

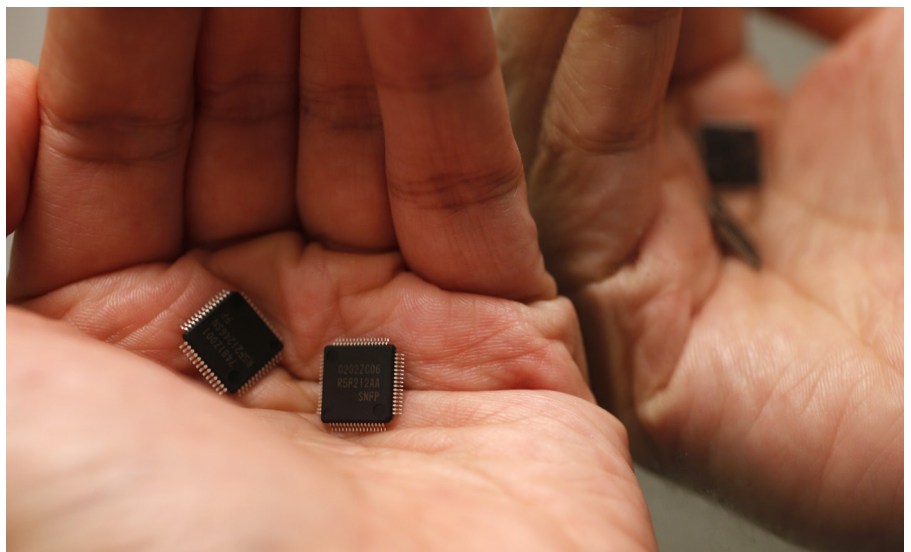
Pénurie globale de puces

La conjonction d'une pandémie, d'événements climatiques extrêmes et de jeux de pouvoir géopolitiques a mis en lumière la fragilité structurelle de l'industrie des semi-conducteurs. Les puces électroniques étant devenues pratiquement incontournables, leur pénurie actuelle soulève des questions quant à la sécurité des chaînes d'approvisionnement.

Par Julian Kamasa

Les puces électroniques, ces composants de moins d'un centimètre d'épaisseur, sont devenues indispensables à nos activités quotidiennes. Présentes dans tous les appareils technologiques (ordinateurs fixes et portables, smartphones, tablettes, etc.), elles assurent des fonctions essentielles de commande, de calcul et de mémorisation. Les appareils du quotidien, tels que les machines à laver ou les réfrigérateurs modernes, en contiennent également. Les systèmes d'assistance complexes intégrés aux voitures, aux camions et aux nouveaux moyens de transport comme les trottinettes et les vélos électriques ne peuvent fonctionner sans elles. Il en va de même des systèmes de production d'électricité utilisant l'énergie solaire. La pénurie de puces électroniques, qui se creusait déjà au printemps 2021, a conduit cet automne à une situation qualifiée de «chipageddon» (contraction de *chip*, «puce électronique» en anglais, et d'«Armageddon»). Ce phénomène a, par exemple, forcé de nombreux constructeurs automobiles à réduire leurs cadences de production au point de passer sous le niveau de la crise de 2020. Les travailleurs, les sous-traitants et les consommateurs en subissent également les répercussions – y compris en Suisse (voir encadré p.4).

La pénurie de puces est la conséquence de trois évolutions concomitantes: la pandémie de COVID-19, la situation géopolitique et le changement climatique. La pan-



Puces de microcontrôleurs fabriquées par la société japonaise de semi-conducteurs Renesas Electronics, Tokyo, mai 2012. Kim Kyung-Hoon / Reuters

démie a fortement déséquilibré l'offre et la demande. D'un côté, l'accroissement du télétravail a fait grimper en flèche le besoin d'appareils électroniques. D'un autre côté, la baisse de la mobilité a fait dégringoler la demande de nouveaux moyens de locomotion. Du fait de la complexité des processus de production, les grosses commandes nécessitent une planification de plusieurs mois (voir encadré p.2). La demande de moyens de transport ayant repris plus tôt que prévu, l'offre de puces ne suit pas. De surcroît, les mesures prises pour endiguer le

coronavirus entraînent des interruptions au sein des chaînes d'approvisionnement qui accentuent encore le problème.

La pandémie actuelle de COVID-19 se distingue de la situation géopolitique et du changement climatique par son échéance. De fait, elle ne devrait pas s'inscrire dans le long terme, mais rester à court et moyen terme. Cependant, elle a brutalement mis en lumière les faiblesses structurelles des processus de production, sensibles aux crises, et le manque de sécurité des chaînes

d'approvisionnement. Quant à la situation géopolitique et au changement climatique, ils représentent des défis d'autant plus grands pour la sécurité de l'approvisionnement qu'une dégradation de ces paramètres est possible. Parmi les questions épineuses, on peut citer les revendications territoriales explicites de la Chine sur Taïwan, plaque tournante du marché mondial des puces électroniques. Si nécessaire, Pékin n'exclut d'ailleurs pas le recours à la force militaire. De même, la raréfaction des pluies, les périodes de sécheresse prolongées ou les vagues de froid extrêmes peuvent mettre en péril l'approvisionnement en eau et en électricité, ce qui a des conséquences sur les capacités de production de puces électroniques. La crise d'approvisionnement que nous vivons aujourd'hui, aggravée par le coronavirus, illustre ainsi les défis de sécurité auxquels les États peuvent se trouver confrontés lorsque les ressources viennent à manquer et que les principaux sites de production de puces électroniques sont au cœur de tensions géopolitiques.

Les acteurs clés en Asie

L'industrie des puces électroniques se caractérise par un haut degré de fragmentation et de spécialisation. Il n'existe aucun pays dont les entreprises réunissent toutes les étapes du processus: extraction des matières premières, conception, recherche et développement, construction mécanique, fabrication, essais, assemblage, conditionnement. Par conséquent, aucun État n'est autosuffisant dans le domaine des puces. Certaines régions, comme l'Asie de l'Est, comptent toutefois un grand nombre d'acteurs dominants qui assurent notamment la fabrication en sous-traitance (voir graphique p.3). Ces entreprises sont appelées des «fondries». La conception des puces et les volumes de commande sont définis par leurs clients. Les fonderies implantées à Taïwan représentent 63% du marché international dans ce secteur. Avec plus de 52% de parts de marché, TSMC est le plus gros acteur de la planète. L'entreprise fournit notamment Apple, son principal client, mais aussi le premier fabricant mondial de processeurs graphiques pour serveurs et ordinateurs, Nvidia. Taïwan compte également une entreprise leader sur le marché mondial des essais et de l'assemblage: ASE.

Après Taïwan, la Corée du Sud abrite un autre grand fondeur, Samsung. Avec 17% de parts de marché, le groupe s'est hissé à la deuxième place au niveau mondial, derrière TSMC. Projetant de défier le leader, Sam-

Le processus de fabrication des puces

On utilise souvent les mots «puce» et «semi-conducteur» de façon interchangeable. Cela tient au fait qu'une puce électronique est constituée d'un matériau semi-conducteur, généralement le silicium, capable de conduire de faibles quantités de courant. Le matériau semi-conducteur est façonné en tranches circulaires d'une épaisseur de 0,2 à 0,7 mm et d'un diamètre de 2 à 30 cm: ce sont les *wafers*. Des transistors et des circuits sont ensuite appliqués couche par couche sur ces *wafers*. Une puce peut ainsi contenir jusqu'à 50 milliards de transistors. Ceux-ci commandent la conduction d'électricité selon le principe binaire 0/1 (le courant passe ou ne passe pas). Associés à des circuits, ils permettent d'exécuter des ordres et de mémoriser des données. Un transistor est à peu près 700 fois plus petit que la largeur d'un cheveu humain. La moindre impureté rendant le wafer inutilisable, sa fabrication s'effectue dans des salles blanches où la température est stable et l'air exempt de poussière. Au total, le processus de développement et de fabrication des puces peut prendre des années, car il faut concevoir avec soin leur structure, mais aussi leurs ateliers de production, tout en anticipant les évolutions technologiques.

sung a investi plusieurs milliards dans les puces logiques nécessaires à l'intelligence artificielle. Beaucoup d'entreprises assurent la fabrication et le revêtement des *wafers* sont implantées au Japon. Shin-Etsu, le plus grand fabricant mondial de *wafers* en silicium, compte TSMC et Samsung parmi ses clients. Renesas Electronics, une entreprise spécialisée dans la fabrication de puces pour l'industrie automobile, est également basée au Japon. Elle est considérée comme le troisième acteur mondial dans ce domaine. L'incendie survenu en mars 2021 dans l'un de ses ateliers de production a encore aggravé la pénurie de semi-conducteurs pour l'industrie automobile. La Chine, pour sa part, abrite le cinquième fondeur du marché, SMIC. L'entreprise

L'industrie des puces électroniques se caractérise par un haut degré de fragmentation et de spécialisation.

étant en partie aux mains de l'État, elle figure depuis décembre 2020 sur la liste des sociétés sanctionnées par les États-Unis. Soucieux d'accroître son autonomie et de rattraper son retard sur des pays comme les États-Unis, Taïwan, la Corée du Sud ou le Japon, le gouvernement chinois tente néanmoins de promouvoir son industrie nationale de puces électroniques avec des programmes tels que *Made in China 2025*. La Corée du Sud, Taïwan et les États-Unis ont également alloué plusieurs milliards à des programmes de soutien de l'industrie des puces électroniques.

Les États-Unis et l'Europe

Ni les États-Unis ni l'Europe ne possèdent de fondeurs de taille significative. La région euro-atlantique dépend donc en

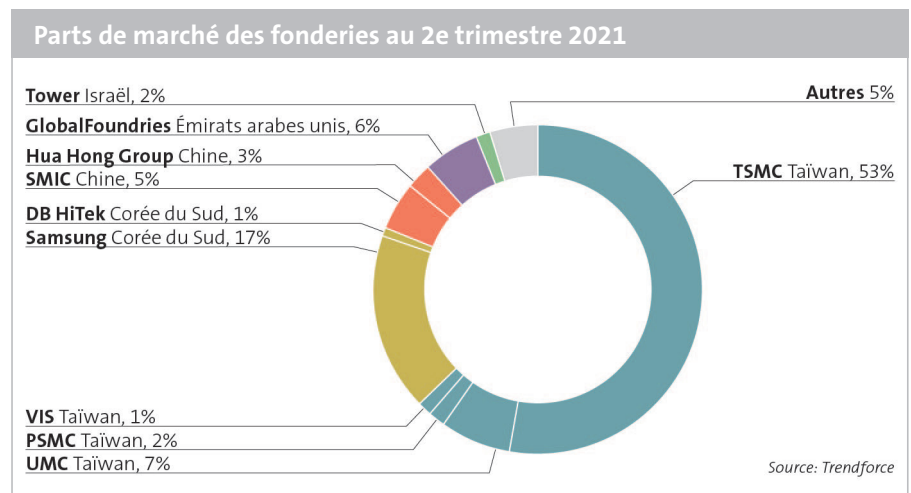
grande partie des fonderies situées à Taïwan et en Corée du Sud. À l'inverse, ses entreprises proposent des produits très demandés en Asie de l'Est. Cela montre à quel point la filière est fragmentée sur le plan géographique. Les États-Unis abritent de nombreux fabricants de puces électroniques. Le principal, Intel, opère sur ce marché depuis 1968. Il compte parmi les plus grands fournisseurs complets de puces électroniques dans le monde, c'est-à-dire qu'il assure des étapes allant de la conception technologique à la production. L'entreprise californienne domine par ailleurs le secteur mondial des microprocesseurs informatiques, dont elle détient environ 80% des parts de marché. Intel a annoncé en mars 2021 son intention de se lancer dans la fonderie. Pour ce faire, l'entreprise compte investir 20 milliards de dollars et ouvrir deux usines. Intel Foundry Services a pour objectif principal de contrer la suprématie de TSMC et de Samsung. En dehors d'Intel, les États-Unis possèdent tout un écosystème d'entreprises spécialisées dans la conception de puces ou la construction de machines destinées à la fabrication de semi-conducteurs. En outre, beaucoup de sociétés ont implanté des succursales dans la région d'Austin, au Texas. C'est notamment le cas de Samsung, qui fournit ses puces à IBM, Tesla et Intel, entre autres.

La pénurie de puces s'est particulièrement ressentie en Europe, dont l'industrie automobile, qui occupe encore une grande place, ne s'est pas encore remise de la crise de 2020. Pour répondre à ce problème, la Commission européenne a élaboré une législation sur les semi-conducteurs assortie d'une enveloppe de plusieurs milliards. Cette législation, appelée *Chips Act* comporte trois volets: une stratégie de recherche européenne claire, le développement de

capacités de production et la mise en place de partenariats et de coopérations à l'échelle internationale. La plus grande entreprise européenne de semi-conducteurs, ASML, est basée aux Pays-Bas. Elle compte parmi les groupes les plus cotés au monde. ASML s'est forgé une position prépondérante sur le marché en se spécialisant dans les machines de production de puces très complexes, intégrées par exemple aux smartphones 5G. La société est aujourd'hui leader mondial dans ce domaine. Tous les fondeurs, notamment TSMC, Samsung ou SMIC, achètent ses machines dont le prix se monte à quelque 120 millions d'euros. L'Europe compte également des entreprises comme Infineon, Bosch ou NXP, qui fabriquent des puces pour l'industrie automobile. Des sociétés du secteur traditionnel de la chimie, telles que BASF, Linde ou Merck, proposent maintenant aussi des produits chimiques qui entrent dans la composition du revêtement des semi-conducteurs.

Les défis géopolitiques

Le secteur des puces électroniques est aujourd'hui au cœur de la rivalité technologique entre la Chine et les États-Unis. Or, deux éléments sont particulièrement frappants. D'une part, aucune des deux grandes puissances n'a suffisamment d'autonomie pour faire cavalier seul. Et d'autre part, ce facteur est justement l'une des raisons qui expliquent pourquoi certaines entreprises de pays tiers se trouvent embarquées dans cette concurrence guidée par des enjeux géopolitiques. Les États-Unis jouissent actuellement d'une position dominante qu'ils n'ont pas l'intention d'abandonner, notamment en ce qui concerne la propriété intellectuelle liée à la conception des puces, la fabrication des appareils et les matériaux hors *wafers*. Les deux pays sont à égalité dans les domaines des essais et de l'assemblage des puces, ainsi que de la production de semi-conducteurs. Sous l'ancien président Donald Trump, les États-Unis ont imposé des contrôles à l'exportation afin d'éviter que la propriété intellectuelle ou des équipements essentiels en lien avec les puces ne tombent aux mains de la Chine par l'intermédiaire de pays tiers. Ces mesures ont exercé une forte pression sur TSMC, par exemple, dont le deuxième client était Huawei. L'entreprise taïwanaise a finalement cessé de fournir des puces à Huawei. Une menace similaire pèse sur la société néerlandaise ASML, dont le chinois SMIC est un client important. Ces perturbations géopolitiques pourraient déstabiliser



ser encore des chaînes d'approvisionnement déjà fragiles.

Taiwan est le point névralgique où se concentrent les rivalités. Pour Pékin, ce pays insulaire n'est pas un État indépendant, mais fait partie de la Chine continentale et sera appelé, tôt ou tard, à intégrer la République populaire. La Chine n'exclut pas le recours à la force militaire pour par-

Le secteur des puces est aujourd'hui au cœur de la rivalité technologique entre la Chine et les États-Unis.

venir à ses fins. La capacité des États-Unis à soutenir Taiwan est une question de crédibilité pour tout le système d'alliance sous influence américaine. Ce facteur peut donc avoir des répercussions sur l'ordre international. Ainsi, certains spécialistes estiment que Taiwan est l'endroit le plus susceptible de voir naître une confrontation militaire directe, ou au moins indirecte, entre Pékin et Washington. Cela pourrait poser des difficultés de taille pour l'économie mondiale. En effet, Taiwan abrite des acteurs majeurs du secteur des puces qui, en cas de conflit militaire, ne pourraient plus approvisionner le marché. Dans ce contexte, les menaces implicites d'invasion de Taiwan agitées par Pékin ne constituent pas seulement une épreuve de vérité pour les États-Unis dans leur capacité à soutenir l'État insulaire: elles placent une épée de Damoclès au-dessus de tous les secteurs qui dépendent des puces électroniques, avec des répercussions potentielles sur la sécurité d'approvisionnement de nombreux États.

Le changement climatique

La nécessité de réduire les gaz à effet de serre appelle à de nouvelles formes de mobilité, et notamment à l'électrification de moyens de locomotion tels que les voitures, les camionnettes de livraison ou les poids lourds. Du fait de l'interaction entre la batterie et l'ensemble des systèmes de commande informatisés, ceux-ci dépendent encore plus des puces électroniques que les moteurs à combustion classiques, dont les systèmes de commande et d'assistance ne pourraient, au demeurant, pas fonctionner non plus sans ces composants. Les «*smart homes*», où le chauffage et la climatisation se commandent selon les besoins, permettant ainsi de réduire les émissions, sont également tributaires de la technologie des puces. Sans oublier les cellules photovoltaïques, qui ne peuvent pas produire d'électricité sans semi-conducteurs. La pénurie de puces freine donc aussi la transition énergétique. Leur production est pourtant très gourmande en ressources. TSMC a besoin à elle seule de 212 millions de litres d'eau par jour pour ses processus de refroidissement et de nettoyage, ce qui correspond à la consommation quotidienne d'environ 1,5 million de personnes en Europe. L'extraction du silicium, la matière première des semi-conducteurs, n'est pas économe en ressources non plus. La Chine en est le premier acteur mondial.

Les principales régions de production doivent en outre faire face aux conséquences concrètes du changement climatique. Taiwan, par exemple, connaît des périodes de sécheresse de plus en plus intenses. Il n'y a pas eu de typhons au printemps 2020, alors qu'ils jouent un rôle essentiel pour les réserves d'eau. Les

La pénurie de puces en Suisse

Les sous-traitants suisses sont directement touchés par les pertes de production de l'industrie automobile allemande. Le secteur automobile est, par exemple, le principal débouché d'EMS Chemie AG, dont il représente 60 % de l'activité. Cette grande entreprise réalise l'essentiel de son chiffre d'affaires en Allemagne, particulièrement touchée par la pénurie de puces. Pour les consommateurs suisses, le manque de puces est synonyme de délais, par exemple pour la livraison de vélos électriques. De même, il faut patienter environ quatre mois pour recevoir la voiture la plus vendue en Suisse entre janvier et septembre 2021, car les capacités de production en République tchèque ont été réduites.

précipitations hivernales ont également été inférieures de 80 % à la normale. Ce phénomène a eu des conséquences sur l'approvisionnement général en eau, mais aussi sur l'approvisionnement en électricité produite grâce à la force hydraulique, qui a été interrompu à deux reprises au printemps 2021. Sur ordre du gouvernement, TSMC a ainsi dû réduire de 15 % sa consommation d'eau en avril 2021. Les idées ne manquent pas pour remédier au problème. Des pipelines d'eau devraient assurer un approvisionnement plus adapté aux besoins, le recyclage de l'eau pourrait réduire la consommation de 30 % et des usines de dessalement d'eau de mer devraient augmenter la quantité d'eau disponible. Les surprenants records de froid enregistrés en février 2021 au Texas, région au climat habituellement doux, ont entraîné une panne de courant de plusieurs jours. Cette situation a limité les capacités des entreprises de puces électroniques basées là-bas, ce qui a eu de lourdes conséquences du fait de leurs processus de fabrication complexes. La Chine, de son

côté, n'importe pas de charbon d'Australie pour des raisons géopolitiques et mène à marche forcée sa transition vers les énergies renouvelables. La conjonction de ces deux facteurs a conduit à une forte dégradation de son approvisionnement en électricité à la fin de l'été 2021. Les entreprises ont ainsi dû réduire leurs capacités de production, ce qui a eu des retombées sur l'approvisionnement en silicium de l'industrie des semi-conducteurs.

Perspectives

La pénurie de puces résulte de l'enchaînement de trois mégatendances qui prévalent actuellement. En premier lieu, la pandémie de COVID-19 a créé d'immenses déséquilibres entre l'offre et la demande sur le marché. Ce phénomène est renforcé par le fait que, même en temps normal, il est impossible d'augmenter la production de puces de façon souple: une montée en puissance nécessite des mois de préparation. En deuxième lieu, les troubles géopolitiques entre la Chine et les États-Unis ont entraîné diverses restrictions commerciales dans le domaine des hautes technologies qui ont eu un impact sur les chaînes d'approvisionnement mondiales. Pris entre son statut de principal pays producteur de puces et les revendications territoriales de la Chine, Taïwan est particulièrement exposé. En troisième lieu, les solutions technologiques innovantes intégrant des puces jouent un rôle essentiel pour faire face au changement climatique. Or, leur production nécessite des ressources telles que l'eau ou l'électricité, qui pourraient se raréfier du fait même du changement climatique.

L'année 2021 a montré à l'industrie européenne à quel point elle dépend du bon fonctionnement des chaînes d'approvisionnement mondiales. Dans le même temps,

cette situation a eu un effet mobilisateur incitant l'Europe à développer ses propres capacités de production. Les pays européens restent néanmoins dépendants des importations de matières premières telles que le silicium. La législation prometteuse de la Commission européenne sur les semi-conducteurs peut s'appuyer sur les pans de l'industrie des puces déjà présents en Europe, notamment aux Pays-Bas et en Allemagne. Indirectement, la Suisse pourrait également en tirer parti. Le développement de capacités industrielles reste toutefois un projet de longue haleine. En effet, même des entreprises expérimentées et bien organisées comme TSMC ont besoin de beaucoup de temps pour augmenter leur niveau de production. Ainsi, la mise en service d'une usine prévue par TSMC au Japon ne

L'industrie des puces ne peut pas répondre de façon souple et rapide à une hausse de la demande.

devrait pas intervenir avant 2024. Cet horizon relativement long pour le secteur des technologies montre que l'industrie complexe des puces ne peut pas répondre de façon souple et rapide à une hausse de la demande. À cela s'ajoutent des facteurs à moyen et long terme tels que la situation géopolitique et le changement climatique, qui pourraient entraîner une réduction de l'offre de puces.

Voir le [site thématique du CSS](#) pour en savoir plus sur la Résilience socio-technique.

Julian Kamasa est chercheur au Center for Security Studies (CSS) de l'ETH de Zurich.

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

Editor: Fabien Merz
Language editing: Névine Schepers
Layout et graphiques: Miriam Dahinden-Ganzoni

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

Parus précédemment:

Le retour des talibans et les relations sino-russes No 294
L'Ukraine, la Géorgie et la Moldavie entre Est et Ouest No 293
Les robots militaires: la réalité rejoint la fiction No 292
Projets de chasseurs européens: un premier bilan No 291
Le changement climatique dans les Alpes suisses No 290
Irak: un passé toujours présent No 289

© 2021 Center for Security Studies (CSS), ETH Zurich
ISSN: 2296-0228; DOI: 10.3929/ethz-b-000517472