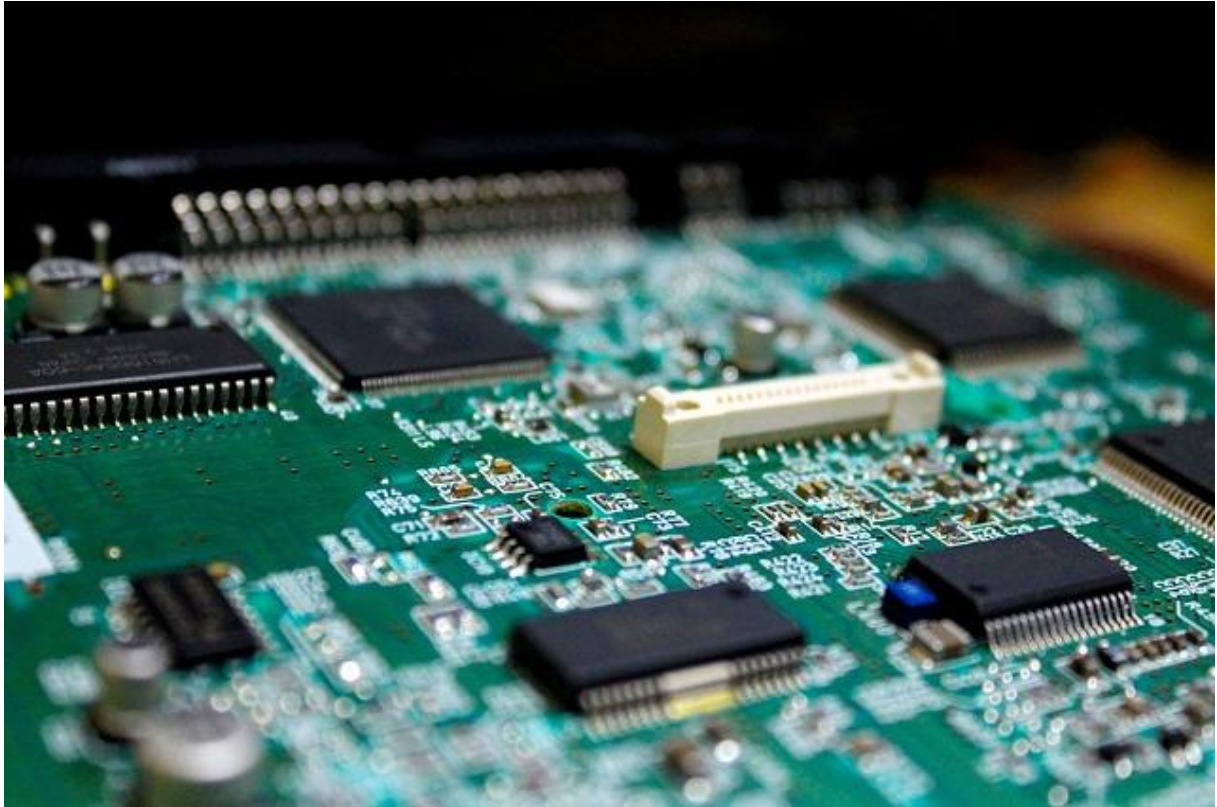




L'INDUSTRIE DES SEMI CONDUCTEURS

Une problématique de guerre économique

Diane Cassegrain, Ayoub Khaldi, Ugo Schurig, Aurélien Tesniere, Guy Thai
MBA Management de la Cybersécurité et des Systèmes d'Information de l'EGE

Juin 2024

Table des matières

Introduction

Partie I Gééconomie de l'Industrie des semi-conducteurs

- I.1. Les semi-conducteurs : le pétrole du XXI siècle
 - I.1.1. Les semi-conducteurs : moteur de l'innovation et pilier de la révolution numérique
 - I.1.2. Les semi-conducteurs : le cerveau de l'électronique moderne
- I.2. Tensions géopolitiques et "guerre" des semi-conducteurs
 - I.2.1. L'importance de Taiwan dans l'économie mondiale
 - I.2.2. USA - Chine : un affrontement déterminant pour l'avenir mondial
 - I.2.3. Japon, Corée du Sud, Europe... Qui veut une place sur l'échiquier mondial ?
- I.3. Perspectives et enjeux stratégiques
 - I.3.1. Les futures applications (automobiles, IA, IoT...)
 - I.3.2. Les applications critiques (défense, militaire, spatial...)
 - I.3.3. Quelles perspectives ?
- I.4. Les ressources matérielles et humaines : un vrai défi pour l'industrie
 - I.4.1. Les ressources matérielles
 - I.4.2. Les ressources humaines ultra qualifiées : Un gros problème RH
- I.5. Chips Acts & lawfare
 - I.5.1. Chips Acts
 - I.5.2. Sécurité économique, un nouveau concept venu de l'Ouest
 - I.5.3. L'instrumentalisation du droit ou « lawfare »
 - I.5.4. Les atouts de la France

Partie II. Enjeux de Sécurité Nationale - Panorama des risques

- II.1. Approche des menaces pour les utilisateurs
 - II.1.1. Menace : Cas d'usage d'un processeur cryptographique
 - II.1.2. Menace : Le calcul haute performance "HPC"
 - II.1.3. Menace : Capteur/Actionneur connecté et microcontrôleurs
- II.2. Approche des menaces pour les producteurs
 - II.2.1. Menace : Protection du patrimoine scientifique et technique
 - II.2.2. Menace : Influence et réglementations locales
- II.3. Risques majeurs dans l'industrie des semiconducteurs
 - II.3.1. Risque : Contrefaçons
 - II.3.2. Risque : Naturels et technologiques à portée variable

Conclusion

Glossaire

Introduction

A la date où cette étude a été proposée, en début de programme MACYB 05 autour d'Octobre 2023, les médias font état de la tension géopolitique grandissante entre les Etats-Unis et la Chine. Cette tension s'illustre régulièrement par les annonces de la préparation d'une guerre entre la Chine et Taïwan. L'implication des Etats-Unis dans le soutien de l'île à travers différentes visites des membres du gouvernement américain à Taïwan irrite profondément le PCC qui considère ces rapprochements comme une ingérence dans sa politique intérieure.

C'est la partie visible de l'iceberg, ultra médiatisée. L'étude proposée dans ce rapport est une analyse 360°, neutre et sans prise de position, de la situation au niveau mondial. Elle cherche à dépasser le simple rapport de force dipolaire entre les Etats-Unis et la Chine.

D'autre part, à cette date, la France et d'autres pays de l'Union Européenne semblent avoir pris un retard considérable sur le sujet et paraissent démunis face aux différentes annonces de subventions des grandes nations historiques dans le domaine des semi-conducteurs : USA, Corée du Sud, Japon, Taiwan, Chine. Ces grandes nations industrielles et sensibles à une politique d'accroissement de puissance par l'économie, ont visiblement pris conscience du caractère stratégique de cette filière.

L'objectif de l'étude est également d'approfondir l'analyse en adressant 3 volets qui sont :

- La problématique géoéconomique,
- Les enjeux liés à la sécurité nationale et aux tensions géopolitiques en termes de défense,
- Les enjeux en matière de cybersécurité, avec pour objectif de relever le défi de la souveraineté des données (le contenu) grâce à la souveraineté technologique (le contenant).



Figure 1 : La guerre des semi-conducteurs entre les US et la Chine

Partie I. Géoéconomie de l'Industrie des semi-conducteurs

I.1. Les semi-conducteurs : le pétrole du XXI^e siècle

Les microprocesseurs, également appelées « puces » ou circuits intégrés (CI), constituent l'épine dorsale de la société moderne. Elles sont constamment présentes dans notre vie quotidienne. En effet, les microprocesseurs se retrouvent au cœur de multiples secteurs d'activité, allant de la production manufacturière à l'industrie automobile, en passant par la téléphonie, l'intelligence artificielle ou encore le secteur médical. Comme le montre l'image ci-dessous, une voiture moderne peut utiliser jusqu'à 3 500 puces et autres dispositifs à semi-conducteurs.

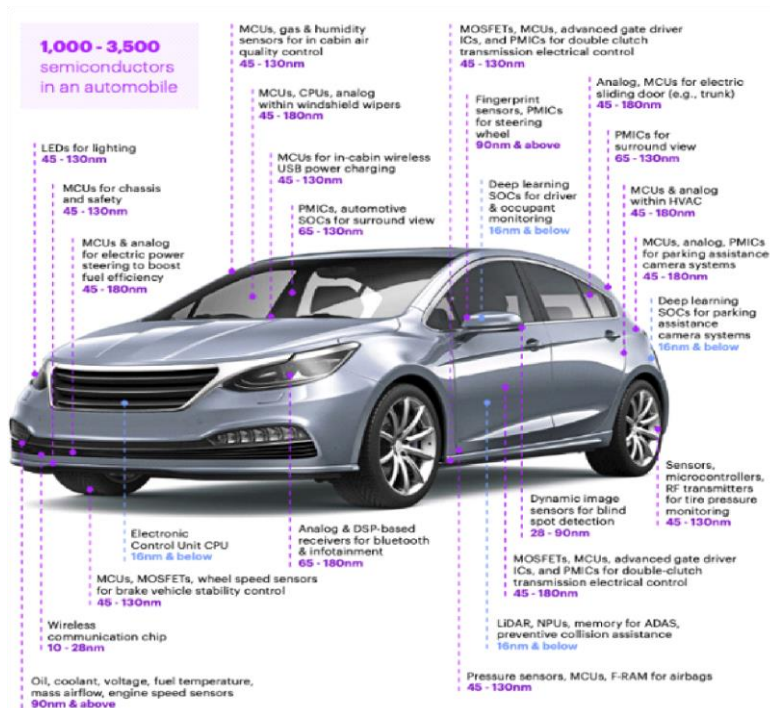


Figure 2 : Localisation et types de semi-conducteurs dans les voitures modernes (Alam et al. 2023)

L'omniprésence des semi-conducteurs dans la société contemporaine a transformé profondément nos modes de vie. Au-delà de leur rôle prépondérant dans le secteur technologique, ces composants électroniques se révèlent être un élément essentiel au bon fonctionnement de l'économie moderne. À l'instar du pétrole, les semi-conducteurs se sont imposés comme une ressource vitale et limitée. Ils sont devenus un facteur de puissance d'une nation, tant sur le plan militaire, économique et géopolitique.

Les tensions grandissantes entre les Etats-Unis et la Chine concernant la chaîne d'approvisionnement des puces électroniques en témoignent.

L'ère des semi-conducteurs a bel et bien commencé. Il est crucial pour les États de s'y préparer afin de garantir leur compétitivité économique, leur sécurité nationale et leur souveraineté technologique.

I.1.1. Les semi-conducteurs : moteur de l'innovation et pilier de la révolution numérique

I.1.1.1. Repères historiques : des laboratoires Bell à la Silicon Valley

Comme pour la plupart des inventions qui révolutionnent l'industrie, William Shockley, John Bardeen et Walter Brattain ne cherchaient pas à réécrire l'histoire. Ces physiciens américains travaillant pour les laboratoires Bell, visaient simplement à améliorer les services d'appels téléphoniques en concevant un appareil électronique plus petit et plus efficace que ceux fonctionnant avec la technologie de l'époque : les tubes à vide.

Le 16 décembre 1947, ils réalisèrent une percée scientifique qui bouleversa presque toutes les industries et transforma à jamais notre mode de vie : la création du transistor, dont la miniaturisation future permit le développement de tous les produits électroniques modernes. L'industrie des semi-conducteurs était née¹.

En 1952, 34 entreprises² ont acquis une licence sur les brevets originaux d'AT&T relatifs aux semi-conducteurs, dont Texas Instruments, qui est le seul licencié d'origine toujours en activité. La demande aux États-Unis était dominée par l'armée, qui voyait le potentiel des semi-conducteurs dans le domaine militaire. Environ 25 % de la R&D³ menée par Bell Lab entre 1949 et 1958 a été financée par des contrats de défense, et la majorité des transistors produits ont été expédiés à l'armée américaine.

Une grande partie de la technologie est arrivée dans la région de San Francisco lorsque le pionnier des transistors William Shockley quitta les laboratoires Bell en 1955 pour créer le Shockley Semiconductor Laboratory à Mountain View, embauchant une équipe d'ingénieurs et de scientifiques pour développer et fabriquer des transistors.

Huit d'entre eux, dont Gordon Moore et Robert Noyce, les futurs co-fondateurs d'Intel, démissionnent en septembre 1957 pour fonder Fairchild, emportant avec eux l'expertise scientifique et technologique qu'ils avaient acquise et développée au sein de l'entreprise de Shockley⁴. Cet événement a marqué la naissance de la Silicon Valley, tant sur le plan technologique que culturel.

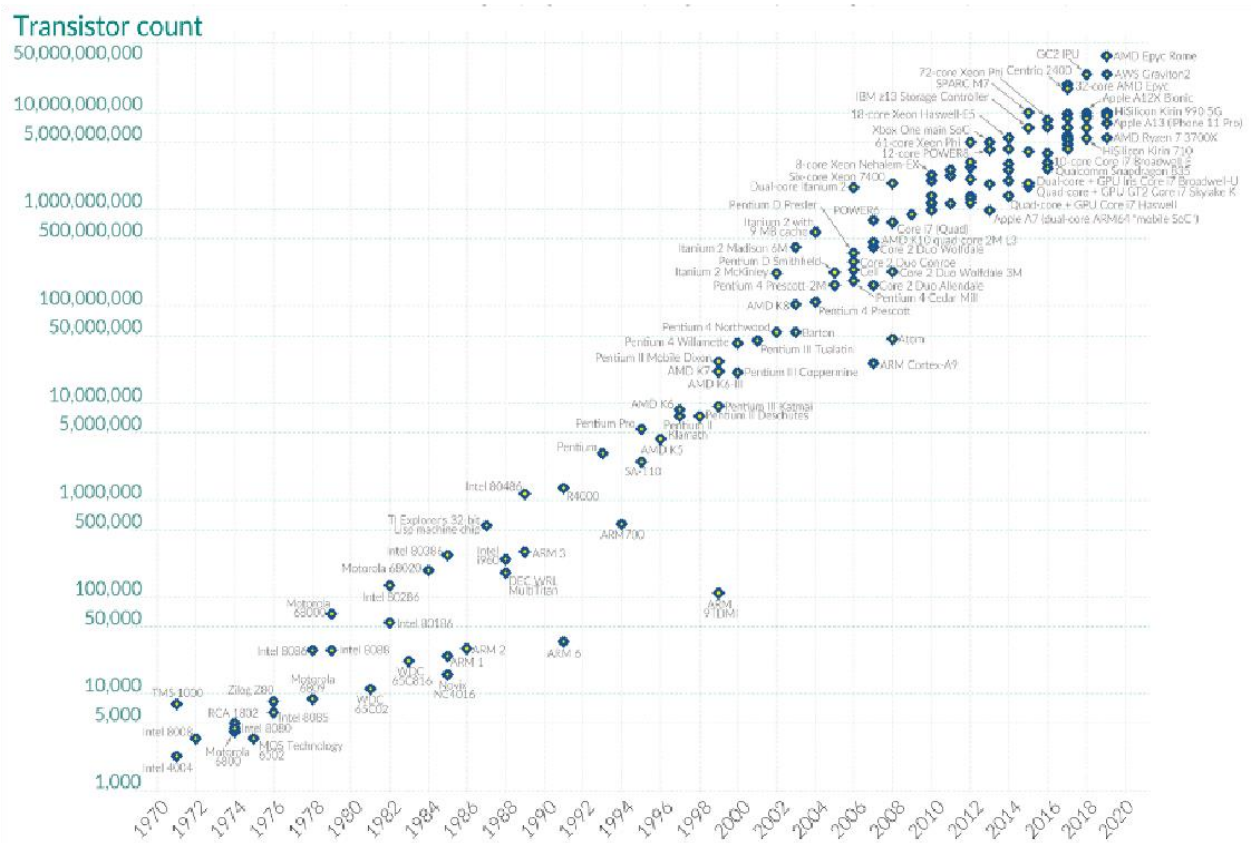
Depuis les années 1970, le nombre de transistors dans les semi-conducteurs que l'industrie arrive à intégrer sur une même surface double tous les deux ans, un phénomène connu sous le nom de "Loi de Moore".⁵ Cette tendance a été le principal moteur de l'industrie microélectronique et de la croissance du marché des semi-conducteurs, permise par la réduction de la distance entre les transistors grâce à des procédés de gravure avancés. La poursuite de la loi de Moore a entraîné une forte augmentation des coûts de conception des puces et des usines, conduisant à une spécialisation croissante des acteurs.

¹ [History of semiconductors : Hitachi High-Tech Corporation](#)

² Accenture [Going Vertical: A new integration era in the semiconductor industry](#) (2021)

³ Lukas Kankkunen (2022) - page 3: [THE RISE OF THE TAIWANESE SEMICONDUCTOR INDUSTRY](#)

⁴ Fabien Benoit. [William Shockley, père de la Silicon Valley, ingénieur de talent et «être humain affreux»](#) | [Slate.fr](#) (2018) ⁵ [Gordon Moore et la loi qui a changé l'industrie des semi-conducteurs](#) (2024)



Certaines entreprises, comme Intel ou Samsung, continuent de gérer la conception, la production et la commercialisation en interne ("*Integrated Device Manufacturers*"), tandis que d'autres, comme NVIDIA ou Qualcomm, se spécialisent dans la conception (= Fabless) et sous-traitent la production à des fonderies comme TSMC, UMC, GlobalFoundries ou Intel Foundry.

Ces minuscules plaques, plates, faites de silicium presque pur et contenant des millions, puis des milliards de transistors, sont progressivement devenues des éléments incontournables de notre société moderne. Les semi-conducteurs sont aujourd'hui omniprésents: on les trouve dans les smartphones, ordinateurs portables, et plus récemment dans des montres, réfrigérateurs ou même des clés de voiture.

I.1.1.2. Comprendre les semi-conducteurs : définition et fonctionnement

Les termes "semi-conducteur", "puce" et "circuit intégré" sont souvent utilisés de manière interchangeable pour désigner un petit morceau de matériau avec des propriétés physiques particulières, généralement du silicium, dans lequel sont gravés des millions de minuscules circuits électroniques. Ces circuits permettent de traiter, stocker et transmettre des informations sous forme de signaux électriques et parfois optiques.

Activés et désactivés à l'aide de transistors, ils fonctionnent comme des interrupteurs électroniques. À l'image de nos connexions neuronales, les transistors fournissent les "1" et les "0" binaires nécessaires à l'informatique numérique en permettant ou en bloquant le flux de courant électrique à travers les circuits. C'est pour cette raison qu'ils sont considérés comme le cerveau de notre électronique. Le semi-conducteur n'est ni tout à fait un conducteur d'électricité, ni tout à fait un isolant. Il peut être soit l'un, soit l'autre selon diverses conditions. Le caractère conducteur ou isolant prend sa source dans la structure même des atomes.

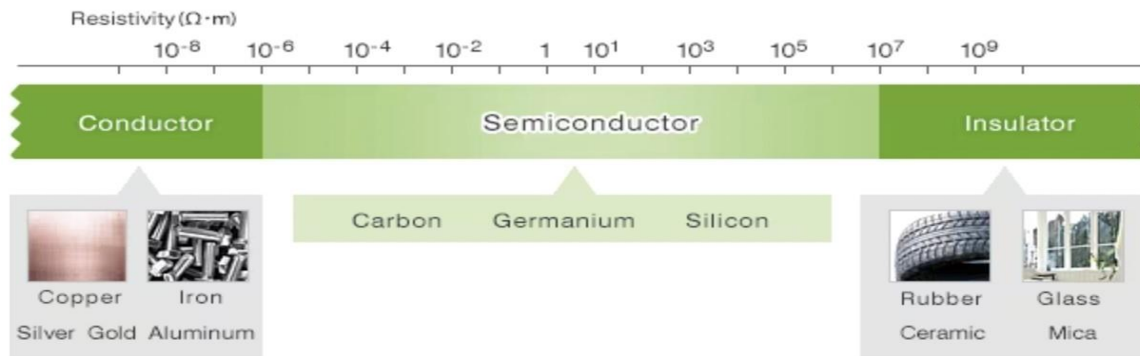


Figure 4 : propriétés des semi-conducteurs⁵

La résistivité des semi-conducteurs varie aussi en fonction de la température : à basse température, ils présentent une faible conductivité électrique, mais cette conductivité augmente significativement avec l'élévation de la température. Parmi les principaux semi-conducteurs figurent le germanium (Ge), le silicium (Si) et le sélénium (Se), chacun ayant des applications spécifiques.

I.1.1.3. Fabrication : un processus délicat

La fabrication de dispositifs semi-conducteurs implique une série complexe de processus qui transforment les matières premières en dispositifs finis. Le processus comprend généralement quatre grandes étapes :

- Fonte du verre purifié en cylindres et découpe en disques (appelés “*wafers*”).
- Gravure dans le verre et dépôts de minces couches de métaux.
- Découpage des disques en carrés individuels (puce)..
- Mise en boîtier/résine d'un ou plusieurs circuits/packaging (circuit intégré).

Les tests sont continus et transverses tout au long du processus. Souvent des échantillons de chaque lot sont examinés, parfois de manière destructive. Chaque étape présente un ensemble unique de défis et donc d'opportunités industrielles pour développer un savoir-faire spécifique. En relevant les défis et en capitalisant sur les opportunités, l'industrie peut continuer à croître et à évoluer, permettant le développement de nouvelles technologies qui peuvent transformer notre façon de vivre et de travailler. Chaque circuit intégré peut être comparé à une construction en briques LEGO®, où chacune a une fonction distincte. Une mémoire : pour stocker de l'information, un microprocesseur : pour traiter l'information, ou encore un système de communication : pour transmettre l'information.

⁵ [Properties of semiconductors : Hitachi High-Tech Corporation](#)

> R&D > CONCEPTION

> FABRICATION

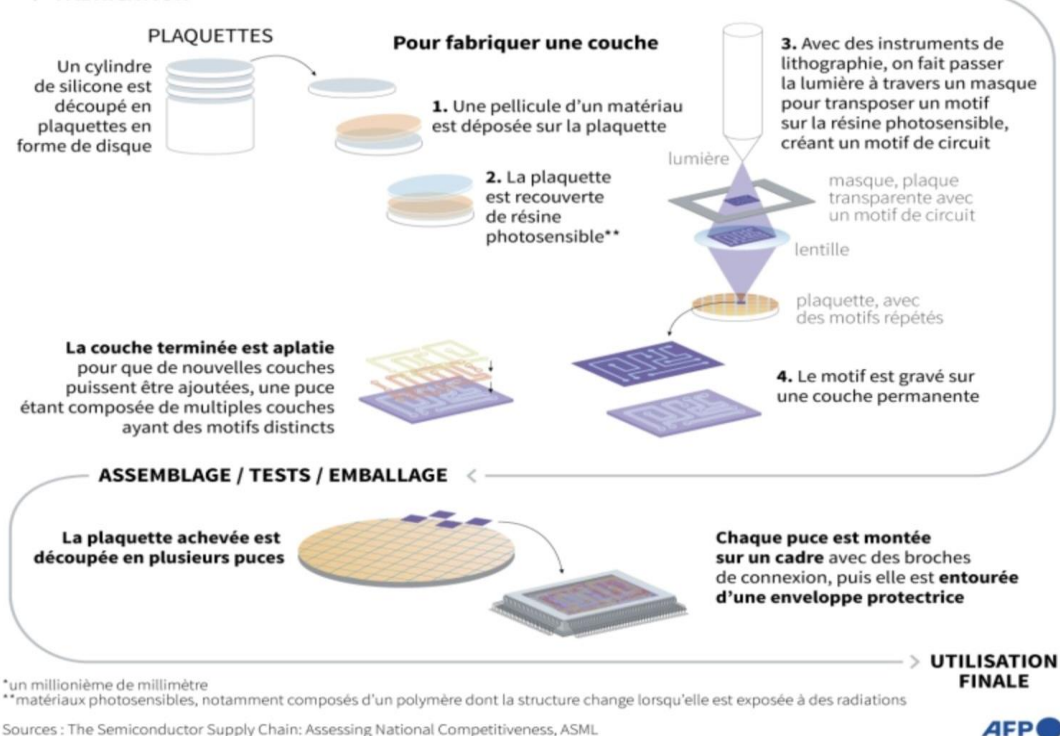


Figure 5 : Semi-conducteurs : la chaîne de production des puces électroniques

Si l'omniprésence des puces peut laisser penser qu'elles sont faciles à fabriquer, il n'en est rien. Elles sont également le dispositif le plus complexe que l'homme ait jamais produit. Des dizaines voire des centaines d'entreprises et de pays différents sont généralement impliqués dans le processus de fabrication. Tout au long de son cycle de vie, de la fabrication à l'emballage en passant par les tests, une seule puce peut parcourir plus de 40 000 kilomètres et franchir 70 frontières⁶. Une machine qui ne réalise pourtant qu'une seule des nombreuses étapes du processus de fabrication peut très bien être fabriquée par une entreprise néerlandaise, à l'aide de matériaux avancés provenant d'une entreprise allemande ou américaine, de produits chimiques d'une entreprise japonaise et sous la supervision de logiciels d'une entreprise israélienne.

1.1.1.4. Chaîne de valeur : une industrie complexe et concurrentielle

Il existe **quatre modèles** commerciaux distincts dans le domaine des semi-conducteurs. Le premier est appelé "*Integrated Device Manufacturers*" (IDM). Ces entreprises conçoivent, fabriquent, testent et vendent leurs circuits intégrés. Ce modèle d'entreprise a historiquement dominé l'industrie des semi-conducteurs et est toujours utilisé avec succès, y compris par des géants tels que Samsung ou Intel. Le principal avantage de ce modèle d'entreprise est l'excellent contrôle de la propriété intellectuelle, puisque les conceptions ne quittent l'entreprise à aucune des étapes du processus. De plus, le modèle IDM permet une plus grande flexibilité dans la gestion du portefeuille de produits, ce qui se traduit par un niveau de personnalisation plus élevé. Toutefois, le principal obstacle auquel se heurtent les IDM est le coût élevé de l'innovation et des investissements en R&D.

Le deuxième groupe d'entreprises est appelé « *sans usine* » ou « *fabless* ». Elles se concentrent uniquement sur la conception et le développement de circuits intégrés. La fabrication, l'assemblage et le test des puces sont externalisés. Une entreprise fabless peut se consacrer entièrement à la R&D de nouveaux produits, sans avoir à investir dans des outils de production onéreux. En l'absence d'usines à gérer, les entreprises fabless bénéficient d'un investissement initial moindre par rapport aux

⁶ Ana Swanson & Lazaro Gamio (2024) : [The Global Effort to Make an American Microchip - The New York Times](#)

entreprises intégrées. Le marché mondial des *fabless* est dominé par des entreprises américaines comme NVIDIA, Qualcomm, Broadcom, AMD... En termes simples, les entreprises sans usine conçoivent le « cerveau » des appareils électroniques - les puces semi-conductrices - mais confient la fabrication à des fonderies et le packaging à des experts de la mise en boîtier (assemblage et test).

La troisième catégorie d'entreprises comprend les *fonderies* de semi-conducteurs, qui se consacrent exclusivement à la fabrication de micropuces.

Contrairement aux *fabless*, ce segment de marché est dominé par des acteurs asiatiques, en particulier taïwanais, à savoir TSMC et United Microelectronics Corporation (UMC), qui détiennent près de 70% du marché mondial⁸ en 2024. Le segment de la fonderie est particulièrement gourmand en capital, et seules quelques entreprises sont prêtes à assumer des coûts d'investissement aussi élevés. Même NVIDIA, leader mondial du développement de processeurs graphiques (GPU) et de puces d'intelligence artificielle, externalise la fabrication de ses puces auprès d'un fabricant de puces, en l'occurrence TSMC. Il ne fait aucun doute que l'un des principaux avantages de ce modèle d'entreprise est son haut niveau de centrage sur le client et sa bonne gestion des risques grâce à un large portefeuille de clients. Néanmoins, les marges bénéficiaires sont sans aucun doute inférieures à celles des entreprises sans usine.

Le dernier modèle commercial évoqué est celui de *l'assemblage et test* de semi-conducteurs externalisés ("*Outsourced Semiconductor Assembly and Test*" - OSAT). Les OSAT offrent des prestations de conditionnement et de test de circuits intégrés (CI) en tant que tiers, et effectuent des tests sur les dispositifs semi-conducteurs produits par les fonderies avant leur mise sur le marché. Elles sont généralement implantées dans des pays où le coût de la vie est relativement bas, tels que la Malaisie, la Chine ou Taïwan.

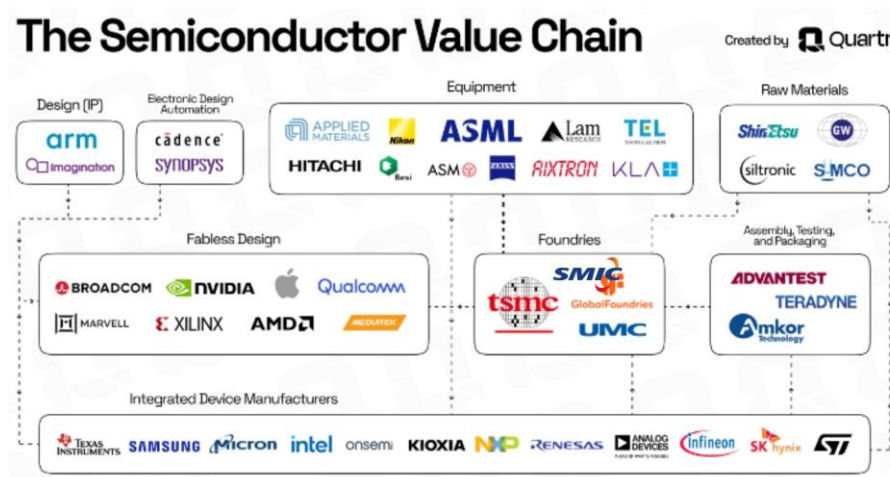


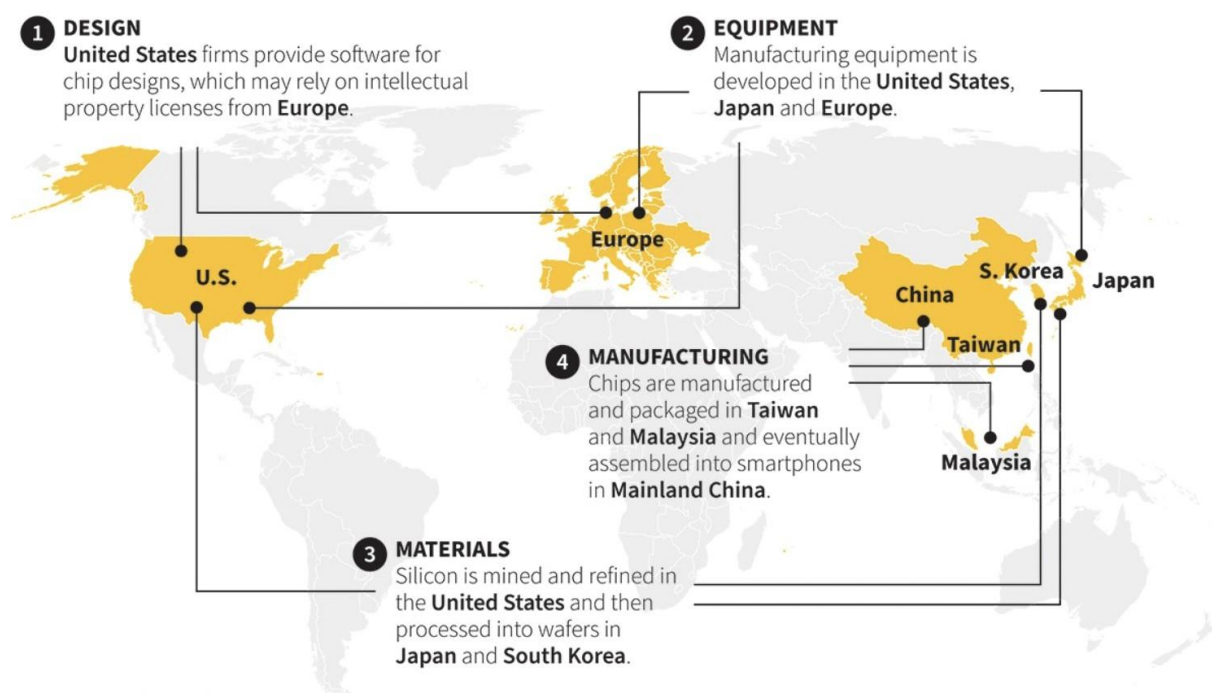
Figure 6 : Vue d'ensemble de la chaîne d'approvisionnement des semi-conducteurs⁹

⁸ Peter Clarke (2024) : [Taiwan to capture 70 percent of 2024 global foundry market ...](#)

⁹ [Comprendre la chaîne de valeur des semi-conducteurs : acteurs clés et dynamiques — Panafricaniste](#)

I.1.1.5. Une chaîne d'approvisionnement "exposée"

La production de puces est largement mondialisée et en même temps extrêmement spécialisée (cf. Figure 7). Actuellement, la plupart des biens et services transitent par différents pays en tant que produits intermédiaires avant d'être transformés en produits finaux.



Source: Boston Consulting Group

Figure 7 : Chaîne d'approvisionnement mondiale pour la production d'un processeur de smartphone⁷

Bien que ces chaînes d'approvisionnement mondiales offrent de nombreux avantages, les crises majeures de ces dernières années, telles que la pandémie, la montée des tensions géopolitiques ou la multiplication des catastrophes naturelles ont clairement démontré les vulnérabilités inhérentes à l'ensemble de la chaîne en cas de perturbation d'un ou de plusieurs de ses maillons. Face à cette problématique, les gouvernements ont entamé une réflexion approfondie sur les enjeux de sécurité technologique. En 2022, les États-Unis, l'Europe et la Chine ont chacun annoncé la mise en place d'un "chips act" (cf. *section I.5.1* ci-dessous), visant à réduire leur dépendance technologique et à renforcer leur autonomie dans la production de semi-conducteurs.⁸

La Covid-19 a entraîné une demande sans précédent dans divers secteurs du fait du télétravail très gourmand en outils numériques comme les smartphones, les PC/PC portables, les serveurs, etc et a mis en évidence une vulnérabilité significative du monde occidental. La capacité de production limitée des usines a engendré des difficultés majeures dans la chaîne d'approvisionnement. Cette situation a

⁷ [Microchips and the global supply chain - FM](#)

⁸ Paul McLellan (2022) : [China, US, Europe: Everybody's Got a CHIPS Act - Breakfast Bytes - Cadence Blogs](#)

affecté de nombreuses industries, notamment l'automobile post Covid, les nouvelles technologies et les jeux vidéo pendant le Covid, contraintes de réduire ou d'arrêter leur production. À titre d'exemple, la société Apple aurait subi des pertes considérables, dépassant les 10 milliards de dollars, en raison d'une pénurie de microprocesseurs pour ses iPhones⁹. Quant à l'industrie automobile mondiale, elle aurait subi des pertes estimées à près de 500 milliards de dollars, en raison de la non-production de véhicules causée par la pénurie de semi-conducteurs.¹⁰

Les catastrophes naturelles et crises climatiques peuvent provoquer des perturbations importantes dans la chaîne d'approvisionnement. Par exemple, la violente tempête hivernale qui s'est abattue sur Austin, au Texas (USA), en février 2021, a contraint trois usines (Samsung, Infineon et NXP Semiconductors¹¹) à fermer leurs portes en raison d'une crise d'approvisionnement électrique. La tempête a réduit l'approvisionnement de ces usines pendant plusieurs mois. La même année, Taïwan a connu sa pire sécheresse en plus d'un demi-siècle¹², ce qui a entraîné des pénuries chez les fabricants de puces qui utilisent de grandes quantités d'eau ultrapure pour nettoyer leurs usines et leurs wafers. En avril 2024, un tremblement de terre a frappé Taïwan et a temporairement (quelques heures) perturbé la production des usines de semi-conducteurs. Ce séisme a causé des pertes estimées à près de 92 millions de dollars pour le fabricant de puces taïwanais TSMC¹³.

Les tensions géopolitiques peuvent également entraver l'accès mondial à certains fournisseurs et consommateurs. Lorsque les tensions géopolitiques entre le Japon et la Corée du Sud ont fortement augmenté en 2019, le Japon a imposé des restrictions à l'exportation de plus de 1 000 produits vers la Corée du Sud¹⁴. Parmi ces produits figuraient trois produits chimiques clés pour produire des semi-conducteurs et fournis principalement par le Japon : le fluorure d'hydrogène, les polyimides fluorés et les résines photosensibles. La Corée du Sud étant le deuxième plus grand fabricant de semi-conducteurs (OCDE), si ce conflit avait dégénéré, il aurait pu impacter l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement. Les semi-conducteurs sont également au cœur de l'escalade des tensions commerciales et de l'intensification de la rivalité technologique entre les États-Unis et la Chine: en septembre 2020¹⁵, les États-Unis ont imposé des restrictions sur les exportations vers la Semiconductor Manufacturing International Corporation (SMIC), la plus grande entreprise de semi-conducteurs en Chine, en octobre 2022¹⁶, ils ont mis en place de nouveaux contrôles sur les exportations d'équipements de fabrication de semi-conducteurs de pointe ainsi que sur les puces IA vers la Chine et en janvier 2023¹⁷, les États-Unis, les Pays-Bas et le Japon ont conclu un accord prévoyant des contrôles sur les exportations d'équipements de semi-conducteurs avancés vers la Chine. L'industrie des semi-conducteurs subit également les répercussions des tensions actuelles entre la Russie et l'Ukraine. L'Ukraine est le premier fournisseur mondial de gaz néon, produisant plus de 50 % de l'offre mondiale²¹. Le néon a d'importantes applications industrielles, notamment dans la fabrication des semi-conducteurs.

⁹ Florent Erculisse (2022) : [La pandémie de covid pourrait faire perdre plus de 10 milliards d'euros à Apple - Belgium iPhone](#)

¹⁰ Avnet Silica (2022) : [Taking stock of the supply chain crisis: Lockdowns and shortages cost automotive manufacturers over \\$500 billion](#)

¹¹ Andre Rousselot (2021) : [Les Fabs NXP et Infineon au Texas à l'arrêt ...](#)

¹² Eric Cheung (2021) [Taiwan, the world's chipmaking factory and home of TSMC, is battling Covid and the climate crisis | CNN Business](#)

¹³ (2024) [TSMC estimates losses of \\$92.4 mln due to Taiwan earthquake | Reuters](#)

¹⁴ Xu Aiyang et Jung Joo-ri (2020) [Restrictions à l'exportation du Japon : le bilan un an après : Korea.net](#)

¹⁵ Jeanne Wahlen (2020) [U.S. restricts exports to China's SMIC - The Washington Post](#)

¹⁶ [Commerce Implements New Export Controls on Advanced Computing and Semiconductor Manufacturing Items to the People's Republic of China \(PRC\) \(2022\)](#)

¹⁷ [The Netherlands joins the U.S. in restricting semiconductor exports to China - A&O Shearman](#) (2023) ²¹

Thierry Jirkovsky (2022) : [Le Neon : Le vrai nerf de la guerre en Ukraine | Tv Languedoc](#)

Les tensions géopolitiques remodelent le paysage des semi-conducteurs. Les pays se concentrent désormais sur le développement de la résilience de leur chaîne d'approvisionnement en puces et sur la réduction de la dépendance à l'égard d'une seule région. Toutefois, aucun pays ne semble pouvoir devenir totalement indépendant dans sa chaîne d'approvisionnement en puces compte tenu de sa complexité.

I.1.1.6. L'intégration verticale encore à la mode ?

L'intégration verticale est une stratégie permettant à une entreprise de contrôler sa chaîne de valeur en intégrant de nouvelles activités à son activité de production. Ce plan peut se réaliser par l'acquisition ou la création de fournisseurs, de distributeurs ou de points de vente au détail. A l'origine, les fabricants de semi-conducteurs étaient souvent des entreprises développant des composants pour leurs propres besoins. Par la suite, le modèle fabless/foundry à la fin des années 80 a révolutionné l'industrie et réduit le besoin d'intégration verticale en créant davantage de valeur dans la spécialisation. Toutefois, ces dernières années, on observe un regain d'intérêt des fabricants de matériels électroniques pour les semi-conducteurs.

Ainsi, de plus en plus de géants du numérique tels que Apple, Samsung, Huawei, Alphabet, Tesla, Amazon ou encore Meta ont entrepris de développer leurs propres puces¹⁸. Cette démarche leur confère une certaine indépendance vis-à-vis de géants tels que NVIDIA, Intel ou Qualcomm... et leur permet d'obtenir des performances sur mesure qui les aident à différencier leurs produits. En mars 2022, Apple a lancé sa puce M1 Ultra pour ses Mac haut de gamme, deux ans après avoir rompu son partenariat avec Intel.¹⁹ De leur côté, Amazon et Google développent des puces maison pour améliorer les performances de leurs centres de données cloud. Enfin, Tesla a développé la puce Dojo pour entraîner son algorithme d'auto-pilote.

En Chine, le fabricant d'équipements de télécommunications Huawei a joué un rôle particulièrement important dans la volonté d'autosuffisance technologique du pays pour contourner les restrictions américaines. Au lieu de dépendre d'autres entreprises, notamment étrangères, pour de nombreux composants, Huawei intègre verticalement la plus grande partie de la chaîne d'approvisionnement des semi-conducteurs et de l'électronique au sens large.²⁰ Huawei a d'ailleurs annoncé ses ambitions sur les technologies et machines lithographiques pour réduire la dépendance de la Chine à ASML.

Pour l'ensemble de ces entreprises, le fait de développer leurs propres puces est également un moyen de tenir la concurrence à distance : en développant chacune leur propre pièce de silicium conçue pour s'insérer efficacement dans leur écosystème technologique, elles s'offrent une protection supplémentaire contre les concurrents qui seraient tenter de copier leurs produits ou services. Cette stratégie n'est toutefois accessible qu'aux géants technologiques, car trop coûteuse pour les plus petits acteurs. Le fait de recourir à des puces génériques déjà disponibles sur le marché reste bien plus économique.

I.1.2. Les semi-conducteurs : le cerveau de l'électronique moderne

I.1.2.1. Le poids des semi-conducteurs dans l'économie moderne

Comme abordé précédemment, les semi-conducteurs constituent l'épine dorsale d'un grand nombre de nos appareils technologiques, alimentant smartphones, ordinateurs portables et de nombreux gadgets. Leur impact va bien au-delà de la commodité, ils sont à l'origine de progrès capitaux dans les

¹⁸ Guillaume Renouard (2022) : [Semi-conducteurs : pourquoi les géants technologiques produisent désormais leurs puces \(Apple, Google, Facebook, Tesla, Amazon...\)](#)

¹⁹ Setra Rakt (2023) : [Apple n'a plus qu'une machine avec processeur Intel : le Mac Pro](#)

²⁰ Antonia Hmaidi (2024) : [Huawei is quietly dominating China's semiconductor supply chain | Merics](#) ²⁵ Ashim L. (2023) : [Semiconductor Market Size & Share Industry Growth \[2031\]](#)

systèmes de transport ou encore le domaine de la santé. Ces minuscules composantes remodelent notre monde, révolutionnant notre façon de nous connecter, de travailler et de vivre.

La taille du marché mondial des semi-conducteurs s'élevait à 526 milliards de dollars en 2023, elle est estimée à 611 milliards de dollars en 2024 et devrait atteindre 1 395 milliards de dollars d'ici 2031, avec un taux de croissance annuel composé de 13% (2024-2031)²⁵. Cette croissance est stimulée par la demande croissante de véhicules électriques, les avancées dans les technologies IA, l'IoT et l'adoption des technologies de transmission sans-fil telles que la 5G ou le WiFi. Le marché est marqué par des progrès technologiques rapides et des investissements importants dans la R&D. Malgré les perturbations de la chaîne d'approvisionnement et les problèmes géopolitiques, le marché conserve de fortes perspectives de croissance, grâce à la numérisation croissante des usages et aux avancées technologiques.

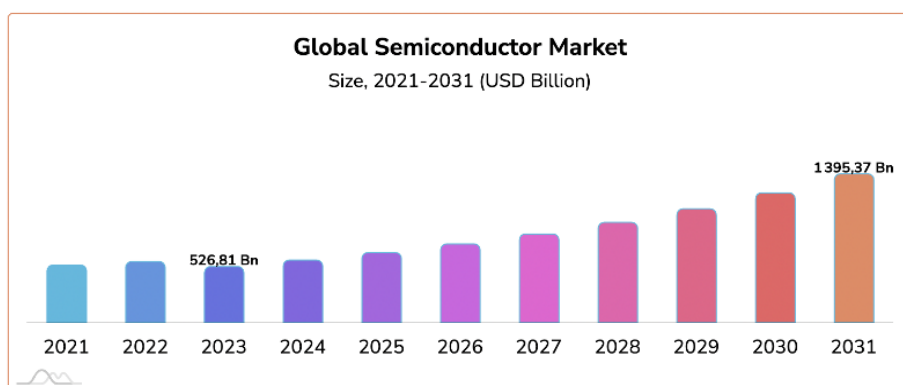


Figure 8 : Taille du marché mondial des semi-conducteurs et projection future²¹

Spring 2024	Amounts in US\$M			Year on Year Growth in %		
	2023	2024	2025	2023	2024	2025
Americas	134,377	168,062	192,941	-4.8	25.1	14.8
Europe	55,763	56,038	60,901	3.5	0.5	8.7
Japan	46,751	46,254	50,578	-2.9	-1.1	9.3
Asia Pacific	289,994	340,877	382,961	-12.4	17.5	12.3
Total World - \$M	526,885	611,231	687,380	-8.2	16.0	12.5
Discrete Semiconductors	35,530	32,773	35,310	4.5	-7.8	7.7
Optoelectronics	43,184	42,736	44,232	-1.6	-1.0	3.5
Sensors	19,730	18,265	19,414	-9.4	-7.4	6.3
Integrated Circuits	428,442	517,457	588,425	-9.7	20.8	13.7
Analog	81,225	79,058	84,344	-8.7	-2.7	6.7
Micro	76,340	77,590	81,611	-3.5	1.6	5.2
Logic	178,589	197,656	218,189	1.1	10.7	10.4
Memory	92,288	163,153	204,281	-28.9	76.8	25.2
Total Products - \$M	526,885	611,231	687,380	-8.2	16.0	12.5

Figure 9 : Taille du marché mondial des semi-conducteurs et projection future²²

Nous pouvons voir sur le tableau ci-dessus que la part de l'industrie des semi-conducteurs en Asie Pacifique + Japon devrait s'élever à près de 63% en 2024 sur le marché mondial (387 milliards de dollars). Cette position dominante est principalement due à la présence dans la région de grands fabricants tels que TSMC, Samsung et SMIC, qui sont à la pointe de la capacité de production et des avancées technologiques. De plus, la forte demande d'électronique grand public, de puces automobiles et d'applications industrielles dans des pays comme la Chine, la Corée du Sud et le Japon alimente la croissance du marché régional. Les initiatives gouvernementales et les investissements dans l'infrastructure des semi-conducteurs contribuent également à la position de leader de l'Asie-Pacifique sur le marché.

²¹ <https://www.kingsresearch.com/semiconductor-market-793>

²² <https://www.wsts.org/76/Recent-News-Release>

L'Amérique, de son côté, voit sa part estimée à 168 milliards de dollars (28%) et devrait enregistrer une progression notable de 25% en 2024. Cette croissance est tirée par la présence de grandes entreprises (NVIDIA, Intel, Apple...) et un fort accent mis sur la R&D. De plus, le "Chips and Science Act", lancé à l'été 2022, prévoit l'allocation de 280 milliards de dollars à l'industrie et à la recherche des semi-conducteurs, dont 53 milliards exclusivement destinés aux microprocesseurs²³. Il s'agit du plus important investissement public aux États-Unis depuis la Seconde Guerre mondiale, témoignant de l'extrême attention du gouvernement pour cette industrie stratégique.

Quant au marché européen, il est évalué à 56 milliards de dollars en 2024 (9%). Il devrait connaître une croissance marginale de 0,5 % en 2024 mais pourrait rebondir en 2025 avec une croissance prévue à près de 9%. L'automobile et l'aérospatial sont les principaux pôles de production en Europe.

A l'instar des USA et de la Chine, la Commission européenne a promulgué son Chips Act en septembre 2023 (cf. *section 1.5.1.5* ci-dessous). Ce plan prévoit 43 milliards d'euros d'aides ciblées pour le secteur européen des semi-conducteurs²⁴.

Le secteur des semi-conducteurs connaît actuellement un essor remarquable. Cette forte demande mondiale laisse présager une expansion durable, attirant les investisseurs et justifiant les incitations étatiques. TSMC a par exemple atteint le cap symbolique des 1 000 milliards de dollars de capitalisation boursière à Wall Street mi-juillet 2024²⁵. Cette entrée du géant taïwanais dans le cercle très fermé des méga-capitalisations boursières témoigne de l'importance du secteur des puces. Les gouvernements sont désormais pleinement conscients du caractère stratégique des semi-conducteurs et s'impliquent activement dans le développement de cette industrie. Cette prise de conscience, qui contraste avec leur désintérêt passé, est renforcée par l'essor de l'intelligence artificielle et ses applications toujours plus nombreuses. Si les défis à court terme persistent, la trajectoire à long terme indique un paysage des semi-conducteurs revitalisé et dynamique, orienté vers une croissance et des opportunités sans précédent dans les années à venir.

1.1.2.2. Suprémie et rivalité : les grands acteurs des semi-conducteurs

En juillet 2024, la capitalisation boursière combinée de NVIDIA, Taiwan Semiconductor Manufacturing, Broadcom, Samsung et ASML Holding - les cinq plus grands fabricants de semi-conducteurs au monde s'élevait à 5 400 milliards de dollars.

Rank	Name	Market Cap	Price	Today	Price (30 days)	Country
1	 NVIDIA NVDA	\$2.937 T	\$119.43	↓ 5.48%		USA
2	 TSMC TSM	\$901.31 B	\$173.80	↓ 6.58%		Taiwan
3	 Broadcom AVGO	\$745.75 B	\$160.21	↓ 5.41%		USA
4	 Samsung 005930.KS	\$415.79 B	\$62.89	↓ 1.14%		S. Korea
5	 ASML ASML	\$381.79 B	\$962.74	↓ 9.87%		Netherlands

Figure 10 : Top 5 des plus grosses capitalisations boursières dans l'industrie des semi-conducteurs³¹²⁶

Taïwan et la Corée du Sud maintiennent une domination impressionnante dans la production de semi-conducteurs, grâce à des entreprises comme TSMC, Samsung et SK Hynix. Leur expertise technologique et leur capacité de production de masse les positionnent comme des piliers incontournables de l'industrie.

Les États-Unis, bien que produisant une part plus modeste de semi-conducteurs, exercent une influence considérable à travers l'innovation, la politique commerciale et la réglementation. Des

²³ Charlotte Trueman (2024) : [US gov't awards CHIPS Act funding to three semiconductor R&D facilities - DCD](#)

²⁴ Kjeld van Wieringen (2022) : [\(PDF\) Global Semiconductor Trends and the Future of EU Chip Capabilities](#)

²⁵ La tribune (2024) : [Semi-conducteurs : le géant taïwanais TSMC a franchi le seuil des 1.000 milliards de dollars](#)

³¹ Capture d'écran du 17 juillet 2024

²⁶ <https://companiesmarketcap.com/semiconductors/largest-semiconductor-companies-by-market-cap/>

entreprises telles qu'Intel, Broadcom et Qualcomm sont à la pointe de la conception de semi-conducteurs pendant que NVIDIA voit sa capitalisation boursière s'envoler avec l'émergence de l'intelligence artificielle.

L'Europe, avec des acteurs comme ASML (NL), joue un rôle clé dans les technologies avancées grâce à un quasi-monopole de la lithographie, et cherche à accroître sa part de marché et son autonomie. La Chine, confrontée à des défis de dépendance et de restrictions internationales, s'efforce d'accroître son autonomie et de devenir un acteur majeur dans la production de semi-conducteurs grâce à son fabricant SMIC et à Huawei présent dans la conception et les machines lithographiques.

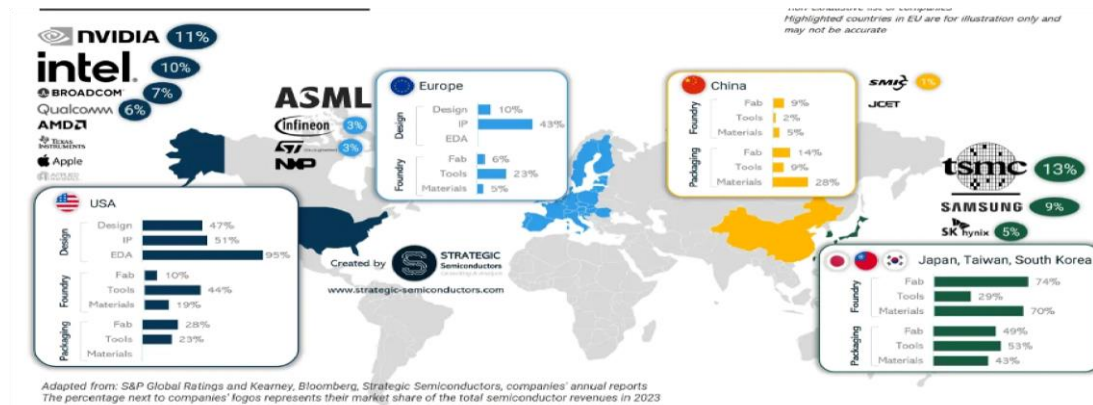


Figure 11 : Vue d'ensemble du marché des semi-conducteurs en 2023²⁷

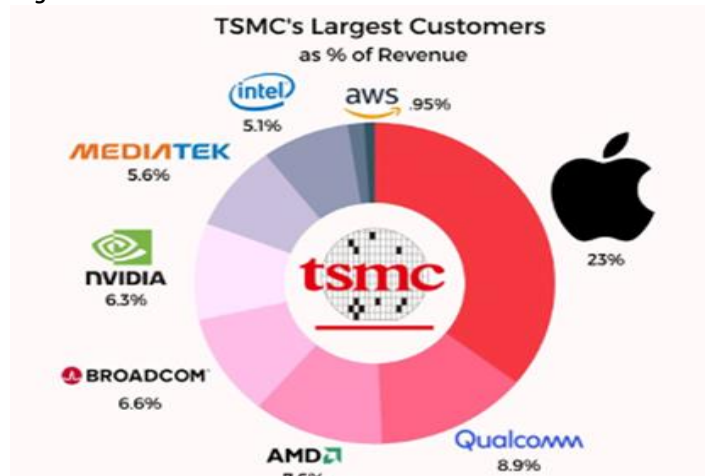


Figure 12 : clients de TSMC (2023)

TSMC, un leader incontesté

Fondée en 1987, Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC) se distingue par son expertise en fabrication de pointe, sa capacité d'innovation et sa production de masse efficace. La réussite de TSMC s'explique par des investissements massifs en R&D, une stratégie commerciale agile et une étroite collaboration avec des clients internationaux.

Le constructeur taiwanais reste le leader incontesté, détenant une part de marché stupéfiante de 13 % en 2023 (schéma ci-dessus). Cette domination est particulièrement prononcée si l'on considère que TSMC ne fournit que des services de fonderie, la part de marché de l'entreprise dans le secteur de la fonderie est de 59 % en 2023²⁸. Pour conserver son avantage, TSMC investit agressivement dans l'augmentation de sa capacité et dans le développement de fonderie de toute dernière génération,

²⁷ <https://www.eetimes.eu/semiconductor-market-rebound-expected-in-2024-but-challenges-lie-ahead/>

²⁸ Kumar Priyadarshi (2023) [What are the 5 Major Players in Global Foundry Market Share - techovedas](#)

actuellement 2nm (prévu pour 2025)²⁹. Le géant taiwanais prévoit également une croissance robuste de ses revenus, alimentée par la demande de puces avancées pour les applications d'intelligence artificielle.

L'entreprise a annoncé son intention de construire de nouvelles usines de pointe à Taïwan et d'étendre sa présence aux USA, au Japon et en Allemagne (cf. Figure 13). Ces expansions reflètent l'engagement de TSMC en faveur de l'innovation et sa capacité à répondre à la demande croissante de puces plus petites, plus rapides et plus puissantes. En cas de crise majeure en Indo-Pacifique, si TSMC ne diversifie pas spatialement ses investissements, il risque de ne pas pouvoir maintenir sa position de fournisseur quasi exclusif sur les nœuds 5 nm et moins. D'autre part, cette diversification géographique lui permet de garantir la résilience en cas de guerre avec la Chine, et de se rapprocher de ses clients par la même occasion.

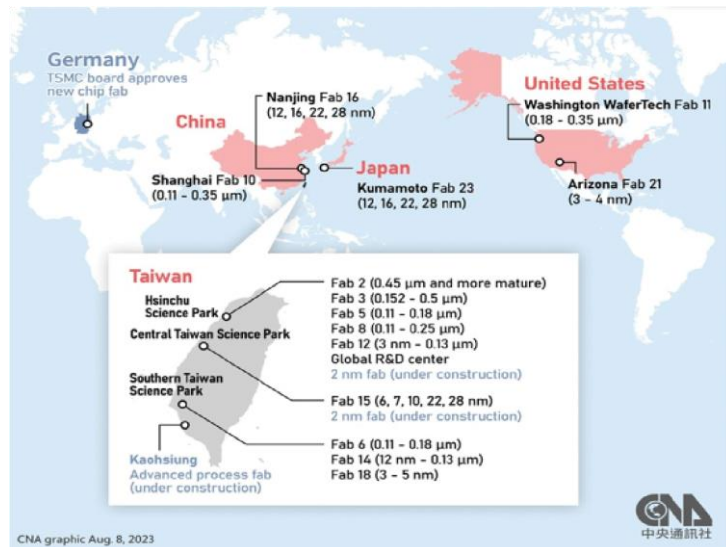


Figure 13 : les différentes usines (actuelles et en construction) TSMC dans le monde³⁰

Samsung - Rattraper TSMC dans la production de puces

Samsung Electronics a été fondée en 1969. Avec l'acquisition de Korea Semiconductor, la première entreprise de traitement des plaquettes de silicium en Corée, Samsung est devenu un fabricant de semi-conducteurs. Sa division des semi-conducteurs est une pierre angulaire de son activité, contribuant de manière significative à son chiffre d'affaires et à son influence mondiale (9% de part de marché en 2023, cf. Figure 11).

Au fil des décennies, Samsung a constamment investi dans des technologies et des infrastructures de pointe, ce qui lui a permis de rivaliser avec des géants tels que TSMC et Intel. Si le géant coréen reste extrêmement profitable (CA de 180 milliards de dollars en 2023³¹), il peine encore à capitaliser sur son modèle original de production totalement intégré. En tant que IDM, Samsung sait produire des puces mémoires, concevoir différents semi-conducteurs et les fabriquer pour ses clients internationaux.

Malgré ce savoir-faire, il peine encore à convaincre les géants de la tech américaine de lui confier la fabrication de leurs processeurs les plus avancés (TSMC rafle la mise). Les efforts d'expansion de Samsung ne se limitent pas à la Corée du Sud. L'entreprise investit massivement sur les marchés internationaux (cf. Figure 14).

²⁹ Christian Davis, Song Jung-A, Kathrin Hille et Qianer Liu (2023) : [The race between Intel, Samsung, and TSMC to ship the first 2 nm chip | Ars Technica](#)

³⁰ <https://techovedas.com/tsmc-to-construct-seven-new-plants-in-2024-3x-production-capacity-of-3-nm-process/>

³¹ Cho My-Hyun (2024) [Samsung passe le cap d'une année 2023 difficile et renoue avec les bénéfices grâce à la DRAM](#)

La construction d'une usine à Taylor au Texas témoigne de sa stratégie de croissance mondiale. En s'appuyant sur une combinaison de ressources internes et de financements externes, Samsung cherche à augmenter sa capacité de production et à s'aligner sur les efforts de ses concurrents.

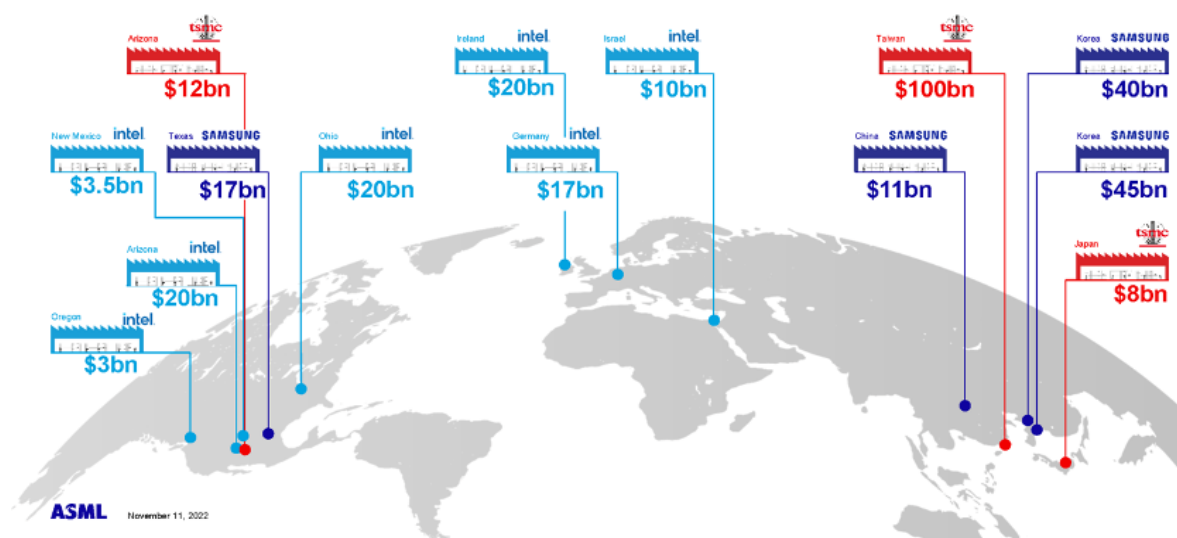


Figure 14 : investissements dans des nouvelles usines de semi-conducteurs par TSMC, Samsung et Intel³²

INTEL, le pionnier des processeurs

Fondée en 1968 par d'anciens ingénieurs de Texas Instruments et Fairchild, INTEL est une entreprise technologique multinationale qui conçoit et fabrique des semi-conducteurs, notamment des microprocesseurs, pour une large gamme d'appareils informatiques et de communication. Les produits d'INTEL sont des composants essentiels dans les ordinateurs personnels, les serveurs, les smartphones et d'autres appareils électroniques. L'entreprise est un acteur majeur de l'industrie mondiale des semi-conducteurs, contribuant aux progrès de l'informatique et de la technologie (10% de part de marché en 2023, cf. Figure 11). A l'instar de Samsung, INTEL est aussi un IDM avec Intel Foundry. Dernièrement, INTEL a investi dans des usines de fabrication aux États-Unis et en Europe (cf. Figure 14). Cette diversification géographique vise à réduire sa dépendance à l'égard de l'Asie et à renforcer sa résistance aux perturbations de la chaîne d'approvisionnement. Sur une période de 5 ans, INTEL prévoit d'investir plus de 100 milliards de dollars aux USA³³ en augmentant ses capacités en Arizona, au Nouveau-Mexique, dans l'Oregon et l'Ohio. Ces investissements, en partie grâce au US CHIPS Act, sont indispensables à l'économie et à la sécurité nationale des États-Unis.

NVIDIA, la prise de pouvoir des *fabless* ?

NVIDIA a été fondée en avril 1993 dans le but d'introduire les graphiques 3D sur les marchés du jeu et du multimédia. Fin 1999, elle lance le GeForce 256, son premier produit expressément commercialisé en tant que GPU. Le GPU ou l'unité de traitement graphique, a ouvert la voie à une refonte de l'industrie informatique. L'entreprise américaine s'est audacieusement hissée à la seconde place du marché mondial des semi-conducteurs (11% en 2023) (cf. Figure 11). NVIDIA est une « *fabless* » et se concentre uniquement sur la R&D de nouveaux produits, sous-traitant toute sa production. La croissance de NVIDIA est presque entièrement due à sa domination dans la conception de GPU, qui représente la majeure partie de son chiffre d'affaires³⁴. Le cours de l'action de NVIDIA a bondi de 231 % au cours de

³² [ASML partage ses prévisions \(optimistes\) pour le semiconducteur jusqu'en 2030 ! - Le comptoir du hardware](#)

³³ [US Semiconductor Manufacturing | CHIPS and Science Act | Intel®](#)

³⁴ Zacharie Tazrout (2024) : [En un an, le chiffre d'affaires de Nvidia a presque quadruplé](#)

l'année 2023³⁵. En juin 2024, NVIDIA atteint les 3 000 milliards de dollars de capitalisation boursière³⁶, seulement trois mois après avoir franchi le cap des 2 000 milliards de dollars, marquant une nouvelle étape dans un cycle haussier sans aucun signe de ralentissement. L'ascension fulgurante de NVIDIA est attribuée à la demande insatiable pour ses puissants GPU, en particulier dans le domaine des grands modèles de langage ("*Large Language Model*" - LLM) utilisés dans diverses applications d'IA. Sur le marché des puces d'IA haut de gamme, elle détient une part de marché dominante de 80%⁴³.

BROADCOM, l'autre vétéran de la Silicon Valley

Broadcom est présent sur le marché des semi-conducteurs depuis plus de 60 ans avec 7% de part de marché (cf. *Figure 11*) et a la troisième place du classement des meilleures entreprises de semi-conducteurs, son action ayant augmenté de 165% en 2023.³⁷ Il maintient des contrats lucratifs pour des puces personnalisées avec des géants de la technologie comme Google et Meta. En 2022, sa filiale Symantec a collaboré avec Google Cloud pour intégrer des capacités d'IA générative dans la plateforme Symantec Security. Le but est d'offrir un avantage technologique dans l'identification, la compréhension et l'atténuation des cybermenaces avancées. Broadcom prévoit un chiffre d'affaires de 50 milliards de dollars pour 2024, notamment grâce au rachat de VMware.³⁸

ASML, le leader du marché européen

Fondée en 1984 et basée aux Pays-Bas, ASML est le leader mondial de la conception et la production d'équipements de lithographie très haut de gamme pour la fabrication de plaquettes de silicium ("*wafer fab*"). Outre ses usines en Europe, ASML construit des sites à proximité de ses clients finaux, à Taïwan et aux États-Unis. ASML est la plus grande entreprise européenne en termes de capitalisation boursière dans l'industrie des semi-conducteurs (381 milliards de dollars en juillet 2024) (cf. *Figure 10*). Elle est sur le point de livrer des machines EUV (Extreme UltraViolet) à TSMC pour produire des puces inférieures à 2 nm. La lithographie EUV est une méthode de fabrication qui utilise la lumière ultraviolette extrême pour graver des motifs extrêmement fins sur des plaques de silicium. Ces machines révolutionnaires, qui devraient coûter près de 350 millions de dollars l'unité³⁹, seront cruciales dans la miniaturisation des circuits intégrés. ASML joue donc un rôle déterminant dans la poursuite de la révolution des puces.

³⁵ Emily Bary (2023) : [Could Nvidia's stock — up 231% this year — actually be a bargain? - MarketWatch](#)

³⁶ Clément Bohic (2024) : [NVIDIA à 3000 milliards \\$: une valorisation à la hauteur de son empreinte ? | Silicon](#)

⁴³ [NVIDIA Holds 80% AI Chip Market Share: Who's the Next AI Chip Supplier? \(2024\)](#)

³⁷ Hank Tucker (2024) [The World's Largest Semiconductor Companies 2024: Why Nvidia Is The Hottest Stock Of The Decade](#)

³⁸ Eleanor Dickinson (2023) [Broadcom table sur 50 Md\\$ de chiffre d'affaires avec VMware en 2024 - Distributique](#)

³⁹ Rémi B. (2024) : [Sans surprise, un scanner High-NA d'ASML coûte une blinde - Le comptoir du hardware](#)

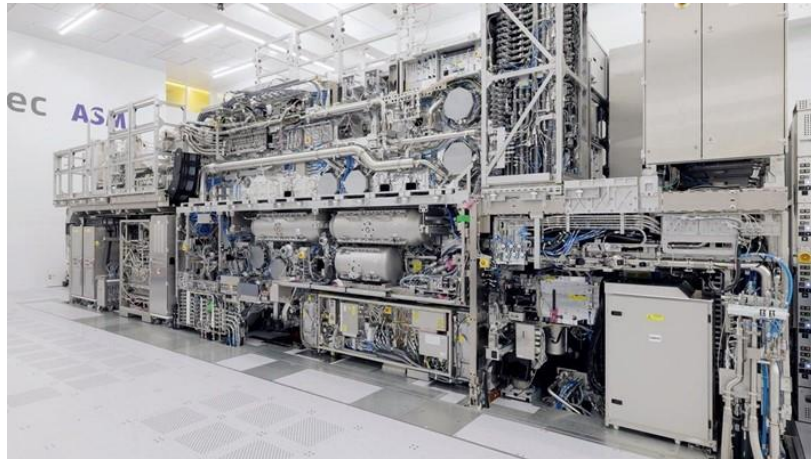


Figure 15 : photo d'une machine EUV (Twinscan Exe:5000 assemblé) chez ASML⁴⁰

I.2. Tensions géopolitiques et “guerre” des semi-conducteurs

I.2.1. L'importance de Taïwan dans l'économie mondiale

I.2.1.1. Contexte historique de la réussite technologique de Taïwan

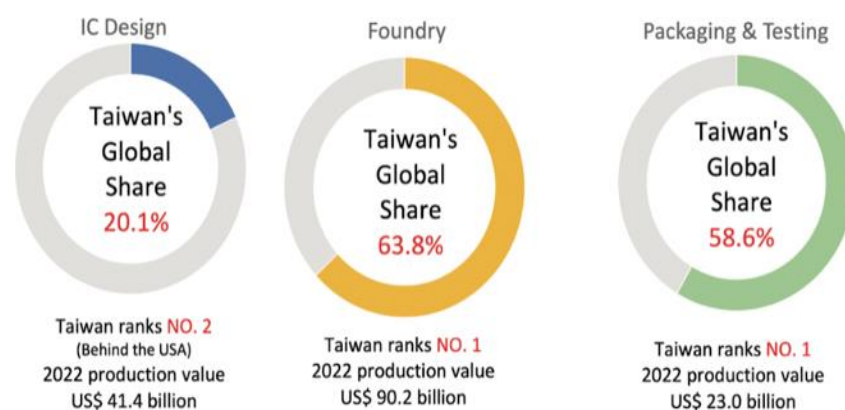
Au début des années 1960, Taïwan a décidé de se concentrer sur l'industrie des semi-conducteurs dans le cadre de sa stratégie nationale. Les entreprises taïwanaises étaient alors moins compétitives que leurs homologues japonaises et coréennes, principalement par manque de connaissances et de ressources financières. A la fin des années 1960, de grandes entreprises américaines, japonaises et européennes ont pourtant installé leurs usines de production à Taïwan pour profiter de sa main-d'œuvre nombreuse et bon marché. Créant en 1974 un “Industrial Technology Research Institute” (ITRI), laboratoire public de recherche dédié à l'acquisition de connaissances dans le secteur des semi-conducteurs, Taïwan a réussi à réduire l'écart. L'ITRI a acquis des informations en achetant des licences de produits, en collaborant avec des entreprises japonaises et américaines (Radio Corporation America a notamment formé des ingénieurs et scientifiques taïwanais aux Etats-Unis⁴¹), et en améliorant ses produits grâce à des activités de R&D. En 1980, le gouvernement taïwanais a fondé la première société de semi-conducteurs issue de l'ITRI : United Microelectronics Corporation (UMC), aujourd'hui troisième fonderie de semi-conducteurs au monde ; puis en 1987, il a financé la création de Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC), avec d'autres investisseurs dont Philips. TSMC s'installe dans les locaux de l'ITRI et utilise les technologies que le laboratoire a développées. Cette collaboration étroite ainsi que le soutien gouvernemental ont été déterminants dans le succès initial de TSMC. La croissance rapide d'UMC, et plus particulièrement de TSMC, grâce à leurs fonderies de haute qualité, peu coûteuses et fiables, a attiré de nombreux investissements étrangers. Taïwan devenue légitime, performante et compétitive dans l'industrie du semi-conducteur, de nombreuses sociétés étrangères y externalisent leur production.

En 1980, le parc industriel scientifique de Hsinchu, souvent comparé à la Silicon Valley américaine, vient renforcer l'écosystème taïwanais. Stratégiquement situées à proximité de deux universités d'ingénierie de renom et de l'ITRI, les entreprises de ce parc industriel ont bénéficié de l'accès à une main-d'œuvre hautement qualifiée. La majorité des entreprises taïwanaises de semi-conducteurs, dont UMC et TSMC, s'y trouvent, une concentration qui favorise la collaboration interentreprises et l'intégration des chaînes d'approvisionnement au sein de l'industrie.

⁴⁰ <https://www.comptoir-hardware.com/actus/business/47387-sans-surprise-un-scanner-high-na-dasml-coute-une-blinde.html>

⁴¹ [Histoire des semiconducteurs à Taïwan • Bibliothèque • Zeste de Savoir](#) (2022)

Un autre élément clé du succès de l'industrie taïwanaise est le phénomène de "*fuite inverse des cerveaux*". Ce concept désigne le retour de ressortissants taïwanais dans leur pays d'origine à partir des années 1980, après s'être expatriés aux USA entre les années 50 et 70, où ils ont suivi des formations supérieures. De retour à Taïwan, ils apportent une expertise précieuse, facilitant le transfert de connaissances essentielles pour l'industrie naissante des semi-conducteurs. Morris Chang en est le parfait exemple. Après avoir occupé le poste de vice-président de Texas Instruments, l'une des entreprises pionnières du domaine des semi-conducteurs, il rentre à Taïwan en 1985 et prend la tête de l'ITRI, avant de fonder TSMC en 1987, qu'il dirige jusqu'en 2005. Il contribue également à la création d'autres entreprises de semi-conducteurs à Taïwan, telles que Vanguard.⁴²



Source: IEK Consulting, ITRI, Industrial Development Bureau (IDB), Ministry of Economic Affairs (MoEA), R.O.C. (Taiwan), July 2023.

Figure 16 : les différentes parts de marché de Taïwan dans l'industrie des semi-conducteurs en 2022

Les Taïwanais qualifient parfois leur industrie de « *montagne sacrée qui protège la nation* ». L'île fabrique plus de 90 % des semi-conducteurs les plus avancés⁴³, qui utilisent le processus dit des trois nanomètres. Tous ces produits sont fabriqués par TSMC, de loin la plus importante entreprise de Taïwan. La domination du marché mondial des puces signifie que l'industrie est extrêmement importante pour l'économie taïwanaise, représentant 13 à 15 % de son PIB⁴⁴ et 40 % de ses exportations l'année dernière⁴⁵. Le succès de Taïwan et son influence majeure dans l'industrie des semi-conducteurs est un modèle que de nombreux pays émergents souhaiteraient répliquer.

Cette position dominante permet à Taïwan de jouer un rôle déterminant dans la chaîne d'approvisionnement mondiale des semi-conducteurs, influençant ainsi leur disponibilité et leur prix à l'échelle internationale. Cette influence majeure place Taïwan au cœur des enjeux géopolitiques et économiques actuels. Les semi-conducteurs taïwanais sont devenus le socle de l'économie mondiale.

1.2.1.2. TSMC, le bouclier de Taïwan ?

TSMC a été fondée en 1987 par Morris Chang, un homme d'affaires d'origine chinoise, qui a fui le pays lors de la prise de pouvoir des communistes en 1949. Diplômé d'Harvard, où il était le seul étudiant chinois de sa classe, il est engagé par Texas Instruments en tant qu'expert fabrication et contribue à l'augmentation des rendements sur les lignes de production. Au cours de ses dernières années chez le

⁴² Lukas Kankkunen (2022) - page 17 [THE RISE OF THE TAIWANESE SEMICONDUCTOR INDUSTRY](#)

⁴³ Benjamin Terrasson (2024) [Le nouveau gouvernement de Taïwan confirme qu'il pourra stopper la fabrication de semi-conducteurs à distance en cas d'invasion chinoise.](#)

⁴⁴ [Taiwan—The Silicon Island](#) (2024)

⁴⁵ Maxime Recoquillé (2024) [TSMC, le "bouclier" de Taïwan : et si l'avenir de l'île dépendait de son fleuron ? – L'Express](#)

pionnier américain, Chang réfléchit à un nouveau modèle d'entreprise pour l'industrie des semi-conducteurs.

À l'époque, la majorité des puces étaient conçues et fabriquées au sein de la même société (modèle IDM). Les quelques entreprises ayant un modèle fabless devaient confier la fabrication de leurs conceptions aux fonderies IDM. Or ces dernières favorisaient leur propre production et avaient de plus accès aux nouvelles conceptions des fabless.

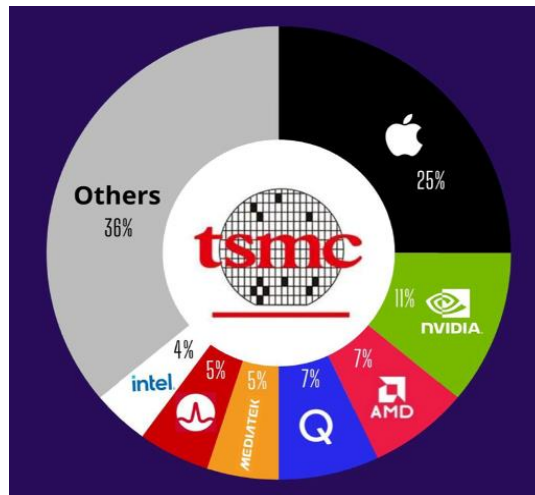


Figure 17 : Recettes de TSMC en 2023 (par client)

Fort de cette observation, Chang décide de créer une fonderie pure (TSMC), une véritable révolution à l'époque car les fabless n'avaient plus à s'inquiéter de la copie de leurs conceptions. TSMC fabrique aujourd'hui des semi-conducteurs pour de nombreux clients américains tels qu'Apple, Qualcomm, NVIDIA ou AMD (cf Figure 17). Cette innovation a marqué un grand changement dans l'industrie, le nombre d'entreprises en modèle fabless ayant explosé après la création de TSMC. Sous la direction de M. Chang, elle est devenue une puissance industrielle, favorisant les collaborations, repoussant les limites technologiques et tirant tout l'écosystème mondial vers l'avant. TSMC s'est assuré une place de leader sur le marché grâce à des investissements considérables en R&D. Si l'on compare l'industrie de la fonderie entre 1999 et 2009, on constate que TSMC a pu convertir son avance en termes de revenus en une position dominante sur le marché, avec un pouvoir quasi monopolistique. Le tableau (cf. Figure 18) montre que le taux de croissance du chiffre d'affaires de TSMC a été plus rapide que celui de ses concurrents entre 1999 et 2009, et qu'il a pu accroître son avance sur le marché de la fonderie. Avec l'avènement des smartphones (sortie de l'iPhone en 2007) TSMC a consolidé sa place de leader car il a su se positionner comme un acteur agile et innovant, contrairement à des acteurs comme Intel, incapable de s'adapter aux exigences du marché mobile.

		TSMC (No.1)	UMC (No.2)	Chartered (No.3)	SMIC (No.4)
Revenues	2009	9,246	2,857	1,450	1,071
	2004	8,117	4,077	932	975
	1999	2,333	930	694	N/A
Growth Rate (/year)		14.8%	11.9%	7.6%	1.9%

Image 18 : Recettes des 4 plus grosses fonderies entre 1999 & 2009 (Oh & Cusumano. 2010)

Aujourd'hui, la quasi-majorité des processeurs les plus avancés au monde – ceux qui équipent les iPhones, PC, applications d'IA, centres de données et infrastructures de télécommunications – ne peuvent être fabriqués que par TSMC à Taïwan. L'entreprise est devenue un symbole puissant, souvent désigné comme le « *bouclier de silicium* » de Taïwan. Dans un contexte de tensions géopolitiques accrues dans la région indo-pacifique, la capacité de Taïwan à produire des puces informatiques de pointe, cruciales pour l'électronique grand public et le matériel militaire, lui confère une importance stratégique majeure. Un conflit à Taïwan aurait des conséquences beaucoup plus visibles à l'international. Le groupe Rhodium, un organisme de recherche, estime qu'un blocus chinois de Taïwan pourrait coûter plus de 2000 milliards de dollars à l'économie mondiale⁴⁶.

1.2.1.3. Position géographique et son accès à la mer de Chine

L'importance de Taïwan ne se limite pas à son rôle prépondérant dans l'industrie des semi-conducteurs. En effet, sa position géographique, notamment son accès à la mer de Chine méridionale via le détroit de Taiwan, fait de l'île un territoire hautement convoité. Elle constitue également le principal lien maritime entre les océans Pacifique et Indien, reliant l'Asie de l'Est à l'Europe et au Moyen-Orient. Selon l'AFP, plus de 5000 milliards de fret annuels⁴⁷ transitent par ces eaux, lui conférant une valeur commerciale et stratégique considérable. De plus, la mer de Chine méridionale est riche en ressources halieutiques, et son sous-sol contient des réserves significatives de pétrole et de gaz.

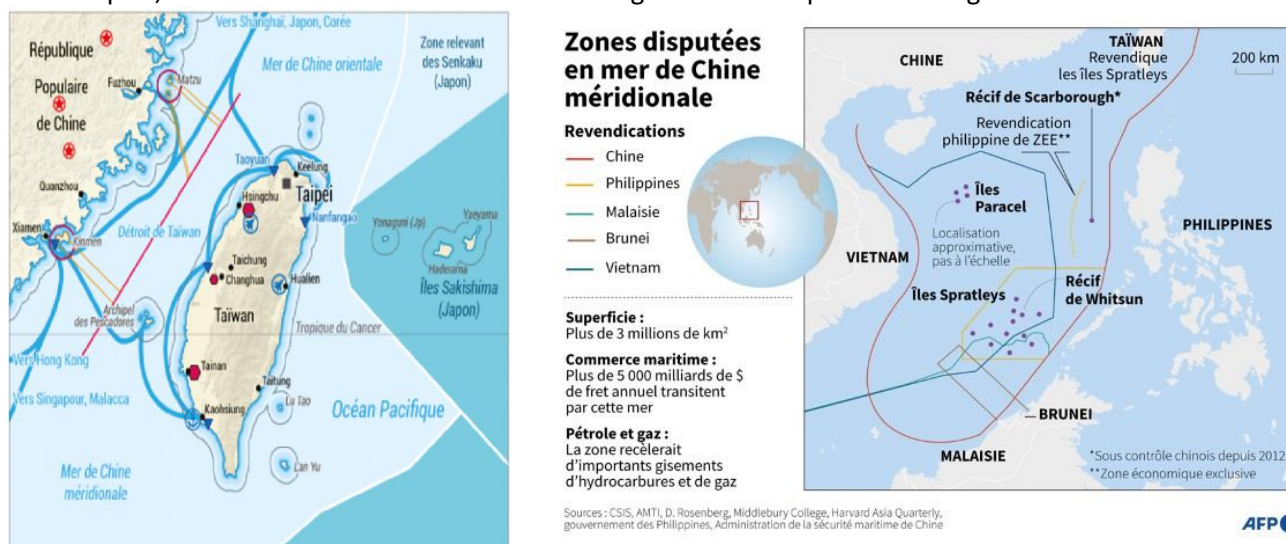


Figure 19 : A Gauche - Le détroit de taiwan : passage maritime stratégique pour l'économie mondiale⁴⁸ Figure 20 : A Droite - Tensions en mer de Chine méridionale

Depuis quelques années, les tensions se sont intensifiées entre les pays riverains de la mer de Chine méridionale. Brunei, la Malaisie, les Philippines, Taïwan et le Vietnam revendiquent des droits sur divers îles et îlots, notamment l'archipel des Spratleys⁴⁹. La Chine, quant à elle, cherche à étendre sa souveraineté sur 80% de cette mer⁵⁰. Le détroit de Taïwan est donc stratégique pour la Chine, d'où ses actions dans la région. Il est important de rappeler que la Chine considère Taïwan comme faisant partie intégrante de son territoire et ne reconnaît donc pas de frontière entre elle et l'ancienne Formose. Les tensions dans le détroit ont par exemple motivé les efforts de modernisation militaire et les adaptations doctrinales de la Chine. En outre, les États-Unis, en tant que puissance régionale, ont également un intérêt stratégique dans la région, ce qui complique encore davantage la situation géopolitique.

⁴⁶ Charlie Vest, Agatha Kratz et Reva Goujon (2023) [The Global Economic Disruptions from a Taiwan Conflict – Rhodium Group](#)

⁴⁷ [Comprendre les tensions en mer de Chine méridionale - Geo.fr](#) (2023)

⁴⁸ [Le détroit de Taïwan, un passage maritime stratégique revendiqué par la Chine — Géoconfluences](#)

⁴⁹ (2024) [Mers de Chine : la nouvelle guerre froide ? • FRANCE 24](#)

⁵⁰ Benjamin Blandin (2023) : [Îles artificielles : la stratégie risquée de Pékin en mer de Chine méridionale](#)

Les îles de Taïwan et du Japon forment ce que l'on appelle la "première chaîne d'îles"⁵¹. Si la Chine devait s'en emparer, cela limiterait considérablement la liberté de navigation dans ces eaux, y compris pour la marine US, et donc sa capacité à contenir la Chine en cas de conflit majeur.



Figure 21 : l'organisations des bases militaires sino-américaines en Asie Pacifique⁵⁹

I.2.1.4. Une guerre inévitable ? Chine vs USA

Taïwan et son industrie des semi-conducteurs constituent l'un des plus grands enjeux de l'économie mondiale. Comme abordé précédemment, tout, des téléphones aux modèles d'intelligence artificielle, repose sur les puces que Taïwan excelle à fabriquer. Elle possède certaines des usines les plus avancées au monde, ce qui en fait un concurrent redoutable pour la Chine dans ce secteur stratégique. Or l'Empire du Milieu considère Taïwan comme une province renégate qu'elle menace d'envahir depuis plus de 70 ans.⁵² Jusqu'à présent, une guerre semblait inenvisageable grâce à la protection des États-Unis. Cependant, au cours de la dernière décennie, la relation sino-américaine a basculé de la coopération économique à la concurrence ouverte. Le président chinois, Xi Jinping, a développé son armée à un rythme alarmant. La Chine se vante d'avoir la plus grande marine du monde, avec une force prévue de 400 navires d'ici 2025⁵³ (l'Amérique en a moins de 300, Taïwan seulement 26). Elle a également renforcé son arsenal nucléaire, augmenté sa production de missiles afin d'éloigner les forces étrangères du détroit de Taïwan, et intensifié la pression sur Taipei en multipliant les manœuvres d'intimidation dans les eaux taïwanaises : en juillet dernier, 66 avions militaires chinois ont été détectés au large de l'île en moins de 24h⁵⁴. Bien que la Chine dispose d'une puissance militaire considérable, Taïwan bénéficie du soutien international, notamment des États-Unis, qui fournissent des armes et des technologies de défense. Le président américain Joe Biden a promis – à plusieurs reprises – que les États-Unis défendraient Taïwan contre une éventuelle attaque de la Chine.⁵⁵

La domination chinoise dans l'Indopacifique a de larges répercussions : la région représente environ deux tiers de la population mondiale, elle abrite plusieurs démocraties prospères (Japon, Corée du Sud, Australie...), qui dépendent à divers degrés de la garantie de sécurité offerte par les États-Unis. Si la

⁵¹ Cleo Paskal (2024) : [Les stratégies d'influence chinoises placent les îles du Pacifique en première ligne – une fois de plus - Le Rubicon](#) ⁵⁹ [Chine-USA : tensions autour de Taïwan - Investig'action](#)

⁵² [Taïwan VS Chine : une guerre inévitable ? #Mappemonde Ep. 8.](#) (2023)

⁵³ Justin Klawans (2024) [Troubled waters: The Navy is struggling to build warships](#)

⁵⁴ [Tensions en Asie : 66 avions militaires chinois détectés par Taïwan, un record en 24 heures - lindependant.fr](#)

⁵⁵ Dean P.Chen (2024) [What to Make of Biden's Latest Promise to Defend Taiwan – The Diplomat](#) ⁶⁴ Gideon Rachman (2023) [Why Taiwan matters to the world](#)

Chine venait à compromettre l'autonomie de Taïwan, soit par une invasion militaire, soit en forçant l'île à une union politique contre son gré, elle serait en mesure de supplanter les États-Unis en tant que première puissance mondiale. Le contrôle des semi-conducteurs les plus avancés au monde donnerait à Pékin une mainmise toujours plus importante sur l'économie mondiale.⁶⁴

De son côté, Taïwan se prépare à une éventuelle attaque de la Chine en faisant du lobbying à Washington et en maintenant des relations politiques étroites avec les États-Unis. Pour protéger ses savoirs, Taïwan a mis en place une politique spécifique de contre-espionnage, avec une cellule dédiée aux semi-conducteurs.⁵⁶ Par ailleurs, Taïwan éprouve des difficultés à se diversifier géographiquement et ne souhaite pas exporter ses procédés les plus critiques. L'entreprise hésite à transmettre son savoir-faire de production de 3 nm hors de son territoire, craignant des fuites technologiques et une diminution de sa puissance. Elle le fera sans doute une fois que ces procédés seront dépassés et gardera toujours ses technologies les plus matures sur son territoire.

Entre Washington et Pékin, la guerre des semi-conducteurs est bel et bien déclarée. En tant que leader mondial des semi-conducteurs, Taïwan se trouve au cœur de la rivalité sino-américaine. Sa position stratégique et son expertise technologique en font une cible de choix pour les ambitions chinoises, et un allié crucial pour les États-Unis. Ses efforts pour se préparer à une éventuelle attaque et protéger ses savoirs technologiques montrent à quel point l'île est consciente des enjeux géopolitiques et économiques. Le "bouclier de silicium" de Taïwan reste un atout majeur, mais les défis de diversification et de protection technologique demeurent des préoccupations constantes.

1.2.2. USA - Chine : un affrontement déterminant pour l'avenir mondial

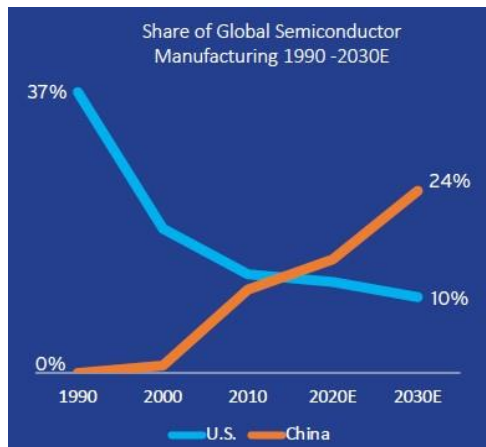
Les semi-conducteurs se trouvent au cœur de la rivalité entre la Chine et les États-Unis. Les deux nations reconnaissent l'importance stratégique des semi-conducteurs et investissent massivement dans ce secteur. Cette confrontation sino-américaine dépasse la simple supériorité technologique, englobant des enjeux géopolitiques, économiques et de sécurité nationale.

1.2.2.1. USA : comment retrouver sa suprématie ?

Alors que les puces sont une invention américaine, le nombre de fabricants américains a considérablement diminué au fil des années. Selon McKinsey, 37% des semi-conducteurs produits dans le monde en 1990 étaient fabriqués aux USA. Trois décennies plus tard, ce n'est plus que 12%.⁵⁷ L'armée américaine a été la première grande source de demande pour ces puces à leur invention. À l'époque, un nombre restreint d'entreprises d'électronique de pointe étaient capables de produire cette technologie sophistiquée. Puis l'industrie des puces s'est rapidement mondialisée dans les années 1970. Une spécialisation s'est mise en place pour gagner en efficacité : progressivement, une distinction s'est opérée entre les concepteurs de puces (fabless), aujourd'hui majoritairement américains, et les fabricants de semi-conducteurs (fonderies) comme TSMC, qui produisent pour de multiples clients concepteurs (NVIDIA, Qualcomm, AMD...).

⁵⁶ Léna Corot (2022) [Taïwan étoffe son arsenal législatif contre le vol de secrets industriels](#)

⁵⁷ Sherry Van Sloun (2023) : [U.S. Investment in Semiconductor Manufacturing: Building the Talent Pipeline | Council on Foreign Relations](#) ⁶⁷ [Turning the Tide for Semiconductor Manufacturing in the U.S.](#)



Dans leur quête de profits à court terme, les États-Unis ont encouragé la production de semi-conducteurs au Japon, à Singapour, en Corée du Sud et à Taïwan. L'Asie, avec sa main-d'œuvre bon marché et abondante, est devenue une destination privilégiée pour les entreprises américaines cherchant à assembler les semi-conducteurs à moindre coût. Cette collaboration a renforcé les liens entre les États-Unis et les pays d'Asie de l'Est, ces derniers utilisant leur rôle croissant dans l'industrie des puces pour s'assurer du soutien militaire américain.

Figure 22 : USA vs China : part de la fabrication des semi-conducteurs (1990-2030)⁶⁷

Cependant, entre les années 1990 et 2000, les semi-conducteurs ont évolué du domaine militaire pour devenir des composants technologiques omniprésents dans la société moderne. Cette rapide transformation n'avait pas été anticipée par les entreprises américaines, entraînant une diminution significative de la part des États-Unis dans la production mondiale de semi-conducteurs. Aujourd'hui, cette situation est perçue comme un risque stratégique majeur. Les tensions géopolitiques autour de Taïwan et la pénurie de semi-conducteurs durant la crise de la Covid-19 ont encouragé la mise en place d'aides publiques pour la construction de nouvelles usines à travers les États-Unis.

L'US Chips Act, la riposte américaine

La société américaine veut redevenir autosuffisante et la mise en place de l'US CHIPS Act en est la preuve (cf. *Section 1.5.1* ci-dessous). Le "US CHIPS and Science Act" est le plus important investissement public des États-Unis depuis la Seconde Guerre mondiale (cf. *interview Estelle Prin*). Il vise à soutenir la souveraineté américaine en matière de fabrication de semi-conducteurs, à renforcer sa compétitivité et à garantir sa sécurité nationale. L'enveloppe de 280 milliards de dollars, dont 53 milliards destinés spécifiquement au secteur des semi-conducteurs⁵⁸, a pour objectif de construire, agrandir ou moderniser des installations et des équipements nationaux pour la fabrication, le test et l'assemblage avancé de puces. Il marque un engagement sérieux à renforcer l'industrie américaine des semi-conducteurs et à contrecarrer la capacité de la Chine à exploiter les technologies avancées de semi-conducteurs pour des applications militaires. L'un des points mentionnés par le département du Commerce est des plus explicites. Les entreprises bénéficiaires auront l'interdiction durant dix ans de s'engager dans des transactions importantes en Chine ou dans d'autres pays préoccupants⁵⁹. À ce jour, le gouvernement américain a alloué plus de 35 milliards de dollars de financement direct à des entreprises telles que GlobalFoundries, Intel, TSMC, Samsung Electronics et Micron⁶⁰. Toutes les subventions accordées au titre de la loi CHIPS devraient être allouées d'ici la fin de l'année 2024. Le gouvernement américain est très actif, usant de son influence et légiférant pour protéger et promouvoir ses intérêts dans ce domaine. Les États-Unis surveillent de près les ambitions de la Chine dans les semi-conducteurs, particulièrement préoccupés par les efforts de cette dernière pour dominer cette industrie, qu'ils considèrent représenter une menace pour leur sécurité nationale : restrictions à l'exportation et investissements publics, ils déploient tous les moyens et sont déterminés à augmenter la pression sur Pékin.

⁵⁸ Charlotte Trueman (2024) : [US gov't awards CHIPS Act funding to three semiconductor R&D facilities - DCD](#)

⁵⁹ Sujai Shivakumar, Charles Wessner et Thomas Howell (2024) : [A World of Chips Acts: The Future of U.S.-EU Semiconductor Collaboration](#)

⁶⁰ Charlotte Trueman (2024) [US gov't to add terms and conditions to CHIPS Act funding; bans purchase of equipment from China and Russia - DCD](#) ⁷¹ [Country market share of semiconductor industry](#)

Tripler la capacité de fabrication d'ici 2032, l'ambition assumée des USA

Les États-Unis gardent un rôle ultradominant dans la chaîne de valeur des semi-conducteurs. Ils ont par exemple la plus grosse part de marché sur le secteur de la conception (fabless) avec 61% en 2021⁷¹. Des géants technologiques tels qu'Intel, Qualcomm et AMD sont reconnus pour leur leadership dans la conception de semi-conducteurs, notamment dans les domaines des processeurs et des puces pour appareils mobiles et serveurs, tandis que NVIDIA conçoit des puces pour l'intelligence artificielle. L'administration Biden s'efforce de ramener les usines de semi-conducteurs sur le sol américain et de réduire la dépendance vis-à-vis de Taïwan. Selon les estimations de la Semiconductor Industry Association (SIA), les États-Unis augmenteront leur capacité de fabrication de puces plus que tout autre pays au cours de la prochaine décennie, ce qui est une conséquence directe de la loi CHIPS.⁶¹

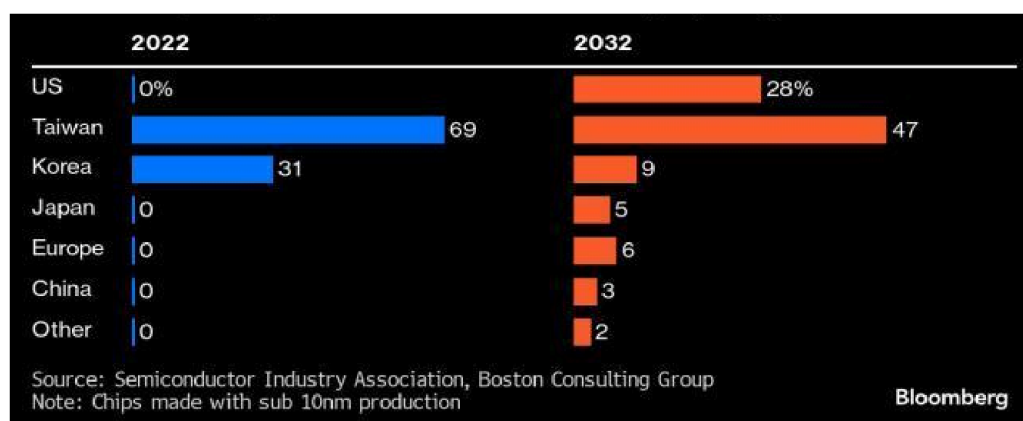


Figure 23 : Parts de marché dans la production des puces avancées (2022 vs 2032)

Selon un rapport du Boston Consulting Group⁶², les États-Unis devraient tripler leur capacité de fabrication domestique de semi-conducteurs d'ici à 2032 par rapport à 2022. Leur part dans la capacité mondiale de fabrication de puces passerait de 10 à 14 % sur cette période. Mais ce sont surtout les avancées américaines dans le domaine des puces logiques qui sont les plus importantes. La SIA estime qu'ils augmenteront leur production nationale de puces logiques avancées basées sur des technologies de processus inférieures à 10 nm, de 0 à 28 % du total mondial d'ici 2032⁶³. Il est indéniable qu'ils ont commis une erreur stratégique en permettant aux entreprises de Taïwan, de Corée, du Japon et d'Europe de prendre le contrôle de la fabrication des puces. Cependant, ils dominent toujours une partie significative de la chaîne de valeur grâce à leur maîtrise de la conception, la majorité des fabless étant situées sur le sol américain. Cet avantage est néanmoins menacé par la Chine, qui a lancé un programme d'investissement massif pour combler son retard et rivaliser avec les États-Unis. Cela demeure un point faible de la Chine, et les États-Unis déploient tous leurs efforts pour entraver Pékin. La rivalité technologique entre les deux puissances n'a jamais été aussi intense et ne montre aucun signe d'apaisement.

1.2.2.2. Chine : comment rattraper son retard ?

La Chine est le premier importateur de semi-conducteurs du monde. Ses dépenses d'importations de semi-conducteurs équivalent à ses dépenses d'importation de pétrole, de manière constante depuis une décennie. En 2021, elle a importé pour 430 milliards de dollars de semi-conducteurs, mettant en lumière sa forte dépendance aux marchés étrangers pour satisfaire ses besoins en puces (36% de ces importations proviennent de Taïwan). Malgré des investissements considérables dans le développement de sa propre industrie, la Chine ne parvient à produire que 15,7 % de sa demande

⁶¹ James Morra (2024) [The U.S. Before and After the CHIPS Act](#)

⁶² BCG (2024) [Semi-conducteurs : les États-Unis prévoient de tripler leur production domestique d'ici 2032](#)

⁶³ James Morra (2024) [The U.S. Before and After the CHIPS Act](#)

interne.⁶⁴ Pour réduire cette dépendance, la Chine a lancé l'initiative « Made in China 2025 », qui vise à accroître la production nationale de semi-conducteurs. Cette stratégie inclut des investissements massifs dans la R&D, la construction de nouvelles usines de fabrication, et le soutien aux entreprises chinoises pour qu'elles montent en compétence dans ce domaine. La Chine compte aujourd'hui plus d'usines de semi-conducteurs en construction que n'importe quel autre pays au monde. Selon un rapport publié en janvier par le cabinet d'études TrendForce, la Chine compte 44 usines de fabrication de plaquettes de semi-conducteurs en activité, auxquelles s'ajoutent 22 usines en construction⁶⁵. Au total, c'est près de 150 milliards de dollars que le gouvernement chinois va investir entre 2014 et 2030 pour combler son retard⁷⁷.

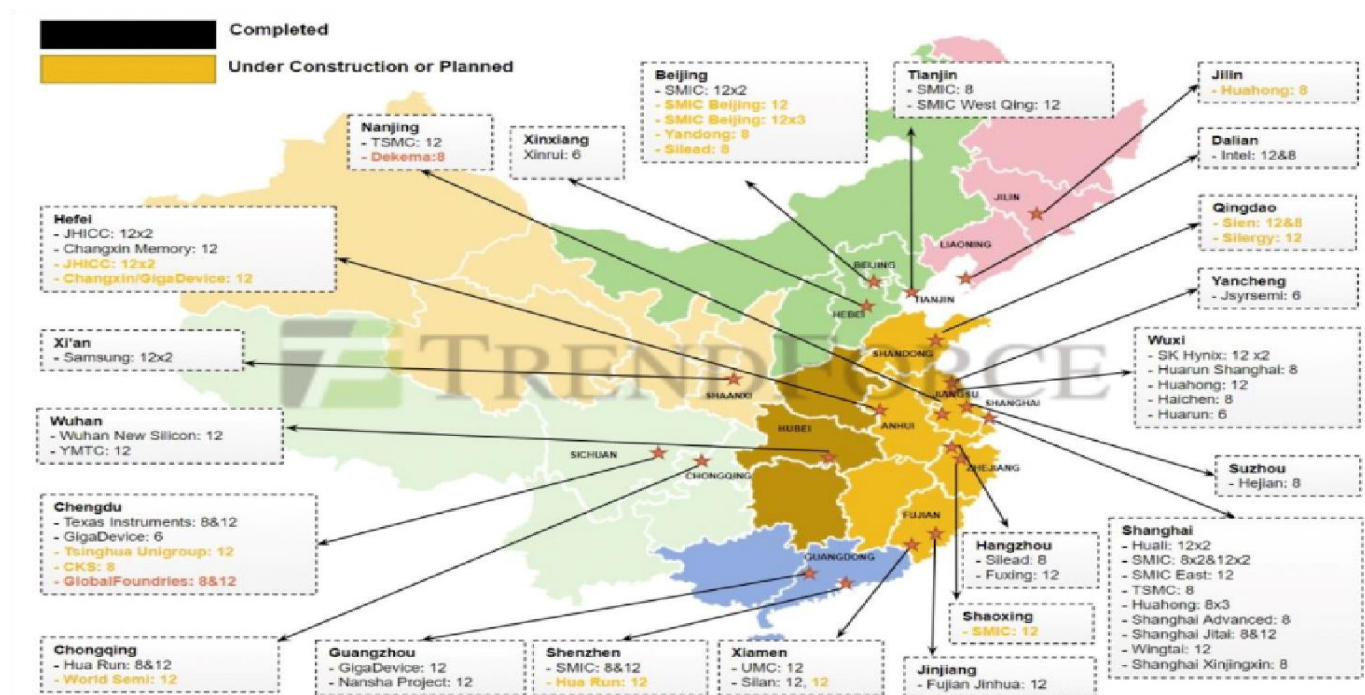


Figure 24 : usines de semi-conducteurs en Chine (actuelles & en construction)⁶⁶

Le financement public de la production de semi-conducteurs est assuré par différents canaux, le plus important étant le "China Integrated Circuit Investment Fund" du gouvernement central, également connu sous le nom de "Big Fund". Il compte le ministère des finances, China Tobacco, China Telecom, ainsi que plusieurs gouvernements locaux et fonds d'investissement parmi ses actionnaires, et comporte trois phases⁶⁷, chacune ayant des objectifs de collecte de fonds et des priorités d'investissement différents :

- **Phase I (2014-2019)** : levée de 21,8 milliards de dollars en 2014 investis dans 23 entreprises nationales, principalement de fabrication, conception et emballage de puces.
- **Phase II (2019-2024)** : levée de 29,08 milliards de dollars en 2019 davantage concentrée sur les machines de gravure, les films, les tests et les équipements de nettoyage, ainsi que sur les nouvelles applications rendues possibles par la 5G et l'IA.
- **Phase III (2023-2028)** : levée de 41 milliards de dollars en 2023 investis dans les nœuds avancés (7 nm ou moins), puces logiques et de mémoire, ainsi que dans les technologies émergentes telles que l'informatique quantique.

⁶⁴ Guerre technologique : 10 points sur les semi-conducteurs | Le Grand Continent (2022)

⁶⁵ [News] Overview of China's Semiconductor Equipment Industry | TrendForce Insights (2024) ⁷⁷ SIA WHITEPAPER: TAKING STOCK OF CHINA'S SEMICONDUCTOR INDUSTRY (2021)

⁶⁶ La Chine pourrait doubler sa capacité de production de puces en 5 ans - VIPress.net

⁶⁷ Chen-Yuan Tung (2023) Page 17 - taiwan and the global semiconductor supply chain

Les entreprises chinoises ont également bénéficié d'une multitude d'avantages fiscaux, notamment des exonérations d'impôt sur les sociétés et un crédit d'impôt pour la R&D. L'industrie chinoise des semi-conducteurs s'est lancée dans une course effrénée, Pékin cherchant à se défaire de sa dépendance aux machines et brevets occidentaux. La pression exercée par les États-Unis avec ses contrôles d'exportation n'a fait qu'exacerber la situation. S'il est relativement facile pour les Américains d'assembler ailleurs qu'en Chine, il est beaucoup plus difficile pour la Chine d'accéder au savoir-faire nécessaire à la conception. Historiquement, la Chine s'est spécialisée dans l'assemblage, ce qui nécessite peu de savoir-faire, tandis que la conception est principalement le domaine des USA. Cela risque d'évoluer avec l'essor des "*chipelets*", des circuits intégrés minuscules contenant un sous-ensemble de fonctionnalités sous formes de puces empilées, requérant des techniques d'assemblage et de test beaucoup plus complexes.

Restrictions sur les métaux rares, la Chine contre-attaque

L'État chinois riposte dans les domaines où il possède un avantage stratégique, par exemple en restreignant l'exportation de certains métaux rares comme le gallium et le germanium, qui sont essentiels pour la fabrication de semi-conducteurs.

La Chine possède une grande partie des réserves mondiales de ces métaux, raffine 90 % de la production mondiale, et peut ainsi contrôler leur utilisation. Elle est également le premier producteur et exportateur mondial de graphite, tandis que les États-Unis en sont fortement dépendants, ainsi que la Corée, le Japon et l'Inde. En outre, les grands opérateurs de télécommunications tels que China Telecom, China Mobile et China Unicom, ont trois ans pour remplacer les semi-conducteurs étrangers, principalement ceux d'Intel et d'AMD. Enfin, la Chine a interdit l'utilisation des puces Micron (US) dans les infrastructures critiques⁸², estimant qu'elles présentaient des risques pour la sécurité des réseaux susceptibles d'affecter la sécurité nationale.

Washington en parallèle faisait pression pour qu'ASML (entre autres) n'exporte plus de technologies critiques vers la Chine. À cause de ces sanctions, la République Populaire s'est partiellement séparée de Taïwan. En conséquence, les exportations de puces taïwanaises vers la Chine ont chuté de 18 % en 2023, passant de 58 à 47 milliards de dollars⁸³. Les entreprises chinoises ne sont pas encore une menace technologique pour TSMC, mais elles représentent déjà une menace économique. Les mesures américaines n'ont pas réussi à étouffer les progrès technologiques chinois. Bien au contraire, elles ont incité la Chine à poursuivre une voie d'innovation indépendante afin de surmonter les défis liés aux technologies des semi-conducteurs.

Les sanctions américaines, un catalyseur pour l'innovation chinoise ?

Signe que Pékin avance dans son programme d'autosuffisance, SMIC, le premier fabricant chinois de microprocesseurs, lançait en 2024 sa production de semi-conducteurs de pointe (moins de 7nm) pour Huawei.⁸⁴ Les deux géants de l'industrie du semi-conducteur chinois ont annoncé pouvoir produire des puces en 7nm et même 5nm avant la fin de l'année. Bien que ces nouvelles puces soient une génération en dessous des plus avancées (actuellement à 3nm), cette alliance montre que l'industrie chinoise redouble d'ingéniosité malgré les contrôles d'exportation. Huawei, qui a débuté comme fabricant d'équipements de télécommunications, joue un rôle particulièrement important dans la volonté d'autosuffisance technologique de la Chine. À certains égards, Huawei est en train de devenir le leader d'une équipe nationale dans le domaine des semi-conducteurs. Au lieu de dépendre d'autres entreprises notamment étrangères pour de nombreux composants, Huawei intègre verticalement une grande partie de sa chaîne d'approvisionnement des semi-conducteurs. En tant que "chef d'équipe", Huawei joue souvent le rôle d'intégrateur, se rapprochant de plus en plus de son concurrent Samsung. La preuve de ces progrès : en septembre 2023, Huawei a dévoilé son nouveau téléphone Mate 60 Pro équipé d'une puce Kirin 9000s fabriquée localement, et qui se veut la remplaçante de la Kirin 9000 produite par TSMC. Cela illustre bien la réussite de Huawei en matière d'intégration de la chaîne d'approvisionnement.



L'utilisation de puces avancées que les restrictions US avaient tenté d'empêcher, montre que la coopération de Huawei avec d'autres entreprises chinoises comme SMIC porte ses fruits. L'entreprise s'attaque maintenant aux équipements de lithographie et a encore prouvé qu'elle pouvait atteindre des objectifs d'autosuffisance dans des technologies clés avec son succès dans les réseaux 5G.

Figure 25 : Huawei Mate 60 Pro

Un rapport de la Commission européenne souligne que les plus grandes entreprises chinoises accroissent sans relâche leurs dépenses en R&D, surpassant leurs homologues européennes pour se positionner en deuxième place derrière les États-Unis en 2022. Cette dynamique est portée par des géants de la technologie tels que Huawei réalisant 20,9 milliards d'euros d'investissements dans la R&D en 2022, soit une augmentation de 11 % en un an. Cette performance place Huawei au premier rang des entreprises chinoises et au cinquième rang mondial.⁶⁸

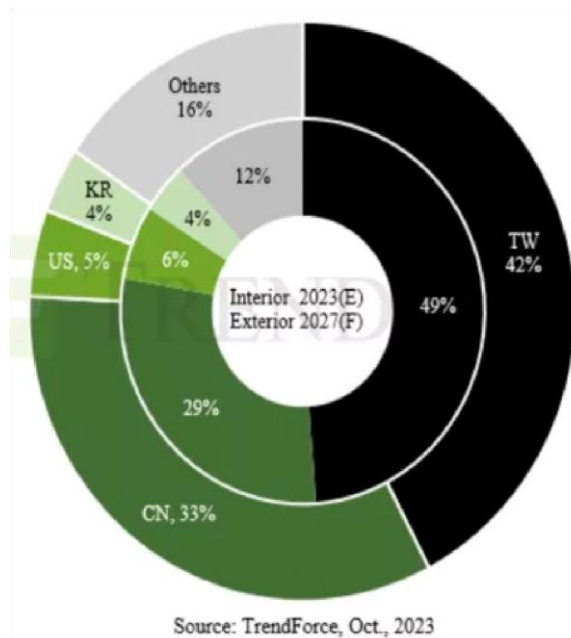


Figure 26 : projection parts de marché mondial sur les nœuds matures (2023-2027)

La domination chinoise dans les nœuds matures

Malgré son retard par rapport à TSMC ou Samsung sur les technologies de pointe, la Chine maîtrise les technologies pour les puces matures (28nm et plus) utilisées dans les voitures ou l'électronique grand

⁶⁸ Courrier International (2024) [Technologie. La Chine résiste aux restrictions américaines dans la guerre des puces](#)

public, et actuellement les plus utilisées dans les applications. Sa part dans leur production devrait passer de 29 à 33% entre 2023 et 2027⁶⁹ selon un rapport de TrendForce. D'ici fin 2024, 32 usines chinoises de fabrication de plaquettes augmenteront leur capacité pour les puces matures de 28 nm et plus⁷⁰.

Enfin, la Chine pratique couramment l'espionnage industriel pour acquérir des technologies. Elle accueille sur son territoire de nombreuses usines étrangères, dont des producteurs de semi-conducteurs utilisant la main-d'œuvre chinoise, ce qui constitue une faille exploitable par les services de renseignement chinois. A titre d'exemple, un cadre de Samsung aurait dérobé entre 2018 et 2019 des plans de l'entreprise dans le but de répliquer une usine de semi-conducteurs.⁷¹ On peut également citer l'affaire OMMIC dans la même veine⁷². La Chine progresse ainsi à grands pas vers le développement d'un solide écosystème. Sa stratégie reflète l'engagement inébranlable du gouvernement chinois malgré les sanctions américaines. Cependant, il reste un long chemin à parcourir. Les principaux défis auxquels elle est confrontée sont liés à l'écart technologique, aux tensions géopolitiques et aux difficultés du marché intérieur. Elle est encore en retard sur les leaders mondiaux qui maîtrisent mieux les technologies avancées de fabrication, en particulier de puces avec des nœuds de processus avancés. Les capacités chinoises dans la conception s'améliorent, mais sont encore en retrait par rapport à des entreprises bien établies comme Intel, AMD et NVIDIA. La voie que suivra la Chine pour progresser rapidement sur le plan technologique, afin d'atteindre son objectif d'autonomie stratégique est donc pleine d'incertitudes.

1.2.3. Japon, Corée du Sud, Europe... tout le monde veut sa part du gâteau ! Qui veut une place sur l'échiquier mondial ?

La campagne mondiale visant à mettre fin à la dépendance à l'égard de Taïwan a commencé il y a plusieurs années et bat son plein aujourd'hui. La Corée du Sud, le Japon, l'Europe, l'Inde, le Moyen-Orient..., nombreux sont ceux ayant montré leur ambition dans le domaine des semi-conducteurs. Au Japon, Rapidus, une entreprise soutenue par le gouvernement, affirme qu'elle sera en capacité de produire des puces à deux nanomètres d'ici 2027. Actuellement, Taïwan et la Corée du Sud représentent une part considérable de la production mondiale de semi-conducteurs, influençant ainsi les stratégies industrielles et politiques à l'échelle globale. Dans ce contexte, les tentatives des États-Unis et de l'Europe pour renforcer leur position, ainsi que les ambitions de la Chine pour accroître son autonomie dessinent un paysage complexe où technologie, économie et géopolitique s'entremêlent étroitement.

Corée du Sud, l'éternel numéro 2 ?

En 2022, la Corée du Sud a conservé sa position de deuxième contributeur au marché mondial des semi-conducteurs, avec des exportations totalisant 129 milliards de dollars⁷³. Elle est leader dans la fabrication des semi-conducteurs spécialisés dans les fonctions de mémoire (les "DRAM"), sous l'impulsion des géants Samsung Electronics et SK Hynix, qui détiennent collectivement plus de 70 % des parts du marché mondial de DRAM⁷⁴. Elle répond à la demande croissante de stockage de données

⁶⁹ Joanne Chiao (2023) [China's Share in Mature Process Capacity Predicted to Hit 29% in 2023, Climbing to 33% by 2027, Says TrendForce](#)

⁷⁰ Ridha Loukil (2024) [La Chine devrait ouvrir 32 nouvelles mégafabs d'ici fin 2024](#)

⁷¹ [L'affaire Ommic, l'illustration du contournement de l'embargo américain de la Chine par l'espionnage industriel | Ecole de Guerre Economique](#)

⁷² [L'affaire Ommic, l'illustration du contournement de l'embargo américain de la Chine par l'espionnage industriel | Ecole de Guerre Economique \(ege.fr\)](#)

⁷³ Park Dong-Youl (2023) [Semiconductor | InvestKOREA\(ENG\)](#)

⁷⁴ [South Korea Semiconductors](#). (2023)

à haute vitesse et de grande capacité, indispensable pour les smartphones, serveurs et centres de données. Cette prééminence dans ce domaine lui confère un rôle stratégique, car elle influence directement la performance et l'efficacité des appareils électroniques mondiaux.

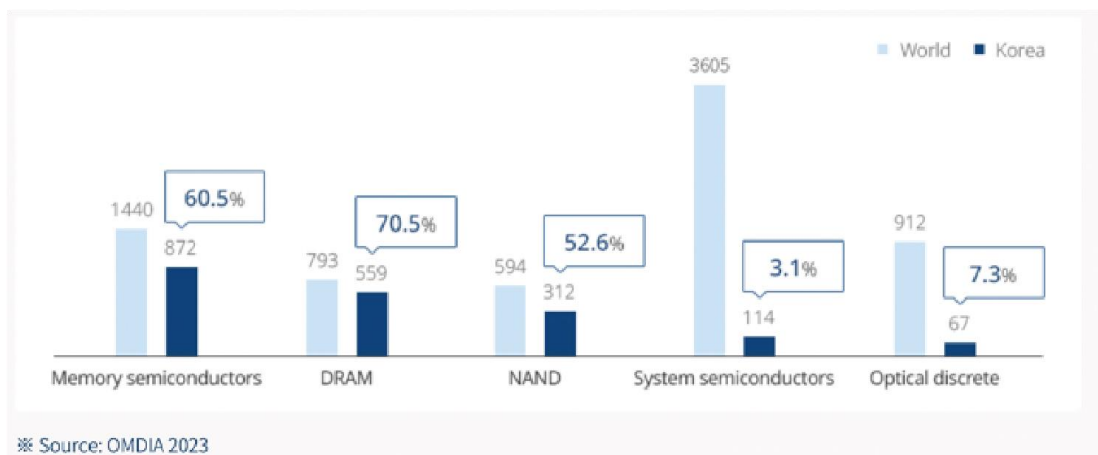


Figure 27 : Parts de marché des semi-conducteurs en Corée du Sud en 2022⁷⁵

La Corée possède la troisième plus grande installation de fabrication de semi-conducteurs au monde, après la Chine et Taïwan, et représente environ 18 % de la capacité de production mondiale. À l'instar de la Chine avec son initiative "Made in China 2025" et des États-Unis avec le "US Chips & Sciences Act", elle a déployé diverses stratégies pour dynamiser son industrie des semi-conducteurs, comme la stratégie « K-Semiconductor » annoncée par le gouvernement coréen en mai 2021, la stratégie « Semiconductor Powerhouse » lancée en juillet 2022, ou la stratégie « Strengthening the System Semiconductor Ecosystem » en mars 2023.⁷⁶ Dans le but de mettre en place une des meilleures chaînes d'approvisionnement en semi-conducteurs au monde, le gouvernement coréen aide fiscalement ses entreprises, assouplit les réglementations en droit du travail ou de l'environnement, facilite les investissements dans les semi-conducteurs⁷⁷. Grâce à ces aides, de nouvelles installations de fabrication sont en cours de construction à Pyeongtaek et Yongin.

Le gouvernement cherche à obtenir 229 milliards de dollars d'investissements du secteur privé pour établir le plus grand pôle de semi-conducteurs de haute technologie au monde autour de Séoul d'ici 2042⁷⁸. Cet investissement massif sera géré uniquement par Samsung Electronics. Le géant coréen prévoit d'investir la somme nécessaire à la construction du pôle de Yongin au cours des deux prochaines décennies. Cela pourrait changer la donne pour l'entreprise coréenne, jusqu'à défier la domination de TSMC sur le marché.

Samsung et TSMC sont les deux seuls à pouvoir produire en masse des puces utilisant les procédés de gravure les plus fins. Le renforcement de la capacité des fonderies de Samsung augmentera considérablement sa compétitivité en matière de développement technologique et de production, et sa capacité à répondre aux demandes du marché. En somme, la réussite de la Corée du Sud dans la fabrication de semi-conducteurs n'est pas fortuite, c'est le fruit d'investissements stratégiques, d'innovations technologiques en particulier dans les DRAM, et d'une vision à long terme. Elle est un pilier essentiel de l'économie mondiale des semi-conducteurs, influençant les dynamiques de marché, les stratégies d'entreprise et les politiques gouvernementales à travers le monde.

La renaissance de l'industrie japonaise des semi-conducteurs

⁷⁵ [Semiconductor | InvestKOREA\(ENG\)](#)

⁷⁶ Park Dong-Youl (2023) [Semiconductor | InvestKOREA\(ENG\)](#)

⁷⁷ Kim-Eun Jin (2024) [South Korea Unveils Comprehensive Support Plan for Semiconductor Ecosystem - Businesskorea](#)

⁷⁸ Lee Kyung-Min (2023) [Korea to build \\$229 bil. mega chip cluster in Seoul metro area by 2042](#)

Le Japon a une riche histoire en matière d'innovation dans l'industrie des semi-conducteurs. Avec des groupes comme Toshiba et NEC, le Japon dominait le marché mondial des micro-puces dans les années 1980 (cf image 28). Mais son importance dans ce domaine a ensuite fondu devant la concurrence taïwanaise et sud-coréenne : le Japon n'a plus que 10% de parts de marché dans ce secteur, contre plus de 50% à sa grande époque⁷⁹.

	1989	2023
1	● NEC	● TSMC
2	● Toshiba	● Intel
3	● Hitachi	● Samsung
4	● Motorola	● Nvidia
5	● Fujitsu	● Qualcomm
6	● Texas Instruments	● Broadcom
7	● Mitsubishi	● SK Hynix
8	● Intel	● AMD
9	● Matsushita	● Texas Instruments
10	● Philips	● Infineon

Figure 28 : Classement des fabricants de semi-conducteurs en fonction des revenus

Tableau: Le Grand Continent - Source: Siemens, Counterpoint, Nikkai Asia Research - Créé avec Datawrapper

L'explosion de la demande d'électronique grand public, en particulier dans le secteur du multimédia et de la téléphonie mobile, a joué un rôle essentiel dans ce déclin. Malgré une récession qui perdure depuis trois décennies⁸⁰, le Japon a réussi à maintenir une position de premier plan dans certains segments de l'industrie des semi-conducteurs, notamment dans les domaines de la mémoire, des capteurs d'images et des composants de puissance. Ainsi, elle attire toujours les investissements étrangers (notamment de TSMC, Samsung, Micron).

Tokyo souhaite mettre l'accent sur la R&D et la production de puces de nouvelle génération, afin de rattraper son retard sur ses voisins taïwanais et sud-coréens. En moins de trois ans, le Japon a investi environ 26 milliards de dollars pour dynamiser ce secteur⁸¹. Au total, près de 67 milliards⁸² de dollars devraient être investis d'ici 2030, avec l'aide du secteur privé. Ainsi la première usine de TSMC sur le territoire japonais a été inaugurée en février 2024 à Kikuyo (préfecture de Kumamoto), pour produire des puces de 12 à 28 nm. TSMC a annoncé la construction d'une seconde usine dans la même préfecture pour 2027, destinée à produire des puces avancées de 6 nm. L'investissement total de TSMC devrait dépasser les 20 milliards de dollars américains, et le groupe taïwanais envisage de construire une troisième, voire quatrième usine géante au Japon ultérieurement.⁸³ En août 2022, Toyota Motor, Sony Group, NTT et une dizaine d'autres entreprises ont constitué ensemble

“*Rapidus*”⁸⁴, avec pour objectif de créer un champion national produisant des puces de 2nm d'ici 2027. La première usine est déjà en construction sur l'île d'Hokkaido. Le projet Rapidus paraît ambitieux : l'industrie japonaise a pris une dizaine d'années de retard sur les leaders mondiaux par manque d'investissements. Elle ne maîtrise actuellement que des nœuds de 40nm - une collaboration avec IBM est censée améliorer ses chances de succès⁸⁵.

⁷⁹ La tribune (2024) [IA : pour rattraper son retard, le Japon va profiter d'un investissement de près de 3 milliards de dollars de Microsoft](#)

⁸⁰ Clay Halton (2024) [Lost Decade in Japan: History and Causes](#)

⁸¹ [Japan Making Major Investments in its Semiconductor Industry | Nippon.com](#) (2024)

⁸² Yoshiaki Nohara (2024) [Japan's \\$67 Billion Bet to Regain Title of Global Chip Powerhouse - Bloomberg](#)

⁸³ Ridha Loukil (2024) [Le Japon revient dans la course aux semi-conducteurs et veut créer trois Silicon Valley locales](#)

⁸⁴ [Semi-conducteurs : le Japon investit 3,6 milliards d'euros supplémentaires dans Rapidus | Les Echos](#) (2024)

⁸⁵ Willa Hahn (2024) [Rapidus and IBM Expand Collaboration to Chiplet Packaging Technology for 2nm-Generation Semiconductors](#)

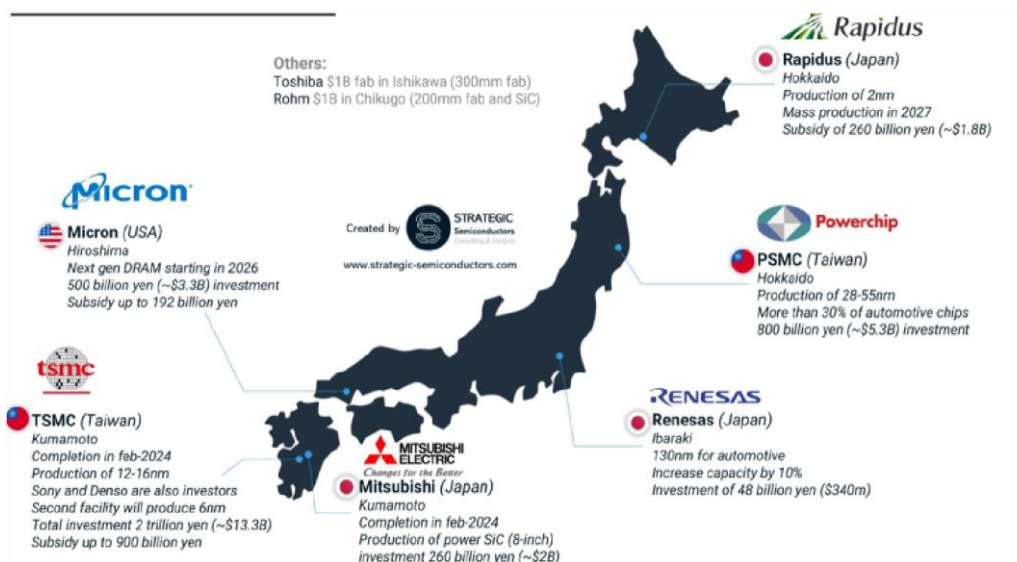


Figure 29 : les différentes usines semi-conducteurs (actuelles & en construction) au Japon ⁸⁶

Une nouvelle ère s'ouvre néanmoins pour le Japon - la construction de la mégafab de TSMC est un succès indéniable dans sa stratégie de reconquête. Le Pays du Soleil Levant a su tirer parti de ses atouts, notamment grâce à sa position unique dans l'écosystème mondial des semi-conducteurs: bien qu'il ne détienne que 10 % du marché mondial des puces, il jouit d'une présence significative en amont de la chaîne de production avec des équipementiers majeurs tels que Tokyo Electron, Screen ou Advantest, des fabricants de matériaux et de substrats comme Sumco ou Shin-Etsu Chemical, et des fournisseurs de résines photosensibles, de gaz de gravure et autres produits chimiques tels que JSR, Mitsubishi Chemical ou Mitsui Chemical.

L'Europe peut-elle tirer son épingle du jeu ?

La part de l'Union Européenne (UE) dans le chiffre d'affaires mondial des puces est passée de 20 % dans les années 1990 à 10 % aujourd'hui.¹⁰⁶ Elle produit uniquement des puces de 22 nm et plus. En réponse aux pénuries mondiales survenues pendant la pandémie et qui ont révélé le rôle vital des puces dans l'économie moderne, l'UE a promulgué son EU Chips Act effectif en 2023 (cf. *section 1.5.1*) prévoyant 43 milliards d'euros d'investissements (publics et privés) d'ici 2030. Le plan vise à surveiller les ruptures d'approvisionnement, renforcer le leadership technologique et accroître la production de semi-conducteurs en Europe.⁸⁷

⁸⁶ https://www.linkedin.com/posts/strategic-semiconductors_status-of-japanese-semiconductor-factory-activity-7141069298491392000--Dtv/ ¹⁰⁶ Kjeld Van Wieringen (2022) - page 3 (PDF) [Global Semiconductor Trends and the Future of EU Chip Capabilities](#)

⁸⁷ La tribune (2023) [Semi-conducteurs: l'Europe acte un plan à 43 milliards d'euros pour doper la production sur le continent](#)

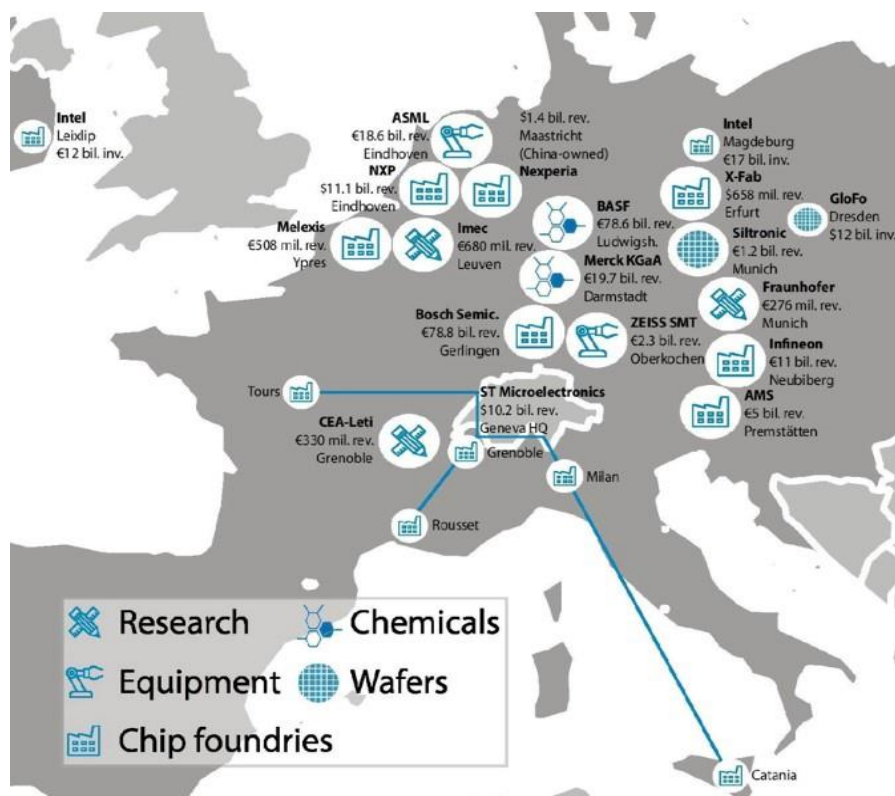


Figure 30 : cartographie européenne des entreprises de semi-conducteurs (2022)⁸⁸

L'Europe abrite des organisations de premier plan dans le domaine des semi-conducteurs, notamment ASML aux Pays-Bas, seul fabricant de machines de lithographie à ultraviolets extrêmes (EUV), une technologie essentielle pour la production de puces de très petite taille utilisées dans les appareils électroniques de pointe. Cette situation de monopole place ASML au centre de la compétition technologique mondiale. Le Vieux Continent regorge également de fabricants de semi-conducteurs (cf. Figure 30), souvent spécialisés dans l'approvisionnement des secteurs européens de l'automobile, la santé, et l'équipement industriel. C'est le cas de l'allemand Infineon, le hollandais NXP Semiconductors ou le franco-italien STMicroelectronics.

Avec l'implantation d'une première usine TSMC à Dresde (Allemagne) dont la mise en production est prévue courant 2027, l'Allemagne se positionne comme le fer de lance d'un mouvement de relocalisation. La région de Dresde est l'une des places fortes de la microélectronique en Europe, au point d'être surnommée depuis de nombreuses années la "Silicon Saxony".⁸⁹ Intel construit également une nouvelle usine en Allemagne et une autre en Irlande, soit plus de 30 milliards d'investissement cumulés¹¹⁰. Ces initiatives montrent que l'Europe, et en particulier l'Allemagne, est déterminée à renforcer sa position dans le secteur des semi-conducteurs et à sécuriser son approvisionnement. Cependant, en raison des coûts croissants de fabrication des semi-conducteurs, en particulier les plus avancés, les fabricants européens ne disposent pas des ressources nécessaires pour investir constamment et préfèrent se concentrer sur leurs points forts dans certaines niches technologiques (cf. Figure 31). Par conséquent, les capacités de fabrication de circuits logiques avancés de l'Europe accusent un retard de plusieurs générations par rapport aux principaux fournisseurs mondiaux, et l'Europe dépend des fabricants de puces étrangers pour les nœuds technologiques avancés. Il est toutefois important de noter qu'aucun dispositif semi-conducteur n'est produit dans le monde sans

⁸⁸ https://www.researchgate.net/figure/Major-European-semiconductor-assets-annual-revenues-and-FDI_fig3_364315887

⁸⁹ Luc Andre (2023) [Semi-conducteurs: l'attractivité de la «Silicon Saxony», un atout majeur pour l'Allemagne - l'Opinion](#) ¹¹⁰ Dominique Filippone (2022) [Intel investit 33 Md€ dans les semi-conducteurs en Europe](#)

équipement ou sous-système européen⁹⁰. L'Europe reste donc un acteur essentiel dans l'écosystème global des semi-conducteurs.



Figure 31 : écosystème des fournisseurs d'équipement semi-conducteurs en Europe⁹¹

Le "*EU Chips Act*" a marqué un premier pas stratégique de l'Europe sur l'échiquier mondial des semi-conducteurs, mais il serait impératif d'accentuer cette initiative et franchir de nouvelles étapes. Si le règlement européen a été un catalyseur essentiel pour dynamiser l'industrie des semi-conducteurs en Europe, attirant à la fois des acteurs locaux et internationaux, il importe cependant de maintenir la dynamique et renforcer la position de l'Europe sur la scène mondiale, en continuant à investir et à innover dans ce secteur stratégique.

Qui dit « nouveau-pétrole » dit Moyen-Orient ?

En prévision de “l’après pétrole”¹¹³, l’Arabie Saoudite met tout en oeuvre pour attirer une cinquantaine de fabless dans la région⁹², avec un ensemble de mesures d’incitation, programmes de formation et de financement : 100 milliards de dollars d’investissements sont prévus.⁹³ Le gouvernement saoudien se concentre actuellement sur les puces à usage quotidien utilisées dans divers appareils allant des micro-ondes aux voitures. L’objectif est de garantir leur disponibilité à un coût raisonnable et d’éviter les ruptures de la chaîne d’approvisionnement qui ont pu paralyser l’industrie par le passé.

De leur côté, les Émirats Arabes Unis (EAU) se focalisent sur l'intelligence artificielle⁹⁴ et aspirent à devenir un producteur de semi-conducteurs avancés. Ils ont ainsi récemment créé un fonds d'investissement dont les actifs pourraient dépasser 100 milliards de dollars⁹⁵. Leur collaboration avec GlobalFoundries (partiellement détenue par la société d'investissement émiratie Mubadala) leur offre un avantage stratégique. Bien que les EAU ne détiennent qu'une faible part du marché de la fabrication de semi-conducteurs, leurs partenariats (notamment avec OpenAI) montrent qu'ils ont le potentiel pour compter dans le futur découpage industriel mondial.

⁹⁰ John West et Jean-Christophe Eloy (2024) [Underappreciated EU suppliers lead the semiconductor equipment market](#)

⁹¹ <https://www.yolegroup.com/strategy-insights/underappreciated-eu-suppliers-lead-the-semiconductor-equipment-market/> ¹¹³ Vision 2030 : le projet du siècle - Politique Internationale

⁹² Adveith Nair (2024) [Saudi Arabia, UAE Bet on Semiconductor Chips to Power Post-Oil Future](#)

⁹³ Kumar Priyadarshi (2024) [Saudi Arabia \\$100 Billion Push to Dominate the Semiconductors after Oil Market - techovedas](#)

⁹⁴ Howard H.Yu (2024) [The UAE's ascent in the semiconductor wars: A new era in chip manufacturing? - I by IMD](#)

⁹⁵ Ben Bartenstein (2024) [Abu Dhabi Targets \\$100 Billion AUM for AI Investment Firm MGX - Bloomberg](#)

Les deux puissances locales se disputent le leadership régional en matière de semi-conducteurs. Courtisant les entreprises étrangères pour qu'elles s'installent chez eux et investissant stratégiquement dans les systèmes de calcul et la formation de main-d'œuvre, ils cherchent à créer une économie plus résiliente et plus durable en réduisant leur dépendance à l'égard des autres puissances mondiales, et surtout aux recettes pétrolières qui ne seront pas perpétuelles.

L'Inde et le Vietnam : futurs acteurs majeurs ?

L'Inde souhaite faire partie des cinq premiers producteurs mondiaux de semi-conducteurs dans les cinq prochaines années⁹⁶, selon les déclarations d'Ashwini Vaishnaw, ministre de l'Électronique et des technologies de l'information. Le fait est que de plus en plus d'entreprises cherchent à réduire leur dépendance à l'égard de la Chine, dans le cadre d'une rivalité régionale et alors que les tensions USA/Chine ne semblent pas près de s'apaiser. Le fondeur taïwanais PSMC projette de s'y implanter avec une première usine d'ici 2026⁹⁷. Qualcomm et Foxconn (un des fournisseurs historiques d'Apple) ont prévu d'y investir plusieurs milliards de dollars⁹⁸. L'Inde projette la création de 800 000 à 1 million d'emplois dans cette industrie sur cinq ans, ce qui témoigne d'une croissance soutenue et de perspectives prometteuses au sein de l'écosystème des semi-conducteurs. L'industrie indienne des semi-conducteurs est sur une trajectoire de croissance significative, stimulée par des investissements gouvernementaux substantiels et des initiatives stratégiques. Avec une prévision de croissance de 100,2 milliards de dollars d'ici 2032 et ses objectifs ambitieux de création d'emploi, l'écosystème indien promet l'innovation, l'emploi et l'expansion économique. Des initiatives comme le programme "*Semicon India*" et "*Semiconductor Fabs Scheme*" visent à développer les capacités locales.⁹⁹

En mettant l'accent sur l'innovation et la croissance axée sur la technologie, le Vietnam entend de son côté se positionner comme un partenaire fiable et un maillon essentiel de la chaîne de valeur mondiale des semi-conducteurs. Son gouvernement s'active pour attirer les investisseurs dans le secteur, conscient de son potentiel pour stimuler la croissance économique et le progrès technologique. Lors d'une visite à Hanoï début décembre, Jensen Huang (cofondateur et PDG de NVIDIA) a qualifié le Vietnam de "*deuxième patrie*" du géant des puces. Il s'est engagé à développer des partenariats avec des entreprises locales et à établir une base dans le pays, selon les médias locaux. NVIDIA affirme avoir investi 250 millions de dollars dans le pays jusqu'à présent¹⁰⁰.

Amkor (Arizona, USA) a démarré les activités d'une usine de fabrication de 1,6 milliard de dollars¹⁰¹ dans le nord du Vietnam en octobre dernier, tandis qu'en mai, Marvell (Delaware, USA) a annoncé l'établissement à venir d'un centre de conception de semi-conducteurs. Les entreprises sud-coréennes se joignent également à la course. Samsung, qui a déjà investi plus de 22 milliards de dollars dans le pays, prévoit d'investir annuellement 1 milliard de dollars pour faire du Vietnam son plus grand centre de production de modules d'affichage.¹⁰² Anticipant une croissance substantielle de l'industrie vietnamienne des semi-conducteurs, avec une évaluation prévue de 20 à 30 milliards de dollars américains d'ici 2030¹⁰³, le gouvernement comprend les obstacles auxquels sont confrontées les entreprises locales pour exploiter pleinement le potentiel de l'industrie. L'absence d'installations de fabrication nationales est évidente, seules des usines d'assemblage et de test ayant été créées par des géants internationaux. En outre, la pénurie de travailleurs qualifiés dans le domaine des semi-conducteurs reste un problème urgent qu'il convient de résoudre. Pour relever ces défis, le gouvernement vietnamien a élaboré un plan global de développement de l'industrie des semi-

⁹⁶ Charmaine Jacob (2024) : [India wants to be a global chip powerhouse in 5 years, says IT minister](#)

⁹⁷ Grace Yeh (2024) [Tata joins hands with PSMC to build India's first 12-inch fab](#)

⁹⁸ Sankalp Phartital (2020) [Apple supplier Foxconn to invest \\$1 billion in India](#)

⁹⁹ Subburathinam P. (2024) [What is the future of the semiconductor industry in India?](#)

¹⁰⁰ [Nvidia va étendre son partenariat avec le Vietnam et soutenir le développement de l'intelligence artificielle - PDG - Zonebourse](#) (2023)

¹⁰¹ Ridha Loukil (2023) [L'américain Amkor Technology ouvre une usine d'encapsulation de puces au Vietnam](#)

¹⁰² Tri Duc (2024) [Samsung to make Vietnam its biggest display module hub: chairman](#)

¹⁰³ Samaya Dharmaraj (2024) [Vietnam's Rise in the Global Semiconductor Industry – OpenGov Asia](#)

conducteurs et de formation d'une main-d'œuvre qualifiée. Ce plan comprend des initiatives visant à former 50 000 travailleurs qualifiés d'ici à 2030¹⁰⁴, notamment des ingénieurs en conception de circuits intégrés.

Certains gouvernements, tels que ceux du Vietnam, de l'Inde, des pays du Golfe ou encore du Costa-Rica, ont saisi l'enjeu et aspirent à devenir de nouvelles puissances dans ce domaine stratégique. En investissant massivement dans la recherche, la production et l'innovation, ces pays cherchent à s'imposer sur l'échiquier international et à tirer parti des opportunités offertes par cette révolution technologique. Le train de l'ère des semi-conducteurs est en marche, et il ne semble pas prêt de s'arrêter. Les nations, qu'elles soient établies ou émergentes, devront s'adapter et relever les défis de cette nouvelle ère pour assurer leur prospérité et leur sécurité à long terme.

I.3.Perspectives et enjeux stratégiques

L'industrie des semi-conducteurs est le moteur de nombreuses avancées technologiques actuelles. Si l'on se tourne vers l'avenir, plusieurs produits et applications prometteurs sont appelés à transformer divers secteurs, de l'électronique grand public à l'automobile en passant par la santé ou le spatial.

I.3.1. Les futures applications (automobiles, IA, IoT...)

L'intelligence artificielle (IA) et le machine learning (ML)

Si les infrastructures de calcul haute performances ("HPC") ont pu tirer leur épingle du jeu depuis les années 2000, on s'attend à ce que d'autres technologies émergentes à base d'intelligence artificielle comme le ML ou les LLM (*Large Language Model*) révolutionnent de nombreux secteurs, de la santé à la finance en passant par la défense. Les avancées technologiques dans des domaines tels que l'IA, nécessitent des capacités de calcul considérables, ce qui implique l'utilisation de semi-conducteurs hautement spécialisés et conçus spécifiquement pour ces applications.

L'explosion des applications d'IA stimule la demande de puces avancées, ce qui fait le bonheur d'entreprises comme NVIDIA, Intel et AMD. On estime qu'en 2024, NVIDIA doublera sa commande de puces d'IA pour atteindre 1 million de puces, Intel commandera pour 4 milliards de dollars de puces 3-nm pour ses puces de la gamme Lunar Lake et AMD devrait commander environ 500 000 puces spécialisées¹⁰⁵. Les entreprises technologiques américaines ont fini par dominer de multiples facettes du marché florissant de l'intelligence artificielle générative, avec des parts de marché allant de 70 à plus de 90 % selon le domaine¹⁰⁶.

Cependant, une pénurie de semi-conducteurs destinés à l'IA pose un problème majeur. Cette situation¹²⁹ engendre des tensions significatives en termes de commandes et de disponibilité. La seule fonderie véritablement fiable sur le marché des semi-conducteurs pour l'IA est TSMC, mais l'entreprise présente des risques géopolitiques importants. Des figures emblématiques telles que Sam Altman et Mark Zuckerberg (respectivement OpenAI et Meta) cherchent des alternatives pour réduire leur dépendance à l'égard de TSMC. Samsung est une option, mais l'entreprise coréenne ne parvient pas encore à égaler la fiabilité et le rendement de TSMC, rendant ainsi la transition complexe.

¹⁰⁴ Govi Snell (2024) [Viet nam's bid to exploit US-China chip tensions confronts labour hurdles | Technology | Al Jazeera](#)

¹⁰⁵ Ahmed Ben Slimane (2024) [Semiconductor Market: Rebound Expected in 2024, But Challenges Lie Ahead](#)

¹⁰⁶ Akira Okawa (2024) [Led by Nvidia, U.S. dominates in generative AI tech - Nikkei Asia](#) ¹²⁹ [AI Chip Shortage Continues, But There is a Glimmer of Hope | Dataplugs](#) (2024)



Figure 32 : les chiffres du marché de l'IA dans le monde¹⁰⁷

Des géants comme Google, Amazon, Microsoft et Meta développent activement des puces de silicium personnalisées, méticuleusement adaptées aux applications de l'IA¹⁰⁸. Ces puces spécialisées offrent des performances et une efficacité sur mesure, conférant un avantage concurrentiel sur le marché lucratif de l'IA. Néanmoins, la création de ces puces personnalisées nécessite d'énormes investissements initiaux. Elles sont actuellement plus coûteuses que les diamants, avec des prix atteignant 12 000 à 15 000 dollars par unité¹⁰⁹, en partie dus au besoin d'ouvrir de nouveaux centres de données pour soutenir les applications d'IA. Bien qu'il s'agisse d'un engagement financier conséquent, il est considéré comme primordial pour ces entreprises de se différencier de leurs rivales et de s'établir comme pionnières dans le domaine de l'IA.

“Celui qui dominera l'intelligence artificielle dominera le monde” a pronostiqué Vladimir Poutine en 2017. Les investissements massifs dans la R&D de la Chine (Huawei) et des Etats-Unis (NVIDIA) révèlent une course à l'innovation susceptible de redéfinir les équilibres géopolitiques mondiaux. Comme le souligne Vladimir Poutine¹¹⁰, la maîtrise de l'IA est et sera essentielle pour toute nation aspirant à une position de leader mondial. De nouveaux entrants manifestent également leur intérêt pour ce domaine stratégique. L'Inde a par exemple émis un appel d'offre sur l'IA d'un montant de 1,2 milliards de dollars, auquel ont répondu les principaux acteurs technologiques mondiaux (notamment Google, Microsoft, IBM et Nvidia)¹¹¹.

Véhicules électriques (EV) et conduite autonome (AD)

L'industrie automobile est en pleine transformation avec l'essor des véhicules électriques et de la conduite autonome. Les semi-conducteurs sont essentiels pour la gestion des batteries, la conversion d'énergie et le traitement complexe nécessaire aux algorithmes de conduite autonome. Le nombre de

¹⁰⁷ <https://lehub.bpifrance.fr/les-chiffres-2023-2024-du-marche-de-lia-dans-le-monde/>

¹⁰⁸ Google, Microsoft and 4 tech giants other than Nvidia that are making their own AI chips - Times of India (2024)

¹⁰⁹ [News] NVIDIA's Exclusive Chips for China Now Reported to be Available for Pre-Order, Priced Similar to Huawei Products | TrendForce Insights (2024)

¹¹⁰ Etienne Froment (2017) Pour Poutine, “celui qui dominera l'intelligence artificielle dominera le monde” - Geeko

¹¹¹ Kumar Priyadarshi (2024) Global Tech Giants Compete for Rs 10,000 Crore AI Tender as India Expands AI Mission

puces semi-conductrices dans une voiture moderne varie entre 1 000 et plus de 3 500¹¹². Ce marché est promis à une croissance substantielle car les gouvernements font pression pour des solutions de transport plus écologiques. Les véhicules à conduite autonome reposent sur des capteurs, des processeurs, des microcontrôleurs et des puces mémoire sophistiqués et fiables. La technologie ADAS (*“Advanced Driver Assistance Systems”*) permet par exemple de détecter les piétons, éviter les collisions, maintenir la trajectoire, le freinage d’urgence ou encore le régulateur de vitesse adaptatif. De leur côté, les véhicules électriques dépendent des semi-conducteurs pour le fonctionnement de l’onduleur, la gestion de la puissance et les fonctions de sécurité ou de divertissement. Les voitures autonomes devraient représenter 10 % du parc automobile mondial d’ici 2030¹¹³. Ce changement devrait générer un impact économique important, avec des revenus projetés allant de 300 à 400 milliards de dollars en 2035¹¹⁴. Tesla est un acteur majeur de cette tendance transformative dans le secteur automobile, faisant progresser l’intégration de la technologie des voitures autonomes sur le marché mondial. D’autres entreprises se concentrent sur le développement de systèmes de semi-conducteurs optimisant le fonctionnement des composants automobiles. Texas instruments, NXP semiconductors, Intel Corporation et Infineon Technologies figurent parmi les principaux fabricants de semi-conducteurs pour l’automobile. Ce marché est estimé à environ 60 milliards de dollars en 2024 et devrait atteindre plus de 115 milliards de dollars d’ici à 2030 (cf. Figure 33).



Figure 33 : Taille du marché des semi-conducteurs automobiles en milliards de dollars (projection 2030)¹¹⁵

Les véhicules électriques et autonomes nécessitent des avancées technologiques dans les semi-conducteurs, rendant les véhicules plus intelligents et énergétiquement efficaces. Avec le développement continu des technologies d’électrification et de conduite autonome, les semi-conducteurs automobiles deviennent de plus en plus cruciaux.

Internet des Objets (IoT)

L’Internet des Objets (*“Internet of Things”* - *“IoT”*) est un réseau d’appareils interconnectés capables de collecter, échanger et exploiter des données. L’IoT a transformé la manière dont nous interagissons avec le monde qui nous entoure. Les appareils ménagers intelligents ou les montres connectées font désormais partie de notre vie quotidienne et les semi-conducteurs permettent ces connexions. L’IoT représente ainsi une nouvelle source de croissance, avec une forte demande d’appareils et d’applications IoT dans le commerce de détail, les transports, la santé, les biosciences, les biens de consommation et l’industrie. La pénétration des composants semi-conducteurs classés IoT devrait

¹¹² Ibtisam Abbasi (2023) [The Use of Semiconductors in Automotive Manufacturing](#)

¹¹³ [Partially autonomous cars forecast to comprise 10% of new vehicle sales by 2030 | Goldman Sachs](#) (2024)

¹¹⁴ [The future of autonomous vehicles \(AV\) | McKinsey](#) (2023)

¹¹⁵ [Les Gigafactory en Europe - Batteries and Véhicules Électriques](#)

passer de 7 à 12 % entre 2019 et 2025¹¹⁶. McKinsey Global Institute prévoit un CA mondial entre 4 et 11 mille milliards de dollars d'ici 2025¹¹⁷. Quatre composants clés stimulent cette croissance : les MCU, les puces de connectivité, les puces d'IA et les puces et modules de sécurité (cf. *Figure 34*).

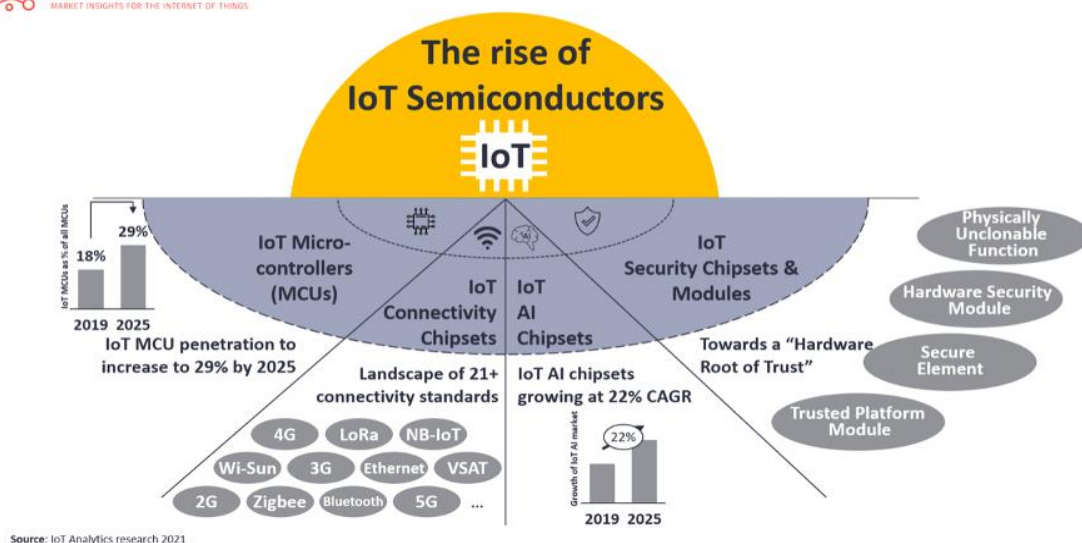


Figure 34 : la croissance des des semi-conducteurs IoT¹¹⁸

L'IoT permet également à l'industrie des semi-conducteurs d'améliorer ses propres processus et opérations (contrôle de la qualité, gestion des stocks, test des appareils, emballage, livraison et maintenance). Il aide aussi l'industrie à optimiser les ressources, réduire les coûts, améliorer l'efficacité et favoriser l'innovation. La prolifération des appareils connectés et l'essor de l'informatique de pointe entraînent un changement de paradigme dans la conception et le déploiement des semi-conducteurs. L'IoT entraîne une explosion du nombre de microcontrôleurs, de capteurs et de puces mémoire, ce qui profitera certainement à l'industrie des semi-conducteurs.

Technologie 5G

Le déploiement des réseaux 5G est un autre moteur important pour l'industrie des semi-conducteurs. La technologie 5G nécessite des semi-conducteurs avancés pour prendre en charge des vitesses de transfert de données plus rapides et une plus grande connectivité. Cela a des implications dans divers secteurs comme les télécommunications, l'automobile (véhicules connectés) et les villes intelligentes. Le déploiement des réseaux 5G, suivi de la 6G, stimulera la demande de puces de communication à grande vitesse et à faible latence, ainsi que de dispositifs d'alimentation efficaces pour les stations de base.

La montée en puissance du Cloud

Le cloud computing n'a pas seulement transformé l'infrastructure informatique, elle a redéfini la manière dont les entreprises fonctionnent, innovent et sont compétitives. La pandémie a accéléré l'adoption de l'informatique dématérialisée, les entreprises étant en quête d'agilité et de résilience. L'informatique en nuage permet aux entreprises de maintenir leurs fonctions commerciales dans un contexte d'adoption du télétravail. La technologie cloud leur permet de stocker et gérer efficacement les données critiques. Cette numérisation rapide a contraint les organisations à numériser et moderniser leur paysage infrastructurel pour améliorer la rentabilité et l'agilité. Les semi-conducteurs avancés sont là encore l'élément vital. Ils permettent le traitement à grande vitesse, le stockage de données à grande échelle et l'efficacité énergétique qu'exigent les services d'informatique en nuage.

¹¹⁶ Satyajit Sinha (2021) [The rise of the IoT semiconductor](#)

¹¹⁷ McKinsey Global Institute (2015) [THE INTERNET OF THINGS: MAPPING THE VALUE BEYOND THE HYPE](#).

¹¹⁸ <https://iot-analytics.com/rise-of-iot-semiconductor/>

La taille du marché mondial du cloud a été évaluée à 559 milliards de dollars en 2023 et devrait atteindre près de 2300 milliards de dollars d'ici 2032, avec un taux de croissance annuel moyen de 17 % entre 2023 et 2032. (cf. Figure 35)

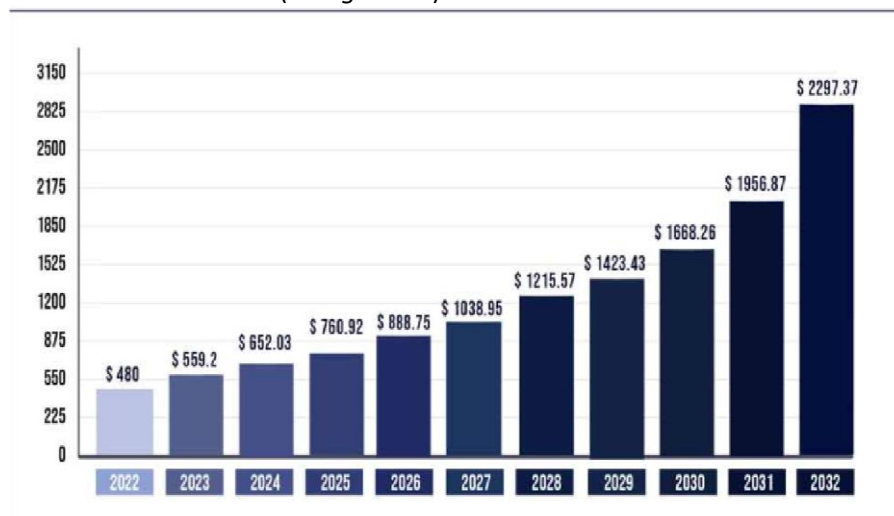


Figure 35 : taille du marché de l'informatique en nuage en milliards de dollars (2022 à 2032)¹¹⁹

La popularité croissante des dernières technologies comme l'IA et du ML ont un rôle de catalyseur dans la croissance du marché mondial de l'informatique en nuage.

L'informatique quantique

Bien qu'encore réservée aux centres de recherche, l'informatique quantique promet de révolutionner les tâches de calcul qui sont irréalisables par les ordinateurs classiques.

Les processeurs quantiques permettent d'accélérer de manière exponentielle la résolution des problèmes d'optimisation, de simulation et de cryptographie. Les fabricants de semi-conducteurs et les instituts de recherche investissent massivement dans la recherche sur l'informatique quantique, pour réaliser des percées dans l'extensibilité des qubits, la cohérence et la correction des erreurs.

À mesure que le domaine progresse, les processeurs quantiques pourraient compléter les technologies traditionnelles des semi-conducteurs et permettre de nouvelles applications dans la découverte de médicaments, la science des matériaux et la modélisation financière.

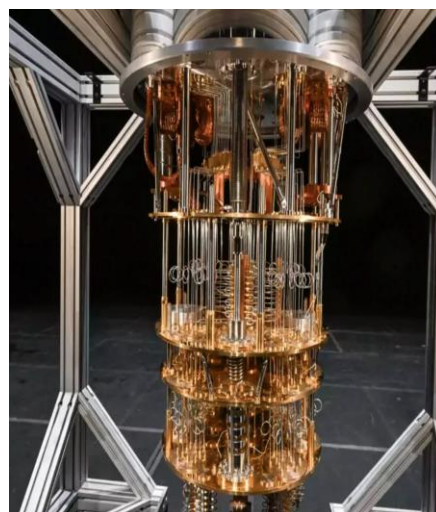


Figure 36 : ordinateur quantique IBM Quantum System One¹²⁰

L'industrie des semi-conducteurs connaît une période d'évolution rapide, sous l'effet des avancées technologiques et de la dynamique du marché. Qu'il s'agisse de repousser les limites de la miniaturisation ou d'exploiter la puissance de l'IA et de l'informatique quantique, les entreprises de semi-conducteurs sont à la pointe de l'innovation et façonnent l'avenir de l'informatique, de la communication et d'autres domaines. En adoptant les tendances émergentes et en encourageant la

¹¹⁹ [Cloud Computing Market Size to Surpass USD 2297.37 Bn by 2032](#)

¹²⁰ Photo Hans Pennink

collaboration entre les disciplines, l'industrie des semi-conducteurs explore de nouvelles frontières et ouvre la voie à un monde plus intelligent et plus connecté.

1.3.2. Les applications critiques (défense, militaire, spatial...)

Dès l'invention du premier semi-conducteur et encore aujourd'hui, le secteur militaire a toujours été l'un des principaux moteurs de la conception et du développement de semi-conducteurs. En raison de leur polyvalence, ces circuits intégrés sont couramment utilisés dans presque tous les systèmes d'armement modernes : drones, avions, radars, sous-marins, porte-avions, missiles... Ils jouent également un rôle essentiel dans les technologies de chiffrement et d'antibrouillage, garantissant une communication sécurisée et protégeant les informations militaires sensibles d'un accès non autorisé. Leur petite taille, leur faible consommation d'énergie et leur grande fiabilité les rendent idéaux dans les technologies militaires qui exigent compacité, efficacité et durabilité.¹²¹ Le marché des puces pour l'armée et la défense est appelé à connaître une croissance significative sous l'effet de plusieurs facteurs clés.

L'un des principaux est la demande croissante de technologies avancées de semi-conducteurs pour améliorer les capacités des systèmes de défense dans le monde entier. Les agences de défense cherchant à moderniser leurs équipements et à s'adapter à l'évolution des menaces, il existe un besoin croissant de semi-conducteurs de haute performance capables d'offrir une fiabilité, une efficacité et une fonctionnalité supérieures dans des environnements difficiles.¹²² En 2023, l'Amérique du Nord détenait la plus grande part (35%) sur le marché mondial des semi-conducteurs dans le domaine militaire (cf. Figure 37).



Figure 37 : statistiques marché militaire & défense des semi-conducteurs ¹²³

Toutefois, le marché des semi-conducteurs dans le secteur militaire est confronté à plusieurs défis : la rigueur des exigences réglementaires et de sécurité régissant les marchés publics de la défense peut constituer une barrière à l'entrée pour les entreprises du secteur, ou les normes de cybersécurité et la protection des informations sensibles contre les cybermenaces qui sont une priorité pour les agences de défense¹²⁴.

Les opportunités sur le marché des semi-conducteurs pour l'armée et la défense sont nombreuses, avec l'émergence de nouvelles technologies telles que l'IA, l'apprentissage automatique, les protocoles de communication sécurisés ou encore l'informatique quantique. Ces avancées offrent un immense potentiel pour révolutionner les capacités de défense. Les semi-conducteurs sont indéniablement la pierre angulaire des applications militaires modernes. Une compréhension approfondie et une

¹²¹ Mark Stone (2024) [Why Military Semiconductors Are Vital for Defense Systems](#)

¹²² [Military and Defence Semiconductor Market Report 2024-2024: Increasing Aircraft Upgrading and Modernization Programs Driving the Semiconductor Market](#)

¹²³ <https://www.gminsights.com/fr/industry-analysis/military-and-defense-semiconductor-market>

¹²⁴ Dominique Filippone (2019) [Le ministère des Armées signe une convention cyberdéfense avec 8 industriels - Le Monde Informatique](#)

utilisation adéquate de cette technologie est essentielle pour améliorer les capacités militaires et renforcer la sécurité nationale d'un pays.

Secteur médical

Les semi-conducteurs permettent de développer des technologies médicales avancées, notamment des équipements de diagnostic, systèmes de surveillance, dispositifs thérapeutiques et outils d'imagerie. Ils sont essentiels pour améliorer la précision, l'efficacité et la fonctionnalité des applications médicales et, en fin de compte, améliorer les soins et la vie des patients. Le principal objectif de l'intégration de la médecine à la technologie des semi-conducteurs est de faciliter des méthodes plus rapides et pratiques de prévention. A titre d'exemple, l'analyse du patrimoine génétique d'un être humain prenait environ 2 000 ans dans le passé, contre environ deux semaines aujourd'hui¹²⁵. La surveillance en temps réel et l'analyse des données permettent une détection précoce des problèmes de santé et donc de meilleures interventions. De plus, l'augmentation de la prévalence des maladies chroniques et le vieillissement de la population stimulent la demande de dispositifs médicaux avancés qui reposent sur les semi-conducteurs.

Les capteurs et la technologie sans fil permettent aux appareils connectés d'offrir un tout nouveau monde de surveillance des patients à distance et prestations de services virtuels. Des solutions pour exploiter les données des appareils connectés et intégrer les données des patients dans l'ensemble de l'écosystème des soins de santé sont en cours d'élaboration. Cette capacité permettra de collecter des données vitales, les analyser et fournir des mises à jour sur l'état et les performances dans l'ensemble de l'organisation.



D'autres solutions facilitent le retour des patients à leur domicile grâce aux données capturées par des appareils médicaux connectés. La technologie ne se contente pas d'aider les gens à leur domicile, elle apporte également des soins de santé dans les zones reculées. En Chine, par exemple, le dépistage des maladies cardiovasculaires dans les zones rurales peut être effectué à l'aide d'électrocardiographes pour smartphone. Ceux-ci sont utilisés pour collecter et envoyer des données sans fil à des spécialistes en cardiologie à Pékin pour analyse et retour d'information en temps réel.¹²⁶

Figure 38 : Kardia Mobile 6L (AliveCor)¹²⁷

La taille du marché du secteur médical était estimée à plus de 50 milliards de dollars en 2023 (cf. Figure 39). L'Amérique du Nord détient actuellement une part de marché importante en raison de ses infrastructures de santé bien établies, de ses avancées technologiques et de ses dépenses de santé élevées. Cependant, la région Asie-Pacifique devrait connaître la croissance la plus rapide en raison de l'augmentation des investissements dans les soins de santé, de l'augmentation du revenu disponible et d'un grand nombre de patients.

¹²⁵ Gaea Marelle Miranda (2018) [How Semiconductors are Changing Healthcare](#)

¹²⁶ Elizabeth Pavel (2017) [Semiconductors in Healthcare](#)

¹²⁷ <https://www.alivecor.fr/kardiamobile6l>

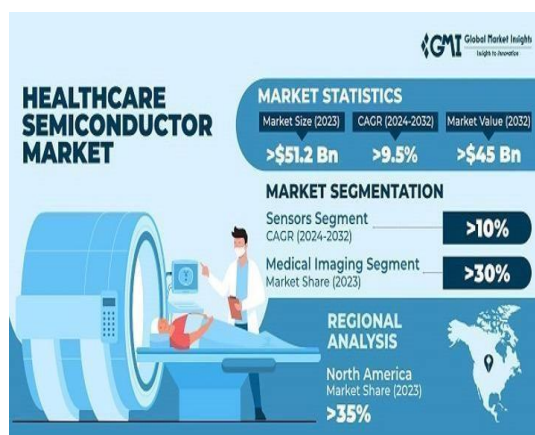


Figure 39 : statistique du marché médical des semi-conducteurs ¹²⁸

La microélectronique est en train de remodeler le paysage de la technologie médicale. Les progrès constants dans la technologie de l'industrie des semi-conducteurs, l'émergence de l'IA et de l'IoT offrent un potentiel formidable pour des dispositifs médicaux innovants. La collaboration entre les chefs de file de l'industrie et les esprits créatifs de divers domaines favorise le développement de solutions médicales plus sûres et plus efficaces, au profit des patients et des prestataires de soins.

1.3.3. Quelles perspectives ?

La course au semi-conducteur de 2nm

Les principaux fabricants de semi-conducteurs se livrent à une course effrénée pour fabriquer les puces de processeur dites « 2 nanomètres » pour la prochaine génération de smartphones, centres de données et intelligence artificielle. TSMC reste le favori des analystes pour maintenir sa suprématie mondiale dans le secteur, mais Samsung et Intel ont identifié le prochain bond en avant de l'industrie comme une chance de combler l'écart.

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Intel	14nm+	10nm (limited) 14nm++		10nm	10nm+	10nm++	7nm EUV
Samsung	10nm		8nm	7nm EUV 6nm EUV	18nm FDSOI 5nm	4nm	3nm GAA
TSMC	10nm	7nm 12nm	7nm+ EUV	5nm	6nm	5nm+	4nm 3nm
GlobalFoundries			22nm FDSOI 12nm finFET		12nm FDSOI	22nm+ FDSOI 12nm+ finFET	
SMIC				14nm finFET	12nm finFET		8-10nm finFET
UMC		14nm finFET			22nm planar		

Figure 40 : évolution des noeuds avancés (2016-2022)¹²⁹

Ajustements de la chaîne d'approvisionnement mondiale

Les fonderies sont confrontées à des décisions complexes de type « *make or buy* » et à des dépendances internationales (cf. Figure 41). Les fabricants d'IDM produisent à la fois localement et à l'étranger. Les entreprises sans usine dépendent fortement des fonderies étrangères, en particulier aux

¹²⁸ <https://www.gminsights.com/fr/industry-analysis/healthcare-semiconductor-market>

¹²⁹ [Advanced Nodes Boosting Foundry Revenues - EE Times Asia](#)

États-Unis et en Europe, où la demande excédentaire nécessite d'importantes capacités à l'étranger. Les pays asiatiques (Taïwan, Corée du Sud, Japon, Singapour et Malaisie) sont des fournisseurs essentiels. Cette chaîne d'approvisionnement complexe et interdépendante est vulnérable aux perturbations, ce qui incite les gouvernements et les entreprises à déployer des efforts considérables pour renforcer la résilience et atténuer les risques.

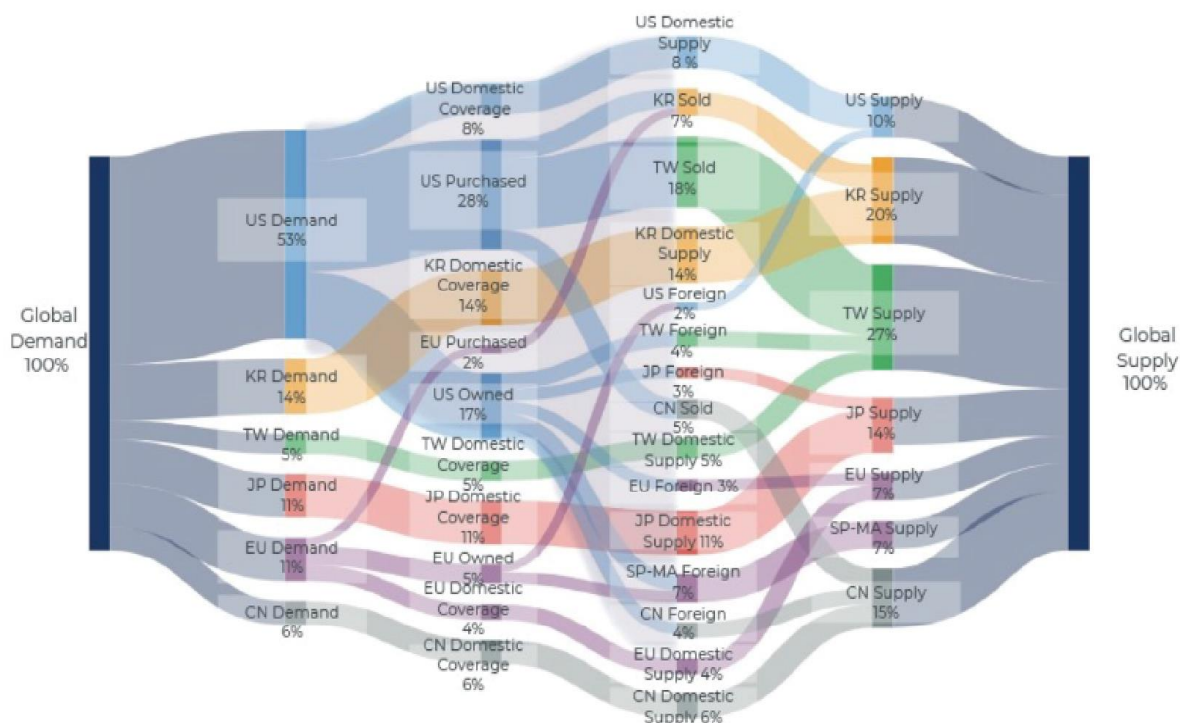


Figure 41 : Analyse de l'offre et la demande des wafers en 2024¹³⁰

Durabilité et efficacité énergétique

Face aux préoccupations croissantes concernant le changement climatique, l'accent est mis sur le développement de semi-conducteurs économes en énergie. Les entreprises investissent dans la recherche pour réduire la consommation d'énergie de leurs puces et soutenir ainsi des technologies plus écologiques.

Pénurie de main d'œuvre

De l'Allemagne à la Chine en passant par les États-Unis, les projets d'usines de semi-conducteurs sont en plein essor. En 2024, 42 nouvelles fabs de semi-conducteurs devraient démarrer la production de masse¹³¹. Cette expansion mondiale témoigne d'une dynamique industrielle prometteuse, mais elle soulève également des défis majeurs de recrutement et formation des talents. Plus d'un million de travailleurs supplémentaires seraient nécessaires d'ici 2030¹³², il est donc urgent de former des techniciens qualifiés pour soutenir cette croissance ambitieuse.

La fin de la loi de Moore¹³³

Pendant des décennies, la loi de Moore a servi de principe directeur à l'industrie des semi-conducteurs, prévoyant le doublement de la densité des transistors sur les circuits intégrés tous les deux ans environ.

¹³⁰ [Semiconductor foundry industry: negotiating troubled waters](#)

¹³¹ Mourad Krim [La course aux semi-conducteurs s'intensifie, 42 usines devraient être opérationnelles en 2024 - IT SOCIAL](#)

¹³² [Global Semiconductor Talent Shortage | Deloitte US](#)

¹³³ [Lorsque la loi de Moore cessera de fonctionner, ce ne sera pas la fin du progrès - Vincent Champain \(2023\)](#)

Cependant, les dimensions des transistors se rapprochent de l'échelle atomique et les coûts de fabrication montent en flèche, et il devient de plus en plus difficile de maintenir ce rythme. Les chercheurs et ingénieurs explorent désormais d'autres approches, avec des nouveaux matériaux, techniques de conditionnement avancées et architectures spécialisées, pour étendre les capacités des dispositifs à semi-conducteurs au-delà des limites de la mise à l'échelle traditionnelle.

L'essor des “chipselets”, une révolution dans l'architecture des semi-conducteurs¹³⁴

Dans un contexte où la loi de Moore atteint ses limites, les fabricants de semi-conducteurs explorent de nouvelles stratégies pour accroître la puissance des processeurs sans augmenter indéfiniment la densité des transistors sur une seule puce. Les chipselets se sont imposés comme une solution innovante car contrairement aux processeurs monolithiques traditionnels, ils permettent de diviser un processeur en plusieurs blocs fonctionnels, facilitant la fabrication, la réduction des coûts et l'amélioration des performances. Ce modèle modulaire ouvre la voie à des architectures plus flexibles et performantes, et répond aux défis techniques de la miniaturisation. Les géants du secteur comme AMD et Intel sont déjà à l'avant-garde de cette transformation, revisitant ainsi l'avenir des technologies informatiques.

I.4. Les ressources matérielles et humaines : un vrai défi pour l'industrie

I.4.1. Les ressources matérielles

I.4.1.1. Les minéraux : La base des Wafers

Les minéraux semi-conducteurs sont classés dans la famille des “métalloïdes” selon la composition chimique et la conductivité du matériau de base utilisé lors de leur fabrication. Il existe des semi-conducteurs élémentaires tels que le silicium (Si) ou le germanium (Ge) qui appartiennent tous au groupe 14 du tableau périodique.

Les principaux matériaux de base dans la fabrication des wafers, considéré comme un élément d'entrée principal dans le process de fabrication des microprocesseurs, sont principalement à ce jour :

Le silicium : C'est le matériau le plus couramment utilisé dans les microprocesseurs. Ce semi-conducteur peut être modifié via un dopage afin de créer des propriétés électriques particulières. Il est considéré comme relativement facile à extraire (du sable). Il est également facile à travailler et peut être fabriqué en feuilles hachées appelées wafers en format cylindrique.

Le Germanium : C'est également un matériau semi-conducteur, bien que moins couramment utilisé que le silicium en raison de ses propriétés électriques moins performantes. Ses applications sont limitées en raison de sa sensibilité aux températures élevées, mais il continue d'être utilisé dans des technologies spécifiques malgré ses limites.

Le Gallium (composé III-V) : Le Gallium (Ga), l'arséniure de gallium (GaAs) et le Nitrure de Gallium (GaN) appelés souvent les composés III-V, offrent des avantages uniques par rapport aux matériaux semi-conducteurs traditionnels tels que le silicium. Ils ont des propriétés électriques supérieures et peuvent être utilisés pour des applications à haute fréquence et à haute puissance. Cependant, ils sont plus coûteux à produire et présentent des défis techniques dans la fabrication. Malgré ces inconvénients, les composés III-V restent essentiels pour certaines applications de pointe dans l'industrie des semi-conducteurs.

Le carbure de silicium (SiC) : C'est un matériau très prometteur dans l'industrie des semi-conducteurs pour ses propriétés uniques et ses avantages par rapport aux matériaux traditionnels comme le silicium. Il est caractérisé par une large bande interdite, une mobilité des électrons qui permet une

¹³⁴ Ann Mutschler (2024) [Chip Security Now Depends On Widening Supply Chain](#)

communication plus rapide pour les équipements, une haute conductivité thermique (3x supérieure à celle du silicium), permettant une meilleure dissipation de la chaleur, et une résistance à la dégradation thermique qui favorise son utilisation dans des environnements thermiques plus élevés. C'est un matériau essentiel pour les applications de puissance et de haute température en raison de ses propriétés supérieures par rapport au silicium, mais son utilisation à grande échelle reste encore incertaine en raison de coûts de production plus élevés et des défis techniques.

Diamant synthétique : Emergent dans l'industrie des semi-conducteurs, ce matériau offre des propriétés physico-chimiques exceptionnelles en termes d'efficacité et de vitesse de conductivité, mais cette piste rencontre à ce jour des contraintes, en termes de coût et de procédés de fabrication.

Tableau comparatif_:

Matériau	+/- Avantages	-/- Inconvénients
Silicium (Si)	·Abondant / disponible dans la nature - Pas coûteux (sable) ·Applicable sur une large gamme de produit ·Procédé et coût de fabrication mature & maîtrisé	·Conductivité électrique moins efficace / rapide comparé à d'autres matériaux ·Propriétés thermiques limitées ·Bande interdite limitée (1,1 eV)
Gallium (Ga)	·Excellente performance dans les applications de haute fréquence et les lasers ·Mobilité élevée des porteurs (électrons)	·Coût de production plus élevé que le Silicium ·Procédés de fabrication moins développés que le Silicium ·Risque de toxicité engendré
Germanium (Ge)	·Mobilité élevée des porteurs (électrons) supérieure à celle du (Si) ·Compatible avec le Silicium sur les technologies CMOS	·Coût de production plus élevé que le Silicium ·Bande interdite plus étroite que le Si (0,66 eV) ·Propriétés thermique limitées ·Moins abondant que le Si
Nitride de Gallium (GaN)	·Bande interdite large (3,6 eV) compatible avec les environnements à hautes températures	·Coût de production plus élevé que le Silicium
	·Haute efficacité énergétique/moins de perte ·Haute résistance aux radiations	·Contraintes process liées à la pureté/qualité du matériau (cristaux) en fabrication
Carbure de Silicium (SiC)	·Bande interdite large (3,3 eV), compatible avec les environnements à hautes températures ·Haute dissipation de la chaleur ·Excellente performance à haute tension et température	·Fabrication plus coûteuse que le Silicium ·Complexité du process de fabrication

Diamant synthétique	·Bande interdite très large (5,5 eV), compatible avec les environnements à hautes températures ·Excellente conductivité thermique ·Excellente performance et stabilité à haute tension et température ·Transparence optique pouvant être utilisé dans applications à fort rayons UV. - Matériau biocompatible	·Coût de production très élevé ·Disponibilité limitée ·Complexité du process de fabrication, de dopage et d'intégration dans des circuits électroniques complexes
----------------------------	---	---

Chaque matériau listé ci-dessus possède des caractéristiques le rendant plus adapté à des applications nécessitant des performances spécifiques en guise de bande interdite, d'efficacité opérationnelle et énergétique, de vitesse de traitement et de résistance physique et thermique dans leur environnement d'utilisation. Le choix d'un matériau ou d'un autre n'est pas seulement dépendant de ses caractéristiques physicochimiques et des exigences de son application, mais aussi de sa présence en tant que ressource naturelle disponible, son coût, la complexité de son extraction et de la fabrication, et sa disponibilité sur le marché.

I.4.1.2. La course vers des matériaux émergents ?

La R&D en matériaux est essentielle pour répondre aux besoins émergents dans tous les secteurs et domaines d'application. Ici aussi les États-Unis et la Chine sont en compétition. Afin d'atteindre les objectifs attendus d'efficacité énergétique, de vitesse et de bande passante de l'information, de nouvelles architectures de calcul et de développement durable, des nouveaux matériaux sont en cours d'amélioration. Par exemple, des matériaux de substrat émergents tels que le carbure de silicium (SiC), le phosphore d'indium (InP), le nitrure d'aluminium (AlN) ou le diamant sont en cours de développement. Il existe de nombreux nouveaux matériaux à large bande interdite et à ultra-large bande interdite prometteurs pour des applications en électronique de puissance et en électronique de radiofréquence (6G et au-delà), et bien que disponibles, les matériaux en nitrure de silicium (SiN) et niobate de lithium (LiNbO3) sont en cours d'amélioration pour faire progresser les applications photoniques et les communications sans fil de nouvelle génération (à partir de la 6G).¹³⁵

L'Institut de Technologie de Géorgie (USA) et l'Université de Tianjin (Chine) collaborent pour utiliser le graphène comme matériau semi-conducteur, malgré les tensions entre leurs pays. Le graphène, découvert en 2004, est apprécié pour sa robustesse et sa conductivité électrique et thermique, mais son absence de bande interdite a limité son utilisation dans les transistors. Les chercheurs, dirigés par Walter de Heer, ont développé une technique pour surmonter cette limitation en cultivant le graphène sur un wafer de carbure de silicium, créant ainsi l'Epigraphène, qui combine des propriétés semi-conductrices avec les avantages du graphène.

Il promet des fréquences d'horloge plus élevées, une meilleure efficacité énergétique et une conductivité thermique améliorée par rapport au silicium. Bien que les premiers résultats soient prometteurs, notamment avec une mobilité des électrons dix fois supérieure à celle du silicium, la technologie doit encore prouver sa viabilité à l'échelle industrielle. Cette collaboration internationale pourrait marquer un tournant dans la recherche de matériaux alternatifs au silicium et ouvrir de nouvelles perspectives en microélectronique.¹³⁶ De nouveaux matériaux multiferroïques et memristifs élargissent la gamme de fonctions que les dispositifs nanoélectroniques peuvent fournir. Cependant, malgré ces nombreuses avancées passionnantes, l'introduction de nouveaux matériaux dans les

¹³⁵ [National Strategy on Microelectronics Research \(whitehouse.gov\)](#)

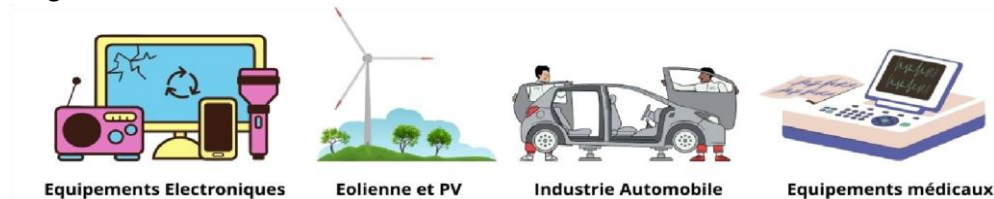
¹³⁶ [Des chercheurs américains et chinois ont développé un matériau qui pourrait changer la donne en électronique](#)

processus complexes de microélectronique prend généralement des décennies d'efforts et coûte des milliards de dollars pour passer de la preuve de concept à la fabrication. Pour permettre aux matériaux nouveaux et émergents de réaliser leur potentiel, de nouvelles approches sont nécessaires pour réduire de manière significative le temps et les coûts de déploiement.

I.4.1.3. Les Terres rares : quelle importance ?

Les terres rares représentent des ressources jouant un rôle crucial dans l'industrie technologique en incluant les semi-conducteurs en raison de leurs propriétés d'améliorer les performances de ces derniers dans certains domaines d'applications nécessitant certaines spécificités. Les terres rares sont constituées de 17 éléments : 15 lanthanides, Lanthane, Cérium, Praséodyme, Néodyme, Prométhium, Samarium, Europium, Gadolinium, Terbium, Dysprosium, Holmium, Erbium, Thulium, Ytterbium et Lutécium, auxquels il faut rajouter le Scandium et l'Yttrium.

Elles sont utilisées pour leurs propriétés magnétiques exceptionnelles, et les terres rares lourdes (qui ont le plus de valeur) servent à repousser le point de température où les aimants perdent leur magnétisme. Elles sont demandées dans divers secteurs industriels :

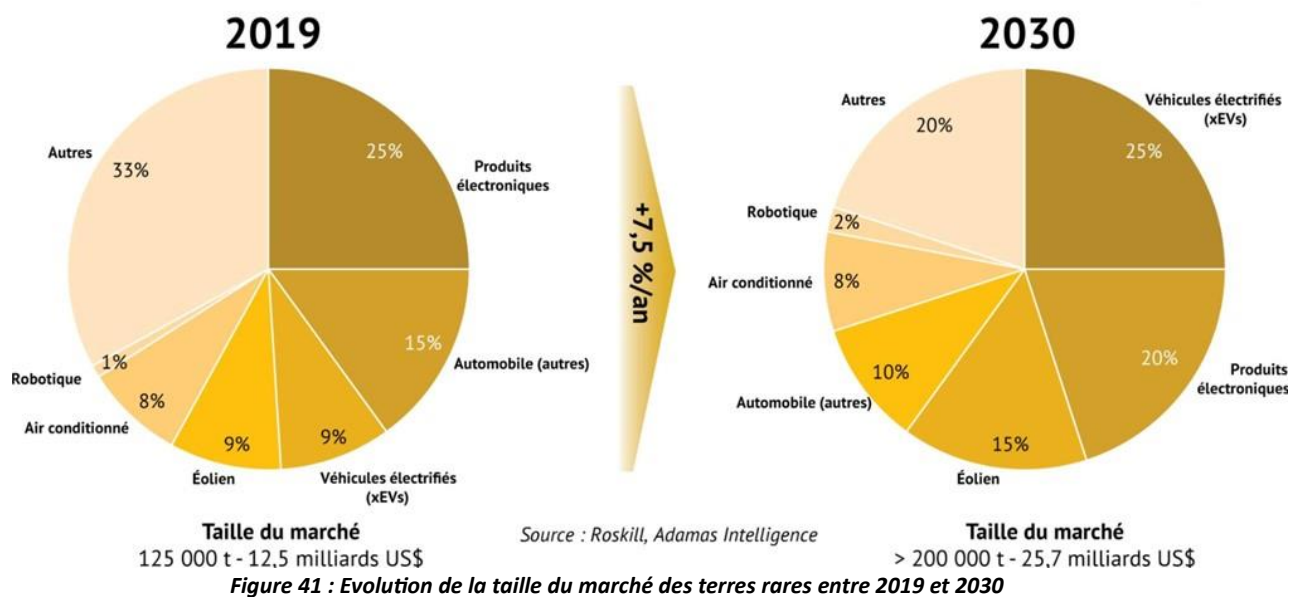


Terres rares et semi-conducteurs, quelles relations ?

Il existe de nombreux usages des terres rares. Dans le domaine des semi-conducteurs, les raisons principales de leur utilisation sont les suivantes :

- **Polissage et gravure des Wafers** : les Oxydes de terres rares (ex. Oxyde de cérium CeO_2) sont utilisés dans le processus de polissage des wafers de silicium.
- **Augmentation de la température de fonctionnement** : elles permettent aux semi-conducteurs de fonctionner dans des températures plus élevées et par conséquent d'assurer des applications à haute performance/puissance.
- **Amélioration des performances** : à travers le dopage des cristaux par des ions des métaux terres rares afin d'améliorer les propriétés des semi-conducteurs en augmentant la vitesse de transmission de l'information et son stockage dans un temps record. Ex : Le Néodyme et le praséodyme sont utilisés pour améliorer les semi-conducteurs à base de Gallium (Ga) et nitrure de gallium (GaN).

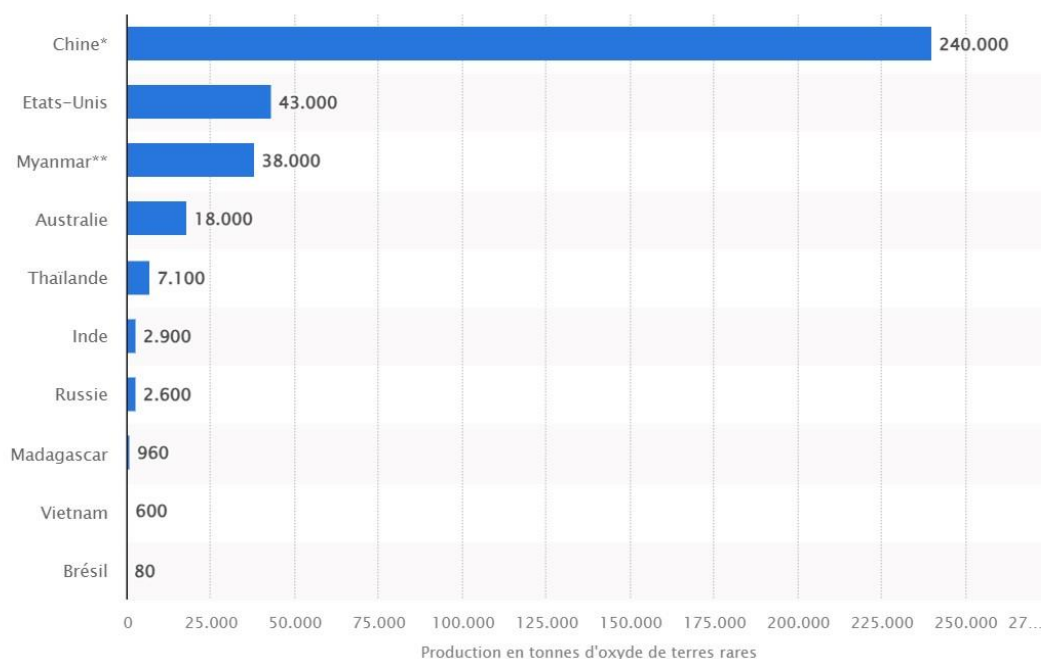
Les terres rares sont une ressource clé dans la fabrication de semiconducteurs, alors que la demande est en hausse dans d'autres secteurs, tels que l'automobile. La dépendance à ces matériaux va augmenter à l'horizon de 2030, en particulier du fait de l'expansion des véhicules électriques.



Terres rares, ressource limitée et conflits géopolitiques

Les terres rares sont présentes un peu partout dans la croûte terrestre, à différentes concentrations. Leur rareté ne relève pas de la géographie mais désigne leur très faible concentration, qui nécessite l'extraction de grands volumes de matière. Globalement l'extraction, la purification, le traitement et la séparation des terres rares sont coûteux en énergie, en eau et en produits chimiques polluants. Selon l'USGS (Institut d'Etudes Géologiques Américain), la production mondiale des terres rares était de l'ordre de 280 000 tonnes en 2021, essentiellement en Chine (60% de la production mondiale), aux USA (15%), en Birmanie, Australie et Thaïlande. D'autres pays (Brésil, Russie, Inde et Madagascar) produisent des quantités minimales. En

2023, la production est passée à 350 000 tonnes, réparties selon le graphe suivant :¹³⁷



¹³⁷ [Le marché des terres rares en 2022: filières d'approvisionnement en aimants permanents | MineralInfo](#) ¹⁶¹
[Principaux pays producteurs de terres rares 2023 | Statista](#)

Figure 42 : Répartition de la production mondiale des terres rares en 2023¹⁶¹

La Chine se maintient en tête des pays disposant d'une réserve de terres rares (44 millions de tonnes), suivie par le Vietnam, le Brésil puis la Russie, regroupant à eux trois 50 % des réserves mondiales (cf. Figure 42). La prédominance de la Chine en termes de capacité de production ne s'explique pas uniquement du fait de réserves certes importantes, mais surtout par un coût de revient moindre grâce à une main-d'œuvre bon marché et des normes environnementales peu contraignantes.¹⁶²

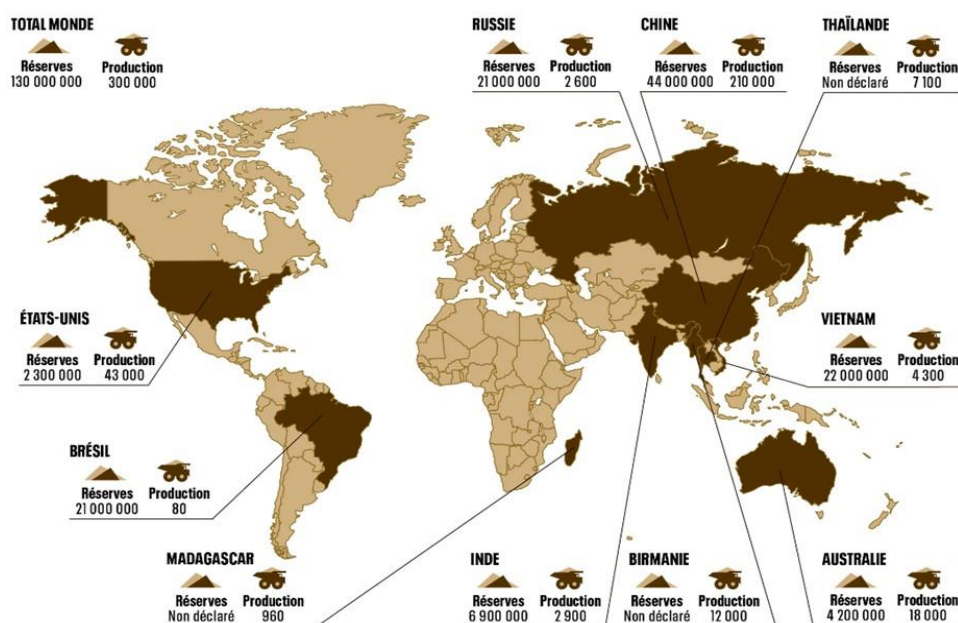


Figure 43 : Mapping

de la production et des réserves mondiale des terres rares

Dépendance mondiale, la Chine joue sa carte sur table : L'annonce des Pays-Bas de limiter l'accès de la Chine aux technologies avancées pour la fabrication de semi-conducteurs a provoqué une vive réaction de Pékin, qui a qualifié cette décision de menace contre son droit au développement, révélant ainsi la difficulté qu'éprouve la Chine à rattraper son retard technologique face à des pays comme les États-Unis et leurs alliés. En représailles, elle a décidé de restreindre l'exportation des deux matériaux critiques pour l'industrie des semi-conducteurs : le gallium et le germanium. À partir d'août 2023, les exportateurs chinois doivent obtenir une licence spéciale pour exporter ces matériaux, et fournir des informations détaillées sur leurs acheteurs étrangers. Cette décision entre dans la stratégie plus large de Pékin pour renforcer son autonomie et protéger ses intérêts nationaux dans un contexte de guerre technologique croissante avec les États-Unis.

Le gallium est crucial pour la fabrication de circuits intégrés et de panneaux solaires, et il est très recherché pour sa capacité à améliorer la résistance des puces, notamment dans les applications spatiales. Le germanium quant à lui est essentiel pour la fabrication de fibres optiques et de technologies infrarouges. La Chine contrôle une grande partie du marché mondial de ces métaux rares comme mentionné précédemment. Bien que les exportations de gallium et de germanium représentent une petite part du commerce global, leur importance stratégique est énorme, en particulier pour les industries de la défense et des technologies de pointe.¹⁶³ Malgré cela, les restrictions imposées par la Chine ne sont pas nécessairement un "coup mortel", mais plutôt un avertissement. On ne sait pas encore si la Chine interdira systématiquement les exportations vers certains pays ou utilisateurs finaux. Toutefois, cette mesure met en lumière la dépendance critique des États-Unis et de l'Europe à l'égard des matériaux chinois, ainsi que l'importance stratégique de diversifier les sources d'approvisionnement en métaux rares.

1.4.2. Les ressources humaines ultra qualifiées : Un gros problème RH

Dans le paysage technologique en constante évolution, le secteur des semi-conducteurs est demandeur de compétences, dans un contexte de pénurie mondiale des talents.¹⁶⁴

¹⁶² <https://www.vie-publique.fr/parole-dexpert/289457-terres-rares-quels-enjeux-pour-la-france-et-leurope>

¹⁶³

Chine-Amérique : semi-conducteurs contre terres rares, au cœur de la guerre technologique - Asialyst

¹⁶⁴

U.S. Semiconductor Jobs are Making a Comeback | CEA | The White House

1.4.2.1 Les profils et compétences requis par l'industrie

La conception et la fabrication de semi-conducteurs représentent des activités assez complexes qui requièrent des compétences en haute technologie et industrielles spécifiques. Les ingénieurs doivent avoir une connaissance générale commune de la conception et de la fabrication en microélectronique. Pendant de nombreuses années, ils ont été divisés en deux groupes : les ingénieurs de fabrication et de packaging et les ingénieurs et techniciens en conception. Cependant, les processus de fabrication doivent respecter les spécifications de conception, et la communauté des concepteurs doit comprendre le fonctionnement des processus de fabrication. Par conséquent, tout ingénieur travaillant dans l'industrie des semi-conducteurs doit être formé aux processus standardisés de conception et de fabrication, même s'il n'est pas expert dans ces domaines. Les universités doivent donc s'assurer que leurs diplômés possèdent ces connaissances de base. D'autre part, des compétences générales ("soft skills") telles que des compétences managériales, en gestion de projet, communication et leadership, etc... sont également attendues.

Selon le Consortium Européen Microelectronics, Training, Industry & Skills (METIS) dans son rapport METIS 4 SKILLS, les profils les plus stratégiques sont les suivants :

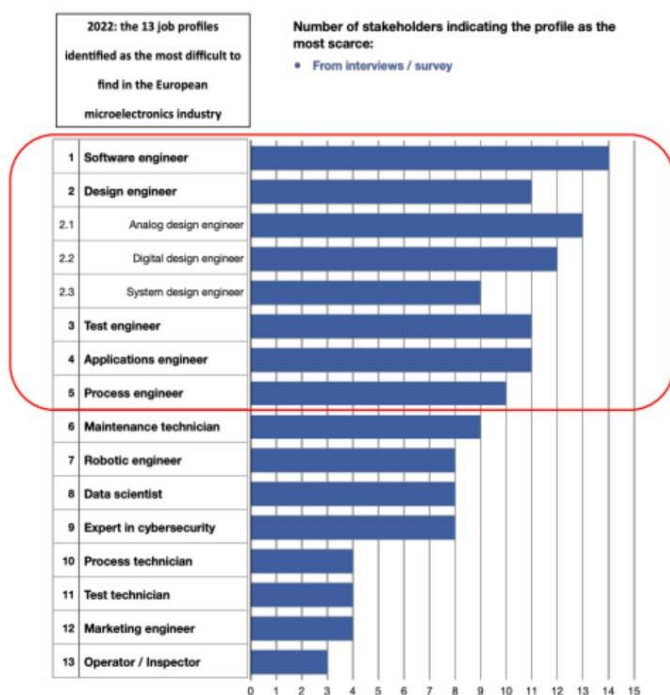


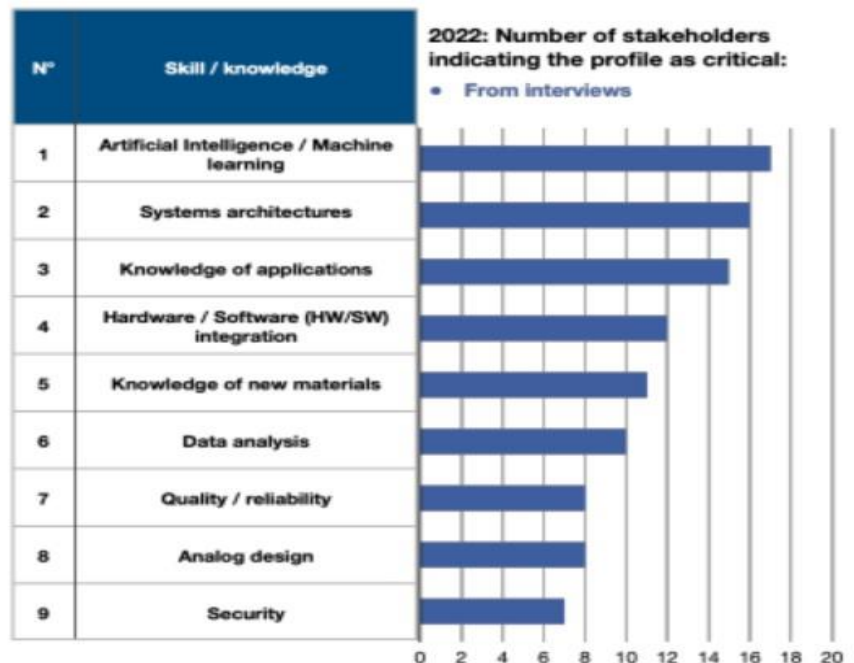
Figure 44 : Graphe indiquant les profils les plus importants et difficiles à trouver par l'industrie

En 2022, les profils de postes les plus recherchés dans l'industrie microélectronique européenne étaient les ingénieurs en logiciel et en conception (conception de systèmes, conception numérique et conception analogique). La demande d'ingénieurs en logiciel, scientifiques des données, experts en cybersécurité et ingénieurs applicatifs est aussi très forte depuis deux ans.

Sur le volet compétences, les besoins concernent l'apprentissage automatique et l'intelligence artificielle, l'analyse de données, la conception de systèmes et les architectures de systèmes (SoC, SiP, SoP, ASIC complexes), les compétences numériques et les compétences en logiciels (notamment la programmation de logiciels embarqués), ainsi que la connaissance des nouveaux matériaux.¹³⁸

Ou encore des personnes maîtrisant la conception analogique, le calcul en périphérie ("edge computing"), des connaissances environnementales, la maîtrise du contrôle des exportations, la conception de MEMS pour les hautes températures et les hautes performances, le traitement/la fabrication de MEMS, le marketing produit, la programmation pour la génération automatique de circuits et la conception à faible consommation d'énergie.

Figure 45 : Graphe des compétences les plus recherchées par l'industrie
I.4.2.2 Personnel qualifié : Un besoin croissant jusqu'à l'horizon 2030



Un rapport de la SIA et d'Oxford Economics a documenté le déficit de compétences auquel est confronté l'industrie des semi-conducteurs, et l'économie américaine dans son ensemble. Selon le rapport, les États-Unis sont confrontés à des pénuries de travailleurs qualifiés à tous les niveaux pour la fabrication et la conception de puces, des scientifiques et ingénieurs (Bac+3/4) en électricité, chimie, mécanique, matériaux, des informaticiens et techniciens ayant une formation spécialisée, des spécialistes des opérations industrielles, des techniciens d'ingénierie, des opérateurs de matériel etc... L'économie américaine aurait besoin de créer 3,85 millions d'emplois supplémentaires exigeant une maîtrise dans les domaines techniques d'ici à 2030 et 1,4 millions d'emplois risquent de ne pas être pourvus par manque de personnels qualifiés.¹³⁹

¹³⁸ <https://www.metis4skills.eu/skills-strategy/>

¹³⁹ https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2024/04/SIA-Workforce-Policy-Blueprint-4_8_24.pdf

Economy-Wide Workforce Gap

Projected U.S. demand for computer scientists, engineers, and technicians, 2023-2030

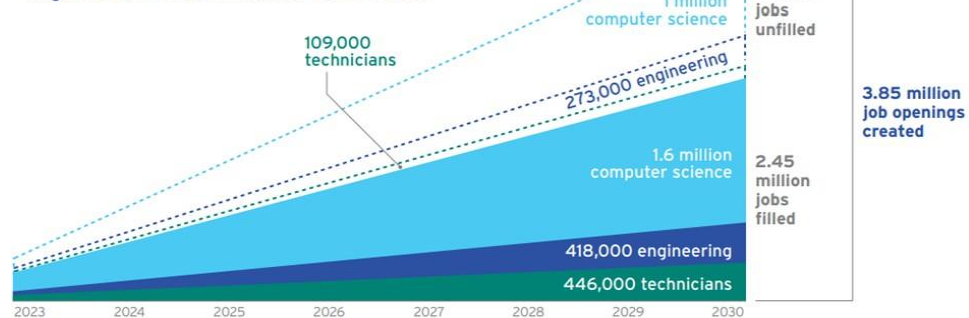


Figure 45 : Manque prévisionnel des profils informatiques par les US (par l'ensemble des secteurs)

Pour l'industrie des semi-conducteurs aux États-Unis, 115 000 emplois supplémentaires seraient nécessaires d'ici 2030 ; or 58 % de ces postes (67 000) risquent de ne pas être pourvus : 26 400 techniciens, 23 300 informaticiens ou ingénieurs titulaires d'un diplôme supérieur et 17 400 ingénieurs titulaires d'un master ou doctorat :

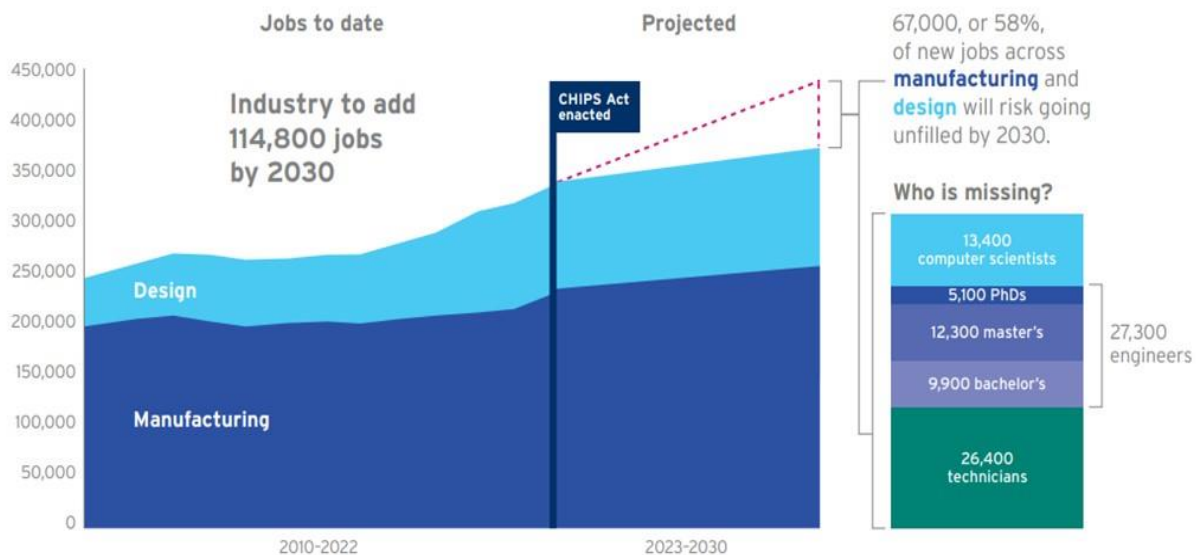


Figure 46 : Manque prévisionnel des profils qualifiés dans le secteur des semiconducteurs aux USA (par niveau de profil)

En Europe, ce manque de talent est estimé à plus de 200.000 travailleurs à l'horizon de 2030, ce qui représente un facteur de 1.7 par rapport à l'année 2023 dont les niveaux et domaines d'expertise restent similaires à ceux cités auparavant. Ce manque de travailleurs qualifiés affecte toute la chaîne d'approvisionnement des semi-conducteurs et menace la compétitivité, la capacité d'innovation, le leadership technologique et la sécurité nationale des États-Unis, comme de l'Europe. Malgré les efforts réalisés dans le cadre du US Chips Act avec les subventions allouées au développement de l'industrie et les conventions de relocalisation des usines de production aux USA et en Europe, la construction de nouvelles usines de fabrication par TSMC à Phoenix, Arizona, par STMicroelectronics et Soitec en France, crée respectivement un besoin de plus 4500 et 1000 personnes qualifiées en haute technologie. A ce jour, le blocage alarmant sur l'avancement des projets en cours par faute de disponibilité reste un risque important, et la réponse à la question de savoir s'il y aura assez de candidats pour combler ces besoins reste entière.

1.5. Chips Acts & lawfare

La guerre des puces se joue également sur le terrain du droit. Les compétiteurs dans le domaine des semi-conducteurs ont multiplié lois et règlements : CHIPS Acts, contrôle des exportations, sanctions économiques, lois extraterritoriales, tout est bon pour soutenir leur rang dans la compétition, y compris

l'instrumentalisation du droit. La rivalité sino-américaine se lit à travers ces législations, forçant l'Europe à évoluer vers de nouvelles stratégies économiques, à remettre en question le sacro-saint dogme du libre-échange, et à adopter un nouveau concept de « *sécurité économique* ».

I.5.1. Chips Acts

I.5.1.1. Chine/USA/Europe – les Chips Acts “in a glimpse”

Si l'on compare le CHIPS Act européen et ceux de la Chine et des USA, force est de constater le temps de retard des européens, et les moyens moindres :

CHIPS ACTS	CHINE	USA	EUROPE
Date	Depuis 2014	Août 2022	Septembre 2023
Objectifs	Augmenter sa capacité de production et se mettre au niveau des dernières technologies	Rapatrifier la production aux USA <u>et</u> empêcher la Chine de rattraper son retard dans le secteur	Renforcer la compétitivité et la résilience de l'Europe dans les semiconducteurs Augmenter la capacité de production à 20 % du marché mondial d'ici 2030
Moyens	INVESTISSEMENT PUBLIC estimé à 150 milliards USD d'aides publiques sur dix ans.	INVESTISSEMENT PUBLIC de 53 milliards USD dans la fabrication, la R&D et la main d'œuvre de puces CREDIT D'IMPOT de 25% sur les investissements en capital dans la fabrication de puces INTERDICTION aux bénéficiaires de fonds d'étendre la fabrication de semi-conducteurs en Chine et dans les pays définis comme une menace pour la sécurité nationale des États-Unis	INVESTISSEMENTS (publics et privés) : EUR 43 milliards COORDINATION entre la Commission et les États membres pour surveiller et anticiper les pénuries.



Figure 48 - Montants des investissements engagés par les principaux états en compétition¹⁴⁰

I.5.1.2. Le CHIPS Act américain : approche chronologique de l'endiguement de la Chine

En 1947, le président Harry Truman avait promis que les États-Unis soutiendraient toute nation dans ses efforts pour résister au communisme et empêcher sa propagation. La politique d'« endiguement » (littéralement : contenir grâce à des digues) qui devient un principe directeur de la politique américaine tout au long de la guerre froide. L'idée selon laquelle les États-Unis et leurs alliés, en encerclant le bloc soviétique, allaient contenir la propagation de son idéologie, reste fortement ancrée dans l'esprit américain. En 2023, le gouvernement US n'a pas fait de déclaration aussi radicale, mais nous pouvons voir une sorte de « confinement technologique » dans sa politique de sécurité, en particulier en ce qui concerne les semi-conducteurs. Dans un rapport de la Commission de sécurité nationale sur l'intelligence artificielle de mars 2021¹⁴¹, on peut déjà constater la vision que les États-Unis ont de la Chine : leur concurrent n°1 dans une compétition pour la domination technologique mondiale. On y trouve déjà les éléments essentiels de la loi CHIPS, en particulier la recommandation de s'entendre avec les Pays-Bas et le Japon pour refuser l'export à la Chine des machines de lithographie EUV dont elle a besoin pour produire la prochaine génération de semi-conducteurs. C'est ainsi qu'à l'été 2022, des diplomates américains ont fait pression sur le gouvernement néerlandais pour qu'il interdise une vente de machines EUV à un fabricant chinois de puces. Bingo ! La vente n'a pas eu lieu. Fort de ce succès, les États-Unis ont continué leur pression sur les Pays-Bas et le Japon, qui ont annoncé début 2023 leur intention d'aligner leurs politiques d'exportation sur celles des États-Unis (provoquant l'ire de Bruxelles, nous y reviendrons ci-dessous).

Octobre 2022

Nouvelles règles dans la lignée de la réglementation EAR (Export Administration Regulations) qui accentue les restrictions d'exportation de composants technologiques stratégiques vers la Chine et qui embrasse un large périmètre (puces, semi-conducteurs avancés, supercalculateurs...). Ces contrôles à l'export portent sur les gammes de semi-conducteurs les plus avancés, les puces mémoires ou logiques, utilisées dans la gestion des flux de données, notamment pour les systèmes d'intelligence artificielle (IA). Car ce qui inquiète les autorités américaines, ce sont les usages militaires de l'IA. Leur posture est donc de ne plus faire de distinction entre les usages civils et militaires dans ce domaine, ce qui répond au fait que la Chine fait effectivement travailler ensemble des entreprises civiles et militaires sur ces technologies. Il s'agit de maintenir à tout prix la position dominante des États-Unis dans le secteur des semi-conducteurs, et d'interdire l'accès de la Chine à des segments très précis de ce marché (notamment les logiciels de conception), en continuant à peser sur leurs partenaires européens et asiatiques pour qu'ils n'exportent pas des semi-conducteurs (Corée du Sud et Taiwan) ou les machines

¹⁴⁰ De l'auteur D.C.

¹⁴¹ <https://www.nsai.gov/wp-content/uploads/2021/03/Full-Report-Digital-1.pdf>

qui les fabriquent (Pays-Bas, Japon). De plus, tout citoyen américain se voit interdire une quelconque coopération avec la Chine dans ce domaine.

Le maintien de leur suprématie dans l'industrie des semi-conducteurs est un objectif politique affirmé des États-Unis depuis les années 1980¹⁴². Leur rôle dans les applications militaires, leur omniprésence ainsi que la concentration et les goulots d'étranglement existant dans l'industrie ont fait des sanctions sur les puces un outil puissant de pression économique et politique. Les sanctions ont d'abord été imposées par les États-Unis aux entreprises technologiques chinoises, en particulier Huawei, les privant de leur approvisionnement en puces haut de gamme. D'autres goulots d'étranglement ont été utilisés pour empêcher un rattrapage chinois (interdiction d'exportation des machines ASML de dernière génération aux entreprises chinoises). Plus récemment, les États-Unis, l'Union européenne, le Royaume-Uni, le Japon, Taïwan et le Canada ont imposé un embargo sur les puces à la Russie, privant les industries russes d'un intrant important¹⁴³. Ces sanctions auraient déjà perturbé une partie de la production russe de missiles guidés de précision et de chars¹⁴⁴.

Ces sanctions tirent leur force de la situation de monopole des technologies US dans la chaîne d'approvisionnement, car tous les puces hauts de gamme sont produites grâce à la propriété intellectuelle américaine. Sans accès à la technologie, il semble pratiquement impossible pour la Chine d'être à la pointe du développement des puces dans un futur proche¹⁴⁵.

Octobre 2023

Nouvelle réglementation sur les semi-conducteurs avec de nouvelles restrictions comprenant un contrôle de l'origine de certains équipements de fabrication de semi-conducteurs (le même contrôle qui s'applique aux articles militaires et de sécurité). Toutefois, si le pays où cet équipement est fabriqué maintient les mêmes contrôles à l'exportation que les États-Unis, la règle ne s'applique pas. Ainsi il ressort clairement des règlements quels alliés se trouvent de quel côté de la ligne : le Japon, qui a convenu d'apporter des modifications à ses contrôles à l'exportation de technologies semi-conductrices vers la Chine, n'est pas soumis à cette règle ; en revanche les Pays-Bas, qui ont hésité à mettre en œuvre des contrôles sur la technologie des puces mémoire, y sont soumis. En même temps qu'ils favorisent leurs alliés, les États-Unis n'épargnent pas les pays assis de l'autre côté de leur mur de confinement. La réglementation d'octobre 2022 sur les semi-conducteurs visait la Chine et les entreprises chinoises. La mise à jour de 2023 élargit cet objectif et interdit ou restreint certaines exportations vers les pays des catégories D1, D2 et D5 selon la classification du Bureau de l'Industrie et de la Sécurité dans le cadre de la réglementation EAR¹⁴⁶, soit plus de quarante pays, y compris d'importants centres d'affaires internationaux tels que l'Arabie Saoudite et les Émirats Arabes Unis. Le raisonnement qui sous-tend des restrictions aussi larges est le risque de détournement, qu'ils considèrent suffisamment important pour justifier de bloquer des dizaines de pays.

1.5.1.3. Le CHIPS & Sciences Act américain, premier bilan après un an¹⁴⁷

Les entreprises américaines ont annoncé 166 milliards de dollars d'investissements dans les semi-conducteurs et l'électronique, 50 universités ont ouvert de nouveaux programmes de formation, et la National Science Foundation avec les ministères de l'Énergie, du Commerce et de la Défense a créé le

¹⁴² Chris Miller [A Semiconducted Trade War – Foreign Policy](#))

¹⁴³ M. Grzegorzczuk, J. S. Marcus, N. Poitiers et P. Weil, [The decoupling of Russia: high-tech goods and components](#)

¹⁴⁴ J. Ponciano, [Russia May Be Showing It's Running Low On Precision-Guided Munitions](#) K. Freifeld, [U.S. official says export curbs on Russia hit car production and tank building](#) | Reuters

¹⁴⁵ C. Thomas, [Lagging but motivated: The state of China's semiconductor industry](#))

¹⁴⁶ [Supplement No. 1 to Part 740—Country Groups | Bureau of Industry and Security \(bis.gov\)](#)

¹⁴⁷ [FACT SHEET: One Year after the CHIPS and Science Act, Biden-Harris Administration Marks Historic Progress in Bringing Semiconductor Supply Chains Home, Supporting Innovation, and Protecting National Security](#) | The White House

« *National Semiconductor Technology Center* », dont la mission est de soutenir le leadership américain dans la recherche et le développement des semi-conducteurs.

Le décret sur le crédit d'impôt de 25% pour les investissements dans la fabrication de semi-conducteurs et la production d'équipements de fabrication de semi-conducteurs a été publié en mars 2023, et en juin, celui permettant aux entreprises de recevoir le montant total du crédit d'investissement sous forme de paiement direct. Le ministère du commerce a reçu plus de 460 déclarations d'intérêt d'entreprises pour des projets d'investissements dans le secteur des semi-conducteurs, mis sur pied une équipe « CHIPS for America » de plus de 140 personnes travaillant à la mise en œuvre du programme d'incitations et publié en mars 2023 le décret mettant en œuvre les garde-fous de sécurité nationale énoncés dans le Chips Act (qui visent à empêcher que la technologie et l'innovation financées par l'état ne soient utilisées à mauvais escient par des pays considérés comme une menace pour la sécurité nationale des USA). Le ministère des finances a mis en place des garde-fous parallèles pour le crédit d'investissement dans la fabrication de pointe.

Le ministère des affaires étrangères a lancé en mars 2023 la mise en œuvre du *Fonds international pour la sécurité et l'innovation technologiques*¹⁴⁸ pour soutenir la sécurité et la diversification de la chaîne d'approvisionnement en semi-conducteurs, et annoncé des partenariats avec le Costa Rica, le Panama et l'OCDE. Le ministère de la Défense et le ministère du Commerce ont signé un accord¹⁴⁹ visant à étendre leur collaboration pour s'assurer que ces investissements permettront aux États-Unis de fabriquer des semi-conducteurs essentiels aux programmes d'armement.

Et le ministère du commerce a lancé des discussions avec un certain nombre de partenaires et alliés des États-Unis, notamment la Corée du Sud, le Japon, le Royaume-Uni, l'Inde et l'Union Européenne pour « coordonner les programmes d'incitation gouvernementaux, construire les chaînes d'approvisionnement en semi-conducteurs résilientes, promouvoir l'échange de connaissances et la collaboration dans le développement de technologies de nouvelle génération et mettre en œuvre des garanties pour protéger la sécurité nationale (des États-Unis) ». En somme, ils ne chôment pas.

1.5.1.4. La réponse chinoise

Afin d'atteindre ses objectifs, à savoir : augmenter sa capacité de fabrication de puces et se mettre au niveau des dernières technologies, la Chine a, depuis 2014, déployé un programme d'investissement estimé à 150 milliards de dollars d'aides publiques sur dix ans. Au cours des dix dernières années, elle a investi de manière significative dans l'industrie des semi-conducteurs (cf. *Section 1.2.2*). En particulier, le ministère chinois des Finances, des banques publiques et plusieurs entreprises ont injecté environ 43,7 milliards d'euros dans un fonds national dédié aux semi-conducteurs. Ces investissements visent à renforcer l'autonomie de la Chine dans ce secteur stratégique, en réponse aux restrictions imposées par les États-Unis et d'autres pays sur l'exportation de technologies avancées vers la Chine^{150 151}.

En août 2023, Pékin a renforcé ses contrôles à l'exportation de gallium et de germanium, deux métaux critiques utilisés notamment dans la fabrication de batteries et de certains semi-conducteurs utilisés pour les radars militaires par exemple. Ces mesures sont intervenues neuf mois après les nouvelles mesures américaines de contrôle à l'export des gammes les plus avancées de semi-conducteurs - celle équipant les applications militaires en intelligence artificielle. Un signal fort indiquant la volonté de Pékin d'engager Washington dans une confrontation, voire une escalade, sur le terrain des restrictions commerciales et technologiques.

¹⁴⁸ <https://www.state.gov/the-u-s-department-of-state-international-technology-security-and-innovation-fund/>

¹⁴⁹ [Department of Commerce and Department of Defense Sign Memorandum of Agreement to Strengthen U.S. Defense Industrial Base](#)

¹⁵⁰ [Semi-conducteurs: la Chine investit plus de 40 milliards d'euros pour renforcer son autonomie](#)

¹⁵¹ [Semi-conducteurs: la Chine investit plus de 40 milliards d'euros - Le Revenu](#)

I.5.1.5. Le Chips Act Européen

À la suite de la pénurie de semi-conducteurs durement ressentie dans le secteur automobile européen, l'Europe a abandonné sa position traditionnelle de restriction des aides publiques, hors les projets dits « Projets importants d'intérêt européen commun » (IPCEI). Selon les règles définies des IPCEI, seuls les projets de R&D et d'innovation utilisant des technologies nouvelles peuvent être financés, et à la condition qu'ils ne puissent être financés par le seul secteur privé. La loi sur les semi-conducteurs crée une règle inédite spécifique aux fonderies et selon laquelle il suffit que la technologie ne soit pas présente dans l'UE elle-même. A noter que le 1^{er} projet à bénéficier de cette règle est celui d'une nouvelle fonderie INTEL à Magdebourg (Allemagne) pour un montant de 17 milliards d'euros, dont 40% seront financés par le gouvernement allemand (autrement dit, les contribuables allemands vont financer une entreprise américaine).

Le règlement sur les semi-conducteurs vise à développer l'écosystème européen de haute technologie et entend mettre les capacités de l'UE en matière de recherche fondamentale au service de l'innovation industrielle. Pour soutenir la R&D, elle prévoit un financement, dans le cadre de l'initiative « Puces pour l'Europe », qui combine plusieurs projets de recherche existants sur les puces dans le cadre d'Horizon Europe, Europe numérique et l'entreprise commune « Technologies numériques clés ». Cette initiative est dotée d'un budget global de 11 milliards d'euros, dont moins de 4 milliards proviennent de l'UE elle-même, la majeure partie de la somme étant déjà affectée à la recherche sur les puces dans le cadre des initiatives existantes. Des fonds supplémentaires provenant de la Banque européenne d'investissement (BEI) ont été alloués à l'aide financière à destination des Start-ups. Enfin, les pays de l'UE sont encouragés à coordonner et à subventionner les projets de recherche et d'innovation des entreprises privées par le biais d'une nouvelle IPCEI. La Commission prévoit que le reste des 11 milliards d'euros sera financé grâce aux fonds provenant des gouvernements et des entreprises via les IPCEI.

Il s'agit là du plus grand changement en termes de politique industrielle de l'UE, puisque la Commission encourage les pays de l'UE à utiliser des aides d'État à l'investissement par le biais d'une règle spécifiquement créée pour ce cas d'utilisation.

Afin de garantir un approvisionnement durable des industries de l'UE en puces, la loi sur les semi-conducteurs vise aussi à fournir des mesures d'urgence en situation de crise, telles qu'un mécanisme de surveillance pour détecter et identifier une crise d'approvisionnement, l'obligation, pour les fonderies ayant bénéficié de subventions d'approvisionner en priorité les industriels européens, des contrôles à l'exportation, et l'achat groupé de puces par la Commission pour le compte de tiers. Un « Groupe européen d'experts en semi-conducteurs », composé de représentants des pays de l'UE, est chargé de surveiller la chaîne d'approvisionnement afin d'identifier les pénuries potentielles. En cas de crise, la Commission pourra acheter des puces au nom de l'UE et exiger des fonderies ayant bénéficié de subventions qu'elles donnent la priorité aux clients européens. La Commission pourra restreindre les exportations si elle le juge nécessaire, faisant écho aux mesures utilisées pour les vaccins lors de la crise du Covid-19.

Dans les limites des compétences et du budget de la Commission, la loi sur les semi-conducteurs encourage les pays de l'UE à utiliser des subventions et permet l'application de nouvelles restrictions commerciales. En tant que telle, elle marque une évolution significative de la position de l'UE en matière de politique industrielle et commerciale.

Si l'on additionne les estimations des aides annoncées par les États-Unis, la Chine, le Japon, la Corée du Sud et l'UE, on obtient un montant de 721 milliards de dollars, soit environ 1% du PIB mondial de 2020. Le résultat est une course aux subventions pour l'implantation des fonderies de quelques entreprises seulement. En conséquence, les contribuables supportent une part importante des coûts de construction d'usines privées. Ces subventions viennent s'ajouter aux investissements massifs réalisés

par l'industrie elle-même : TSMC et Samsung se livrent une guerre d'enchères pour les parts de marché de la fabrication haut de gamme, TSMC investissant à elle seule plus de 30 milliards de dollars par an. Compte tenu de sa dépendance à l'égard des importations et de leur importance stratégique, il n'est guère surprenant que la Chine tente depuis longtemps de réduire sa dépendance à l'égard de la technologie étrangère relative aux puces. Ce qui est plus surprenant, c'est l'adoption de ces politiques industrielles par les États-Unis et l'UE, car ils ne sont pas visés comme la Chine par des restrictions à l'exportation dans ce secteur. Pour l'UE en particulier, la loi sur les semi-conducteurs représente un changement notable par rapport à une opposition de longue date aux subventions industrielles considérées comme préjudiciables à la concurrence internationale. **Les puces deviennent ainsi le symptôme et la cause de changements majeurs dans l'élaboration des politiques industrielles et commerciales.**

I.5.2.Sécurité économique, un nouveau concept venu de l'Ouest

Depuis les débuts de l'industrie, les interventions gouvernementales (financement de la R&D, programmes de recherche universitaire, incitations fiscales, marchés publics, politiques protectionnistes...) ont joué un rôle important pour soutenir le développement d'écosystèmes de haute technologie (cf. l'avènement de champions de la puce aux États-Unis, au Japon, en Corée du Sud, à Taïwan et en Chine¹⁵²).

Le soutien des pouvoirs publics a historiquement été une condition préalable mais pas, compte tenu de la forte compétitivité, une garantie pour remonter dans la chaîne de valeur de l'industrie des semi-conducteurs, comme l'illustre l'exemple chinois. Les nouveaux programmes d'investissement introduits par les Chips Acts américain et européen sont principalement axés sur l'augmentation de la capacité de fabrication de puces, en mettant l'accent sur les fonderies de pointe situées jusqu'à présent uniquement en Corée du Sud et à Taïwan.

La construction de fonderies locales vise à atténuer les risques économiques et politiques en réduisant les goulots d'étranglement autour de Taïwan et de la Corée du Sud. Pour les États-Unis et la Chine, cette concentration sur l'étape technique la plus complexe de la production reflète la compétition pour respectivement conserver et gagner la suprématie technologique. Les objectifs de l'Europe ne sont pas aussi clairs, faisant état de justifications à la fois économiques et stratégiques. De fait, la loi sur les semi-conducteurs illustre les ambitions de la Commission européenne à devenir un acteur géopolitique défendant l'autonomie stratégique de l'UE ou sa « *souveraineté numérique* ».

I.5.2.1. La stratégie de sécurité nationale américaine

Le 12 octobre 2022, la Stratégie de sécurité nationale américaine (« SSN ») était présentée par le Conseiller à la sécurité nationale, M. Jake Sullivan, à l'université de Georgetown. Ce document conclut que l'imbrication structurelle entre la sécurité nationale et l'économie constitue l'enjeu clé du monde à venir, traçant ainsi une nette rupture avec la période de l'après-guerre froide. Assurément, le constat n'est pas nouveau et les crises de la COVID-19 et de l'invasion russe de l'Ukraine ont servi de révélateur et d'accélérateur.

Néanmoins, le fait que les États-Unis d'Amérique, première puissance mondiale, en prennent officiellement acte matérialise la bascule dans un autre environnement auquel des règles nouvelles s'appliquent. De manière contre-intuitive pour le public européen, la SSN 2022 porte un jugement sévère sur le bilan de la mondialisation des échanges économiques des trente dernières années : elle dénonce les règles existantes en matière de commerce et d'échanges économiques, élaborées pour privilégier la mobilité des entreprises sur les travailleurs et l'environnement; les limites des marchés qui ne peuvent pas répondre au rythme soutenu des changements technologiques, aux ruptures des chaînes d'approvisionnement ou à l'aggravation de la crise climatique; ou le nivellement par le bas de la fiscalité des entreprises au niveau mondial. Par ailleurs, la SSN 2022 dénonce la posture de la Chine, accusée de jouer « anti-marché », celle-ci bénéficiant de l'ouverture de l'économie internationale alors

¹⁵² cf. N. Poitiers et P. Weil, « A New Direction for Europe's Half-Hearted Semiconductor Strategy », op. cit

même qu'elle limite l'accès à son marché national, et cherchant à rendre le monde plus dépendant d'elle tout en réduisant sa propre dépendance à l'égard du monde. Dès lors, l'enjeu devient la sécurité des chaînes d'approvisionnement qui implique, pour des produits stratégiques, un «*découplage*» entre la Chine et les États-Unis. L'économie devient partie intégrante de la sécurité nationale par le biais du concept de sécurité économique.

Sur la base de cette stratégie, les États-Unis ont mis en œuvre une double politique : d'une part, de découplage avec la Chine sur un certain nombre de technologies critiques listées dans la SSN (microélectronique, super calcul et technologies quantiques, IA, biotechnologies et bioproduction, télécommunications avancées, technologies en matière d'énergies renouvelables) et d'autre part, d'influence à l'égard des alliés des États-Unis afin de favoriser un alignement des pratiques. Cette doctrine américaine de « *small yard, high fence* » (petite cour, haute clôture) présentée par Sullivan a suscité de vifs débats tant son champ d'application paraît en réalité vaste en englobant la quasi-totalité des technologies d'avenir de l'humanité autour d'une rhétorique antichinoise.

1.5.2.2. La Stratégie européenne de sécurité économique

Dans ce contexte, la « stratégie européenne en matière de sécurité économique », publiée le 20 juin 2023 par la Commission européenne et le Haut représentant pour les affaires étrangères et de sécurité, pose les enjeux de la compétition mondiale en cours pour le modèle européen, et offre aux États membres les axes d'une adaptation de l'Union européenne pour y répondre dans la durée. L'importance de cette stratégie est soulignée dans le discours sur l'état de l'Union prononcée par la présidente de la Commission européenne, Madame Ursula von der Leyen, à Strasbourg, le 13 septembre 2023, qui a employé l'expression de « sécurité économique » pour la première fois dans ce type d'intervention.

Au début des années 2000, l'expression « sécurité économique » est liée à l'économie du bien-être, avec, en son centre, le travail : la notion reflète le degré de protection économique des personnes contre les risques de perte de leurs revenus (chômage, maladie, retraite)¹⁵³. Nous ne sommes pas si éloignés que cela de la définition d'origine, mais elle vise désormais les états et plus seulement les individus. La question devient celle du degré de protection d'un État contre le risque de perte de revenus. La Commission européenne a vocation à se saisir des questions économiques, placées au cœur de ses compétences exclusives et partagées. Toutefois, si l'économie lui revient de droit, la sécurité reste le domaine de compétence des États membres, la politique de sécurité et de défense commune s'étant développée dans un cadre intergouvernemental au sein duquel la Commission n'est pas habilitée à émettre des propositions seule. Cette stratégie de sécurité économique européenne, au-delà de ses conséquences opérationnelles immédiates, soulève donc une puissante interrogation sur le modèle européen tel qu'il existe aujourd'hui. En intégrant l'économie à la sécurité nationale, la compétition sino-américaine remet en cause les équilibres de la construction européenne établis en 1957 et pose la problématique de la redéfinition des rôles et des responsabilités au sein de l'Union européenne. La fin de la « mondialisation heureuse » se traduit ainsi par une intégration de l'économie à la sécurité nationale en rupture avec les trente dernières années.

Afin de mieux équilibrer le discours, la présidente de la Commission européenne a introduit le 30 mars 2023 le concept de « *dérisquage* ». Le terme provient du monde financier qui le définit comme le fait de restreindre ou cesser des relations commerciales avec certains clients pour éviter le risque plutôt que le gérer. Il résulte de l'influence américaine notamment exprimée au G7 (sommet d'Hiroshima en mai 2023) dans sa déclaration sur la résilience économique et la sécurité économique couvrant : la résilience des chaînes d'approvisionnement et des infrastructures critiques, la réponse aux politiques et pratiques anti-marché, le traitement de la coercition économique, la lutte contre les pratiques dommageables dans la sphère numérique, la coopération visant à l'établissement de standards internationaux, la prévention des fuites de technologies critiques et émergentes. Elle a le mérite de

¹⁵³ [L'insécurité économique est une crise mondiale Un rapport de l'OIT montre comment et où L'indice de la sécurité économique](#)

chercher à formaliser les éléments constitutifs de la sécurité économique afin d'en limiter le périmètre et éviter d'appliquer la notion à n'importe quelle situation économique. La notion de dérisquage est officiellement reprise dans le communiqué du G7, signe du consensus qui s'est forgé à son égard, sans pour autant qu'elle soit définie.

Néanmoins, l'affaire ASML a démontré, dès janvier 2023, que les États-Unis n'hésitaient pas à imposer leurs vues à leurs alliés par la coercition. Revenons sur les faits : suite à la mise en place en octobre 2022 de mesures nationales très restrictives portant sur l'exportation de technologies en matière de semi-conducteurs vers la Chine, les États-Unis font pression sur le gouvernement des Pays-Bas pour interdire l'exportation de machines de photolithographie pour l'industrie des semi-conducteurs. Les Pays-Bas, d'abord réticents, finissent par céder en annonçant les restrictions attendues à l'exportation à compter du 1^{er} septembre 2023, suscitant un débat assez vif au sein de l'Union tant cette affaire met en lumière les enjeux actuels de l'Europe :

- Si la décision est prise de manière unilatérale au titre de la sécurité nationale des Pays-Bas, les potentielles mesures de rétorsion de la Chine n'auront de sens qu'à l'encontre de l'Union européenne dans son ensemble du fait du marché unique. Par ailleurs, si la Chine porte plainte devant l'OMC contre la mise en place de ce nouveau contrôle à l'exportation, c'est la Commission européenne au titre de ses compétences commerciales exclusives qui devra défendre la mesure nationale néerlandaise.
- Les Pays-Bas n'ont eu aucune marge de manœuvre face aux États-Unis et ASML n'a rien obtenu en échange de la perte de marché qui en résulte. Le Premier ministre belge, M. Alexandre de Croo, a exprimé dans un séminaire le sentiment partagé par beaucoup d'officiels européens d'avoir fait l'objet d'intimidation de la part des États-Unis, ces derniers n'ayant entrepris aucune démarche de concertation sérieuse, mais bien imposé leurs vues sur ce dossier.
- ASML dispose en Europe d'un réseau de fournisseurs, notamment en Allemagne (optique, laser, composants chimiques), et de partenaires de recherche (Commissariat à l'énergie atomique en France, Institut de microélectronique et composants en Belgique). Qu'en est-il en cas d'achats directs par la Chine ? Quelle cohérence de la politique suivie au niveau européen alors même que le marché unique favorise l'imbrication des entreprises ? Qu'on soit en faveur ou non de cette mesure, la politique européenne de contrôle des exportations en matière de semi-conducteurs peut-elle être déterminée par un accord américano-néerlandais établi sous la pression ?

Le cas ASML démontre par l'absurde la désarticulation de l'Europe en matière de sécurité économique. Il pose la question de principe de l'autonomie décisionnelle européenne en matière technologique et commerciale. Or, qui dit technologie, dit sécurité et donc responsabilité des États membres alors que le commerce constitue une compétence exclusive de la Commission européenne (cf. le conflit Airbus-Boeing qui a démontré la capacité de cette dernière à défendre les intérêts européens face aux États-Unis). Les décideurs européens ont pris conscience de cette vulnérabilité suite aux deux chocs successifs de la COVID-19 et de l'agression de l'Ukraine par la Russie. La pandémie a vu la rupture massive des chaînes d'approvisionnement notamment dans le domaine de la santé, la guerre en Ukraine a engendré la rupture des approvisionnements en gaz russe et en céréales, pour les plus marquants.

À chaque fois, la réaction la plus massive a fini par être celle de l'Union européenne que ce soit par les achats communs de vaccins et la levée des règles de la concurrence pour les entreprises pharmaceutiques ou la mise en place des corridors de solidarité pour sécuriser les exportations ukrainiennes et la diversification permettant de sortir de la dépendance énergétique russe. Lors du Conseil européen du 16 décembre 2021, les chefs d'État et de gouvernement des 27 États membres se sont accordés sur une approche volontariste : *« Face à une instabilité accrue dans le monde, à une concurrence stratégique croissante et à des menaces complexes pour la sécurité, l'UE assumera une*

plus grande responsabilité en ce qui concerne sa propre sécurité et en matière de défense, suivra une ligne d'action stratégique et renforcera sa capacité à agir de manière autonome ».

Et deux semaines après l'attaque de l'Ukraine, les 27 chefs d'État et de gouvernement de l'Union européenne ont adopté la Déclaration de Versailles (11 mars 2022), couvrant trois dimensions : 1/ le renforcement de nos capacités de défense, 2/ la réduction de notre dépendance énergétique, et 3/ la construction d'une base économique plus solide. Le troisième point a pour objectif d'une part de réduire les dépendances stratégiques européennes dans les secteurs les plus sensibles nommément désignés (matières premières critiques, semi-conducteurs, santé, numérique, produits alimentaires – liste ayant vocation à s'adapter en fonction des orientations politiques), et d'autre part de développer la politique industrielle et les instruments de défense commerciale.

Lors de la Conférence européenne sur la défense et la sécurité, le 11 octobre 2022, Thierry Breton, alors Commissaire au marché intérieur, a souligné qu'une véritable Union de la défense impliquait « *d'étendre la notion de sécurité et de défense à de nouveaux secteurs* »¹⁵⁴, pointant explicitement quatre domaines : le cyber, l'espace, les infrastructures critiques, la supériorité technologique. Le premier semestre 2023 a vu s'accélérer les initiatives de la Commission avec notamment le projet de règlement européen sur les semi-conducteurs proposé dès février 2022, la proposition de législation européenne sur les matières premières critiques présentée en mars 2023 ou l'accord politique final sur l'instrument anti-coercitif en juin 2023. Enfin, la Stratégie européenne en matière de sécurité économique a été publiée le 20 juin 2023, prenant acte de l'insuffisante préparation des Européens au nouveau contexte géopolitique et de la fusion entre économie et sécurité nationale. La problématique tient en un paragraphe remarquable (p. 2) :

« Si l'Union européenne n'a pas ménagé ses efforts ces dernières années pour relever des défis bien spécifiques, elle a désormais besoin d'une approche stratégique globale de la sécurité économique, de manière à réduire les risques et à promouvoir son avance technologique dans les secteurs critiques. L'objectif est de fournir un cadre pour une évaluation et une gestion solide des risques pour la sécurité économique au niveau de l'Union, au niveau national et au niveau des entreprises, tout en préservant et en renforçant notre dynamisme économique. Cela est d'autant plus important à mettre en place à un moment où ces risques évoluent rapidement et se fondent avec les préoccupations en matière de sécurité nationale. Un bon exemple en est la rapidité avec laquelle émergent de nouvelles technologies critiques, qui brouillent les frontières entre les secteurs civil et militaire ».

Cette Stratégie identifie quatre risques principaux :

- 1) la résilience des chaînes d'approvisionnement,**
 - 2) la sécurité physique et à la cybersécurité des infrastructures critiques,**
 - 3) la sécurité des technologies et les fuites de technologies,**
 - 4) les risques d'instrumentalisation des dépendances économiques ou de coercition économique.**
- Ces risques peuvent survenir tout au long de la chaîne de valeur, de la création de connaissances et de la recherche fondamentale à la commercialisation et à la fabrication à grande échelle.**

En découlent trois axes de travail visant à répondre à ces risques :

- * la promotion de la base économique, de la compétitivité et de la croissance de l'Union (Stratégie industrielle de l'UE, législation sur les matières premières critiques, règlement européen sur les semi-conducteurs, ...),
- * la protection contre les risques pesant sur la sécurité économique (instruments de défense commerciale, instrument anti-coercition, réglementation en matière de contrôle des investissements directs étrangers, contrôle export, sécurité de la recherche, etc...), et

¹⁵⁴ <https://www.irce-oin.g.eu/2023/10/troisieme-conference-europeenne-de-defense-et-de-securite-discours-d-ouverture-de-la-commission-thierry-breton.html>

- * le développement de partenariats pour la sécurité économique dans une logique multilatérale (G7, G20, OMC, dispositifs propres à l'UE comme Global Gateway).

Le passage à la sécurité économique révolutionne les éléments fondateurs de la construction européenne : la concurrence, la relation aux États-Unis, le caractère étatique de la sécurité. Si cette Stratégie européenne en matière de sécurité économique présente un programme ambitieux d'adaptation de l'Union européenne à la compétition stratégique mondiale, ce qui est déjà un événement en soi, elle s'avère révolutionnaire dans ses effets à plus d'un titre. Elle met formellement un terme au dogme de la concurrence à Bruxelles. Ainsi que le souligne Ursula von der Leyen dans son discours sur l'état de l'Union en septembre 2023 : « *La concurrence n'est véritable que si elle est loyale. Trop souvent, nos entreprises sont exclues des marchés étrangers ou sont victimes de pratiques prédatrices. Elles font souvent l'objet d'un travail de sape par des concurrents bénéficiant d'énormes subventions publiques* ». Et elle cite la Chine, dénonçant les pratiques déloyales en matière panneaux solaires et de véhicules électriques, annonçant l'ouverture d'une enquête sur le prix artificiellement bas de ces derniers qui mettent en danger la filière automobile européenne, se félicitant des premières mesures prises en faveur d'une plus grande indépendance de l'Union européenne dans des secteurs critiques (énergie, semi-conducteurs, accès aux matières premières, goulets d'étranglement des chaînes d'approvisionnement) et conclut : « *Cela montre pourquoi il est si important pour l'Europe de renforcer sa sécurité économique* », telle une troisième voie entre le modèle chinois anti-marché et le modèle américain de découplage.

Ainsi que l'a explicité de manière lapidaire Jake Sullivan lors de sa présentation de la SSN 2022 : « *L'accès au marché a été pendant 30 ans l'orthodoxie de toute politique commerciale : cela ne correspond plus aux enjeux actuels* » (d'ailleurs de manière significative, l'OMC n'est mentionnée à aucune reprise dans la SSN 2022). L'approche européenne maintient sa conviction dans l'utilité des accords de libre-échange et le fonctionnement des institutions multilatérales. C'est ainsi que la stratégie européenne insiste sur le rôle du G7, du G20, de l'ONU, des banques de développement et de l'OMC. Contrairement au discours de la présidente de la Commission, le texte de la Stratégie européenne ne mentionne ni la Chine, ni les États-Unis, les mesures proposées restant indiscriminées : « *Même dans un environnement de rivalité stratégique et de concurrence économique, il existe une place pour la coopération internationale face aux défis communs et un besoin de règles claires pour garantir un commerce équitable et ouvert, dressant ainsi un garde-fou devant la tendance à la loi du plus fort, à la fragmentation économique ou au protectionnisme* ».

La stratégie européenne vise donc tout autant à rééquilibrer la relation avec les États-Unis qu'à protéger l'économie européenne des menées chinoises. La coexistence des sphères économique et géopolitique qui a caractérisé la mondialisation heureuse des trois décennies 1990-2020 a permis le développement d'une mondialisation centrée sur l'organisation des échanges commerciaux par des entreprises multinationales dans un cadre institutionnel agréé par les États, en l'occurrence l'Organisation Mondiale du Commerce. La conséquence en a été la mise en place de chaînes de valeur globales fondées sur une double logique d'optimisation des coûts de production et de spécialisation des métiers des entreprises au service de leur valorisation financière. Des bénéfices certains en ont résulté à la fois en termes de réduction de la pauvreté mondiale et de bénéfice pour les consommateurs en termes de prix.

Avec le retour de la compétition stratégique, les États reprennent la main en subordonnant de manière croissante l'économie et donc les entreprises aux impératifs géopolitiques. Si les orientations prises par la Chine et les États-Unis s'inscrivent dans une logique de choix national, ce nouveau contexte pose une problématique plus existentielle pour le modèle européen justement fondé sur une répartition des compétences distincte entre sécurité et économie, la première aux États membres et la seconde à la Commission européenne. Le choc externe que constitue l'agressivité sino-américaine sur les plans économique, commercial et technologique tend à favoriser la construction européenne par la communautarisation des réponses, l'échelon de l'Union européenne offrant la possibilité de sécuriser

les États les plus vulnérables : dans le cas d'ASML, la discussion aurait peut-être été d'une nature très différente avec la Commission au lieu des Pays-Bas de l'autre côté de la table.

Toutefois, l'articulation avec les États membres n'est pas naturelle et la Commission semble aller plus vite que la plupart d'entre eux en matière de sécurité économique. Si l'ensemble des mesures proposées dans la Stratégie européenne sont mises en œuvre, cela reviendra à un transfert massif de compétences relevant de la sécurité nationale vers la Commission par extension de ses compétences économiques et commerciales.

1.5.3. L'instrumentalisation du droit ou « lawfare »

L'instrumentalisation du droit ou "lawfare" - contraction des termes anglo-saxons « law » (droit) et « warfare » (guerre) - désigne l'usage coercitif de normes juridiques à l'encontre d'un adversaire à des fins politico-stratégiques. Parfois utilisé comme un instrument complémentaire au sein de stratégies hybrides, il peut être utilisé pour déstabiliser un adversaire/concurrent et/ou favoriser les intérêts d'un État. Comme dans tout domaine où la compétition fait rage, le secteur des semi-conducteurs n'est pas épargné par ce risque qui peut être fatal. A titre d'exemples de litiges en matière contrefaçon de brevets et d'antitrust, citons :

Qualcomm : impliqué dans plusieurs affaires, dont un procès antitrust historique intenté par la Federal Trade Commission, l'agence américaine en charge de l'application du droit de la consommation et du contrôle des pratiques anticoncurrentielles. Qualcomm a été accusé d'utiliser sa situation de monopole sur le marché des puces mobiles pour facturer des frais exorbitants et empêcher ses concurrents d'entrer sur le marché.

L'affaire était centrée sur la pratique de Qualcomm consistant à exiger des entreprises qu'elles paient des redevances pour les deux puces et des frais de licence distincts. Ce différend a eu un impact majeur sur le prix des composants des smartphones et le développement de la technologie 5G.¹⁵⁵

Micron Technology : a fait l'objet de plusieurs poursuites judiciaires, dont une affaire très médiatisée où elle a été condamnée à payer 445 millions de dollars de dommages et intérêts à son rival Netlist. L'affaire tournait autour de brevets liés à l'amélioration des performances des modules de mémoire. Netlist avait déjà gagné un procès similaire contre Samsung, montrant comment la société a défendu agressivement ses droits de propriété intellectuelle contre des concurrents plus importants.¹⁵⁶

Samsung : a également fait face à de multiples défis juridiques, notamment des poursuites intentées par Netlist pour violation de brevet. Dans un cas, Samsung a été condamné à payer plus de 303 millions de dollars pour avoir enfreint des brevets liés aux technologies de mémoire.¹⁵⁷

Ces affaires mettent en lumière les intenses batailles juridiques dans l'industrie des semi-conducteurs, qui tournent souvent autour des droits de brevet, de la concurrence et de l'innovation.

1.5.3.1. Qu'est-ce que le « lawfare »

L'usage stratégique du droit (lawfare) recouvre principalement trois axes : (1) l'instrumentalisation par certains États de leur propre droit, à travers l'extraterritorialité, (2) le détournement de la norme internationale et (3) l'exploitation des vulnérabilités juridiques de notre droit interne. Certains États peuvent ainsi utiliser leur propre droit national comme outil de protectionnisme afin de protéger leurs entreprises et technologies stratégiques.

Le droit peut également être utilisé comme outil de coercition économique. Les États peuvent ainsi cibler des entreprises pour les contraindre à adopter certains comportements. Enfin, le droit peut être

¹⁵⁵ [Why the FTC's Case Against Qualcomm Protects American Consumers | Lawfare](#)

¹⁵⁶ [Micron loses patent trial, must pay rival Netlist \\$445 million in damages | Tom's Hardware](#)

¹⁵⁷ [Micron loses patent trial, must pay rival Netlist \\$445 million in damages | Tom's Hardware](#)

utilisé comme outil de politique étrangère pour restreindre l'activité économique d'un pays adverse. À titre d'exemple, l'adoption d'embargos ou de sanctions économiques peut ainsi interdire aux entreprises d'exporter des biens vers certaines destinations. Les entreprises doivent donc être conscientes de leur degré d'exposition aux contraintes issues de ces réglementations.

En cas de non-conformité, les États concernés peuvent leur infliger des sanctions économiques ou encore des contrôles de mise en conformité. Le lien de rattachement de l'entreprise à la norme étrangère peut être basé sur l'activité commerciale de l'entreprise sur le territoire étranger, ses partenariats avec des entreprises étrangères, son actionnariat étranger ou encore ses filiales à l'étranger.

De manière plus générale, l'usage d'une monnaie spécifique dans les transactions réalisées ou l'utilisation de moyens de communication particuliers peuvent créer un lien de rattachement avec un pays étranger, justifiant ainsi l'application de ses règles juridiques.

Initialement issu du monde militaire, le concept de *lawfare* désigne aujourd'hui plus largement l'utilisation du droit à des fins stratégiques. Non dépourvu d'ambiguïtés, le terme doit donc être abordé avec prudence car il recouvre une grande variété d'acteurs et une grande diversité de pratiques. Il n'en reste pas moins que l'usage stratégique du droit par différents acteurs, étatiques ou non, s'est intensifié dans des proportions inédites sur la période récente.

Cela s'explique notamment par la place croissante qu'occupent le droit et la justice dans nos sociétés, la mondialisation d'un nombre toujours plus important d'activités favorisant les phénomènes de « *law shopping* », ou encore la rapidité des évolutions technologiques, qui appellent à construire de nouvelles régulations. Ainsi, la norme est désormais conçue comme un levier de puissance et de confrontation autant que comme un outil de régulation.

I.5.3.2. Principales menaces

La capacité normative des États est de plus en plus employée comme un outil de puissance et de compétition. L'exemple le plus significatif est l'extraterritorialité, i.e. l'application unilatérale de normes par un État en dehors de son territoire. Ce n'est pas forcément toujours illicite du point de vue du droit international et cela peut être légitime. Mais l'extraterritorialité peut devenir un puissant outil d'ingérence et de prédation lorsqu'elle s'applique sur la base de critères flous ou encore lorsqu'elle conduit un État à imposer ses normes directement à un autre État sans le consentement de ce dernier.

L'instrumentalisation d'actions en justice - le but n'est pas forcément d'obtenir un succès contentieux, l'effet recherché peut être l'intimidation, ou le discrédit – est devenue monnaie courante.

Les démarches d'influence enfin, pour faire prévaloir une certaine interprétation de normes existantes ou bien pour influencer l'élaboration de nouvelles normes avantageuses.

I.5.3.3. Exemple de normes extraterritoriales pesant sur les entreprises françaises

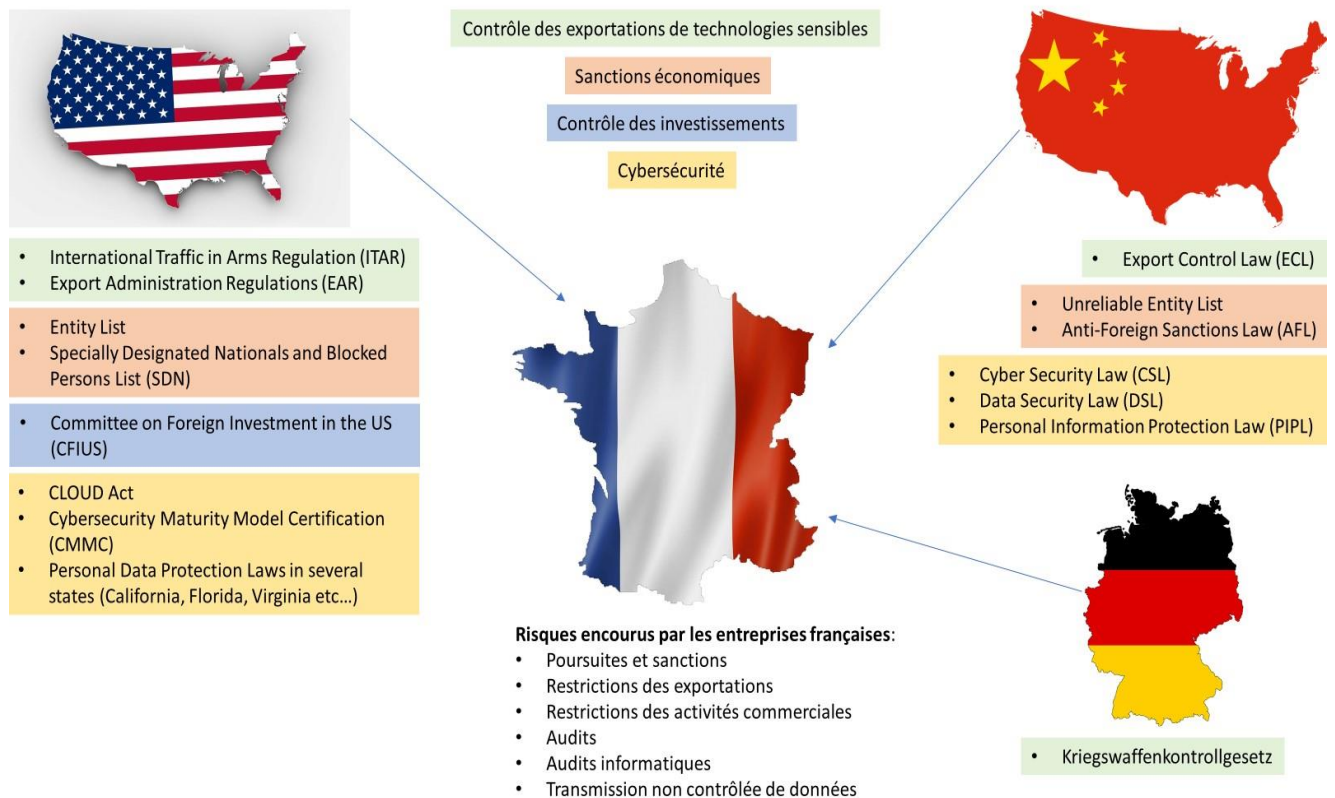


Figure 49 - Principales normes extraterritoriales pesant sur les entreprises françaises¹⁵⁸

Le Cloud Act américain (23 mars 2018) par exemple, a fait couler beaucoup d'encre du fait de son caractère extraterritorial qui va à l'encontre de principes de droit international bien établis. Sur simple réquisition, hors de toute convention d'entraide judiciaire internationale, cette loi permet aux autorités américaines d'exiger de la part des hébergeurs et opérateurs du numérique américains la communication des données qu'ils abritent, quel que soit le lieu où ces données sont localisées dans le monde. Elle facilite ainsi l'accès des autorités US aux données des utilisateurs européens, qu'elles

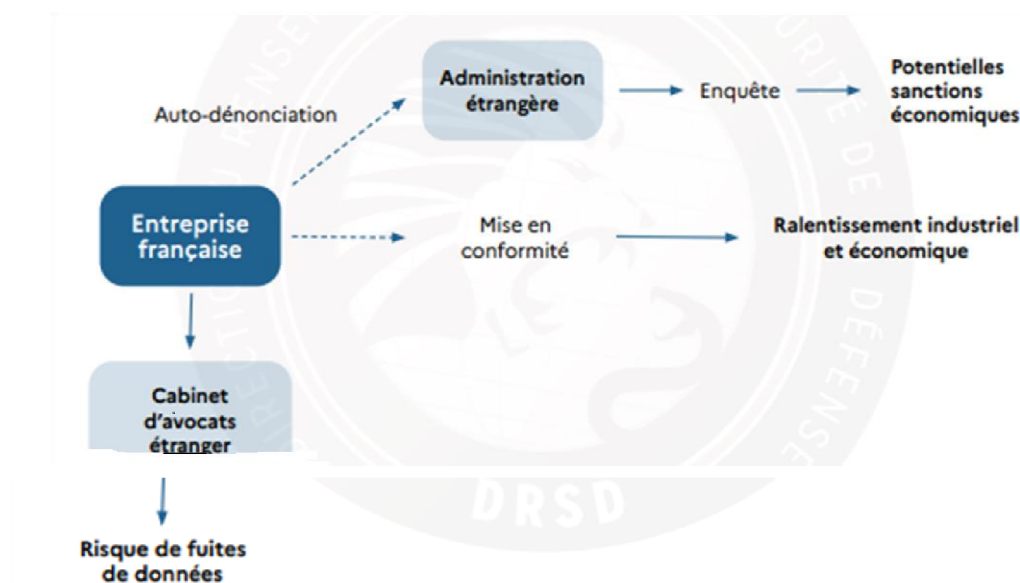
¹⁵⁸ De l'auteur D.C.

soient ou non dans le cloud, sans que ni les utilisateurs concernés ni les autorités compétentes des pays où ils sont établis n'aient à en être informés. Cela représente des risques en matière de protection des données personnelles des citoyens européens évidemment, mais aussi pour les données sensibles/stratégiques des entreprises européennes, comme celles du secteur des semi-conducteurs. On trouve également en Chine dans les récentes lois portant sur la cybersécurité ou la protection des données personnelles des dispositions tout aussi préoccupantes (le CSL exigeant par exemple l'utilisation de matériel informatique exclusivement chinois, ou encore des audits de cybersécurité des ministères dédiés à un secteur d'activité...). Autant d'exemples de normes pesant sur les entreprises françaises à l'international, dont il faut comprendre les risques parfois vitaux pour l'entreprise : poursuites, sanctions, amendes dont les montants peuvent être faramineux, exfiltration de données personnelles et/ou stratégiques, cette nouvelle tendance de réglementations censées inciter à la vertu cache (mal) une instrumentalisation du droit par des entités et/ou états étrangers qui le sont moins, vertueux.

I.5.3.4. Le lawfare en pratique ...

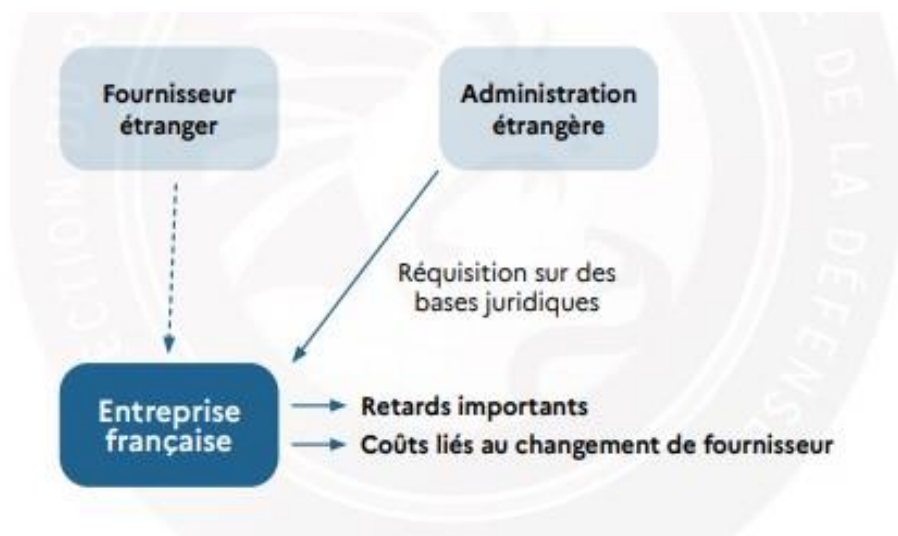
Ci-dessous quelques exemples pratiques des risques encourus par les entreprises françaises lorsque le droit est instrumentalisé par un concurrent ou un état étranger :

Contrôle des exportations : si une entreprise a enfreint une règle de contrôle des exportations d'un pays étranger, par exemple, des USA, et suit les conseils de son cabinet d'avocats (par ex., anglo-saxon), et que l'entreprise transmet aux autorités une autodénonciation. Elle s'expose à une amende de plusieurs millions de dollars et à un potentiel monitorat étranger. Elle devra probablement adopter un nouveau programme de conformité, entraînant un ralentissement de son activité (et des frais de consulting), à quoi s'ajoute le risque de perdre des clients craignant des sanctions par rebond.



Source DRSD

Réquisition de matériaux stratégiques : si une entreprise qui s'approvisionne en composants de semi-conducteurs auprès d'un distributeur étranger voit ses commandes réquisitionnées de façon arbitraire par un état étranger (qui favorise son propre marché), l'entreprise va subir des retards de production (peut-être de plusieurs mois...). Elle devra peut-être identifier d'autres fournisseurs - dont les tarifs pourraient bien être beaucoup plus élevés.



Source DRSD

I.5.4. Les atouts de la France

I.5.4.1. La loi de blocage de 1968¹⁵⁹ modifiée en 2022¹⁶⁰

La loi de blocage permet d'éviter que des autorités étrangères n'aient connaissance d'informations sensibles à l'encontre des intérêts de la Nation, en les contraignant à respecter les canaux de l'entraide judiciaire ou administrative internationale. Dans un contexte d'utilisation croissante par des acteurs étrangers de lois à portée extraterritoriale, la réforme de 2022 a pour objectif de clarifier la procédure de saisine pour les entreprises en désignant un guichet unique, le Service de l'Information Stratégique et de la Sécurité Economiques (SISSE) de la Direction Générale des Entreprises (DGE), pour les accompagner lors de demandes étrangères d'informations. La loi oblige ainsi les entreprises françaises à refuser de communiquer à des autorités publiques étrangères « *les documents ou les renseignements d'ordre économique, commercial, industriel, financier ou technique dont la communication est de nature à porter atteinte à la souveraineté, à la sécurité, aux intérêts économiques essentiels de la France ou à l'ordre public* ». Il en est de même pour les communications des informations « *tendant à la constitution de preuves en vue de procédures judiciaires ou administratives étrangères ou dans le cadre de celles-ci* ». La personne assujettie à l'interdiction de communiquer est également tenue d'informer sans délai le ministère de l'Économie, des Finances et de la Souveraineté industrielle et numérique, c'est-à-dire en pratique le SISSE.

La loi vise également les menaces étrangères pesant sur un actif stratégique, telles que l'ingérence d'États étrangers, le vol de données, de brevets, le rachat d'entreprise stratégique, que ce soit sous forme d'OPA sur un groupe coté (passage du seuil de 25 %) ou, de manière moins flagrante, d'un investisseur qui avec 2 ou 3 % du capital, va pousser l'entreprise dans une direction qui ne lui est pas favorable, pouvant se traduire in fine par un démantèlement du groupe. Il peut s'agir également d'un étudiant/doctorant/chercheur étranger introduit sur un site sensible, en méconnaissance des dispositions réglementaires applicables à la protection du potentiel scientifique et technologique de la Nation. Par un décret du 1^{er} janvier 2024, la France a par ailleurs durci ses contrôles des investissements étrangers : (1) l'investisseur non-européen dépassant les 10 % du capital d'une société cotée opérant dans un secteur stratégique, est soumis à un contrôle automatique (25 % pour les sociétés non cotées);

¹⁵⁹ [Loi n° 68-678 du 26 juillet 1968 relative à la communication de documents et renseignements d'ordre économique, commercial, industriel, financier ou technique à des personnes physiques ou morales étrangères - Légifrance](#)

¹⁶⁰ [Décret n° 2022-207 du 18 février 2022 relatif à la communication de documents et renseignements d'ordre économique, commercial, industriel, financier ou technique à des personnes physiques ou morales étrangères - Légifrance](#)

(2) les prises de participation dans des succursales françaises d'entreprises étrangères sont désormais sujettes à contrôles; et (3) les secteurs concernés sont étendus aux activités d'extraction, transformation et recyclage des matières premières critiques (la cybersécurité, défense, IA et les semi-conducteurs étaient déjà couverts).

I.5.4.2. Le rôle du SISSE¹⁶¹

Le Service de l'Information Stratégique et de la Sécurité Economiques est chargé d'élaborer et proposer, sous l'autorité de son Commissaire, la politique de sécurité et de protection des intérêts économiques de la France. Créé en 2016, il a une mission opérationnelle de protection des actifs stratégiques de l'économie française face aux menaces étrangères. Le jeu consiste à repérer le plus tôt possible des signaux faibles ou des alertes caractérisées sur les actifs stratégiques. Il y a trois listes d'entités ou de technologies à protéger en priorité pour la souveraineté économique de la France : (1) une liste nationale (confidentielle) d'entreprises stratégiques, (2) une liste de technologies critiques, et (3) une liste de laboratoires et organismes publics de recherche. Concrètement, lorsqu'une menace de prédation étrangère est détectée (rachat hostile d'une pépite technologique, d'un fleuron industriel, vol de propriété intellectuelle d'un laboratoire sensible, etc...), l'alerte est traitée et suivie dans le temps. Le SISSE dispose d'un réseau de délégués sous l'autorité des Préfets de région, pour détecter les menaces grâce à l'intelligence économique territoriale. Enfin, le SISSE concourt à l'examen des investissements étrangers en France (IEF), qui permet à l'État de mieux contrôler, voire de s'opposer à des rachats d'entreprises dans des secteurs jugés stratégiques.

I.5.4.3. L'Autorité de la Concurrence

Le 8 février dernier, l'Autorité de la concurrence s'est auto-saisie du fonctionnement concurrentiel du secteur de l'intelligence artificielle générative et de l'accès à la puissance de calcul. Ses propositions mettent l'accent notamment sur le besoin d'ouverture et de non-discrimination dans l'accès aux supercalculateurs publics. Elle recommande notamment d'assurer une meilleure transparence des participations minoritaires dans le secteur. A l'occasion de l'obligation d'information des concentrations prévue à l'article 14 du Digital Market Act, la Commission européenne pourrait en effet demander des informations sur les participations minoritaires détenues dans le même secteur d'activité que la cible. Selon le président de l'Autorité de la concurrence, « *cet avis va servir de grille de lecture et d'analyse pour les différents acteurs du marché* ». Il est à noter que quelques jours après la publication de son rapport, l'Autorité de la concurrence s'est attaquée au géant des puces NVIDIA¹⁶². La position de NVIDIA en leader incontesté sur le marché des cartes graphiques ne date pas d'hier. Cependant sa position actuelle en matière d'accélérateurs d'IA, avec une part de marché estimée entre 80 à 95%, tend à relever du monopole. Point que l'Autorité de la concurrence tente de faire remonter dans son rapport. Les risques d'abus sont multiples dans le secteur de l'IA et celui de la part des fournisseurs de puces entre en première position.

I.5.4.4 La Protection du Potentiel Scientifique et Technique de la nation

Le dispositif de protection du potentiel scientifique et technique de la nation (PPST), introduit par un décret du 2 novembre 2011 (portant application de l'article 413-7¹⁹⁰ du Code Pénal) a pour objectif d'établir dans les entreprises désignées des mesures de protection physique et de contrôle d'accès à des "zones à régime restrictif" (ZRR), qui abritent des éléments essentiels dont l'acquisition ou la divulgation pourrait engendrer (entre autres) une "atteinte aux intérêts économiques" de la nation. Bien que d'application volontaire, le dispositif est recommandé pour toute entreprise œuvrant dans un secteur sensible. Il est animé et coordonné par le Secrétariat Général de la Défense et de la Sécurité Nationale (SGDSN) et exige notamment que l'entreprise se dote d'une robuste politique de sécurité de ses systèmes d'information (PSSI).

¹⁶¹ [Le Service de l'information stratégique et de la sécurité économiques \(Sisse\) | entreprises.gouv.fr](https://entreprises.gouv.fr)

¹⁶² [Intelligence artificielle : Nvidia mis en cause par le régulateur antitrust français](https://www.legifrance.gouv.fr/loda/article_lc/LEGIARTI000006418398/)¹⁹⁰
https://www.legifrance.gouv.fr/loda/article_lc/LEGIARTI000006418398/

Partie II. Enjeux de Sécurité Nationale- Panorama des risques

Dans une économie qui s'est progressivement mondialisée, l'interdépendance entre des industriels du semi-conducteur en compétition économique permanente depuis les années 1960 pose la question des liens entre cette activité stratégique et la sécurité nationale des États. Si la question avait pu disparaître progressivement des esprits, effacée par le calme relatif depuis la chute de l'URSS, elle revient sur le devant de la scène au travers de conflits toujours plus internationaux, symétriques et intenses. Si on ajoute à cela la préparation et l'anticipation stratégique effectuée par les grandes puissances, on obtient plus multipolaire que jamais, notamment via l'affirmation de la Chine comme puissance militaire et économique internationale en plein cœur de l'Asie.

Au travers de la définition faite par l'IHEDN de la "*Sécurité Nationale*"¹⁶³ comme somme des menaces liées à la Défense Nationale et des risques externes, qui fut formulée dans les livres blancs¹⁶⁴ sur la « défense et la Sécurité Nationale » de 2008 (et suivants) traitant de la protection face aux risques et aux menaces susceptibles de porter atteinte à la vie de la Nation.

Cette partie revient sur la dépendance progressive des fonctions essentielles à la Nation depuis l'invention des premiers systèmes à semi-conducteurs, d'abord utilisés localement comme un outil de domination technologique dans des applications servant exclusivement la Défense Militaire, puis progressivement comme outil de guerre économique et culturelle, ils perfusent maintenant dans l'ensemble des activités industrielles et pourraient bien être devenus, au même titre que l'eau ou le pétrole, une des énergies fondamentales au bon fonctionnement de nos sociétés numériques modernes.

On s'intéresse ici, sous la forme de fiches dédiées au traitement d'une menace ou d'un risque spécifique, aux enjeux liés à l'utilisation de ces systèmes à semiconducteurs au travers d'exemples d'activités liées à la Sécurité Nationale. Il s'agit d'éveiller l'attention du lecteur sur la diversité des menaces d'une part et de l'aider à projeter les conséquences liées à l'utilisation de ces équipements d'autre part. La problématique de cette section est donc la suivante : A quel panorama de risques et

menaces s'expose un État consommant des semiconducteurs, qu'il soit producteur de systèmes ou bien simple utilisateur ?

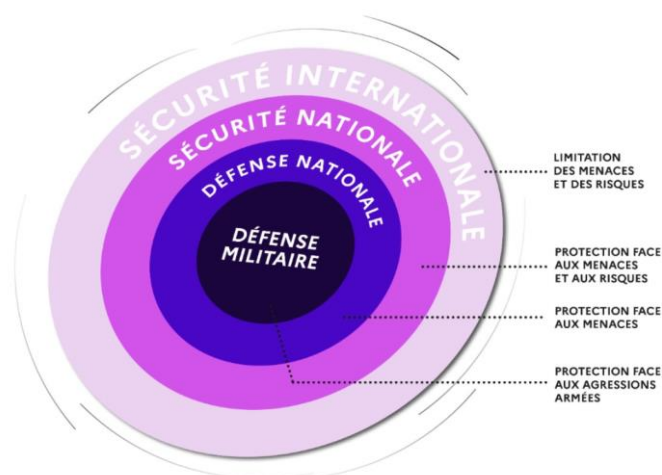


Figure 52 : IHEDN - Représentation hiérarchique des systèmes de sécurité et de défense

II.1. Approche des menaces pour les utilisateurs

II.1.1. Menace : Cas d'usage d'un processeur cryptographique

Si les systèmes de cryptographie existent depuis l'antiquité, Il faudra pourtant attendre 1972 et l'ingénieur Mohamed Atalla pour obtenir leur équivalent à base de semi-conducteurs: le processeur cryptographique. Celui-ci ne libérait ses secrets

¹⁶³ <https://ihedn.fr/2023/05/15/le-perimetre-de-la-defense-nationale-la-specificite-de-lihedn/>

¹⁶⁴ <https://www.defense.gouv.fr/dgris/politique-defense/livres-blancs>

qu'à la composition d'un code PIN servant à authentifier formellement ses utilisateurs. C'est l'ancêtre de nouveaux systèmes monétiques, plus modernes et qui se déploieront via la démocratisation de la carte à puce¹⁶⁵ à partir de 1975.

L'objectif de ces systèmes : permettre un usage à grande échelle de mécanismes de chiffrement et d'authentification forts, contribuant à la sécurisation des flux financiers à travers le monde. Systèmes critiques, les réseaux financiers numériques sont tout aussi essentiels à la société moderne que ceux de distribution d'énergie comme l'eau, le gaz, l'électricité ou l'information. L'accès à ces systèmes, tant pour leur supervision que pour leur contrôle, se doit d'être garanti par les États car ils sont de fait des contributeurs majeurs à la Sécurité Nationale. Toute crise dans les systèmes financiers, même temporaire, aurait des impacts significatifs sur le fonctionnement normal d'un État.

Les fonctions essentielles d'un processeur cryptographique : (1) Masquer l'information à tout utilisateur tiers via du chiffrement de données, (2) Authentifier les opérateurs dans leurs actions de contrôle commande des systèmes, et (3) Assurer l'intégrité des éléments manipulés, via le calcul de sommes de contrôle (Hachage). Le support de ces mécanismes, des machines à état miniaturisées à l'extrême et activées par des signaux électroniques dans des circuits intégrés spécifiques.

Appelés « *Hardware Security Modules* » (HSM), ce sont de véritables coffres forts numériques présents dans de nombreux objets du quotidien. Sans eux, l'implémentation des mécanismes de sécurité cryptographiques dans les systèmes à usage générique seraient exposée aux menaces extérieures. Contrairement aux processeurs génériques plus polyvalents et à proximité desquels ils sont souvent intégrés, ces puces sont les garants du niveau de sécurité général d'un système d'information critique. Ils s'assurent que les éléments secrets sont protégés contre l'interception, que le processus de chiffrement ou d'authentification est réalisé conformément à sa spécification et que l'intégrité des informations n'a pas été altérée pendant son stockage ou son transit.

Descendants directs des modules de sécurité matérielle, on peut citer des solutions destinées à l'authentification de transactions financières que l'on retrouve dans des cartes bancaires ou comme ici dans un portefeuille matériel pour cryptomonnaies ou « *ledger* ». On distingue 2 boîtiers avec le processeur à usage général (ST32) sur la droite, assisté du coprocesseur cryptographique (ST31) légèrement plus petit sur la gauche. L'ensemble du système étant raccordable à un système d'information via un connecteur USB standard.

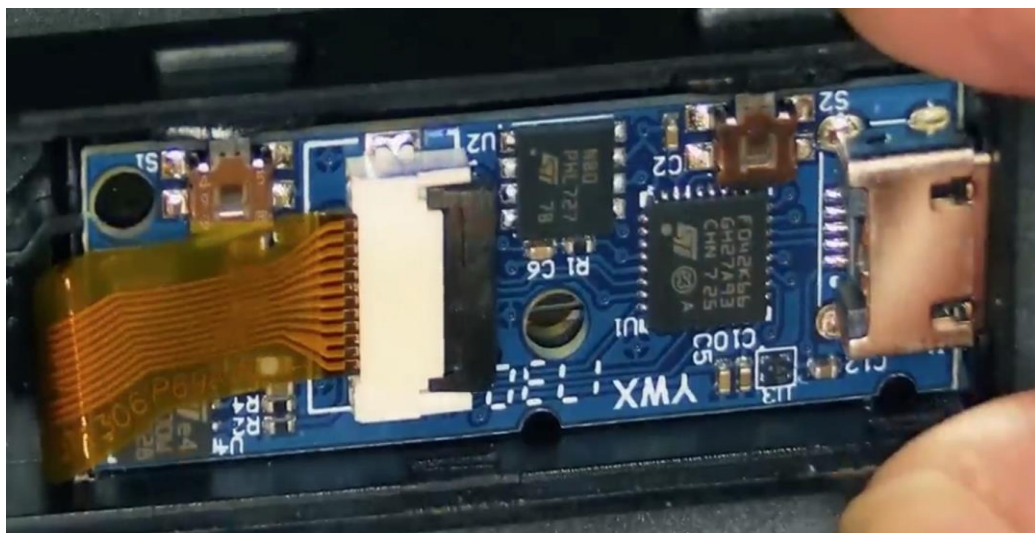
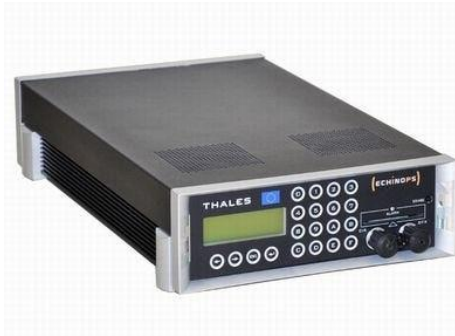


Figure 53 : l'intérieur d'un portefeuille électronique Ledger¹⁶⁶ - Extrait d'une vidéo de DeusEx Silicium¹⁶⁷

¹⁶⁵ https://fr.wikipedia.org/wiki/Carte_%C3%A0_puce

¹⁶⁶ <https://shop.ledger.com/fr/products/ledger-nano-s-plus>

¹⁶⁷ <https://www.youtube.com/watch?v=ma3S7UTrwgo>



Si les conséquences sur la Sécurité Nationale d'un piratage massif de flux financiers mondiaux, seraient importantes, les conséquences de l'interception de données militaires classifiées le seraient tout autant si ce n'est d'avantage. Le second exemple est ici celui d'un chiffreur réseau IPSec à usage militaire. D'après sa spécification une de ses variantes est conçue pour un usage à un des niveaux les plus importants : Top Secret - OTAN.

Figure 54 : modèle commercial de chiffreur gamme ECHINOPS¹⁶⁸ - Thales SIX

Les sources de risques pour nos différents processeurs de chiffrement et capables de porter atteinte à la sécurité nationale sont: (1) Des agences de renseignement étatiques, pour accéder au contenu discursif de communications sensibles interceptées (renseignement); (2) Des réseaux de criminalité organisée, pour forger des opérations intermédiaires à but malveillant (désinformation, détournement); (3) Des hacktivistes, à des fins de prise de contrôle à distance de systèmes de production critiques, comme des opérations bancaires ou un réseau de distribution d'énergie (piratage, rançonnement).

Afin d'arriver à ses fins et en fonction de ses moyens, la source de risque pourrait interférer lors du processus de développement ou fabrication des processeurs cryptographiques pour dégrader la performance des fonctions de sécurité en provoquant des vulnérabilités (Backdoors). Cette opération serait d'autant plus facile à mener si certaines des étapes critiques de fabrication ont lieu sur un territoire qu'elle maîtrise. La source de risque pourrait aussi obtenir une caractérisation des vulnérabilités résiduelles des composants, par audit ou rétro-ingénierie sur des équipements récupérés. Par leur nature et à cause de processus de fabrication complexes, les semi-conducteurs sont presque impossibles à réparer ou à mettre à jour. Si une faille venait à être découverte, il faudrait sûrement désactiver des modules entiers de la puce¹⁶⁹ ou procéder à son remplacement intégral, ce qui entraîne des coûts significatifs.

L'exemple d'attaque le plus connu sur ce type de sujets est sans doute l'affaire Crypto AG¹⁷⁰ révélée en 2020 par le Washington Post : une entreprise suisse de conception de solutions de chiffrement à usage gouvernemental et exportant largement à travers le monde était en réalité une société écran dirigée par la CIA et son équivalent Allemand le BND. Très rapidement, des années 1970 et pour 40 ans environ, le renseignement US n'avait plus aucun mal à déchiffrer les messages émis par ses concurrents stratégiques équipés en processeurs de chiffrement truqués. Des exemples plus récents existent. On peut citer l'affaire MIFARE révélée par Quarkslab¹⁷¹ en août 2024, avec des cartes d'authentification sous licence de l'entreprise NXP et fabriquées en Chine qui ont été analysées et un mécanisme de type "backdoor" aurait été trouvé. Il faut maintenant attendre des analyses complémentaires pour pouvoir comprendre jusqu'où remonte la vulnérabilité potentielle.

En bref - Dans le cas des applications cryptographiques et de leurs menaces, s'il peut être tentant d'utiliser les composants les plus évolués et les plus résistants dans l'ensemble des systèmes, il est essentiel de comprendre les coûts (financiers, mais aussi organisationnels) qu'aurait une telle décision. La menace pouvant venir de sources aux moyens très différents, l'approche retenue pour la protection de ces dispositifs reste la multiplication des sources d'approvisionnement et l'entretien de capacités d'expertise à l'état de l'art. Cette diversification permet d'envisager la répartition des différentes gammes de solutions et capacités cryptographiques par classe d'enjeux et de manière proportionnelle

¹⁶⁸ https://www.ia.nato.int/niapc/Product/ECHINOPS-TRC7530-n-C_478

¹⁶⁹ [https://fr.wikipedia.org/wiki/Meltdown_\(vuln%C3%A9rabilit%C3%A9\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Meltdown_(vuln%C3%A9rabilit%C3%A9))

¹⁷⁰ <https://www.washingtonpost.com/graphics/2020/world/national-security/cia-crypto-encryption-machines-espionage>

¹⁷¹ <https://blog.quarkslab.com/mifare-classic-static-encrypted-nonce-and-backdoors.html>

aux menaces affectant la Sécurité Nationale en appliquant le principe de “juste suffisance”. On pourra mettre en commun des moyens avec d’autres Etats et sociétés qui sont exposées à des menaces similaires aux nôtres en apportant des réponses communes et donc “standardisées” face aux menaces. Ici les réponses face aux risques et aux menaces divergent et une réponse spécifique est nécessaire pour adapter les coûts d’emploi et d’intégration de capacités cryptographiques spécifiques en particulier pour les sujets de Défense Nationale.

II.1.2.Menace : Le calcul haute performance “HPC”

De nos jours, un grand nombre d’applications scientifiques et techniques nécessitent d’avoir accès à une puissance de calcul toujours plus grande afin de résoudre des problèmes complexes. On parle de systèmes de calcul haute performance ou “High Performance Computing” (HPC).

Ces activités sont de nature à simuler des comportements physiques comme la prévision de phénomènes météorologiques majeurs et dont l’étude des conséquences potentielles permet de préparer une réponse plus adaptée en amont de la crise. Le lien avec la Sécurité Nationale est alors tout trouvé dès lors qu’il s’agit de conséquences graves comme des orages soudains, des canicules ou des crues dues à une tempête imminente. Chaque heure gagnée sur l’arrivée d’un phénomène météorologique extrême, permet alors de prévenir des dégâts matériels et économiques mais aussi et avant tout ... humains.

La Défense Nationale n’est pas en reste puisqu’un certain nombre d’applications à usage militaire sont dépendantes de tels simulateurs. Que ce soit pour la conception de pièces stratégiques comme des missiles ou des simulations aéronautiques complexes remplaçant des essais grandeur réelle. Par exemple, les essais nucléaires français, qui ont été progressivement interdits à cause de leur coût environnemental et économique trop important, sont aujourd’hui remplacés par un centre de simulation hybride composé d’un laser de grande puissance adossé à un ordinateur dédié et opéré par le CEA.



Figure 55 : A gauche : Calculateur EXA1¹⁷², partie du TGCC du CEA-DAM - 2021 - Puissance : 23 PFLOP Figure 56 : A droite : Calculateurs Belenos et Taranis¹⁷³ pour MétéoFR - 2021 - Puissance : 21 PFLOP

Le secret de la performance de ces réseaux de calculateurs réside dans la capacité à rendre toujours plus efficaces les processeurs de calculs. Ils peuvent être polyvalents et à usages génériques comme des CPU. Ou bien spécialisés en calcul scientifique comme des GPU. Plus récemment, de nouveaux systèmes spécialisés pour l’entraînement et l’exécution de modèles d’intelligence artificielle ont vu le jour comme les TPU/NPU/LPU. En 30 ans, la puissance de calcul intégrable dans de tels centres de calculs à surface et consommation équivalente a été multipliée par près de 10 millions¹⁷⁴. La capacité de traitement étant aussi limitée par la performance des mémoires qui supportent le calcul et pas seulement par l’unité de traitement, il faudra aussi compter sur l’intégration de puces mémoires dédiées au stockage des informations à long terme avant ou après calcul : c’est le rôle des mémoires

¹⁷² <https://www-hpc.cea.fr/fr/EXA.html>

¹⁷³ <https://meteofrance.com/actualites-et-dossiers/actualites/une-puissance-de-calcul-multipliee-par-10-millions-en-30-ans-pour>

¹⁷⁴ [Une puissance de calcul multipliée par 10 millions en 30 ans](#)

dites “Flash”, aujourd’hui utilisées dans les cartes mémoires ou les disques de nos appareils numériques nomades.

Enfin il y a aussi des systèmes de mémoires plus volatiles, qui servent directement l’unité de traitement du processeur : les mémoires RAM. Ce sont sur ces semi-conducteurs de pointe, à la durée de vie courte et à l’obsolescence rapide, que sont réalisés chaque seconde des centaines de milliards d’opérations. Sans lesquels ces centres de calcul ne seraient que d’immenses hangars vides. Brique de base commune aux deux exemples de la section précédente, la plateforme de calcul mise en œuvre dans chacun des supercalculateurs est de la gamme Bull Sequana, produite par ATOS, un équipementier et intégrateur informatique français. Ces plateformes sont construites majoritairement à partir de processeurs de calcul CPU d’AMD, un des géants du secteur avec Intel, qui se partagent aujourd’hui la majorité du marché des puces de calcul CPU pour les activités HPC¹⁷⁵.

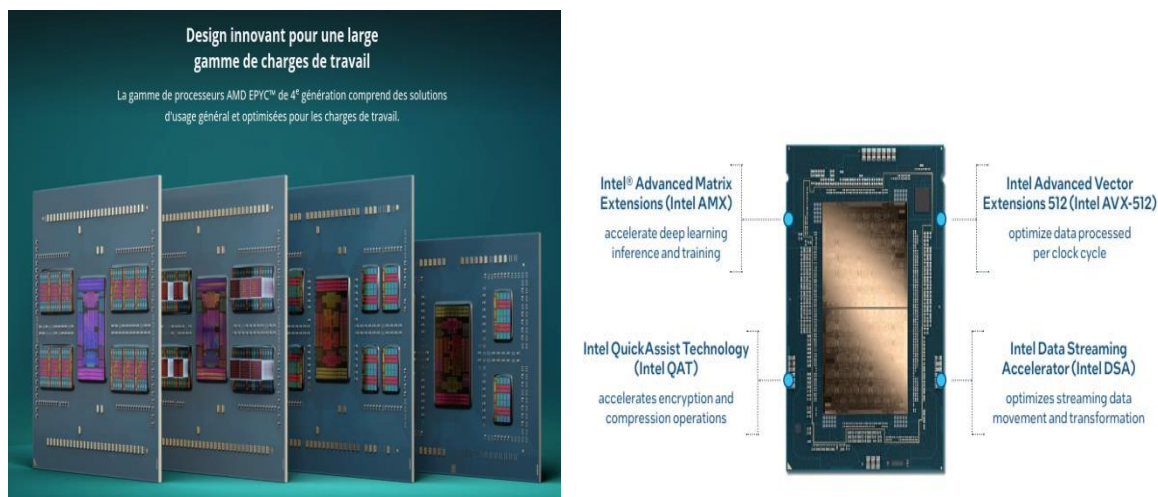


Figure 57 : A gauche, AMD - Processeur de la gamme de CPU “EPYC” Utilisée pour les centres de calculs¹⁷⁶ Figure 58 : A droite, Intel - Processeur concurrent et de la gamme “XEON”

Les sources de risques susceptibles de porter atteinte à l’approvisionnement de tels modules de calculs sont principalement : (1) Les Etats centralisant les activités de conception et production de puces, afin de conserver un avantage stratégique sur leurs compétiteurs ; et (2) Les industriels de l’informatique disposant de monopoles (GAMAM), pour conserver un avantage compétitif et offrir des solutions exclusives à des tarifs maîtrisés. Un gouvernement pourrait menacer d’interdire l’exportation des systèmes les plus performants à son rival militaire ou économique, pour ralentir ou neutraliser son développement. Ainsi ce gouvernement conserve via cette politique un avantage stratégique.

Un groupement d’entreprise ayant un monopole sur l’approvisionnement en semi-conducteurs aurait la capacité de limiter la disponibilité de produits pour ses concurrents. Elle garderait ainsi un avantage compétitif en s’appuyant sur sa position dominante. Ainsi les Etats-Unis ont récemment fait pression sur les fabricants de processeurs de calcul comme NVIDIA pour empêcher la Chine de s’équiper de modèles les plus performants, menaçant le leader mondial de la production de puce de calculs GPU de sanctions en cas de non-respect de la restriction¹⁷⁷.

¹⁷⁵ <https://www.mordorintelligence.com/fr/industry-reports/high-performance-computing-market>

¹⁷⁶ <https://www.amd.com/fr/solutions/supercomputing-and-research.html>

¹⁷⁷ <https://hardware.developpez.com/actu/351496/Les-Etats-Unis-adressent-un-avertissement-a-NVIDIA-l-invitant-a-cesser-de-concevoir-des-puces-pour-la-Chine/>

La Chine de son côté a commencé à écarter certains types de processeurs de ses usages gouvernementaux¹⁷⁸ afin de privilégier ses filières nationales. Par ailleurs, elle travaille en position de leader sur le développement et la standardisation de processeurs à l'architectures RISC-V, concurrente de celle des grands groupes américains.

Ainsi, l'accès garanti sur la durée à des capacités de calcul haute performances est un élément clé de la Sécurité Nationale d'une société moderne. Elle permet une utilisation duale des systèmes de calculs qui couvre les différents cas d'usages de Défense et de Sécurité Nationale. Les risques sur l'approvisionnement de tels systèmes sont réels car la pression des activités civiles sur la production et la consommation de composants n'a jamais été aussi forte, il faudra diversifier les sources d'approvisionnement et les types de solutions pour assurer des capacités soutenables dans la durée, peut être au détriment d'une performance brute.

Les capacités HPC répondant à des risques et menaces de Sécurité Nationale convergent donc fortement et des investissements communs sont favorisés. La aussi, les capacités de standardisation majoritairement en provenance des secteurs industriels civils seront déterminantes quant à la pérennité des solutions installées et leur évolutivité à terme.

II.1.3. Menace : Capteur/Actionneur connecté et microcontrôleurs

Une autre catégorie de semi-conducteurs est exposée aux menaces : les capteurs et actionneurs. Souvent intégrés à proximité d'une unité de calcul générique et bien moins puissante qu'un ordinateur ou un smartphone, il s'agit des microcontrôleurs et leurs périphériques. Mélange entre électronique analogique et numérique, ils sont à la frontière de nos puces et de l'environnement physique avec lequel ils interagissent. Ces composants se caractérisent par le fait qu'ils sont principalement exposés aux phénomènes physiques liés à leur mission, ainsi ils sont aussi exposés à toute menace véhiculée par ces phénomènes, on parle de chemin d'attaque.

Une sous-catégorie de ces systèmes, en particulier à destination des réseaux de communications, doivent porter un signal entre 2 nœuds ou plus et forment des réseaux de communications. Ce sont principalement via des réseaux de capteurs et d'actionneurs physiques que les besoins de disponibilité et d'intégrité des liaisons de communication sont traités. C'est à travers des microcontrôleurs que sont effectuées les communications entre les 2 extrémités d'une fibre optique, d'un câble ethernet ou encore les 2 antennes d'un système sans fil ou Bluetooth.

Avec l'essor des systèmes connectés et le l'IoT, on assiste à une explosion de déploiement de tels systèmes, allant de la prise ou l'ampoule connectée à des systèmes plus complexes de télématique industrielle avec des surfaces d'attaques importantes. L'architecture de ces systèmes est généralement constituée d'un microcontrôleur générique, auquel on adjoint un dispositif qui transforme un événement physique observable en une tension électrique qui est mesurée périodiquement par le contrôleur (Ex. un détecteur de présence infrarouge). De la même manière et en fonction de sa programmation, le contrôleur peut émettre des signaux analogiques ou numériques pour piloter un actionneur qui aura un effet sur l'environnement physique (Ex. Un interrupteur connecté à une lampe et au détecteur infrarouge de l'exemple précédent).

Les biens supports et les cas d'usages sont très nombreux et liés au grand nombre de variables d'environnement existant autour de nous. Pourtant ils impliquent souvent les mêmes types de semi-conducteurs : les microcontrôleurs¹⁷⁹.

Figure 59 : Exemple de microcontrôleur ESP32¹⁸⁰ fabriqué par l'entreprise Espressif Systems



¹⁷⁸ https://www.frandroid.com/marques/intel-materiels-accessoires/1980364_chine-vs-etats-unis-pourquoi-intel-et-amd-se-retrouvent-meles-au-conflit

¹⁷⁹ <https://fr.wikipedia.org/wiki/Microcontr%C3%B4leur>

¹⁸⁰ <https://fr.wikipedia.org/wiki/ESP32>

La combinatoire des cas d'usage de microcontrôleurs étant très élevée, et s'il faut se restreindre aux exemples mettant en jeu la sécurité nationale, on pourrait citer en France les compteurs intelligents d'énergies comme Linky pour l'électricité, Gazpar pour le gaz, et Iris, pour l'eau.



Ces compteurs se distinguent particulièrement par leur capacité à servir de vanne : non seulement ils remontent les niveaux d'énergie consommés à un centre de données (capteur), mais aussi ils sont pilotables à distance afin de contrôler les volumes aux points de livraisons (actionneur). Un autre cas d'usage et plutôt lié aux utilisations radio est celui d'un système radar. Qu'ils soient à usage civil ou militaire, ces systèmes hautement complexes sont critiques pour assurer la sécurité des personnes et des aéronefs. A la frontière entre les calculateurs radar et leurs antennes, on retrouve évidemment des microcontrôleurs avancés.

Figure 60 : Exemple de compteur Linky, conçu et déployé par ENEDIS



De gauche à droite :

Figure 61 : Antenne radar à formation de faisceaux RBE2-AESA¹⁸¹ pour l'avion de combat RAFALE – Thales DMS Figure 62 : Microcontrôleur spécialisé en formation de faisceaux d'antenne ADAR3000 – Analog Devices¹⁸² Figure 63 : Antenne radar à formation de faisceaux pour la détection de missiles balistiques¹⁸³. General Electric

Source de risque et objectifs visés : (1) Cybercriminalité/Cyberterrorisme, extorsion et rançonnement et (2) Gouvernements, action cyber coordonnée pour de la lutte informatique offensive.

Lors du scénario d'attaque sur le système de gestion d'énergies¹⁸⁴ : Un groupe hacktiviste hostile aux énergies renouvelables exploite une vulnérabilité matérielle liée au système de communication (Modem de l'antenne) d'un exploitant de champ d'éoliennes. Les systèmes affectés sont mis hors service de manière simultanée et déconnectés du réseau, leur production est arrêtée et plusieurs semaines de maintenance sur place seront nécessaires pour rétablir la production.

Lors du scénario d'attaque sur des systèmes radars : Un gouvernement infiltre la chaîne d'approvisionnement de puces radio dédiées au traitement d'un radar embarqué. Il introduit deux comportements malveillants de type « backdoor » sur la réception d'un signal radio spécifique connu de l'attaquant. Le premier entraîne une émission forcée à pleine puissance et révèle la position de l'émetteur. Le 2eme entraîne une défaillance du composant et donc du radar. Suivant le comportement recherché par l'attaquant, il diffuse l'un ou l'autre des signaux pour obtenir un avantage tactique plus ou moins discret au cours d'un conflit.

Suivant la numérisation de nos sociétés, l'intégration de microcontrôleurs a donc fortement augmenté dans les systèmes civils et militaires et elle apporte avec elle une exposition à des menaces autrefois

¹⁸¹ https://fr.wikipedia.org/wiki/Thales_RBE2

¹⁸² <https://www.analog.com/en/products/adar3000.html#part-details>

¹⁸³ https://en.wikipedia.org/wiki/Ballistic_Missile_Early_Warning_System

¹⁸⁴ <https://www.pv-magazine.com/2022/03/01/satellite-cyber-attack-paralyzes-11gw-of-german-wind-turbines/>

hors de portée. Si certains systèmes peuvent être communs entre des utilisateurs du secteur de la défense et d'autres plus civils, il est important de replacer chaque menace dans son écosystème et d'étudier la faisabilité technique globale des actions malveillantes. Un niveau standard d'appréciation de résistance au risque et aux menaces est à privilégier afin de distinguer les fournisseurs respectant un minimum global d'exigences de ceux n'ayant aucune connaissance des bonnes pratiques.

Tout comme pour le cas des processeurs à usage cryptographique, les niveaux les plus élevés de résilience sont à étudier et à fournir au cas par cas afin d'en maîtriser les coûts de développement et d'usage.

II.2.Approche des menaces pour les producteurs

II.2.1.Menace : Protection du patrimoine scientifique et technique

Le domaine des semi-conducteurs est un secteur de forte concurrence, hautement spécialisé, dont les activités de R&D s'effectuent sur le temps long et nécessitent des investissements financiers et humains conséquents. Les entreprises dominantes sur le marché sont des multinationales évaluées à plusieurs centaines de milliards de dollars et profondément intégrées au tissu industriel des pays dont elles dépendent.

Une entreprise produisant des équipements à base de semi-conducteurs aura besoin de conserver son avantage concurrentiel et donc ses secrets de fabrication pour pouvoir rentabiliser ses investissements et continuer à innover afin de ne pas être déclassée. Plus que dans d'autres secteurs industriels, des pays entiers se sont spécialisés dans cette industrie et ses dépendances. Toute perte de savoir-faire à court ou à long terme entraînerait des conséquences significatives sur les bassins d'emplois et les investissements de ces pays.

Pour qualifier en France ces savoir-faire stratégiques, le SGDSN utilise l'appellation de Patrimoine Scientifique et Technologique de la Nation et lui adjoint une politique de protection spécifique le PPST¹⁸⁵. Les cas d'espionnage industriel ne sont pas spécifiques à ce secteur et par conséquent les biens supports ne sont pas non plus spécifiques au monde des semiconducteurs.

Avantage même pour le secteur, ces systèmes une fois intégrés et assemblés sont en général si petits et fragiles qu'une rétro ingénierie est très difficile à mettre en œuvre et nécessite des moyens techniques et humains spécialisés. Les biens supports de ce patrimoine informationnel critique à l'entreprise sont donc l'ensemble des moyens permettant de conserver les processus spécifiques à l'entreprise. Il s'agit donc des supports physiques et numériques ainsi que l'ensemble des ressources humaines internes et externes à l'entreprise ayant été exposées aux sujets sensibles.

Trivialement, les solutions mettant en œuvre le patrimoine informationnel de l'entreprise sont donc l'ensemble des systèmes d'information de l'entité et potentiellement ceux de ses clients et fournisseurs proches ayant accès à des documentations spécifiques. Ces outils sont souvent des systèmes de bureautique commune avec des services de traitement, de stockage et de transmission d'information entre 2 sites distants. Parfois il faut y ajouter un réseau de prestataires de stockage de données en nuage à qui on externalise une partie de la gestion informatique.

Pour ce sujet de menace d'un producteur de semi-conducteurs, les sources de risques sont (1) Les concurrents industriels cherchant à développer des savoir-faire performants tout en limitant les coûts de R&D, un avantage financier permettant de produire à plus bas coût que la concurrence et de gagner des parts de marché, et (2) Les États cherchant à obtenir des savoir-faire spécifiques, surtout dans les applications spécialisées comme la fonderie, la chimie et la lithographie de pointe ou encore les applications à usage spatial, aéronautique ou militaire, l'objectif étant de fournir un avantage stratégique en permettant la production de technologies potentiellement restreintes ou interdites de transfert par d'autres Etats sur le territoire concerné.

¹⁸⁵ <https://www.sgdsn.gouv.fr/nos-missions/proteger/proteger-le-potential-scientifique-et-technique-de-la-nation>

Une entreprise souhaitant acquérir une partie des savoir-faire d'un concurrent recrute ses anciens employés en usant de moyen de pression ou de corruption pour qu'ils ignorent des potentielles clauses de protection du savoir-faire spécifique. Le nouvel employeur obtient plus rapidement que son concurrent des nouveaux processus de fabrication plus performants et gagne ainsi des parts de marché.

Un état sous embargo technologique pour des raisons géopolitiques met en place des moyens d'espionnage industriels à grande échelle pour rapatrier des savoir-faire et des technologies indisponibles à la production et pour lesquels il n'arrive pas à importer d'équivalent. Ex. Soupçons de piratage d'un leader de la lithographie (ASML)¹⁸⁶ et de transferts technologiques clés interdits (Omniscience).¹⁸⁷

Les menaces liées à la perte ou au vol de propriété intellectuelle spécifique au monde des semi-conducteurs ne se distinguent pas tellement de celles ciblant les autres secteurs industriels. Ils souffrent surtout de la numérisation des espaces de développement et de production propre à notre époque. S'il fallait retenir un point, c'est surtout le niveau de gravité d'un vol de ce type de savoir-faire, car il nécessite généralement de forts investissements et donc neutralise d'un coup des années de travaux de recherche et développement.

II.2.2. Menace : Influence et réglementations locales

Les secteurs industriels stratégiques comme celui des semi-conducteurs sont sujets à des investissements sur des durées étendues et avec des montants significatifs. Afin de bénéficier d'une attractivité plus importante, les territoires accueillant des activités industrielles critiques sont prêts à faire des compromis sur certaines contraintes locales, négociant des avantages avec les multinationales pour favoriser leur implantation.

La valeur recherchée dans ce processus est l'attribution d'avantages dans un territoire donné, tout en respectant des contraintes légales et réglementaires. Ainsi un territoire pourra se démarquer par un avantage financier ou en nature destiné à un groupe d'entreprises qui s'engage à s'implanter dans une région donnée. En échange, la visibilité et la stabilité sur le long terme permettra à la région de planifier plus efficacement ses développements d'infrastructure et la gestion de ses bassins d'emploi. Elle bénéficie sur le long terme de la présence de grands pôles industriels, entraînant l'arrivée d'antennes de prestataires logistiques et technologiques spécialisés bénéficiant à l'ensemble de l'écosystème, stimulant le territoire et apportant des revenus sous la forme d'impôts locaux.

Cet écosystème devra ensuite être entretenu pour maintenir son attractivité dans le temps. Les biens support de la facilitation à l'implantation sont les outils disponibles à différentes échelles d'un territoire (ville, région, nation, fédération) pour se démarquer et attirer des investissements d'une part et des acteurs industriels spécifiques d'autre part. On retrouve notamment :

- Des plans de financements ou prêts sous conditions.
- Un assouplissement réglementaire via des dérogations.
- Un accès facilité aux infrastructures énergétiques (eau et énergies).

Dans le cadre de la construction de l'écosystème dédié à la microélectronique autour de Grenoble on retrouve par exemple dès 1953 des entreprises spécialisées dans l'électronique qui se sont progressivement associées à d'autres acteurs industriels émergents grâce au plan calcul de 1966 puis au plan composant de 1978. Le financement par l'Etat d'entités de recherche, via le CEA notamment, a permis dès 1976 de spécialiser le bassin d'emploi de Grenoble dans la microélectronique et les semi-conducteurs.¹⁸⁸

¹⁸⁶ https://www.theregister.com/2023/02/27/asml_china_data_spying/

¹⁸⁷ <https://freemindtronic.com/omnic-case-how-a-french-company-delivered-military-secrets-to-china-and-russia/>

¹⁸⁸ <https://aphid.fr/2023/12/01/conference-anne-laffont-histoire-de-lindustrie-de-la-microelectronique-dans-le-bassin-grenoblois-de-saint-egreve-et-grenoble-a-croquer-les-2023/>

Outre-Rhin, la ville de Dresde a connu un destin similaire : après avoir servi de hub industriel pour l'industrie électronique en RDA, elle a connu dès 1994 et peu après la réunification des aides via l'implantation de l'Américain AMD et une transition rapide des anciens ouvriers de l'électronique à la microélectronique¹⁸⁹. Aujourd'hui ces 2 temples Européens du semiconducteur accueillent une grande partie des campagnes de subventions massives de la part de leurs propres gouvernements et de l'UE. Des activistes pourront chercher à défendre une cause sociétale et à dénoncer des pollutions par exemple. Ils ciblent l'image des entreprises cherchant à s'implanter et entravent le fonctionnement normal par des actions locales sur les chaînes logistiques. Un concurrent ou un État pourrait, à différentes échelles, chercher à obtenir un avantage économique en finançant localement des associations et des ONG pour faire pression sur l'implantation d'un acteur particulier en vue de le décourager. Le scénario stratégique pour cette menace est inspiré d'une étude sur l'ingérence anti-nucléaire ayant pu gêner la continuité des investissements de la filière énergétique française.¹⁹⁰¹⁹¹ De la même façon, ce scénario pourrait se transposer sur un autre secteur stratégique critique, celui des semiconducteurs.

Comme la plupart des activités industrielles, ce secteur consomme des quantités importantes d'énergies et génère des déchets de production plus ou moins nocifs. Ainsi cette industrie peut être désignée comme néfaste à l'échelle locale et susciter des réactions de la société et des associations même si elle s'engage à financer des circuits de retraitements spécifiques. Ce cadre est propice à ce qu'un intervenant extérieur comme un concurrent d'un autre territoire finance une campagne de désinformation pour favoriser le battage médiatique ou influencer des associations et antennes d'ONG locales afin de cibler précisément ce secteur industriel voire un groupement industriel particulier. L'arrivée de nouveaux acteurs du secteur ou l'extension d'activités de groupes déjà implantés serait alors freinée par les conséquences de ces actions déstabilisatrices. Des subventions à l'échelle de continents seraient alors redistribuées dans d'autres régions moins sensibles à ces actions.



Figure64 : Tract distribué par le collectif STOP MICRO38

Dans le cadre spécifique du bassin d'emploi de Grenoble, on retrouve depuis 2023 un grand nombre d'actions locales du collectif "STOP MICRO38"²¹⁹ pour lequel il est difficile d'obtenir des informations comme les sources de financement, les objectifs, la liste des membres et les statuts du mouvement. Le site de l'association est hébergé sur la plateforme "noblogs" conçue sur mesure pour les mouvements radicaux, avec des objectifs forts de confidentialité. Ce type de structure devrait être étudié et pourrait être un vecteur d'attaque.

¹⁸⁹ <https://www.politico.eu/article/germany-chips-city-dresden-microchips-cars-smartphones/>

¹⁹⁰ <https://www.portail-ie.fr/univers/enjeux-de-puissances-et-geoéconomie/2023/allemande-vs-france-les-ingerences-demasquees/>

¹⁹¹ <https://stopmicro38.noblogs.org/revue-de-presse-stopmicro-stm-et-soitec/>

II.3. Risques majeurs dans l'industrie des semiconducteurs

II.3.1. Risque : Contrefaçons

Toute production industrielle repose sur un équilibre entre une demande et une capacité à offrir des produits. Cela se traduit par un couple clients/fournisseurs sans lequel une entreprise ne peut espérer produire. Les produits sourcés sont généralement choisis sur la base d'un ensemble de spécifications techniques et économiques permettant à l'entreprise, via leur assemblage ou leur transformation de livrer un produit fini ayant lui aussi ses critères de qualité et ses spécifications.

Le secteur des semiconducteurs produit des systèmes complexes et est très sensible aux écarts de spécifications techniques. Un composant défectueux entraînera un défaut de l'ensemble du système dont il fait partie. Même si des processus de tests en continu existent, ils ont un coût important. Ainsi il est difficile de détecter un lot de puces défaillantes. Les entreprises contribuant à des activités de Sécurité Nationale comme les Opérateurs d'Importance Vitale ne dérogent pas à la règle et doivent aussi pouvoir assurer une production d'équipements ou de services. Le maintien de la production, que ce soit en temps normal ou de crise, est permis au travers de chaînes d'approvisionnement. Il s'agit de l'ensemble des contributeurs logistiques essentiels permettant les flux de marchandises, d'information, d'énergies et de finances.

Pour le secteur des semiconducteurs, dont on retrouve des éléments dans la partie ressources de ce rapport, il s'agit principalement de matériaux bruts et raffinés, d'énergies, et de produits de chimie. Les usines mettent aussi en œuvre des machines-outils de pointe et un ensemble de pièces détachées et d'usures sont nécessaires. Dans le cadre d'une exposition à un risque de produits contrefaits, l'entreprise est à la fois une victime et une source de la diffusion due au recel de produits qu'elle aurait intégrés.

La source des produits peut être un réseau criminel organisé cherchant à obtenir un avantage financier en écoulant des produits aux caractéristiques similaires¹⁹². Ou bien une entreprise légitime qui produirait sous licence des lots parfaitement fonctionnels mais hors contrat de son propre fournisseur.

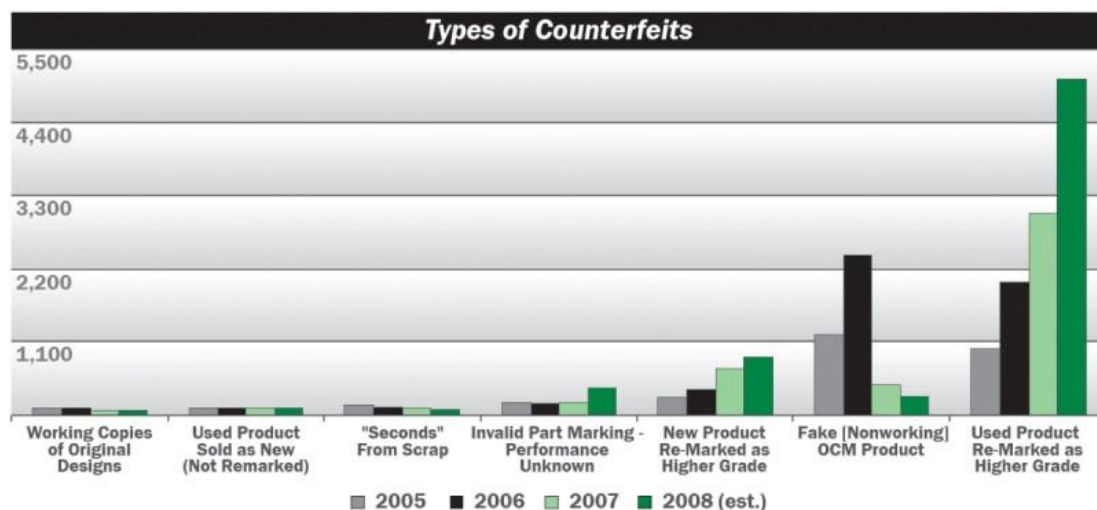


Figure 65 : DSIAC - Rapport sur les types de contrefaçons dans la microélectronique de défense¹⁹³

Par exemple : Une entreprise spécialisée en assemblages d'équipements électroniques pour le secteur de la défense assure non seulement la production initiale mais aussi le suivi en maintenance des équipements. La spécificité est que ces produits ont une durée de vie relativement longue par rapport à d'autres produits équivalents dans le domaine civil. L'entreprise est contactée au bout de plusieurs années par un de ses fournisseurs pour lui annoncer la fin de série d'un des composants de ses cartes

¹⁹² https://rocelec.widen.net/s/hzscvpm78k/combating-semiconductor-counterfeits-white-paper_fr

¹⁹³ <https://dsiac.org/articles/combating-counterfeit-components-in-the-dod-supply-chain/>

électroniques. Le composant n'étant plus disponible sur le marché, elle fait appel à des revendeurs (broker) de composants au détail annoncés comme identiques. Après avoir effectué des tests fonctionnels sur quelques composants du lot approvisionné, l'entreprise intègre ce nouveau lot à son stock dédié à la maintenance. Au bout de quelques mois elle remarque que le taux de panne issus d'équipements réparés est anormalement haut, après diagnostic il s'avère que les composants approvisionnés sont en fait des composants usagés, récupérés et revendus comme neufs.

Après avoir investi en fonds propres pour diagnostiquer les raisons du taux de retour élevé, elle devra aussi remplacer les cartes contaminées d'autres lots produits depuis. N'ayant pas atteint ses objectifs de production, elle devra payer des pénalités à son client et souffrira d'un problème d'image pour de futurs contrats. La contrefaçon est donc le risque majeur qui touche l'industrie des semi-conducteurs. Plus que dans n'importe quelle autre industrie, il est difficile à détecter efficacement et nécessite des travaux spécifiques afin d'assurer une traçabilité et un approvisionnement efficace. Il ne faut pas perdre de vue que les performances globales d'un système mettant en œuvre des semi-conducteurs dépendront in fine de la fiabilité des composants sur lesquels il est construit. Ainsi, la protection sur le cycle de vie d'un système complexe est conditionnée par le niveau obtenu au niveau du cycle de vie des briques de semi-conducteurs.

II.3.2. Risque : Naturels et technologiques à portée variable

L'industrie des semiconducteurs, en particulier dans ses activités de fonderie, s'appuie sur des complexes de méga-usines nécessitant des investissements colossaux et continus pour rester compétitifs. Même au cœur du sursaut actuel, sur fond de crise internationale qui stimule l'implantation de nouvelles usines, il faudra plusieurs années pour en construire aux USA ou en Europe. Pourtant ce sont des régions ayant accès aux chaînes logistiques les plus avancées et où les constructions sont parfois des nouvelles unités de production adossées à des écosystèmes locaux déjà développés. L'ensemble des opérations étant sensibles aux variations d'environnement (vibration, température, humidité ...), il est essentiel pour obtenir des composants de qualité régulière de maintenir dans les usines un environnement constant. C'est d'ailleurs pour ces raisons que les traitements les plus sensibles ont lieu dans des salles à l'atmosphère régulée et exclusivement accessibles par des équipements robotisés¹⁹⁴.

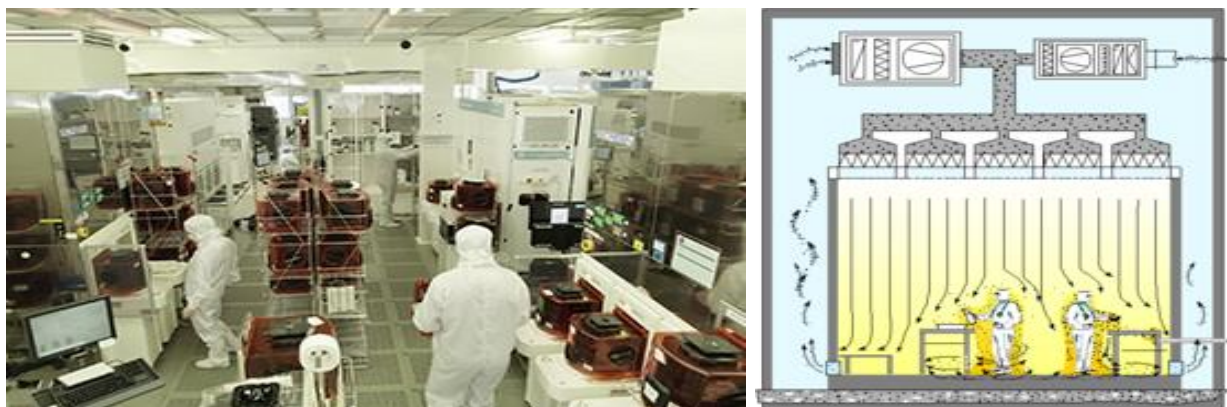


Figure 66 : Exemple de salle "blanche", à l'atmosphère régulée. (CEA LETI à gauche / Wikipedia à droite) Les composants en cours de fabrication sont protégés dans des cassettes orange entre chaque étape.

Les supports permettant la production de composants conformes à leur spécification est l'ensemble des matières premières, outils de traitement et machines permettant de maintenir l'environnement de production. Toute variation même sur un temps réduit à quelques minutes serait de nature à modifier sensiblement le processus de fabrication et à rendre tout lot en cours de production inutilisable. De la

¹⁹⁴ <https://www.leti-cea.fr/cea-tech/leti/Pages/recherche-appliquee/plateformes/salles-blanches.aspx>

même manière et comme pour toute industrie, toute interruption des chaînes d'approvisionnements en flux d'énergies cause une interruption de la production.

Spécifiquement dans l'industrie des semi-conducteurs, certaines étapes successives sont à réaliser dans un temps donné et une interruption trop longue en cours de fabrication entraînerait la péremption d'un lot. En cas de crise liée à un événement externe, des impacts sur la sécurité nationale des États producteurs sont attendus puisque c'est un pan entier de leurs économies qui fonctionnerait alors au ralenti. De même pour les pays consommateurs fonctionnant en flux logistiques tendus ou bien en cas de crise durable dépassant les capacités de stockages en amont, les activités essentielles dépendant d'un approvisionnement en composants seront impactées. Pour cette fiche, les sources de risques d'intérêt sont les événements de cause naturelle ou technologiques pouvant perturber directement ou indirectement le bon fonctionnement d'une "fab".

On retiendra en particulier 2 types de risques :

- Ceux ayant une portée exclusivement locale comme un séisme ou une sécheresse.
- Ceux ayant une portée globale, comme une tempête solaire.

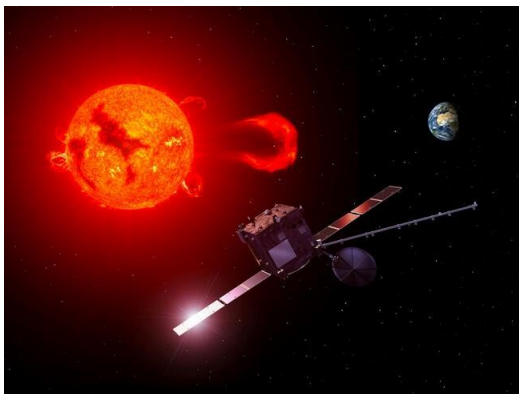


Figure 67 : A gauche : ESA - Météorologie solaire et projet Vigil Figure 68 : A droite : An Rong Xu - NY Times - Réservoir de Baoshan

Dans les 2 cas, les impacts sont liés à une limitation de la production suivie par une phase d'analyse des dégâts pour une reprise au plus tôt. En fonction de la nature de la crise et de ses effets, la reprise d'activité peut être plus ou moins tardive et nécessiter des réparations.

Comme déjà vu dans la fiche 5, la production de semiconducteurs nécessite des apports importants en eau. Une région comme celle de Taiwan, déjà exposée à des risques sismiques est aussi sensible au risque de sécheresse¹⁹⁵.

Ainsi, en 2021 et à la suite d'une crise hydrique durable, la région s'est retrouvée face un compromis en termes de sécurité nationale¹⁹⁶ et a dû privilégier la production de semiconducteurs au détriment de l'irrigation de son agriculture. En effet, s'il est possible d'importer du riz depuis d'autres zones de production, les usines de TSMC ne se trouvent qu'à un seul endroit.

Dans un contexte de crise climatique naissante, il n'est pas à exclure que d'autres territoires soient confrontés au même type de choix : entre sécurité alimentaire et économique. Pour répondre à ce risque, Taiwan investit depuis dans des infrastructures de gestion de l'eau douce, comme des retenues artificielles ou des usines de dessalement. Mais ces nouvelles infrastructures pourraient bien être vulnérables à d'autres risques comme celui lié à l'activité sismique importante dans la région¹⁹⁷.

Autre scénario à ne pas négliger, celui d'un orage magnétique intense causé par une éruption solaire¹⁹⁸. Ici on est très loin d'un risque localisé et toutes les infrastructures mondiales seraient vulnérables. Si des événements de ce type se produisent tous les 150 ans environ (ils sont donc courants à l'échelle de

¹⁹⁵ <https://interconnectedrisks.org/disasters/taiwan-drought>

¹⁹⁶ <https://www.nytimes.com/2021/04/08/business/taiwan-is-facing-a-drought-and-it-has-prioritized-its-computer-chip-business-over-farmers.html>

¹⁹⁷ <https://techovedas.com/7-2-magnitude-earthquake-hits-taiwan-tsmc-and-umc-affected/>

¹⁹⁸ <https://lejournel.cnrs.fr/articles/un-vent-de-tempete-solaire-souffle-sur-la-terre>

notre histoire) Ils affectent particulièrement les réseaux électriques et les composants de microélectronique.

Si un tel événement devait survenir, alors non seulement il causerait de manière globale le même type d'interruptions que celles liées aux crises locales, mais en plus les composants nécessaires aux réparations des infrastructures seraient rapidement en rupture de stock. On combine alors les effets d'une baisse de l'offre due aux dégâts sur les usines de production et un pic de demande pour la remise en route de la société.

Conclusion

En conclusion, l'industrie des semi-conducteurs, au cœur des tensions géopolitiques et des dynamiques d'intelligence économique, est devenue un secteur stratégique d'une importance cruciale pour la sécurité nationale et la cybersécurité des États. La maîtrise de cette filière ne se limite plus à des enjeux économiques, mais constitue désormais un levier de pouvoir global. La concurrence technologique exacerbée entre grandes puissances, notamment les États-Unis et la Chine, démontre la centralité des semi-conducteurs dans la course à l'innovation, à la défense et à la souveraineté numérique. Dans ce contexte, renforcer les capacités nationales de production, protéger la chaîne d'approvisionnement et développer des stratégies de résilience face aux cybermenaces sont devenus des impératifs stratégiques. Face à la complexité de ces défis, une coopération internationale équilibrée, couplée à une vigilance accrue en matière d'intelligence économique, s'impose pour garantir la stabilité et la sécurité dans cet environnement globalisé et hyperconnecté.

Un nouvel ordre mondial ?

De même que l'acier, l'aluminium et le pétrole ont défini les vainqueurs de la Seconde Guerre mondiale, que le nombre de missiles nucléaires a défini l'ordre de la guerre froide, la guerre des semi-conducteurs risque d'établir l'ordre mondial des années à venir.

Glossaire

AES	Advanced Encryption System
AI	Artificial Intelligence
AR/VR	Augmented Reality/Virtual Reality
ASIC	Application Specific Integrated Circuit
BaFe	Barium Ferrite material
CAD	Computer Aided Design
CMOS	Complementary Metal-Oxide-Semiconductor
CPU	Central Processing Unit
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
DL	Deep Learning
DRAM	Dynamic Random Access Memory
DSP	Digital Signal Processing
EDA	Electronic Design Automation
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read Only Memory
eNVM	embedded Non-Volatile Memory
FPAA	Field Programmable Analog Array
FPGA	Field-Programmable Gate Array
GaN	Gallium Nitride —transistor material
GaAsSb	Gallium Arsenide Antimonide material
GPU	Graphics Processing Unit
HDD	Hard Disk Drive
HIVA	Hardware-Intensive Virtualization Architecture
HPC	High Performance Computing
HW	Hardware
IC	Integrated Circuit
ICT	Information and Communication Technologies
IEEE	Instituted of Electrical and Electronics Engineers
IIoT	Industrial IoT
InGaAs	Indium Gallium Arsenide material
InP	Indium Phosphide material
IoT	Internet of Things
IP or IP block	semiconductor Intellectual Property core
M2M	Machine to Machine

MEMS	Micro- electromechanical systems
METIS	Microelectronics Training Industry & Skills
ML	Machine Learning
MOS	Metal Oxide Semiconductor material system
MRAM	Magnetic Random Access Memory
NAND	flash highest-density silicon-based electronic nonvolatile memory
NFC	Near Field Communications

NMOS	n-channel Metal-Oxide-Semiconductor transistor
NVM	Nonvolatile Memory
PCB	Printed Circuit Board
PHY	Physical Layer
PKI	Public Key Infrastructure
PLC	Programmable Logic Control
PQC	Post-Quantum Cryptography
PUF	Physical Unclonable Function
R&D	Research and Development
RAM	Random Access Memory
RF	Radio Frequency
RoT	Root of Trust
RSA	(Rivest–Shamir–Adleman) is a cryptosystem that is widely used for secure data transmission
RTL	Register-transfer Level is a design abstraction which models digital circuits
Si	Silicon material
SIA	Semiconductor Industry Association
SiGe	Silicon Germanium material for transistor
SiP	System in Package
SiOx	Silicon Oxide material
SoC	System on Chip
SRAM	Static Random Access Memory
SRC	Semiconductor Research Corporation
SSD	Solid State Drive
SW	Software

TCB	Trusted Computing Base
TEE	Trusted Execution Environments
VLSI	Very large scale integration
VM	Virtual Machine
