centrale non seulement dans les biens commerciaux mais aussi dans les technologies militaires. Le bon fonctionnement de tous les grands systèmes et plateformes de défense repose sur les semi-conducteurs (Shivakumar et Wessner, 2022). Ce sont des composants essentiels pour les systèmes de communication, de radar et de guidage de missiles. Ils sont également importants pour le chiffrement et la guerre électronique (Stone, 2024). Ils contribuent à améliorer la transmission des données, la qualité du signal et la connectivité (Stone, 2024). La sécurisation des communications et la protection des données militaires, qui ont recours au chiffrement, dépendent donc des semi-conducteurs. Les semi-conducteurs sont présents dans les amplificateurs de radiofréquence et les composants de traitement des signaux des systèmes radar. Ils sont donc très utiles pour améliorer la connaissance de la situation et mieux déceler les menaces en détectant et en suivant les objectifs avec précision (Stone, 2024). La guerre électronique a besoin des semi-conducteurs pour perturber les communications et les systèmes radar de l'ennemi. Ce sont les capteurs et les ordinateurs des systèmes de guidage de missiles basés sur les semi-conducteurs qui déterminent la trajectoire des missiles et guident ces derniers avec précision jusqu'à leur cible (Stone, 2024). En somme, les forces armées ne peuvent opérer sans un accès fiable et sûr à des semi-conducteurs de haute qualité.

24. Bien que de nombreuses puces mémoire et puces logiques présentes dans les appareils grand public se retrouvent dans les systèmes militaires (Lee, 2021), les systèmes d'armes haut de gamme ont leurs propres exigences en la matière. Les systèmes militaires de détection et de surveillance ont par exemple recours à des puces analogiques (Singh et al., 2023). Comme indiqué plus haut, les puces analogiques sont adaptées à des usages particuliers, ce qui laisse penser que celles présentes dans les radars, les sonars et l'imagerie infrarouge sont produites sur mesure. En outre, les besoins en puces du secteur de la défense sont principalement dictés par des critères de performance très élevés, contrairement au secteur civil, qui met l'accent sur les coûts, les délais et les volumes de production (Lee, 2021). Les puces militaires doivent être non seulement plus fiables mais aussi plus résistantes à la chaleur et aux radiations (Lee, 2021). Les forces armées ont donc des besoins spécifiques qui ne sont pas nécessairement satisfaits par l'offre du secteur civil. La Russie aurait dû se résoudre à utiliser des puces provenant d'appareils électroménagers pour ses systèmes militaires, les sanctions qui ont fait suite à l'agression russe en Ukraine ayant restreint l'accès du pays aux semi-conducteurs sophistiqués. Cela laisse entendre que de telles puces ont pu être utilisées faute de mieux (Whalen, 2022).

25. Le secteur militaire a également recours à des matières premières différentes de celles utilisées dans le civil. De nombreux circuits conçus pour les forces armées reposent sur des semi-conducteurs composés, définis par des caractéristiques électroniques telles qu'une haute mobilité d'électrons et une bande interdite droite (Lee, 2021). L'arséniure de gallium (GaAs) et le nitrure de gallium (GaN) sont les principaux semi-conducteurs utilisés par le secteur militaire. Les circuits intégrés à radiofréquence (RFIC) et les circuits intégrés monolithiques hyperfréquence (MMIC) reposent sur la technologie GaAs et GaN, qui trouve de nombreuses applications dans les secteurs aérospatial et militaire : communications dans l'espace extra-atmosphérique, renseignement d'origine électromagnétique, radars, brouilleurs et activités relatives au spectre électromagnétique (Brown, 2023 ; Lee, 2021). Le graphène est, lui aussi, un nouveau matériau qui pourrait remplacer le silicium dans les semi-conducteurs et se voir exploiter dans de nombreuses autres applications du secteur de la défense (Clement, 2023). Des chercheurs de l'Institut de technologie de Géorgie (États-Unis) ont récemment « développé ce qu'ils nomment le premier semi-conducteur à base de graphène fonctionnel au monde » (Johnson, 2024).

26. Les semi-conducteurs du secteur militaire sont soumis à des exigences propres à leur domaine d'application. Ils doivent répondre aux normes les plus élevées, en particulier lorsqu'ils sont utilisés dans des systèmes d'armes sophistiqués. Ces normes et exigences, qui visent à assurer leur fiabilité dans des environnements extrêmes (Lee, 2021 ; Bureau of Industry and Security, 2023), incluent les propriétés suivantes :

– **Résistance aux radiations :**

- Dans les applications spatiales et militaires, les semi-conducteurs sont exposés à des radiations intenses.
- Les semi-conducteurs militaires doivent être résistants aux rayonnements ionisants, qui peuvent affecter leurs propriétés électriques.
- On a recours à des conceptions et à des matériaux spéciaux afin d'augmenter la résistance aux radiations.

– **Plage de température :**

- Les semi-conducteurs militaires doivent fonctionner de manière fiable sur une large plage de température, y compris dans le froid et la chaleur extrêmes.
- On utilise des matériaux et des boîtiers spéciaux pour garantir la résistance aux températures.

– **Stabilité à long terme :**

- Les systèmes militaires ont souvent une longue durée de vie.
- Les semi-conducteurs doivent rester stables et fonctionnels pendant plusieurs années.
- Cela nécessite donc des matériaux de haute qualité et des contrôles qualité stricts.

– **Interférences électromagnétiques :**

- Les semi-conducteurs militaires doivent résister aux interférences électromagnétiques.
- Ils ne doivent pas émettre de signaux indésirables et doivent pouvoir réagir de manière sensible aux systèmes de communication militaires.

– **Sécurité et chiffrement :**

- Dans les applications militaires, la sécurité et le chiffrement sont essentiels.
- Les semi-conducteurs doivent soutenir les fonctions ayant des exigences élevées en matière de sécurité et être protégés contre les attaques.

– **Robustesse et résistance aux chocs :**

- Les semi-conducteurs militaires doivent être résistants aux chocs pour répondre aux exigences des conditions de combat et de transport.
- Des boîtiers et des techniques d'assemblage robustes sont nécessaires.

IV- LA CONCURRENCE STRATÉGIQUE AVEC LA CHINE DANS LE DOMAINE DES SEMI-CONDUCTEURS

27. Disposer d'un accès sûr et fiable aux semi-conducteurs est essentiel car ces derniers revêtent une grande importance commerciale, technologique et militaire. À une époque de tensions géopolitiques et de concurrence stratégique, caractérisée par la fragmentation de l'économie mondiale et par des réflexions sur le découplage, la réduction des risques ou la délocalisation de proximité ou entre partenaires stratégiques, il n'est pas surprenant que de nombreux acteurs tentent de sécuriser leur approvisionnement en puces haut de gamme. Certains déploient même des efforts considérables pour renforcer leurs capacités de fabrication de semi-conducteurs, ce qui, comme nous l'avons vu, n'est pas chose aisée. Les États-Unis et l'UE ont tous deux promulgué des « lois sur les puces » (*Chips Acts*) qui prévoient des financements pour (re)mettre sur pied une industrie concurrentielle dans le domaine. À titre d'exemple, les États-Unis accordent plusieurs milliards de dollars sous forme de subventions et de prêts aux entreprises Intel et TSMC afin qu'elles construisent des sites de production sur place dans le but de réduire la dépendance du pays vis-à-vis d'usines situées en Asie, comme l'a souligné la secrétaire américaine au commerce, Gina Raimondo (Hille, 2024 ; Politi et Acton, 2024). Le gouvernement allemand a affecté environ 20 milliards d'euros pour subventionner son industrie nationale de puces électroniques et TSMC a annoncé la construction d'une deuxième usine au Japon (Alkousaa et Mukherjee, 2023 ; Blanchard et Nussey, 2024). En bref, de multiples acteurs s'engagent dans des initiatives visant à rapatrier les usines de fabrication de semi-conducteurs ou à les implanter à proximité ou sur le territoire d'un partenaire stratégique, car l'accès pérenne et sûr aux puces n'est plus garanti.

28. Toutefois, la concurrence stratégique autour des puces ne se limite pas à la mise en place d'installations de production nationales ou au soutien à la recherche pour faire florès sur les marchés mondiaux. Au contraire, elle est étroitement liée à des enjeux de sécurité dure. De nombreux pays craignent une perturbation des chaînes d'approvisionnement en semi-conducteurs, car Taïwan, avec l'entreprise TSMC, joue un rôle central sur le marché mondial des puces. Les ambitions déclarées et l'attitude de la RPC à l'égard de Taïwan font craindre que le pays ne cherche à mettre fin au statu quo en employant des moyens qui n'écartent pas l'usage de la force. En outre, la hausse des tensions entre les États-Unis et la Chine concernant l'approvisionnement en puces de haute technologie ces dernières années a conduit Washington à prendre diverses mesures pour limiter l'accès de Pékin aux semi-conducteurs et à leurs équipements de fabrication (Goh, 2023). Plusieurs pays ont fait de même. Par exemple, les Pays-Bas ont restreint les exportations des équipements de fabrication avancés de l'entreprise ASML, et deux entreprises sud-coréennes ont décidé de ne pas revendre leurs anciennes machines (Davies et Liu, 2024 ; Sterling, 2024).

29. La RPC étant le principal acteur capable de contester l'avance technologique de l'OTAN, l'état des lieux qui suit se concentre sur les efforts déployés par la Chine pour mettre fin à la dépendance vis-à-vis d'acteurs extérieurs et atteindre l'autosuffisance en matière de semi-conducteurs, pour des raisons tant commerciales que militaires. Le développement d'une industrie des semi-conducteurs robuste n'est pas seulement une étape essentielle dans la quête de puissance technologique du pays. Il s'inscrit également dans le projet porté par Xi Jinping, qui entend faire de l'APL une force de haute technologie. Pour l'instant, la Chine reste un importateur net de technologies, en particulier dans le domaine des puces et des semi-conducteurs. Toutefois, le gouvernement chinois investit activement dans la recherche et le développement des semi-conducteurs dans le cadre de sa stratégie visant l'autosuffisance dans ce secteur essentiel.

30. Contrairement à d'autres technologies et industries (comme les panneaux solaires et les équipements de télécommunications) pour lesquelles la Chine a déjà assis sa position, la part et la compétitivité chinoises sur le marché mondial des semi-conducteurs sont encore modestes, car les fleurons du secteur sont principalement basés à Taïwan, aux États-Unis, en Corée du Sud, au Japon et en Europe (Ezell, 2021). En 2019, la Chine restait dépendante des entreprises étrangères puisqu'elle ne couvrait que 16 % de sa demande nationale en semi-conducteurs. Seule la moitié de

sa production était le fait d'entreprises chinoises (Lewis, 2019). Le gouvernement chinois a lancé diverses initiatives, telles que *Made in China 2025*, pour remédier à cette situation et se mettre en capacité de produire des semi-conducteurs de pointe, d'augmenter la production nationale et de réduire la dépendance aux importations (Ezell, 2021). À ce titre, l'initiative fixe l'objectif de produire 70 % des semi-conducteurs utilisés en Chine d'ici 2025. La RPC soutient cette ambition grâce à d'importants financements qui se chiffrent à 150 milliards de dollars depuis 2015 (García-Herrero et Weil, 2022). Parmi les autres mesures figure l'adoption de nouvelles directives demandant aux acteurs publics de cesser d'utiliser les microprocesseurs d'Intel et d'AMD et de les remplacer par des puces issues de la production nationale (McMorrow et al., 2024). La Chine prend également des mesures visant à affirmer son potentiel d'innovation. Par exemple, le ministère de l'éducation a accepté de lancer un programme de premier cycle universitaire axé sur les semi-conducteurs de pointe (*The Economist*, 2024).

31. Ces efforts ont donné de premiers résultats. Les scientifiques chinois ont accompli des progrès sensibles dans le domaine des semi-conducteurs. Ils ont par exemple conçu une puissante puce hyperfréquence à partir de diamants. Utilisable dans le cadre de la guerre électronique, cette puce « a le potentiel d'améliorer de manière significative les performances des armes hyperfréquences à grande puissance, des systèmes radar et des dispositifs de communication » (Abachy, s. d.). Outre ses progrès technologiques, la Chine affermit son industrie nationale. Yangtze Memory Technologies Corporation (YMTC), fabricant chinois de puces fondé en 2016, a connu une croissance rapide grâce à des subventions publiques d'un montant total de 24 milliards de dollars (Singh et al., 2023). En novembre 2022, une entreprise spécialisée dans la rétro-ingénierie a affirmé « que l'entreprise YMTC avait utilisé une méthode de fabrication unique pour produire une puce NAND 3D avancée dotée de 232 couches et exploitable dans les biens commerciaux » (Singh et al., 2023). En outre, l'industrie chinoise des semi-conducteurs s'est considérablement étendue ces dernières années. De 1 300 entreprises en 2011, la Chine est passée à 22 800 en 2020 (Hawkins, 2023). Dans le même temps, l'industrie chinoise est dominée par la production de puces plus grandes et moins avancées (24 nanomètres ou plus), tout à fait distinctes des puces dernier cri de cinq nanomètres ou moins (Hawkins, 2023). En 2023, la sortie du smartphone Mate 60 Pro de Huawei, équipé de puces de sept nanomètres produites par la société chinoise Semiconductor Manufacturing International Corporation (SMIC), a marqué une avancée. Il n'est pas certain que SMIC puisse produire ces puces en grande quantité et il semble peu probable que la Chine atteigne son objectif de couvrir 70 % de ses besoins en semi-conducteurs d'ici 2025 (Hawkins, 2023).

32. Les efforts du pays s'étendent au-delà de la recherche et de la mise en place d'une industrie nationale consacrée aux seuls semi-conducteurs. Par exemple, la Chine tire profit de sa participation croissante aux efforts de normalisation internationale des technologies (Sheehan et Feldgoise, 2023). L'établissement de normes techniques, aspect important de la rivalité technologique et de la concurrence stratégique, concerne aussi les semi-conducteurs puisque ces derniers sont présents dans tous les appareils électroniques. Au fil des ans, la Chine a gagné de l'influence au sein des organisations internationales de normalisation. Elle s'efforce d'acquérir un avantage dans la concurrence technologique mondiale en contribuant à établir des normes conformes à ses intérêts.

33. La Chine affermit et renforce sa présence au sein de ces organisations. Elle concentre également ses efforts sur des domaines technologiques clés, comme la 5G. Le gouvernement chinois estime que l'élaboration de normes revêt une importance stratégique pour l'innovation technologique du pays. Si l'adhésion aux normes relève d'un choix volontaire, il semble difficile de s'écarter du consensus concernant les normes 5G, car l'interopérabilité est essentielle aux télécommunications. En 2021, le *Wall Street Journal* a rapporté que les participants chinois à deux réunions sur les normes dans le domaine des télécommunications avaient été sommés de voter en faveur du plan présenté par Huawei, ce qui constitue une violation manifeste du processus d'élaboration des normes (Sheehan et Feldgoise, 2023). Toutefois, d'après les enquêtes accessibles au public et les entretiens avec les membres des groupes de normalisation, les efforts déployés par les acteurs chinois pour influencer l'élaboration des normes ne semblent pas généralisés (Sheehan et Feldgoise, 2023). Ce phénomène mérite néanmoins qu'on s'y intéresse

car les normes joueront un rôle crucial dans une économie mondiale caractérisée par la concurrence stratégique.

34. Les activités internationales de la Chine ne se limitent toutefois pas aux travaux de normalisation. Elles englobent également des activités plus malveillantes, l'espionnage industriel et le transfert de technologies ayant largement contribué à la modernisation du secteur militaire (Alleslev, 2020). Selon le *Federal Bureau of Investigation* (FBI) des États-Unis, le gouvernement chinois a recours à des pratiques de financement prédatrices, à des tactiques d'entreprise, au vol de propriété intellectuelle et à des cyberattaques éhontées afin de dominer le secteur. La Chine cible les entreprises, les universités, les universitaires, les législateurs et les citoyens (FBI, s. d.). Le fait que la Chine soit derrière la plupart des affaires d'espionnage industriel dans le domaine de l'informatique quantique dans les établissements d'enseignement supérieur américains vient confirmer ces observations (Yong, 2023). En outre, Taïwan a été la cible de plusieurs opérations de piratage informatique et d'espionnage industriel venues de Chine, cette dernière cherchant à plagier et exploiter l'expertise taïwanaise en matière de semi-conducteurs. Par exemple, un procureur taïwanais rapporte que deux entreprises chinoises se seraient fait passer pour des entreprises taïwanaises afin d'obtenir les résultats d'une recherche sur la conception de puces en vue de se les approprier (Hale, 2022). Les entreprises chinoises ont, en outre, débauché des employés de TSMC de Taïwan en leur proposant des salaires élevés afin d'aider à développer la production chinoise de puces (Nedden, 2024).

35. Malgré ces efforts et avancées de grande envergure, la Chine doit encore relever des défis pour parvenir à l'autosuffisance et se poser en chef de file dans le domaine des semi-conducteurs. Le paysage de l'industrie chinoise des puces s'est transformé en raison des réglementations américaines de contrôle des exportations, qui visent les secteurs chinois de l'IA et des semi-conducteurs. Ces réglementations limitent les exportations de certaines puces électroniques de pointe et de technologies relatives à l'IA. En outre, de nouvelles restrictions ont été imposées à l'exportation d'équipements de fabrication, notamment en provenance d'ASML, au cours de ces dernières années. En conséquence, les principales entreprises chinoises de semi-conducteurs ont été confrontées à des revers non sans répercussions sur leurs progrès technologiques (Allen, 2023). La Chine reste également en queue de peloton sur le plan technologique, malgré ses récents progrès. En outre, les investissements à grande échelle ne sont pas nécessairement garants de la rentabilité des entreprises. Certaines entreprises nées des précédents cycles d'investissement chinois dans les semi-conducteurs, souvent financées par les administrations provinciales ou municipales, ont dû fermer après quelques années faute de rentabilité. Il faut aussi mentionner que le gouvernement chinois a tendance à tenir des discours triomphalistes, ce qui peut conduire à une exagération des progrès technologiques de la Chine.

36. Il convient enfin de se pencher sur les effets que les vastes investissements chinois dans la recherche et la production des semi-conducteurs ont sur le développement de cette technologie. Le soutien du gouvernement aux entreprises chinoises signifie que celles-ci peuvent continuer à fonctionner et à augmenter leur production sans se soucier de leur rentabilité, comme l'observe l'expert Chris Miller (Markwardt et Zacharakis, 2024). Ce phénomène « peut conduire à une surabondance de puces de processeurs de base, ce qui peut se répercuter sur les prix et les bénéfices des entreprises occidentales » (Miller, 2024). Par conséquent, l'expansion chinoise dans le secteur, subventionnée par le gouvernement, pourrait réduire la capacité des producteurs de semi-conducteurs à investir dans la recherche et développement, car les marges bénéficiaires diminuent avec la baisse des prix. La quête d'autonomie de la Chine aura des répercussions sur le secteur mondial des semi-conducteurs, même si le pays n'atteint pas une position de domination technologique et que les « progrès de la Chine en matière de conception et de fabrication de puces restent légers » (García-Herrero et Weil, 2022).

V- CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS PRÉLIMINAIRES

37. Dans une ère de concurrence géopolitique et stratégique, la supériorité technologique revêt de l'importance pour la prospérité économique, mais aussi dans les domaines de la sécurité et de la défense. L'OTAN et les Alliés l'ont compris très tôt et ont lancé diverses initiatives pour conserver leur avance. Toutefois, d'autres acteurs ne sont pas en reste. La Chine apparaît de plus en plus comme une puissance susceptible de remettre en question la supériorité technologique de l'OTAN. Si la Chine n'est pas un adversaire, elle affiche des ambitions et mène des politiques coercitives qui sont contraires aux intérêts, à la sécurité et aux valeurs de l'Alliance. L'Alliance reste disposée à interagir de façon constructive avec la RPC, notamment au profit d'une transparence mutuelle, en vue de préserver les intérêts de sécurité de l'Alliance, comme l'indique le communiqué du sommet de Vilnius.

38. Comme le souligne le présent avant-projet de rapport, les semi-conducteurs sont un élément central et révélateur de cette concurrence technologique, qui a des implications économiques et stratégiques. Les semi-conducteurs sont des composants essentiels des appareils électroniques, des technologies modernes et de l'innovation, et sont indispensables aux capacités militaires de pointe. C'est pourquoi plusieurs pays ont lancé des initiatives visant à réduire leur dépendance vis-à-vis d'acteurs extérieurs pour l'approvisionnement en puces et à limiter les exportations de puces et d'équipements de fabrication vers les concurrents. Il est donc capital, sous l'angle économique et sécuritaire, de maintenir une position dominante dans la technologie des semi-conducteurs et d'assurer l'intégrité des chaînes de valeur intervenant dans la conception, la fabrication, le conditionnement et la distribution de ces puces.

39. Pour maintenir une avance technologique et garantir un accès pérenne aux semi-conducteurs haut de gamme, l'OTAN et les Alliés devraient prendre l'ensemble de mesures qui suivent :

- Évaluer de manière critique les dépendances et les risques relatifs à la chaîne d'approvisionnement vis-à-vis de la Chine dans le domaine des semi-conducteurs, y compris les éventuelles répercussions d'une surabondance de puces pour les entreprises occidentales et celles basées dans les pays partenaires, tout en continuant à interagir avec la Chine dans tous les domaines où une interaction est possible et dans l'intérêt des Alliés ; et utiliser cette interaction pour encourager la Chine à agir en tant qu'acteur responsable sur la scène mondiale. Cette approche devrait également s'appliquer aux domaines connexes pertinents pour les semi-conducteurs, tels qu'au sein des organismes de normalisation et dans la lutte contre les risques d'espionnage industriel.
- Renforcer la coordination et la coopération dans le domaine des semi-conducteurs entre les pays membres de l'OTAN et avec l'UE, ainsi qu'avec les pays partenaires, en particulier le Japon, la Corée du Sud, l'Australie et la Nouvelle-Zélande. Cette démarche pourrait inclure un processus d'examen et de réflexion sur les initiatives lancées par chaque pays. Ces dernières, lorsqu'elles visent à assurer l'innovation et la sécurité de l'approvisionnement à long terme dans le secteur des semi-conducteurs de pointe, ne doivent pas conduire les gouvernements partageant des valeurs communes à se faire concurrence. Les parlementaires de l'OTAN et l'Assemblée parlementaire de l'OTAN (AP-OTAN) sont bien placés pour favoriser ces dialogues et processus de réflexion entre les pays membres et les pays partenaires de l'OTAN.
- Mener des activités de sensibilisation et des échanges avec le public, la société civile, les entreprises et les universités dans l'objectif de faire prendre conscience de la place centrale des semi-conducteurs et de la nécessité d'investir massivement dans les installations de recherche et de production. L'AP-OTAN et ses membres ont un rôle à jouer dans ces dialogues et ainsi contribuer à jeter les bases d'une coopération multilatérale au sein des pays membres de l'OTAN et entre eux.
- Établir un lien entre les activités de l'OTAN dans le domaine des TE/TR – par exemple dans le cadre de la STO de l'OTAN, du DIANA ou du NIF – et la concurrence technologique en

matière de semi-conducteurs ; et recenser, dans la mesure du possible, les opportunités de renforcement de la coopération afin de favoriser l'innovation conjointe dans le domaine des semi-conducteurs, de maintenir l'avance technologique de l'OTAN et d'éviter un chevauchement des efforts.

40. Cet avant-projet de rapport sera mis à jour pour la session annuelle 2024 de l'Assemblée.

Avant-projet

BIBLIOGRAPHIE

- Abachy, "[Chinese Scientists Engineer High-Power Microwave Chip for Electronic Warfare Using GaN-on-Diamond](#)", Semiconductor Materials and Equipment, date inconnue.
- Alkousaa, Riham et Mukherjee, Supantha, "[Germany earmarks 20 billion euros in subsidies for chip industry](#)", Reuters, 25 juillet 2023.
- Allen, Gregory C., "[China's New Strategy for Waging the Microchip Tech War](#)", Center for Strategic et International Studies (CSIS), 3 mai 2023.
- Alleslev, Leona, « [L'innovation dans le domaine de la défense](#) », Assemblée parlementaire de l'OTAN (AP-OTAN), 20 novembre 2020.
- BIS (Bureau of Industry and Security), "[Commerce Strengthens Restrictions on Advanced Computing Semiconductors, Semiconductor Manufacturing Equipment, and Supercomputing Items to Countries of Concern](#)", département du commerce des États-Unis, 17 octobre 2023.
- Blanchard, Ben et Nussey, Sam, "[TSMC to build second Japan chip factory, raising investment to \\$20 bln](#)", Reuters, 6 février 2024.
- Bogobowicz, Michael, Gao, Scarlett, Gschwendtner, Martina, Heid, Anna, Masiowski, Mateusz, Mohr, Niko, Soller, Henning, Zimmel, Rodney et Zesko, Matija, "[Quantum technology sees record investments, progress on talent gap](#)", McKinsey and Company, avril 2023.
- Brown, David, "[GaAs and GaN MMICs: Key component of defense RF electronic systems](#)", Military Embedded Systems, 16 octobre 2023.
- Clement, Sven, « [Nouveaux matériaux et fabrication additive](#) », AP-OTAN, 7 octobre 2023.
- Conférence de Munich sur la sécurité, "[The Great Puzzle: Who Will Pick Up the Pieces?](#)", 2019.
- Compound Semiconductor News, "[How much does it cost to make a semiconductor fab?](#)", Compound Semiconductor News, 16 août 2022.
- Davies, Christian, Hille, Kathrin, Jung-a, Song et Liu, Qianer, "[Semiconductor giants race to make next generation of cutting-edge chips](#)", Financial Times, 11 décembre 2023.
- Davies, Christian et Liu, Qianer, "[South Korean chipmakers halt old equipment sales over fears of U.S. backlash](#)", Financial Times, 12 mars 2024.
- Département de la défense des États-Unis, "[Assessment on U.S. Defense Implications of China's Expanding Global Access](#)", décembre 2018.
- DIA (Defence Intelligence Agency), "[Challenges to security in space: Space reliance in an era of competition and expansion](#)", avril 2022.
- Economist (The), "[How Xi Jinping plans to overtake America](#)", 31 mars 2024.
- Ezell, Stephen, "[Moore's Law Under Attack: The Impact of China's Policies on Global Semiconductor Innovation](#)", Washington International Trade Association (WITA), 10 février 2021.
- FBI (Federal Bureau of Investigation), "[The China Threat](#)", date inconnue.
- Gaida, Jamie, Wong-Leung, Jennifer, Robin, Stephan, et Cave, Danielle, "[ASPI's Critical Technology Tracker – Sensors & Biotech updates](#)", Australian Strategic Policy Institute (ASPI), février 2023.
- García-Herrero, Alicia et Weil, Pauline, "[Lessons for Europe from China's quest for semiconductor self-reliance](#)", Bruegel, 18 novembre 2022.
- Goh, Brenda, "[U.S. targets China over semiconductors](#)", Reuters, 30 juin 2023.
- Gorman, Lindsay, "[China's Data Ambitions: Strategy, Emerging Technologies, and Implications for Democracies](#)", The National Bureau of Asian Research (NBR), 14 août 2021.
- Goswami, Namrata, "[China Prioritizes 3 Strategic Technologies in Its Great Power Competition](#)", The Diplomat, 22 avril 2023.
- Hale, Erin, "[Taiwan cracks down on China poaching tech talent](#)", Al Jazeera, 4 mai 2022.
- Hawkins, Amy, "[China's war chest: How the fight for semiconductors reveals the outlines of a future conflict](#)", The Guardian, 22 mai 2023.
- Hille, Kathrin, "[TSMC boosts Joe Biden's AI chip ambitions with \\$11.6bn U.S. production deal](#)", Financial Times, 8 avril 2024.
- Johnson, Dexter, "[Researchers Claim First Functioning Graphene-Based Chip](#)", IEEE Spectrum, 18 janvier 2024.

- Lee, Eric, "[How Taiwan Underwrites the U.S. Defense Industrial Complex](#)", The Diplomat, 9 novembre 2021.
- Lewis, James Andrew, "[China's Pursuit of Semiconductor Independence](#)", CSIS, 27 février 2019.
- Lin, Liza, "[Nvidia's CEO Still Plans to Sell High-End Chips in China](#)", The Wall Street Journal (WSJ), 8 décembre 2023.
- Markwardt, Nils et Zacharakis, Zacharias, "[Chipindustrie: 'Kein einziges chinesisches Chipunternehmen hat jemals Geld verdient'](#)", Die Zeit, 6 avril 2024.
- McMorrow, Ryan Liu, Nian et Liu, Qianer, "[China blocks use of Intel and AMD chips in government computers](#)", Financial Times, 24 mars 2024.
- Miller, Chris, "[Western nations need a plan for when China floods the chip market](#)", Financial Times, 28 janvier 2024.
- Murphy, Mike, "[The path to 1 nanometer chips and beyond](#)", IBM Research, 5 décembre 2022.
- Nedden, Christina zur, "[Taiwans Schutzschild ist seine Chipindustrie](#)", Neue Zürcher Zeitung (NZZ), 13 janvier 2024.
- OTAN (Organisation du Traité de l'Atlantique Nord), « [Concept stratégique 2022 de l'OTAN](#) », 29 juin 2022.
- OTAN, « [Technologies émergentes et technologies de rupture](#) », 15 avril 2024.
- OTAN, « [Communiqué du sommet de Vilnius](#) », 19 juillet 2023.
- Politi, James et Acton, Michael, "[Intel to receive \\$8.5bn in U.S. funding for high-end chip manufacturing](#)", Financial Times, 20 mars 2024.
- Rasheed, Zaheena, "[How China became the world's leading exporter of combat drones](#)", Al Jazeera, 24 janvier 2023.
- Richter, Felix, "[Rise of the Robots](#)", Statista, 27 novembre 2023.
- Rodgers, Lucy, Clark, Dan, Joiner, Sam, Haslett, Bob, de la Torre Arenas, Irene et Learner, Sam, "[Inside the miracle of modern chip manufacturing](#)", Financial Times, 28 février 2024.
- Saballa, Joe, "[China Unveils 'World's Largest' Quadruped Military Robot](#)", The Defense Post, 19 janvier 2022.
- Sayler, Kelley M., "[Hypersonic Weapons: Background and Issues for Congress](#)", Congressional Research Service (CRS), 9 février 2024.
- Sheehan, Matt et Feldgoise, Jacob, "[What Washington Gets Wrong About China and Technical Standards](#)", Carnegie Endowment for International Peace, 27 février 2023.
- Shepardson, David et Lee, Jane, "[Intel's \\$20 bln Ohio factory could become world's largest chip plant](#)", Reuters, 22 janvier 2022.
- Shivakumar, Sujai et Wessner, Charles, "[Semiconductors and National Defense: What Are the Stakes?](#)", CSIS, 8 juin 2022.
- Singh, Manpreet, Sargent Jr., John F. et Sutter, Karen M., "[Semiconductors and the Semiconductor Industry](#)", CRS, 19 avril 2023.
- Sterling, Toby, "[ASML says geopolitics, new export restrictions remain risks](#)", Reuters, 14 février 2024.
- STO (Organisation pour la science et la technologie) de l'OTAN, "[Science & Technology Trends 2023-2040: Analysis](#)", mars 2023a.
- STO (Organisation pour la science et la technologie) de l'OTAN, "[Science & Technology Trends 2023-2040: Overview](#)", mars 2023b.
- Stone, Mark, "[Why Military Semiconductors Are Vital for Defense Systems](#)", City Labs, janvier 2024.
- Stone, Richard, "['National pride is at stake.' Russia, China, United States race to build hypersonic weapons](#)", Science, 8 janvier 2020.
- Tembey, Gaurav, Dahik, Adriana, Richard, Christopher et Rastogi, Vaishali, "[Navigating the Costly Economics of Chip Making](#)", Boston Consulting Group (BCG), 28 septembre 2023.
- Weingarten, Joe, « [Rôle de la robotique et des systèmes autonomes dans le développement des futures capacités militaires](#) », AP-OTAN, 7 octobre 2023.
- Whalen, Jeanne, "[Sanctions forcing Russia to use appliance parts in military gear, U.S. says](#)", Washington Post, 11 mai 2022.
- Yong, Nicholas, "[Industrial espionage: How China sneaks out America's technology secrets](#)", BBC, 16 janvier 2023.